

Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR)

Informe: LM-INF-IC-D-003-2020

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA DURANTE EL 2019 EN LAS PLANTAS ASFÁLTICAS DE LOS PROYECTOS DE CONSERVACIÓN VIAL.

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



Informe 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
Julio, 2020

**INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y EL DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA
DURANTE EL 2019 EN LAS PLANTAS ASFÁLTICAS DE LOS
PROYECTOS DE CONSERVACIÓN 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 2

Montos originales de los contratos: ₡128.071.430.745,31 (colones)

Plazo original de ejecución: 1095 días naturales

Director del LanammeUCR:

Ing. Alejandro Navas Carro, MSc.

Coordinadora de Auditoría Técnica:

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

Auditores:

Ing. Víctor Cervantes Calvo (Auditor Líder)

Sra. Rose Mary Cabalceta Rubio (Asistente Técnica)

Alcance del informe:

El alcance de este informe de auditoría técnica se centró en la evaluación de los parámetros de control de calidad, definidos en la documentación contractual (granulometrías, porcentaje de vacíos, contenido de asfalto, VMA, VFA y polvo/asfalto). Además, se evaluaron parámetros de desempeño (fatiga, deformación permanente y módulo dinámico a varias temperaturas) mediante diversas metodologías de ensayo. Todo ello se realizó para todas las plantas de producción de mezcla asfáltica que produjeron mezcla asfáltica convencional y modificada, con dos tipos de agregados TMN 12,5mm y TMN 19mm para las actividades de Conservación Vial durante el 2019.

Tabla de Contenido

1. FUNDAMENTACIÓN.....	8
2. OBJETIVO GENERAL DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS.....	8
3. OBJETIVOS DEL INFORME.....	8
4. OBJETIVO GENERAL.....	8
5. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	9
6. ALCANCE DEL INFORME.....	9
7. METODOLOGÍA.....	9
8. DOCUMENTOS DE PREVALENCIA.....	12
9. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	12
10. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	15
11. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA.....	15
12. RESULTADOS DE ENSAYO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	16

HALLAZGO 1. LA MAYORÍA DE LOS RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS DE TAMAÑO 12,5 MM (MEZCLA CONVENCIONAL) Y 19 MM (MEZCLA CONVENCIONAL Y MODIFICADA CON POLÍMERO) CUMPLEN LOS REQUISITOS ESTABLECIDOS EN EL CARTEL DE LICITACIÓN..... 16

SOBRE EL CONTENIDO DE ASFALTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA..... 23

HALLAZGO 2. PARA EL PARÁMETRO CONTENIDO DE ASFALTO PARA LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA ANALIZADAS SE DETERMINA Poca variabilidad para los resultados de la mezcla convencional de 12mm y algunos incumplimientos en las mezclas convencional y modificada de 19mm, ya que muestran algunos valores fuera del óptimo $\pm 0,5\%$ establecido en el diseño de mezcla vigente..... 23

SOBRE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA..... 28

HALLAZGO 3. 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. 28

HALLAZGO 4: LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS MODIFICADAS CON POLÍMERO FABRICADAS CON AGREGADO DE TMN 19MM CUMPLEN CON EL CRITERIO DE DEFORMACIÓN PERMANENTE ESTABLECIDO PARA CAPAS DE RODADURA (TIPO C) TAL COMO LO ESTABLECE EL CARTEL DE CONSERVACIÓN VIAL PARA MEZCLAS DE ALTO DESEMPEÑO. EN CUANTO A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS FABRICADAS CON ASFALTO CONVENCIONAL CON AGREGADOS DE TMN 12MM Y TMN 19MM SATISFACEN EL CRITERIO DE DEFORMACIÓN PERMANENTE UTILIZADO COMO VALOR DE COMPARACIÓN, EL CUAL SE EXTRACTA DEL CARTEL DE CONSERVACIÓN VIAL PARA MEZCLAS DE ALTO DESEMPEÑO. 41

OBSERVACIÓN 1. LAS MUESTRAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS MUESTRAN VALORES SATISFATORIOS CON RELACIÓN AL VALOR DE REFERENCIA EMPLEADO PARA DEFORMACIÓN PERMANENTE MEDIANTE EL ENSAYO DE DEFORMACIÓN "RUEDA DE HAMBURGO"..... 45

OBSERVACIÓN 2. SE EVIDENCIA QUE ALGUNAS 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 NÚMERO DE FLUJO. 49

HALLAZGO 5: ALGUNAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS FABRICADAS CON ASFALTO MODIFICADO NO CUMPLEN CON EL REQUISITO DE RESISTENCIA A LA FATIGA ESTABLECIDO PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO DESEMPEÑO. CON RELACIÓN A LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS CONVENCIONALES SE OBSERVA QUE ALGUNAS DE LAS MUESTRAS 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 VIAL PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS DE ALTO DESEMPEÑO. 55

13. ANÁLISIS MECANÍSTICO-EMPÍRICO DE DESEMPEÑO DE RESULTADOS⁶¹

OBSERVACIÓN 3. SE DETERMINA QUE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS TIENEN MAYOR RESISTENCIA A LA DEFORMACIÓN PERMANENTE Y REDUCIDA RESISTENCIA PARA SOPORTAR DETERIORO POR FATIGA. 62

14. CONCLUSIONES	76
15. RECOMENDACIONES.....	78
16. REFERENCIAS	79
17. ANEXOS.....	81

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DE LAS PLANTAS MUESTREADAS. FUENTE: LANAMMEUCR	10
FIGURA 2. RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS DE TODAS LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: AUDITORÍA TÉCNICA	17
FIGURA 3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS. FUENTE: AUDITORÍA TÉCNICA	18
FIGURA 4. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS DE TMN DE 12,5 MM PARA MEZCLA CONVENCIONAL. FUENTE: AUDITORÍA TÉCNICA	19
FIGURA 5. RESULTADOS GRANULOMÉTRICOS PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS ANALIZADAS DE TODAS LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN. FUENTE: AUDITORÍA TÉCNICA	20
FIGURA 6. 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	21
FIGURA 7. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA VARIACIÓN DE LAS CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE TODAS LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 19 MM ANALIZADAS. ELABORADO POR: AUDITORÍA TÉCNICA.....	22
FIGURA 8. RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA TODAS LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA ANALIZADAS DE TMN DE 12 MM. ELABORADO POR: AUDITORÍA TÉCNICA.....	25
FIGURA 9. RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA TODAS LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA ANALIZADAS DE 19 MM. ELABORADO POR: AUDITORÍA TÉCNICA.....	27
FIGURA 10. 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	29
FIGURA 11. PARÁMETRO VMA Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 12,5MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS.	30
FIGURA 12. PARÁMETRO VFA Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 12,5MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS.	31

FIGURA 13. RELACIÓN POLVO/ASFALTO Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 12,5MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS.	32
FIGURA 14. RELACIÓN POLVO/ASFALTO Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 12,5MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS.	33
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.....	35
FIGURA 16. PARÁMETRO VMA Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 19MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS.	36
FIGURA 17. PARÁMETRO VFA Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 19MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS.	37
FIGURA 18. RELACIÓN POLVO/ASFALTO Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 19MM DE TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS.....	38
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.....	39
FIGURA 20. RESULTADOS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE PARA MEZCLA DE TAMAÑO DE 12 MM.	43
FIGURA 21. RESULTADOS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE PARA MEZCLA DE TAMAÑO DE 19 MM.	44
FIGURA 22. RESULTADOS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE PARA AMBOS TIPOS DE MEZCLA.	45
FIGURA 23. RESULTADOS DE RUEDA HAMBURGO PARA MEZCLA DE TAMAÑO DE 12 MM.....	46
FIGURA 24. RESULTADOS DE RUEDA DE HAMBURGO PARA MEZCLA DE TAMAÑO DE 19 MM.....	47
FIGURA 25. RESULTADOS DE RUEDA HAMBURGO PARA AMBOS TIPOS DE MEZCLA.	48
FIGURA 26. NUMERO DE FLUJO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DE TAMAÑO DE 12 MM.....	50
FIGURA 27. NÚMERO DE FLUJO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA DE TAMAÑO DE 19 MM.....	51
FIGURA 28. NÚMERO DE FLUJO PARA AMBOS TIPOS DE MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.....	52
FIGURA 29. ÁREA DE LA FIGURA GEOMÉTRICA FORMADA POR LA ESPECIFICACIÓN DE FATIGA.	56
FIGURA 30. RESULTADOS DEL ENSAYO DE FATIGA PARA LA MEZCLA DE 12,5 MM.	58
FIGURA 31. RESULTADOS DEL ENSAYO DE FATIGA PARA LA MEZCLA DE 19 MM.	60
FIGURA 32. PAQUETE ESTRUCTURAL UTILIZADO PARA EL ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LA MAC.....	63
FIGURA 33. CANTIDAD DE CICLOS PARA PRODUCIR AGRIETAMIENTO POR FATIGA EN LA CARPETA ASFÁLTICA.	64
FIGURA 34. REPETICIONES PARA PRODUCIR LA FATIGA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, MAPA DE TEMPERATURAS FRÍAS Y ÁREAS DE INFLUENCIA SEGÚN ZONA PARA LAS PLANTAS ASFÁLTICAS. FUENTE INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL.....	66
FIGURA 35. CANTIDAD DE CICLOS PARA PRODUCIR DEFORMACIÓN PLÁSTICA EN LA CARPETA ASFÁLTICA..	68
FIGURA 36. CANTIDAD DE CICLOS PARA DEFORMACIÓN, MAPA DE TEMPERATURAS CALIENTES Y ÁREAS DE INFLUENCIA SEGÚN ZONA PARA LAS PLANTAS ASFÁLTICAS. FUENTE INSTITUTO METEOROLÓGICO NACIONAL.....	69
FIGURA 37. CANTIDAD DE REPETICIONES DE CARGA PARA PRODUCIR LA FATIGA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, SEGÚN PORCENTAJE DE VACÍOS Y CONTENIDO DE ASFALTO EFECTIVO.	72
FIGURA 38. CANTIDAD DE REPETICIONES DE CARGA PARA PRODUCIR LA FATIGA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, SEGÚN PORCENTAJE DE VACÍOS Y CONTENIDO DE ASFALTO EFECTIVO.	73
FIGURA 39. CANTIDAD DE REPETICIONES DE CARGA PARA PRODUCIR LA FATIGA DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, SEGÚN PORCENTAJE DE VACÍOS Y CONTENIDO DE ASFALTO EFECTIVO.	74

ÍNDICE DE TABLAS



TABLA 1. DETALLE DE LOS MUESTREOS Y LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LOS CUALES SE TOMARON LAS MUESTRAS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE. 11

TABLA 2. ZONAS ADJUDICADAS PARA CADA CONTRATISTA Y PLANTA SUPLIDORA..... 13

TABLA 3. PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO PARA CADA UNA DE LAS MALLAS..... 17

TABLA 4. PORCENTAJE DE CUMPLIMIENTO PARA CADA UNA DE LAS MALLAS..... 21

TABLA 5. CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA ASFÁLTICA 23

TABLA 6. RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 12,5MM 24

TABLA 7. RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS DE TMN DE 19 MM.. 26

TABLA 8. ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL..... 28

TABLA 9. ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL..... 34

TABLA 10. REQUISITOS DE DEFORMACIÓN PLÁSTICA PARA MEZCLA ASFÁLTICA POR MÉTODO MARSHALL.. 42

TABLA 11. REQUISITOS DE CICLOS PARA FALLA PARA EL CRITERIO DE NÚMERO DE FLUJO..... 49

TABLA 12. COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA DIFERENTES ENSAYOS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE, TMN 12MM..... 53

TABLA 13. COMPARACIÓN DE RESULTADOS PARA DIFERENTES ENSAYOS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE, TMN 12MM..... 54

TABLA 14. REQUISITOS DE REPETICIONES PARA FALLA POR FATIGA MEZCLA ASFÁLTICA DE MÉTODO MARSHALL..... 56

TABLA 15. RESULTADOS DE ENSAYO MARSHALL A LA MEZCLA ASFÁLTICA DE 12 MM. 61

TABLA 16. RESULTADOS DE ENSAYO MARSHALL A LA MEZCLA ASFÁLTICA DE 19 MM. 62

TABLA 17. RESULTADOS VOLUMÉTRICOS Y DE FATIGA PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE..... 70

TABLA 18. RESULTADOS VOLUMÉTRICOS Y DE DEFORMACIÓN PERMANENTE PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA. 75

INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA.

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA DURANTE EL 2019 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 evalúa los parámetros de calidad y aceptación de conformidad con lo que se establece en las especificaciones contractuales y las prácticas ordinarias para control de

calidad de mezcla. Asimismo, se realizan ensayos de desempeño (fatiga, deformación, rueda de hamburgo y número de flujo) de la mezcla asfáltica.

5. OBJETIVO ESPECÍFICO

- Evaluar la calidad del producto final obtenido en el proceso de producción de mezcla asfáltica mediante ensayos Marshall y ensayos de desempeño.

6. ALCANCE DEL INFORME

El estudio que se realiza está comprendido entre enero a octubre de 2019, 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 resultados de los ensayos de desempeño para muestras de 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 Figura 1 y se tomaron muestras de la mezcla asfáltica por un periodo definido para llevar a cabo los ensayos de evaluación indicados para cada planta.

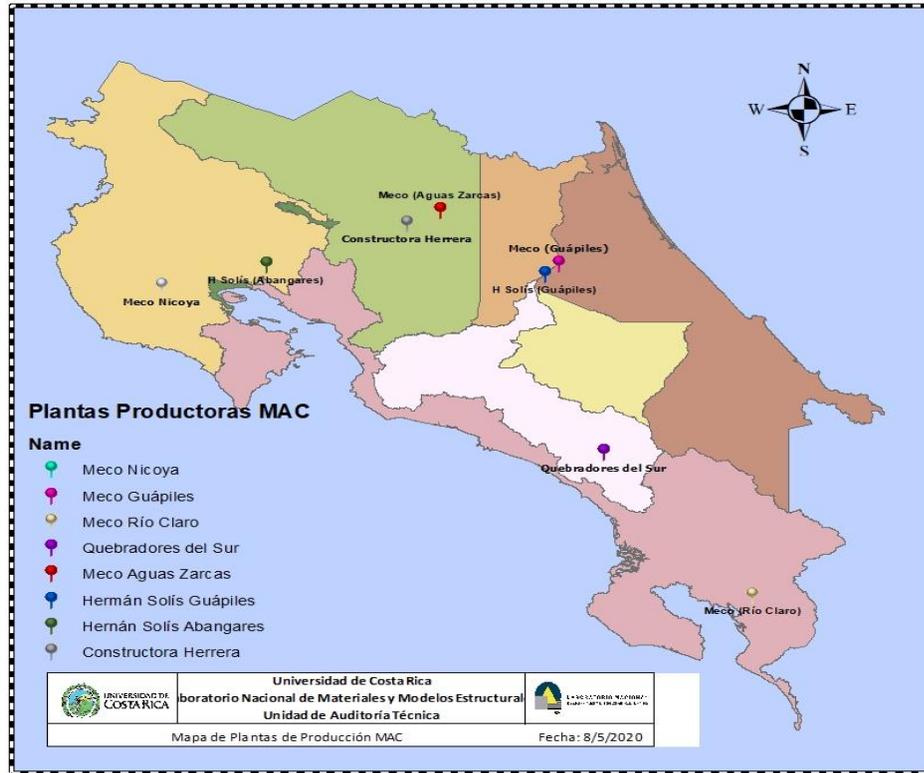


Figura 1. Ubicación de las plantas muestreadas. Fuente: LanammeUCR

La Unidad de Auditoría Técnica, mediante el Laboratorio de Evaluación de Pavimentos del LanammeUCR gestionó la toma de muestras de la mezcla asfáltica producida durante el año 2019 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 Asfálticas del LanammeUCR, en la Tabla 1 se presenta un detalle de las muestras de mezcla asfáltica en caliente tomadas.

Tabla 1. Detalle de los muestreos y los ensayos realizados en los cuales se tomaron las muestras de mezcla asfáltica en caliente.

Planta	Fecha Muestreo	Identificación de la muestra	Tipo MAC	12	19	Tipo	Contenido Asfalto	Granulometría	Parámetro Marshall	Fatiga	APA	RH	Flujo
Constructora Herrera (San Carlos) §	12/03/19	CH.0527-19_12c	CONVENCIONAL	✓	-	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hernán Solís Guápiles	25/01/19	HSG.0189-19_12c	CONVENCIONAL	✓	-	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MECO Guápiles	12/06/19	MG.1106-19_12c	CONVENCIONAL	✓	-	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MECO Nicoya	28/02/19	MN.0440-19_12c	CONVENCIONAL	✓	-	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MECO Nicoya	14/03/19	MN.0538-19_12c	CONVENCIONAL	✓	-	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MECO Nicoya	21/03/19	MN.0586-19_12c	CONVENCIONAL	✓	-	C	✓	✓	✓	-	-	-	-
MECO Nicoya	30/04/19	MN.0632-19_12c	CONVENCIONAL	✓	-	C	✓	✓	✓	-	-	-	-
MECO Nicoya	23/10/19	MN.2194-19_12c	CONVENCIONAL	✓	-	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MECO Río Claro	06/05/19	MRC.0874-19_12c	CONVENCIONAL	✓	-	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MECO Río Claro	11/09/19	MRC.1901-19_12c	CONVENCIONAL	✓	-	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hernán Solís Abangares	23/10/19	HSA.2199-19_19c	CONVENCIONAL	-	✓	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hernán Solís Abangares	01/03/19	HSA.0445-19_19c	CONVENCIONAL	-	✓	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Hernán Solís Guápiles	14/03/19	HSG.0544-19_19c	CONVENCIONAL	-	✓	C	✓	✓	✓	-	-	-	-
Hernán Solís Guápiles	12/06/19	HSG.1104-19_19c	CONVENCIONAL	-	✓	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MECO Aguas Zarcas	21/08/19	MAZ.1627-19_19c	CONVENCIONAL	-	✓	C	✓	✓	✓	-	-	-	-
MECO Nicoya	10/04/19	MN.0717-19_19c	CONVENCIONAL	-	✓	C	✓	✓	✓	-	✓	✓	-
Quebradores del Sur Pérez Zeledón	25/04/19	QS.0775-19_19c	CONVENCIONAL	-	✓	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Quebradores del Sur Pérez Zeledón	12/09/19	QS.1906-19_19c	CONVENCIONAL	-	✓	C	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MECO Aguas Zarcas	12/03/19	MAZ.0532-19_19m	MODIFICADA	-	✓	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MECO Guápiles	25/01/19	MG.0182-19_19m	MODIFICADA	-	✓	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MECO Guápiles	19/02/19	MG.0341-19_19m	MODIFICADA	-	✓	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MECO Guápiles	19/03/19	MG.0566-19_19m	MODIFICADA	-	✓	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
MECO Guápiles	28/03/19	MG.0639-19_19m	MODIFICADA	-	✓	M	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

§ se indica en el descargo que durante este mes esta planta no produjo mezcla para conservación vial, sin embargo, se incluye en el informe para efectos de comparación.

- no se realizó el ensayo

C: convencional, M: modificada

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 número 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 2, 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 2. Zonas adjudicadas para cada contratista y planta suplidora.

Línea	Zona	Contratista	Planta Suplidora	Tipo
Línea 2	1-4 Alajuela Sur	H. Solís	HS Guápiles	Bache
	1-5 Alajuela Norte			
	1-6 San Ramón			
Línea 3	1-3 Los Santos	H. Solís	HS Guápiles	Bache
	1-7 Cartago			
	1-8 Turrialba			
Línea 4	2-1 Liberia	H. Solís	HS Abangares	Bache
Línea 5	2-3 Santa Cruz	MECO	Meco Nicoya	Continua
	2-4 Nicoya			
Línea 6	2-2 Cañas-Upala	H. Solís	HS Abangares	Bache
	3-1 Puntarenas			
	3-2 Quepos			
Línea 7	4-1 Pérez Zeledón	Q. Sur	Q. Sur	Continua
	4-2 Buenos Aires			
Línea 8	4-3 Río Claro	MECO	Meco Río Claro	Continua
Línea 9	5-1 Guápiles	MECO	Meco Guápiles	Continua
	5-2 Limón			
Línea 10	6-1 Ciudad Quesada	MECO	Meco Aguas Zarcas	Continua
	6-2 Los Chiles			

10. AUDIENCIA AL LOS AUDITADOS PARA ANÁLISIS DEL INFORME EN SU VERSIÓN PRELIMINAR LM-INF-IC-D-003B-2020

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-IC-D-0491-2020 del 19 de junio de 2020, se envía el presente informe en versión preliminar LM-INF-IC-D-003B-2020 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 21 de julio de 2020.

Asimismo, como parte del proceso de Auditoría, se realiza una presentación por medios virtuales el día 30 de junio de 2020 con el auditado con el fin de comentar aspectos relacionados con el informe. La presentación contó con la asistencia de los siguientes participantes:



Institución	Nombre
Conavi (Administración)	Reynaldo Vargas Soto (Auditoría Interna)
	Manrique Aguilar Oreamuno (Auditoría Interna)
	Joshimar Tejeda Valverde (Auditoría Interna)
	Karen Zuñiga Brenes (Conservación Vial)
	Julio Cesar Carvajal (Conservación Vial)
LanammeUCR (Auditoría Técnica)	Rose Mary Cabalceta Rubio (Asistente Técnico)
	Víctor Hugo Cervantes Calvo (Auditor Técnico)
	Wendy Sequeira Rojas (Coordinadora Auditoría Técnica)

El día 21 de julio de 2020 se recibe respuesta por parte de la Administración mediante correo electrónico el oficio GCSV-79-2020-3253, en donde se emite el descargo al informe en versión preliminar LM-INF-IC-D-003B-2020. El oficio lo remite el ingeniero Julio Carvajal Saborío, encargado del Departamento de la Verificación de la Calidad del Conavi, el cual va dirigido a la coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica, Wendy Sequeira Rojas.

Se procede al análisis del descargo de conformidad con los procedimientos de auditoría técnica, considerando los comentarios de carácter profesional, técnico o legal, aquellos comentarios de índole subjetivo o no fundamentado, no tienen incidencia en el contenido del informe. Una vez incorporados los comentarios al informe y en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica, se procede a emitir el informe LM-INF-IC-D-003-2020 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.

12. 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.

PRIMERA PARTE

13. 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 tamaño 12,5 mm (mezcla convencional) y 19 mm (mezcla convencional y 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 2019. 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 3, en donde los resultados con alguna variabilidad son las mallas de 1/2" y N°4.

Tabla 3. 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	93,86	81,26	54,72	34,72	22,50	16,13	11,43	5,77
Desviación Estándar	1,87	2,95	4,05	1,92	0,95	1,14	1,10	0,84
% de incumpliendo	3,70%	0,89%	3,35%	2,78%	0,22%	1,54%	0,10%	1,30%

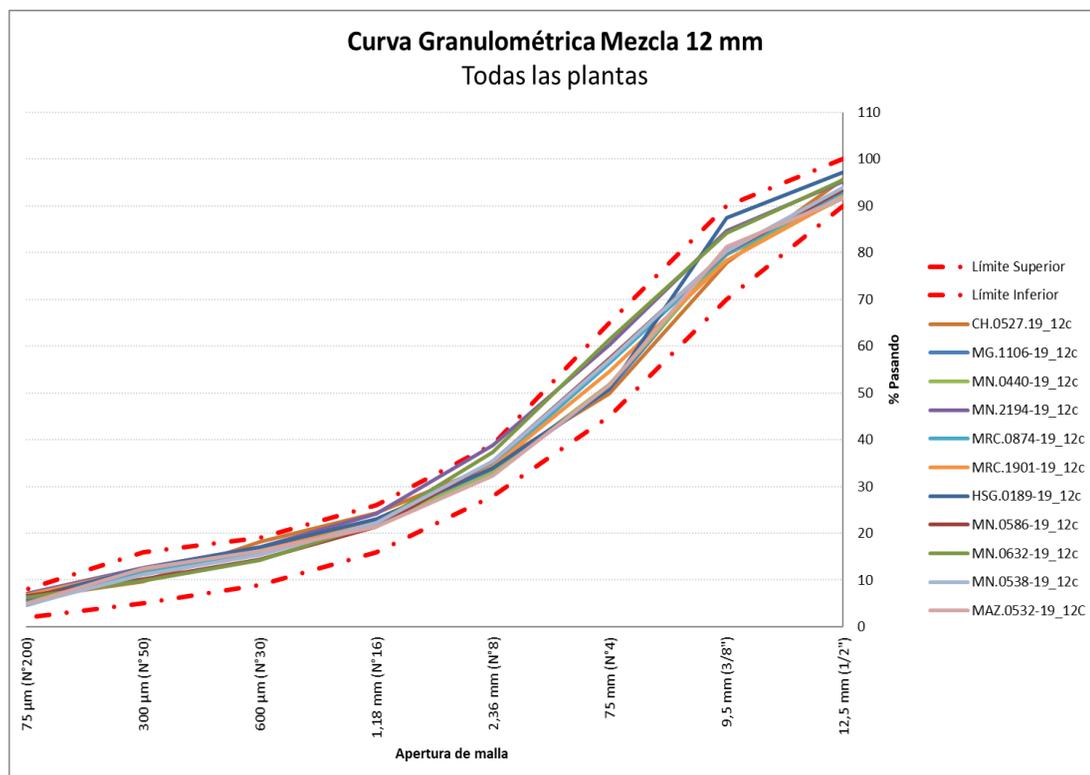


Figura 2. Resultados granulométricos para las mezclas asfálticas analizadas de todas las plantas de producción. Fuente: Auditoría Técnica

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 2019 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 particular) considerando todos los tamaños granulares reportados, tal como se ejemplifica en la Figura 3.

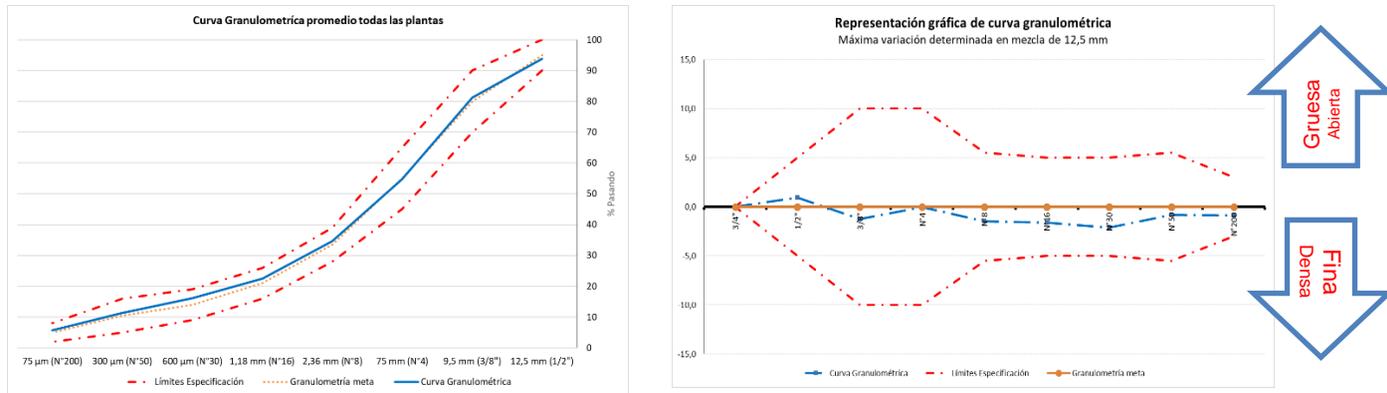


Figura 3. Representación gráfica de las curvas granulométricas para las mezclas asfálticas analizadas. Fuente: Auditoría Técnica

En la gráfica presentada en la Figura 4 se representan las máximas variaciones de las curvas granulométricas de la mezcla convencional de TMN de 12 mm, con respecto a ambos límites de especificación para las mezclas asfálticas analizadas. Del análisis de la gráfica se puede determinar que la fracción gruesa (1/2 y 3/8) y la intermedia (N°4 y N°8) tienen una composición variada ya que los resultados se ubican proporcionalmente entre ambos límites de la especificación.

Por otro lado, es posible evidenciar que para la fracción fina (N°16, N°30, N°50 y N°200) para todos los centros de producción de mezcla asfáltica (CH, HSA, MN, MG, MRC, HSG), los porcentajes pasando de los agregados se ubican particularmente en la fracción densa.

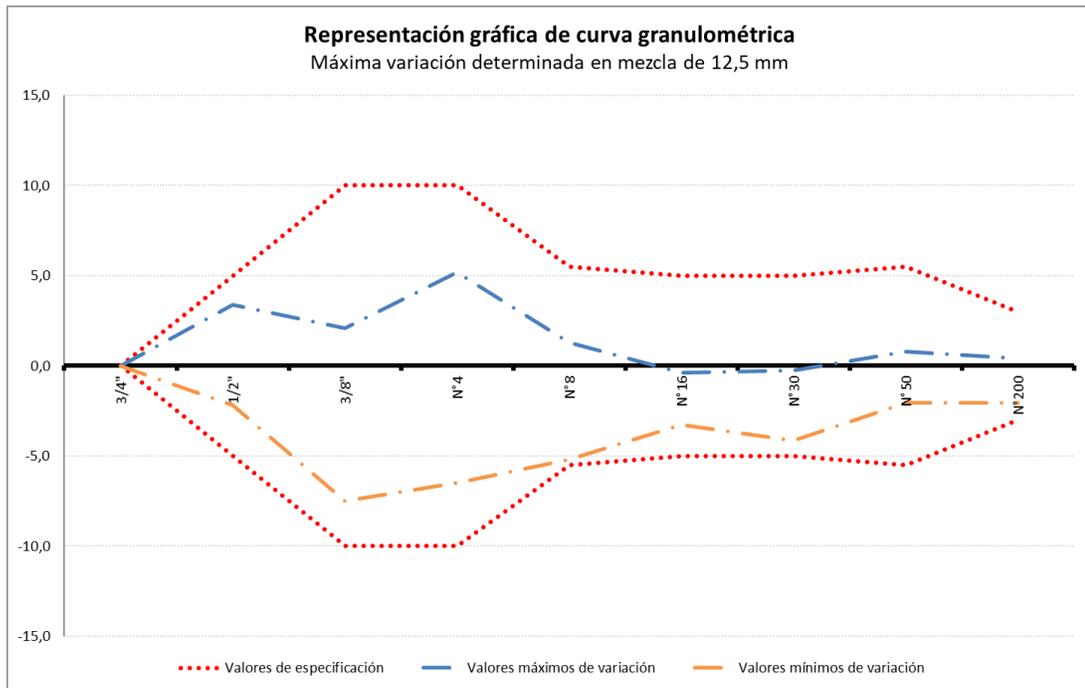


Figura 4. Representación gráfica de las curvas granulométricas para las mezclas asfálticas analizadas de TMN de 12,5 mm para mezcla convencional. Fuente: Auditoría Técnica

En la Figura 4 se representan los valores máximos y mínimos de las curvas granulométricas de las mezclas asfálticas convencionales de 12mm producidas durante el periodo de análisis del año 2019:

- Los materiales de la fracción gruesa, el material de la malla de 1/2 pulgada y 3/8 de pulgada se ubicaron durante todo el periodo de análisis entre la porción gruesa y fina.
- En el material intermedio (mallas N°4 a N°8) se denota que:
 - la malla N°4 se ubica durante todo el año 2019 entre la porción gruesa y fina de la especificación.
 - mientras que la malla N°8 muestra una tendencia a ubicarse en la porción densa.
- 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 mantenerse en la porción densa de la especificación.

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 para ambos tipos de materiales, mezclas convencionales y mezclas modificadas con polímeros, los cuales se presentan en la Figura 5.

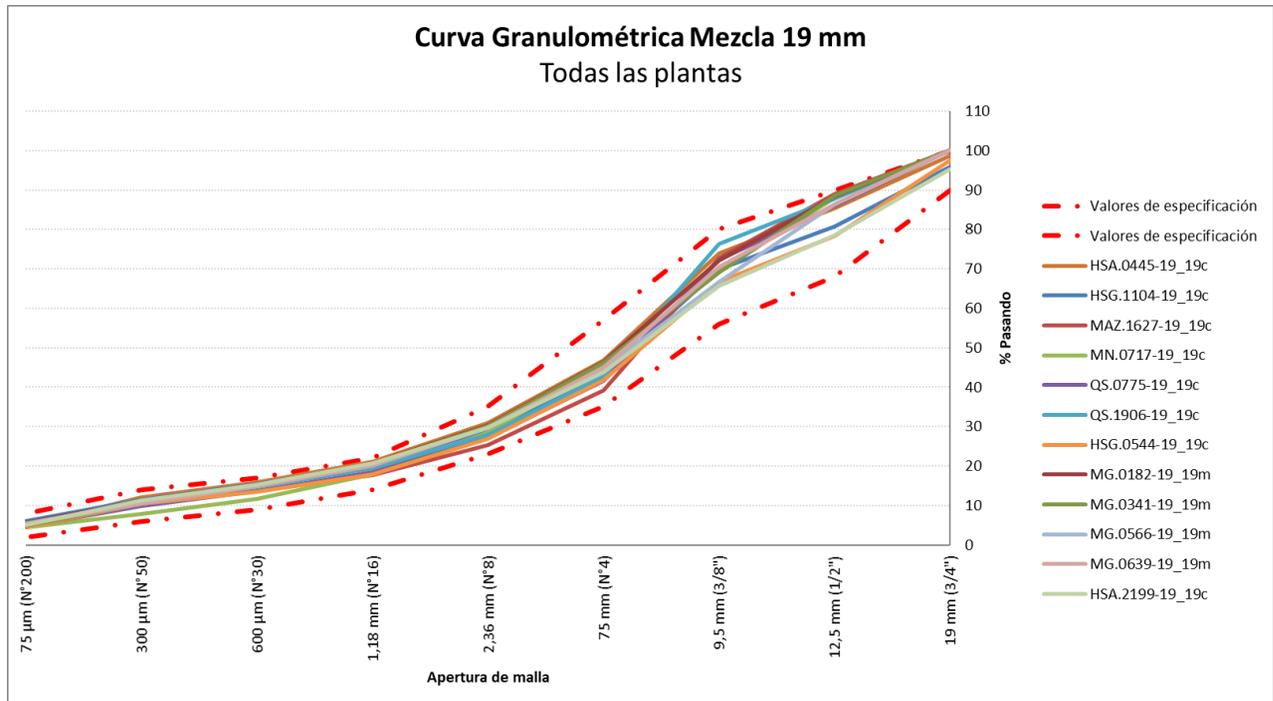


Figura 5. Resultados granulométricos para las mezclas asfálticas analizadas de todas las plantas de producción. Fuente: Auditoría Técnica

Posteriormente, se determinan los valores de porcentaje de cumplimiento para cada uno de los tamaños granulométricos (de ambos tipos de mezcla), evidenciándose que la mayoría de los resultados se encuentran dentro de los límites de especificación establecidos, tal como se muestra en la Tabla 4. Solamente se determina una variación importante en las mallas de $3/4"$ y $1/2"$, en donde se establecen valores de incumplimiento de 28,16% y 12,7% respectivamente, donde se establece como límite máximo de aceptación un valor de 38,365% para 12 muestras de mezcla asfáltica analizadas.

Tabla 4. 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	98,93	85,3	70,5	44,0	28,8	19,6	14,5	10,6	5,1
Desviación	1,80	3,90	3,22	2,34	1,65	1,25	1,16	1,04	0,49
% Incumplimiento	28,16%	12,70%	0,70%	0,15%	0,40%	4,20%	2,64%	0,41%	0,01%

Para determinar la tendencia general existente en los tamaños granulométricos y las variaciones presentes en las mallas que conforman la curva granulométrica de ambos tipos de muestras de mezcla de tamaño de 19 mm analizadas (convencional y modificada) durante el periodo comprendido desde enero a octubre de 2019 se aplica el método gráfico, explicado anteriormente.

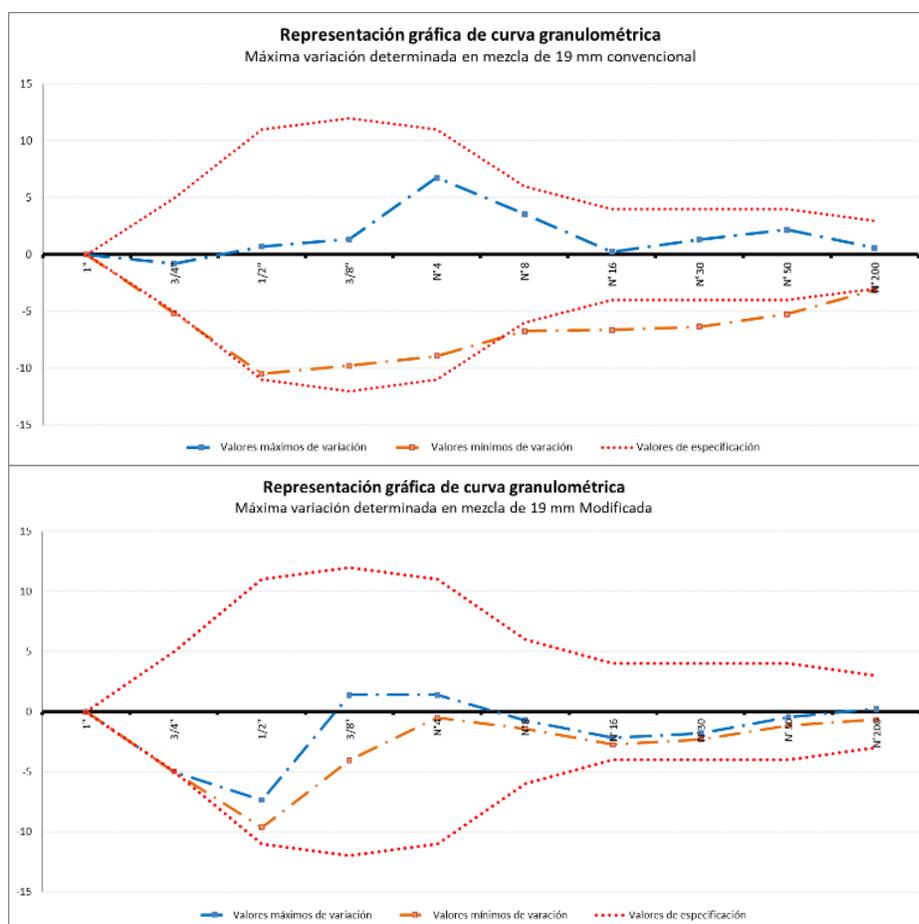


Figura 6. Representación gráfica de las curvas granulométricas para las mezclas asfálticas analizadas de TMN de 19 mm para mezcla convencional y mezcla modificada con polímeros. Fuente: Auditoría Técnica

De las gráficas de la Figura 6 se observa que para las mallas de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{1}{2}$ " para ambos tipos de mezcla (convencional y modificada) se ubican en la fracción densa de la especificación. En cuanto a las mallas de $\frac{3}{8}$ ", N°4 y N°8 para la mezcla convencional se ubican entre el límite grueso y fino de la especificación y para la mezcla modificada muestra una tendencia al límite 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 densa de la especificación.

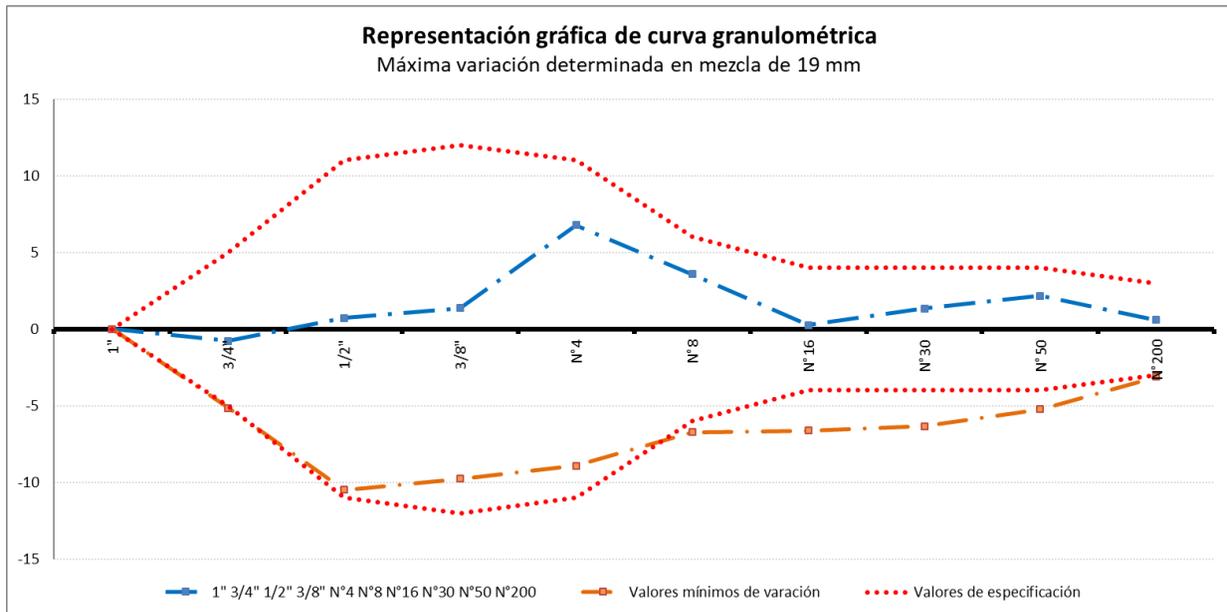


Figura 7. Representación gráfica de la variación de las curvas granulométricas de todas las mezclas asfálticas de TMN de 19 mm analizadas. Elaborado por: Auditoría Técnica

En consecuencia, de la Figura 7 se puede evidenciar que para las curvas granulométricas de ambas mezclas asfálticas de TMN 19 mm producidas durante el periodo de análisis del año 2019 lo siguiente:

- 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 densa 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. Con algunas muestras con incumplimientos en las mallas de N°16, N°30, N°50 y N°200.
- Se observa que la menor variación se obtiene en la malla 200 de la mezcla asfáltica modificada, con una magnitud de 0,01%.

SOBRE EL CONTENIDO DE ASFALTO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA

Hallazgo 2. Para el parámetro contenido de asfalto para las muestras de mezcla asfáltica analizadas se determina poca variabilidad para los resultados de la mezcla convencional de 12mm y algunos incumplimientos en las mezclas convencional y modificada de 19mm, ya que muestran algunos 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, y también se modificó asfalto mediante adición de polímeros para la producción de mezcla asfáltica modificada. En la Tabla 5, 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 5. Contenido óptimo de asfalto de los diseños de mezcla asfáltica

Planta	Contenido óptimo de asfalto PTM (rango óptimo)			
	TMN 12 mm		TMN 19 mm	
	Convencional	Modificada	Convencional	Modificada
Constructora Herrera (CH) Marzo 2019	6,00 % (5,50% - 6,50%)	¥	¥	¥
Hernán Solís, Abangares (HSA) Marzo 2019 (MAC 19c) Octubre 2019 (MAC 12c)	5,45 % (4,95% - 5,95%)	¥	5,60% (5,10% - 6,10%)	¥
Hernán Solís, Guápiles (HSG) Enero 2019 (MAC 12c) Marzo, Junio 2019 (MAC 19)	6,04% (5,54% - 6,54%)	¥	6,05% (5,55% - 6,55%)	¥
Meco, Aguas Zarcas (MAZ) Marzo 2019 (MAC 19m) Agosto 2019 (MAC 19c)	¥	¥	5,10 % (4,60% - 5,60%)	6,05% (5,55% - 6,55%)
Meco, Guápiles (MG) Enero-Marzo 2019 (MAC 19m) Junio 2019 (MAC 12c)	5,50 % (5,00% - 6,00%)	¥	¥	5,50 % (5,00% - 6,00%)
Meco, Nicoya (MN) Febrero-Marzo 2019 (MAC 12c)	5,90% (5,4% - 6,4%)	¥	¥	¥
Meco, Nicoya (MN) Abril 2019 (MAC 12c) Abril 2019 (MAC 19c)	5,00 % (4,50% - 5,50%)	¥	5,00 % (4,50% - 5,50%)	¥
Meco, Nicoya (MN) Octubre 2019 (MAC 12c)	5,80% (5,30% - 6,30%)	¥	¥	¥
Meco, Río Claro (MRC) Mayo 2019 (MAC 12c)	5,70% (5,20% - 6,20%)	¥	¥	¥
Meco, Río Claro (MRC) Setiembre 2019 (MAC 12c)	5,75% (5,25% - 6,25%)	¥	¥	¥
Meco, Uruca (MU)	¥	¥	¥	¥
Quebradores del Sur (QS) Abril, Setiembre 2019 (MAC 19c)	¥	¥	5,65% (5,20% - 6,20%)	¥

¥: el centro de producción no propuso este tipo de mezcla o no se logró tomar 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 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.

Para el periodo de estudio (enero a octubre de 2019) el 82% (9 de 11) de todos los resultados de contenido de asfalto se mantienen dentro del margen permitido de $\pm 0,5\%$ con relación al valor del óptimo de asfalto indicado en el diseño de mezcla (para todas las muestras de mezcla convencional y modificada).

Sin embargo, al analizar la variabilidad para los resultados de la mezcla convencional presentados en la Figura 8, se observan 2 valores (HSA.2199.19_12c y MN.2194.19_12c) fuera de los límites de variación permitidos, así como 1 valor cercano al límite permitido (MN.0632.19_12c). Los demás resultados se ubican próximos al centro de la especificación, con valores que rondan entre 5,0% hasta 6,4%.

Tabla 6. Resultados de contenido de asfalto para las mezclas asfálticas de TMN de 12,5mm

Lugar de muestreo	Muestra	Fecha de muestreo	Tipo de mezcla	Identificación de la muestra	Informe Lanamme	Asfalto (PTM) %	Límite inferior %	Límite superior %
Constructora Herrera	M-0527-19	12/3/2019	Convencional	CH.0527.19_12c	I-1109-19	6,10	5,50	6,50
Hernán Solís Abangares	M-2199-19	23/10/2019	Convencional	HSA.2199.19_12c	I-2064-19	4,90	4,95	5,95
Hernán Solís Guápiles	M-0189-19	25/1/2019	Convencional	HSG.0189.19_12c	I-0215-19	5,90	5,54	6,54
Meco Guápiles	M-1106-19	12/6/2019	Convencional	MG.1106.19_12c	I-1567-19	5,50	5,00	6,00
Meco Nicoya	M-0440-19	28/2/2019	Convencional	MN.0440.19_12c	I-1094-19	6,00	5,40	6,40
Meco Nicoya	M-0586-19	21/3/2019	Convencional	MN.0586.19_12c	I-1169-19	5,10	4,50	5,50
Meco Nicoya	M-0632-19	30/4/2019	Convencional	MN.0632.19_12c	I-1170-19	5,50	4,50	5,50
Meco Nicoya	M-2194-19	23/10/2019	Convencional	MN.2194.19_12c	I-2063-19	6,40	5,30	6,30
Meco Río Claro	M-0874-19	6/5/2019	Convencional	MRC.0874.19_12c	I-1398-19	5,90	5,20	6,20
Meco Río Claro	M-1901-19	11/9/2019	Convencional	MRC.1901.19_12c	I-1860-19	5,77	5,25	6,25
Meco Nicoya	M-0538-19	14/3/2019	Convencional	MN.0538.19_12c	I-1112-19	4,80	4,50	5,50

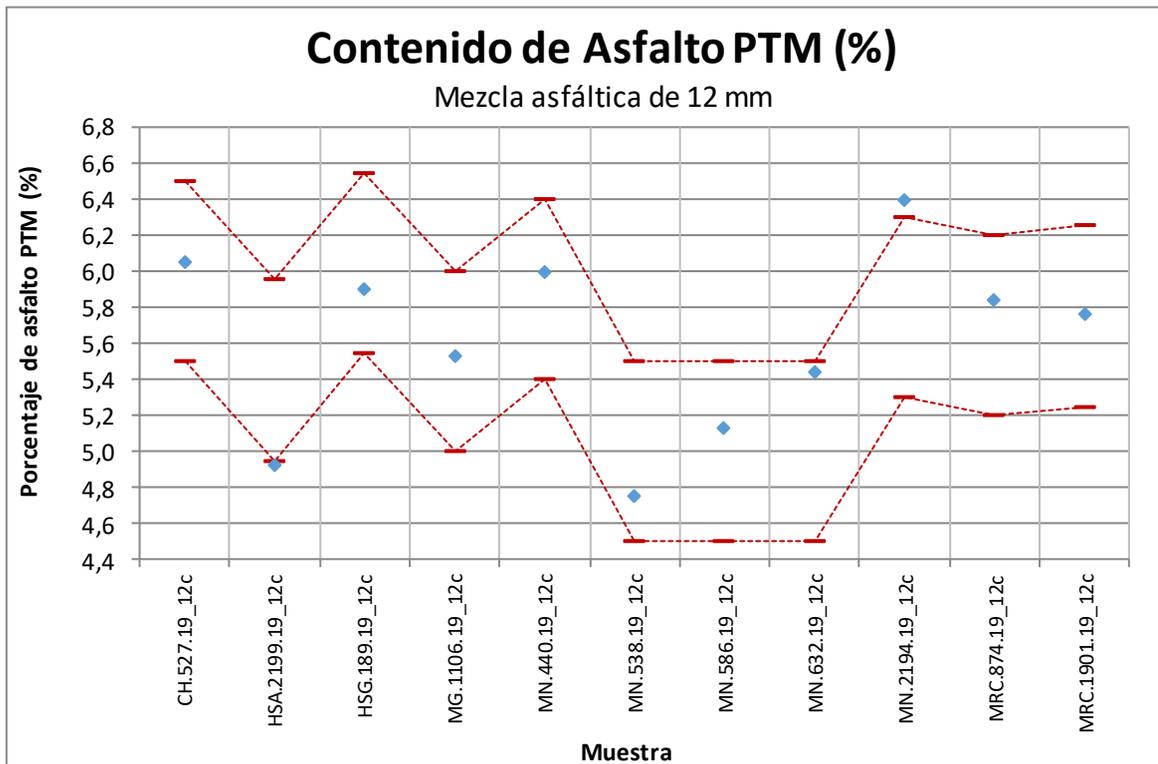


Figura 8. Resultados de contenido de asfalto para todas las plantas de producción de mezcla asfáltica analizadas de TMN de 12 mm. Elaborado por: Auditoría Técnica

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 9 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 enero a octubre de 2019. 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 75% (9 de 12) de los resultados de contenido de asfalto de las muestras de mezcla asfáltica convencional y modificada con tamaño de agregado de 19 mm para las plantas de producción HSA.445.19_19c, MAZ.1627.19_19c, QS (0775.19_19c y 1906.19_19c), MN.717.19_19c y MG (0182.19_19m, 0341.19_19m, 0566.19_19m y 0639.19_19m) se mantienen dentro del margen permitido de $\pm 0,5\%$ respecto al valor del óptimo de asfalto indicado en el diseño de mezcla.

Además, por otro lado, se evidencia que 3 de los resultados de las plantas HSG.1104.19_19c, HSG.0544.19_19c y MAZ.0532.19_19m no cumplen los límites definidos para el contenido óptimo de asfalto $\pm 0,5\%$ indicado en el diseño de mezcla.

Por lo tanto, se tiene que el 30% de los resultados de la mezcla convencional y el 20% de los resultados de la mezcla modificada con polímeros, superan los márgenes permitidos por la especificación (óptimo de asfalto $\pm 0,5\%$)

Tabla 7. Resultados de contenido de asfalto para las mezclas asfálticas de TMN de 19 mm

Lugar de muestreo	Muestra	Fecha de muestreo	Tipo de mezcla	Identificación de la muestra	Informe de Lanamme	Asfalto (PTM) %	Límite inferior	Límite superior
Hernán Solís Abangares	M-0445-19	1/3/2019	Convencional	HSA.0445.19_19c	I-1095-19	5,60	5,10	6,10
Hernán Solís Guápiles	M-1104-19	12/6/2019	Convencional	HSG.1104.19_19c	I-1565-19	5,50	5,60	6,60
Meco Aguas Zarcas	M-1627-19	21/8/2019	Convencional	MAZ.1627.19_19c	I-1825-19	5,10	4,60	5,60
Quebradores del Sur	M-0775-19	25/4/2019	Convencional	QS.0775.19_19c	I-1397-19	5,90	5,20	6,20
Quebradores del Sur	M-1906-19	12/9/2019	Convencional	QS.1906.19_19c	I-1859-19	5,50	5,20	6,20
Hernán Solís Guápiles	M-0544-19	14/3/2019	Convencional	HSG.0544.19_19c	I-1128-19	5,00	5,60	6,60
Meco Nicoya	M-0717-19	10/4/2019	Convencional	MN.0717.19_19c	I-1214-19	5,20	4,50	5,50
Meco Aguas Zarcas	M-0532-19	12/3/2019	Polímero	MAZ.0532.19_19m	I-1111-19	5,60	4,55	5,55
Meco Guápiles	M-0182-19	25/1/2019	Polímero	MG.0182.19_19m	I-0214-19	5,69	5,00	6,00
Meco Guápiles	M-0341-19	19/2/2019	Polímero	MG.0341.19_19m	I-0288-19	5,20	5,00	6,00
Meco Guápiles	M-0566-19	19/3/2019	Polímero	MG.0566.19_19m	I-1168-19	5,40	5,00	6,00
Meco Guápiles	M-0639-19	28/3/2019	Polímero	MG.0639.19_19m	I-1266-19	5,50	5,00	6,00

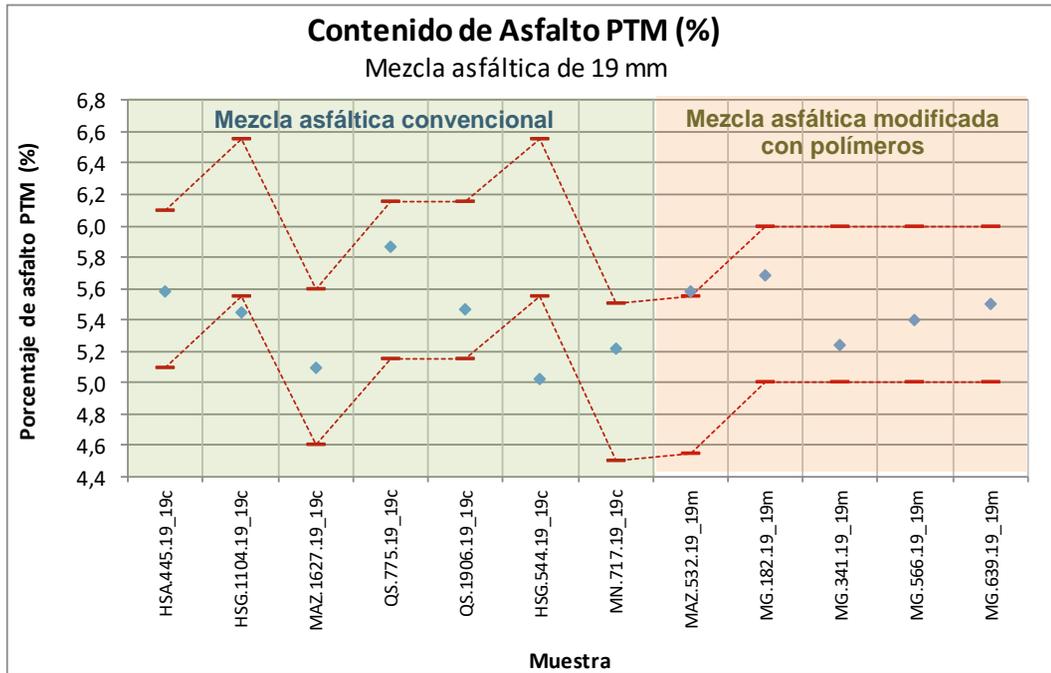


Figura 9. Resultados de contenido de asfalto para todas las plantas de producción de mezcla asfáltica analizadas de 19 mm. Elaborado por: Auditoría Técnica

SOBRE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA

Hallazgo 3. 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 8 se presentan los rangos admisibles según la metodología Marshall.

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 (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 se propone este rango. Según cartel de licitación es de 0,6% a 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 2.

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 éstos: 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 10 se presentan los resultados de contenido de vacíos en la mezcla obtenidos por el LanammeUCR, para cada una de las muestras de mezcla asfáltica convencional incluidas en el estudio. Del análisis estadístico se evidencia que la mezcla asfáltica convencional reporta un nivel de incumplimiento del 72%, mostrando valores fuera de los límites de especificación para las plantas MN (0440.19_12c y 0538.19_12c) y MRC.0874.19_12c.

También se notan algunas muestras que se encuentran cercanas al límite superior, para las plantas CH.0527.19_12c, HSA.2199.19_12c y MG.1106.19_12c. Se denota que los resultados de las plantas HSG.0189.19_12c, MN.0586.19_12c, MN.0632.19_12c y MRC.1901.19_12c se mantienen dentro de los límites de la especificación.

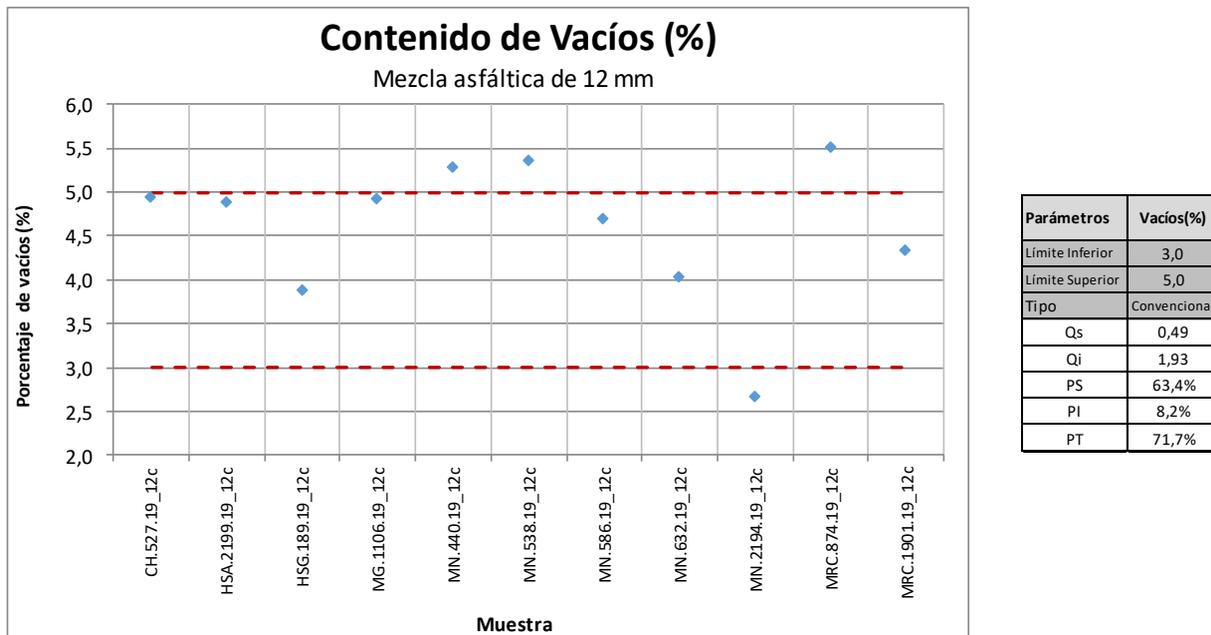


Figura 10. Contenido de vacíos y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 12,5mm de todas las plantas estudiadas. Elaborado por: Auditoría Técnica

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

Parámetro de vacíos en el agregado mineral (VMA)

En la Figura 11 se presenta de forma gráfica los resultados de vacíos en el agregado mineral (VMA) obtenidos para las plantas analizadas en el periodo de estudio; del análisis estadístico se determina que el nivel de cumplimiento es del 77% con respecto al valor mínimo de 14% requerido por la metodología Marshall.

Del análisis de los resultados obtenidos para la mezcla asfáltica convencional se evidencia que las 11 muestras analizadas cumplen con el límite inferior especificado; sin embargo, se observa que la muestra de HSA.2199.19_12c se ubica exactamente sobre el límite.

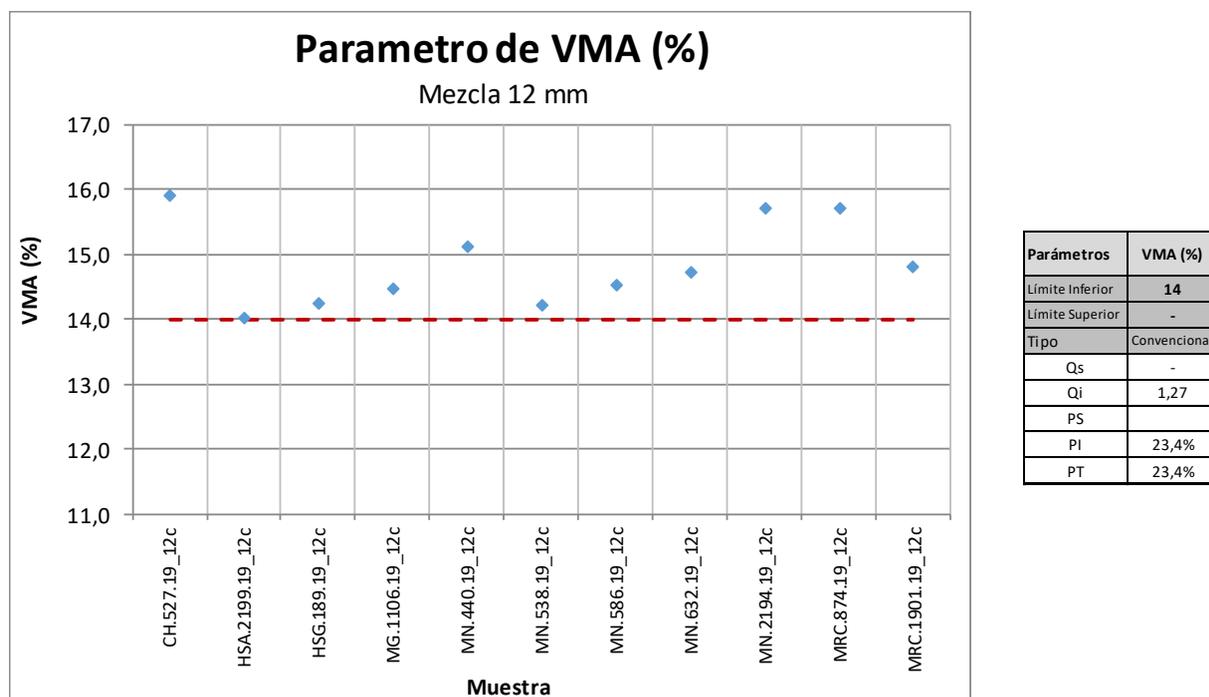


Figura 11. Parámetro VMA y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 12,5mm de todas las plantas estudiadas.

Parámetro de vacíos llenos de asfalto (VFA)

Con relación al parámetro de vacíos llenos con asfalto (los resultados se observan en la Figura 12 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.

Al determinar el nivel incumplimiento para la mezcla convencional se logra establecer una variabilidad del 83%. Debido a que se reportan 2 resultados por fuera de las especificaciones, para la planta MN.0538.19_12c con un valor de 62% y para la planta MN.2194.19_12c con un valor de 83%.

Además, se denotan 4 resultados muy cercanos o sobre el límite inferior de la especificación para las muestras de las plantas HSA.2199.19_12c, MG.1106.19_12c, MN.0440.19_12c y MRC.0874.19_12c, lo cual contribuye a la alta variabilidad determinada estadísticamente.



Se debe tener presente que cuando el valor de VFA se encuentra entre 80%-85%, la mezcla se vuelve inestable y pueden producirse deformaciones en la carpeta asfáltica (ahuellamiento).

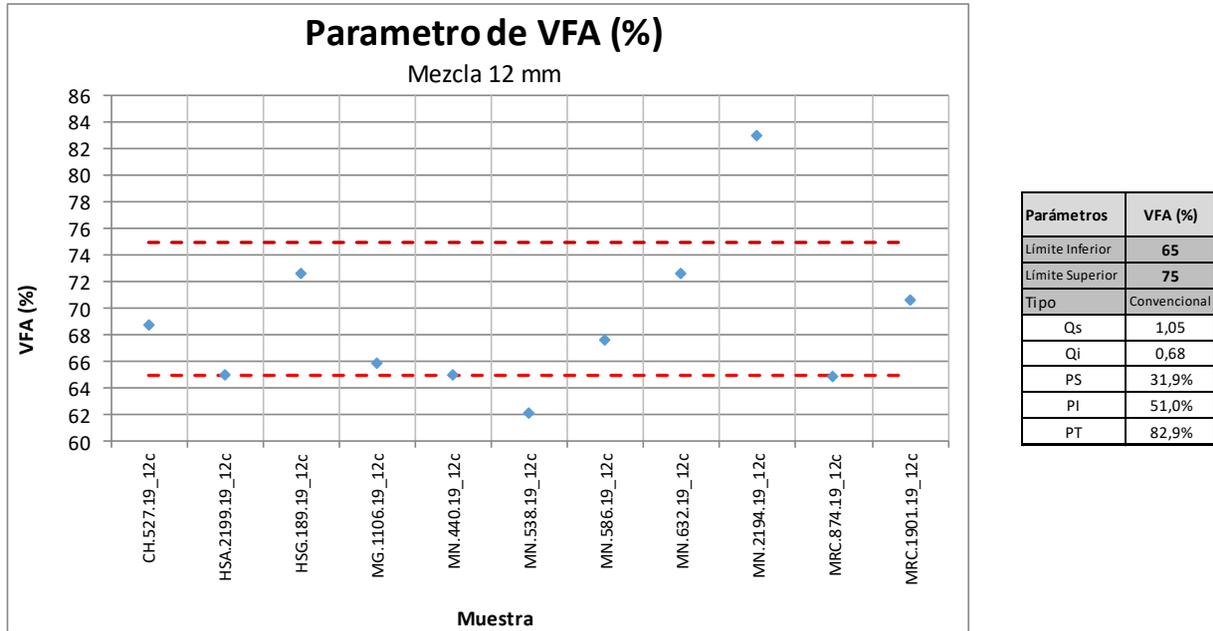


Figura 12. Parámetro VFA y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 12,5mm de todas las plantas estudiadas.

Relación Polvo Asfalto

En la **Figura 13** se presentan de forma gráfica los resultados de ensayo obtenidos para el parámetro relación polvo-asfalto en la mezcla convencional. Además, se determina estadísticamente el nivel de cumplimiento con relación al valor permitido por las especificaciones que se establece entre 0,6% y 1,3%¹. Además, de acuerdo con lo comentado en el descargo se incorpora la valoración estadística con relación a la modificación temporal establecida en 0,6% y 1,6%, así como el límite superior en la **Figura 13**.

Al evaluar los resultados con relación a los límites originales de especificación (0,6%-1,3%) presentados en la **Figura 13** para evaluar el comportamiento con el cambio de la especificación se determina que el 64% (7/11) de los valores se ubican por encima o sobre el límite superior para las muestras de los centros de producción CH.0527.19_12c, HSA.2199.19_12c, HSG.0189.19_12c, MG.1106.19_12c, MN (0586.19_12c, 0632.19_12c) y MRC.1901.19_12c.

Al determinar el nivel de cumplimiento estadístico para las muestras en general, se establece que solamente el 1,5% de los valores satisfacen la especificación original. Sin embargo, al analizar los resultados con relación a la modificación temporal, el porcentaje de cumplimiento varía sustancialmente a valores de 95,4%.

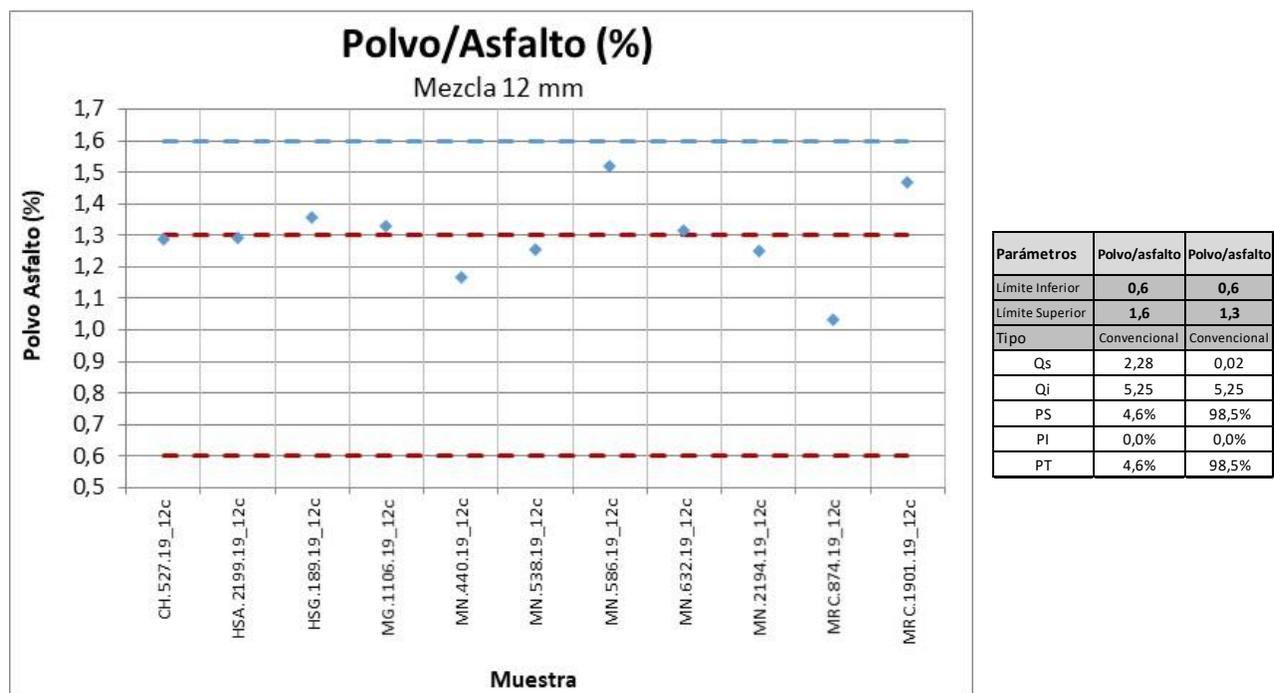


Figura 13. Relación polvo/asfalto y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 12,5mm de todas las plantas estudiadas.

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

Tal como se puede observar en la Figura 14, el 82% (9 de 11) de los resultados de polvo asfalto se concentran en la zona de menor cantidad de asfalto efectivo y mayor cantidad de polvo (malla 200), lo que provoca que la mayoría estén sobre el límite superior de la especificación regular o lo superen llegando a estar cerca del valor de 1,6%. Solamente 2 resultados reportan una cantidad de polvo menor a la media permitida, lo que les permite tener un valor de relación polvo asfalto cercano a 1%. Cabe destacar que la alta presencia de polvo y poco asfalto efectivo provocan que el mastic pueda llegar a ser muy rígido (poco dúctil) lo que permitiría que pudiese llegar a ser quebradizo, y por ende concederle propiedades quebradizas a la mezcla asfáltica durante su etapa de servicio.

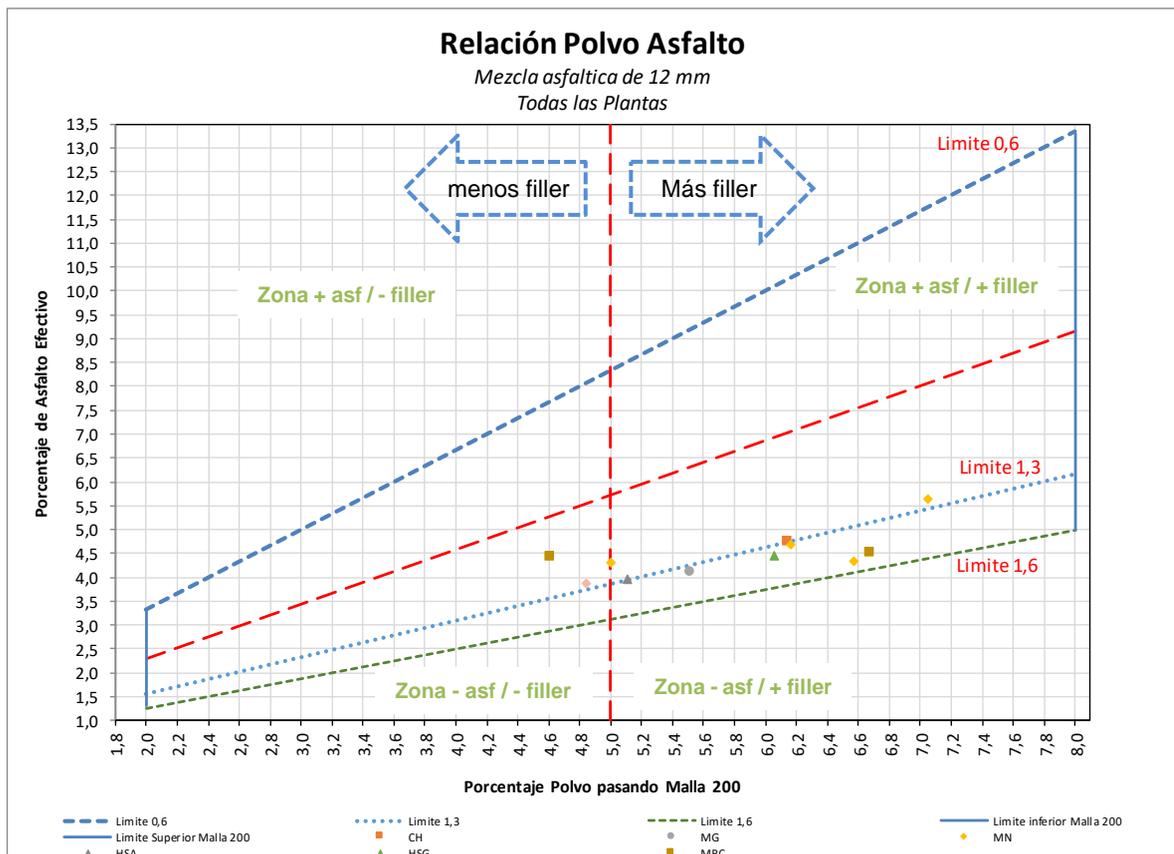


Figura 14. Relación polvo/asfalto y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 12,5mm de todas las plantas estudiadas.

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 9.

Tabla 9. Especificación de parámetros según el método Marshall

Parámetro	Especificaciones
Estabilidad (*)	Mínimo 800 kg
Flujo (*)	20 a 35 $\frac{1}{100}$ 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

§ De acuerdo a directriz del Ministro se propone este rango. Según cartel de licitación es de 0,6% a 1,3%.

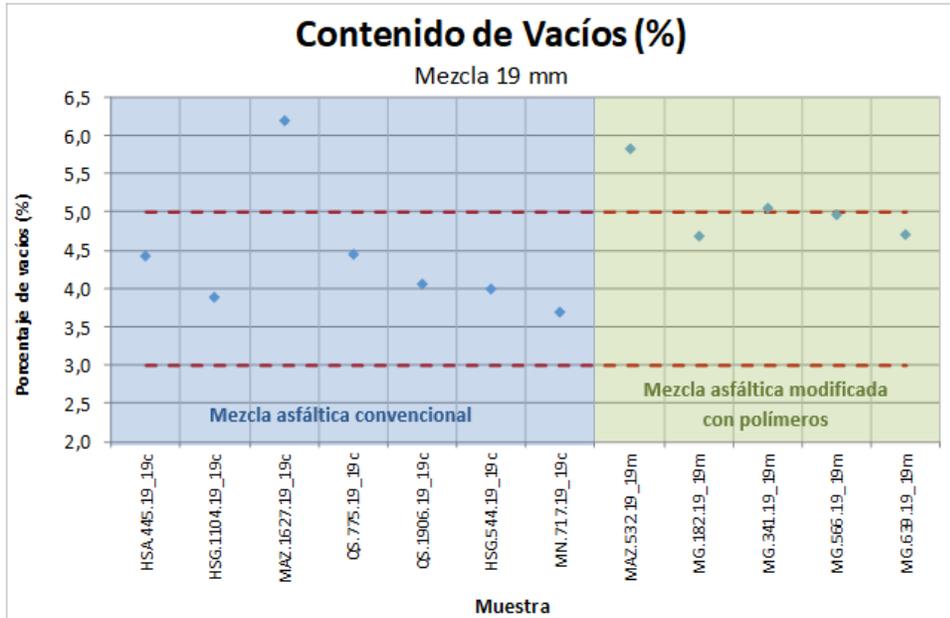
Con relación a la mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm, se realizaron muestreos en las plantas de producción establecidas para los proyectos de conservación vial de acuerdo con el detalle que se muestra en la Tabla 1. Del análisis general, se evidencia que para algunos de los parámetros de calidad establecidos para la mezcla asfáltica, se denotan incumplimientos en los parámetros que definen la volumetría de la mezcla asfáltica, siendo éstos: 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

Al analizar los resultados de las plantas de producción de mezcla asfáltica convencional presentados en la Figura 15, se determina un porcentaje de cumplimiento del 36 % debido a que uno de los valores de contenido de vacíos (MAZ.1627.19_19c) tiene un valor de 6,2% ubicándolo fuera de los límites de especificación, lo que amplía la dispersión. Los restantes resultados HSA.0445.19_19C, HSG.1104.19_19c, QS.0775.19_19c, QS.1906.19_19c, HSG.0544.19_19c y MN.0717.19_19c cumplen la especificación establecida.

En cuanto a los resultados de la mezcla asfáltica modificada con polímeros, se observa que todos los resultados se encuentran cerca (MG.0182.19_19m, MG.0566.19_19m y MG.0639.19_19m) o fuera de los límites (MAZ.0532.19_19m y MG.0341.19_19m) de especificación tal como se observa en la Figura 15, por lo que al determinar el cumplimiento estadístico de los resultados de las 5 muestras -incluidas en el estudio- se determina un cumplimiento del 7%.

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.



Parámetros	Vacíos (%)	
Límite Inferior	3,0	
Límite Superior	5,0	
Tipo	Convencional	Modificada
Qs	0,73	-0,11
Qi	1,65	4,40
PS	49,5%	91,8%
PI	14,9%	1,2%
PT	64,4%	92,9%

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

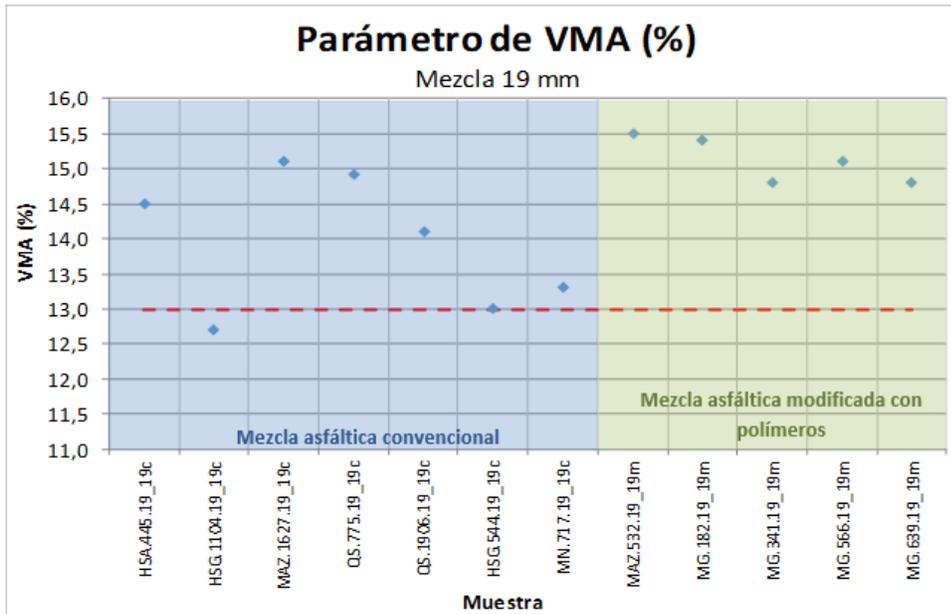
Parámetro de vacíos en el agregado mineral (VMA)

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**.

Del análisis de los resultados obtenidos para la mezcla convencional, se observa que 5 muestras cumplen con el requisito del valor mínimo, siendo las plantas HSA.0445.19_19c, MAZ.1627.19_19c, QS.775.19_19c, QS.1906.19_19c y MN.0717.19_19c. Sin embargo, el resultado de HSG.1104.19_19c, no cumple el valor mínimo de VMA y el de la planta HSG.0544.19_19c se ubica sobre el límite.

Por lo que al determinar el nivel de cumplimiento estadístico se logra establecer que el 64% de las muestras satisfacen la relación del valor requerido por la metodología Marshall.

En tanto que el cálculo del cumplimiento inferido en la mezcla modificada MAZ.0532.19_19m y MG (0182.19_19m, 0341.19_19m, 0566.19_19m y 0639.19_19m) muestra que un 100% de las muestras satisfacen la normativa, aunque cabe destacar que el valor promedio es de 15,1% valor que se podría considerar relativamente alto. Ya que a pesar de no existir una regulación para un valor máximo de VMA, hay investigadores que consideran que el valor mínimo establecido para el diseño, no debería de excederse en un máximo de 2% para evitar problemas de estabilidad en la mezcla asfáltica durante su etapa de servicio.



Parámetros	VMA (%)	
Límite Inferior	13	
Límite Superior	-	
Tipo	Convencional	Modificada
Qs	-	-
Qi	0,99	6,52
PS		
PI	36,0%	0,3%
PT	36,0%	0,3%

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

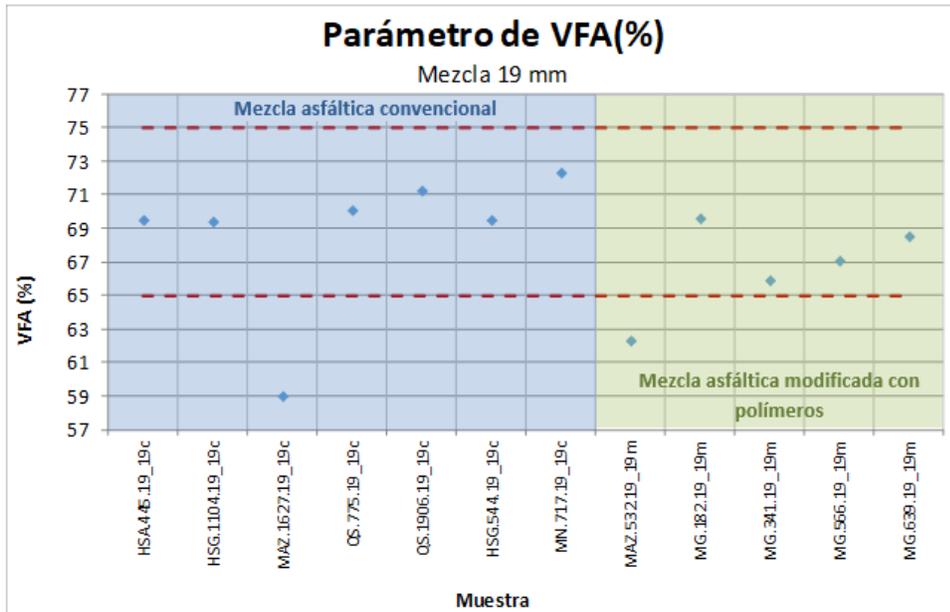
Parámetro de vacíos llenos de asfalto (VFA)

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 utilizando en sitios con condiciones de alto tránsito, por lo que se evalúa la especificación indicada.

En la mezcla asfáltica convencional se logra determinar un nivel de cumplimiento del 36% para este parámetro para las plantas HSA.0445.19_19c, HSG.1104.19_19c, QS.0775.19_19c, QS.1906.19_19c, HSG.0544.19_19c y MN.0717.19_19c, los resultados se presentan en la **Figura 17**.

Además, se observa que la muestra MAZ.1627.19_19c reporta un resultado de 59%, lo que provoca variabilidad en los resultados obtenidos.

Por su parte, la mezcla modificada con polímeros establece un nivel de cumplimiento del 37% para los resultados obtenidos, ya que la mezcla de la planta MAZ.0532.19_19m muestra un resultado de 62%. Mientras que las demás muestras de la planta MG (0182.19_19m, 0341.19_19m, 0566.19_19m y 0639.19_19m) cumplen con los límites de especificación.



Parámetros	VFA (%)	
Límite Inferior	65	
Límite Superior	75	
Tipo	Convencional	Modificada
Qs	1,42	2,95
Qi	0,84	0,60
PS	20,5%	4,2%
PI	43,3%	58,3%
PT	63,7%	62,5%

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

Se denota un comportamiento particular para la mezcla de planta de MAZ la cual para ambos tipos de mezcla muestra valores bajos de VFA con valores de 59% y 62%, lo cual puede ser incidencia de la forma del agregado y la granulometría conformada con el mismo.

Relación Polvo Asfalto

En la **Figura 18** se presentan de forma gráfica los resultados de ensayo, para el parámetro relación polvo-asfalto, cuyo valor permitido por las especificaciones se establece entre 0,6% y 1,3%². Además, de acuerdo con lo indicado en el descargo se incorpora la valoración estadística con relación a la modificación temporal establecida en 0,6% y 1,6%, así como el límite superior en la **Figura 18**.

Al evaluar los resultados de las muestras de mezcla convencional analizadas con relación a los límites originales de especificación (0,6%-1,3%) para valorar el comportamiento con el cambio de la especificación se determina que el 86% (6 de 7) de los valores de los centros de producción HSA.0445.19_19c, MAZ.1627.19_19c, QS.0775.19_19c, QS.1906.19_19c, HSG.0544.19_19c y MN.0717.19_19c, se ubican entre los valores de los límites especificados. Sin embargo, se observa que el resultado de la planta HSG.1104.19_19c reporta un valor de 1,6%, por lo cual se puede establecer un porcentaje de cumplimiento del 35%. Al determinar el porcentaje estadístico con relación al límite superior de 1,6%, se puede establecer un cumplimiento del 90%.

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

En tanto que todos los resultados de la mezcla modificada con polímero se encuentran dentro de los límites de especificación, para ambas especificaciones y para todas las plantas MAZ.0532.19_19m y MG(0182.19_19m, 0341.19_19m, 0566.19_19m y 0639.19_19m), estableciendo como porcentajes de cumplimiento de 95% y del 100%, para los límites de 1,3% y 1,6%, respectivamente.

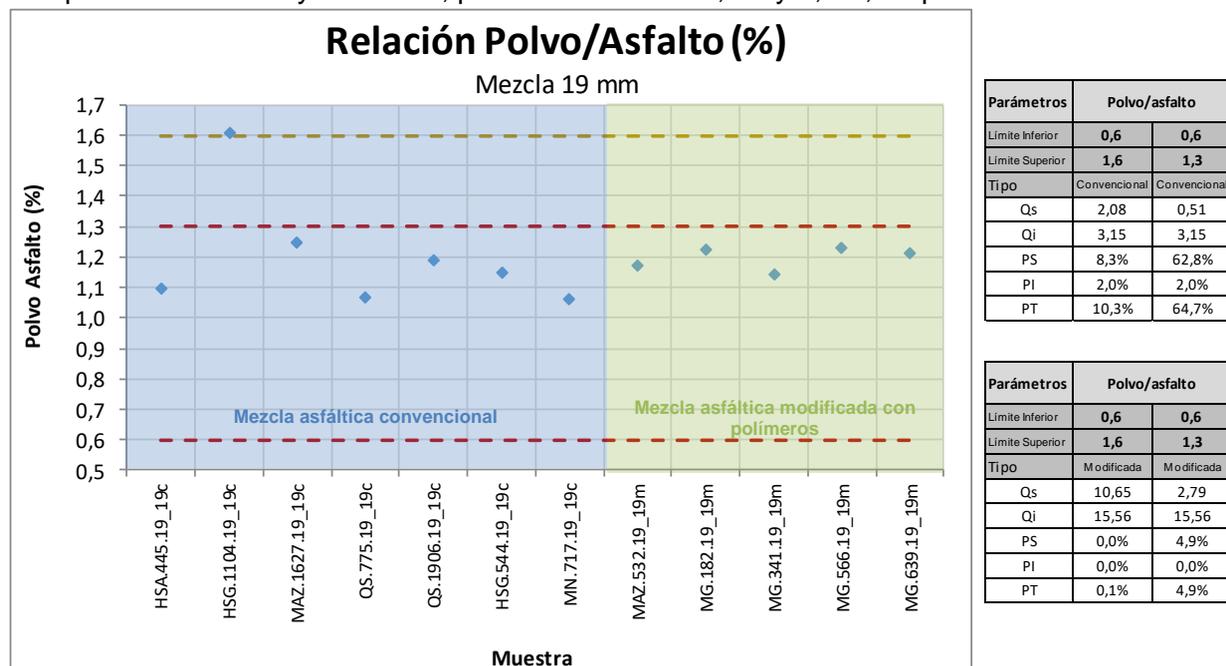


Figura 18. Relación polvo/asfalto y porcentaje fuera de especificación para las mezclas asfálticas de TMN de 19mm de todas las plantas estudiadas.

Con relación a los resultados de polvo asfalto de las mezclas de 19 mm, en la Figura 19 se observa que en este caso el 58% (7 de 12) de los valores de polvo asfalto se concentran en la zona de menor cantidad de asfalto y en la zona de una cantidad de polvo (malla 200) menor a la media permitida, lo que les permite tener un valor de relación polvo asfalto más cercana a 1%.

Sin embargo, el restante 42% de los valores de relación polvo asfalto se ubican en la zona de menor cantidad de asfalto efectivo y mayor cantidad de polvo (malla 200) lo que provoca que la mayoría estén cercanos al límite superior de 1,3% de la especificación o incluso un valor reporte de 1,6%.

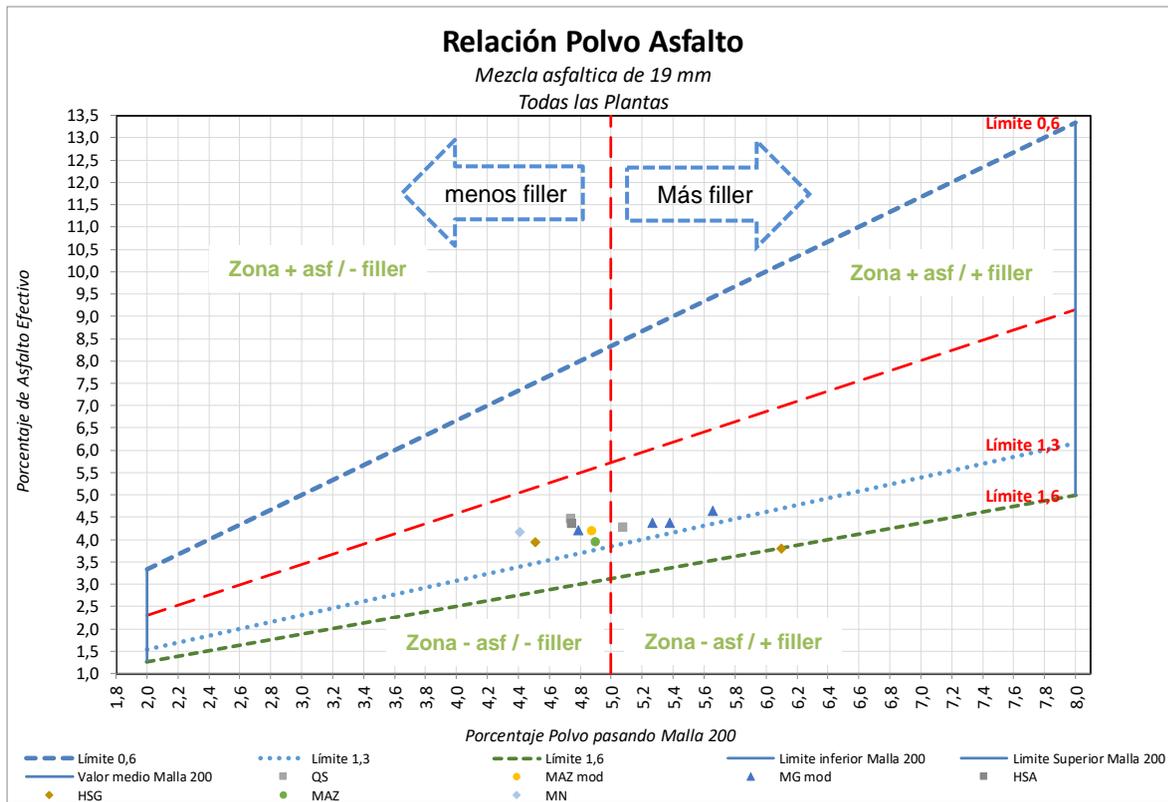


Figura 19. Representación de los parámetros de malla 200 (polvo) y contenido de asfalto efectivo comparados con los límites de especificación para todas las plantas estudiadas.

13.1. RESULTADOS DE DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

A continuación, se analizan los resultados de ensayos de desempeño empleados en mezclas asfálticas para determinar su comportamiento, 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 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).

³ Ocorre 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.

Hallazgo 4: Las mezclas asfálticas modificadas con polímero fabricadas con agregado de TMN 19mm cumplen con el criterio de deformación permanente establecido para capas de rodadura (Tipo C) tal como lo establece el cartel de conservación vial para mezclas de alto desempeño. En cuanto a las mezclas asfálticas fabricadas con asfalto convencional con agregados de TMN 12mm y TMN 19mm 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"

Tabla 10. 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

A. Mezcla asfáltica de tamaño de 12,5 mm

Para mezcla asfáltica convencional de TMN de 12,5mm, no hay establecida normativa para evaluar deformación permanente, por lo que se utiliza como referencia la normativa establecida para mezcla asfáltica de alto desempeño. Los resultados de deformación permanente procedentes del ensayo en el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), determinan que de acuerdo con la normativa mencionada todos los valores obtenidos de deformación plástica, reflejan un buen comportamiento de todos los valores obtenidos con relación a la deformación plástica para la mezcla asfáltica convencional.

Sin embargo, al detallar los resultados obtenidos se determina que las mezclas HSG.0189.19_12c y MN.2194.19_12c son las que mayores deformaciones reportan. En tanto que las mezclas MN.440.19_12c, MG.1106.19_12c y MRC.1901.19_12c, reportan una deformación intermedia con un valor promedio de 2,0 mm. Mientras que las mezclas que mejor comportamiento muestran son CH.527.19_12c, HSA.2199.19_12c, MRC.874.19_12c y MN.538.19_12c con tan solo una deformación permanente promedio de 1,4 mm.

Deformación permanente (APA)

Mezcla TMN 12,5 mm

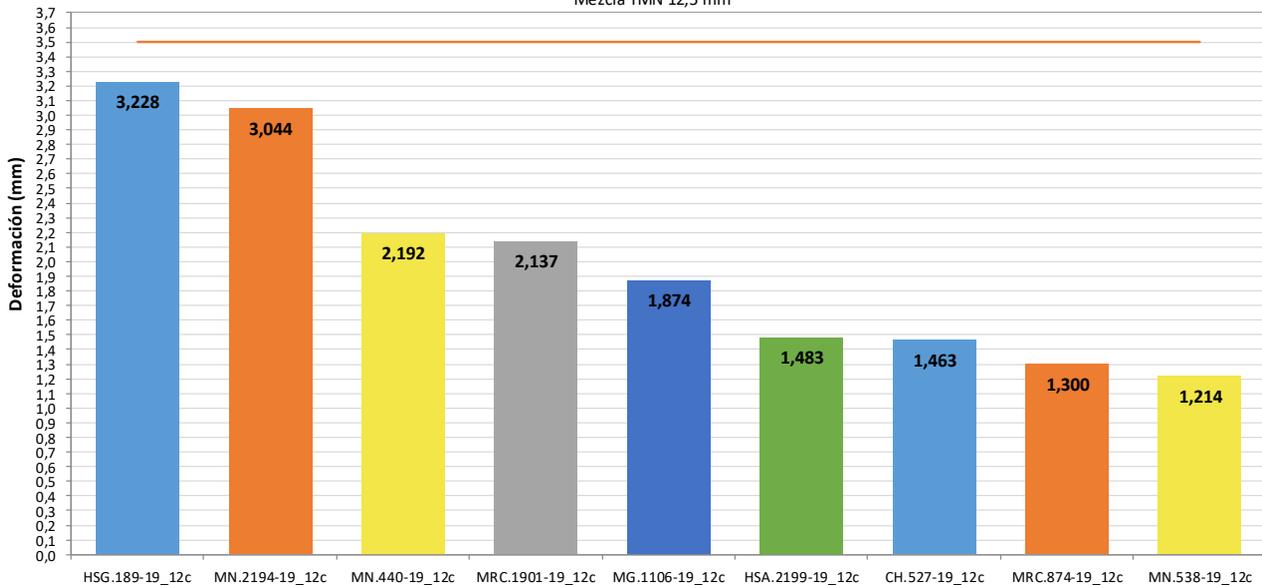


Figura 20. Resultados de deformación permanente para mezcla de tamaño de 12 mm.

B. Mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm

En cuanto al ensayo de deformación permanente para la mezcla asfáltica convencional de 19 mm, se determina un buen comportamiento de los resultados derivados del ensayo en el Analizador de Pavimentos Asfálticos (APA), al ser comparados con los criterios cartelarios considerados (ver Figura 21). Pues las muestras de las mezclas convencionales de las plantas productoras HSA.445.19_19c, HSG.1104.19_19c, MN.717.19_19c y QS (775.19_19c y 1906.19_19c) evidencian valores entre 1,5 mm a 2,7 mm para el resultado del ensayo de deformación permanente.

Cabe comentar que 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 las mezclas modificadas con polímero, se denota que las muestras analizadas cumplen con el requisito contractual establecido de deformación para capas de rodadura (Tipo C) reportando una deformación con valor promedio 1,1 mm para las muestras de MG (182.19_19m, 639.19_19m, 341.19_19m y 566.19_19m) y MAZ.532.19_19m.

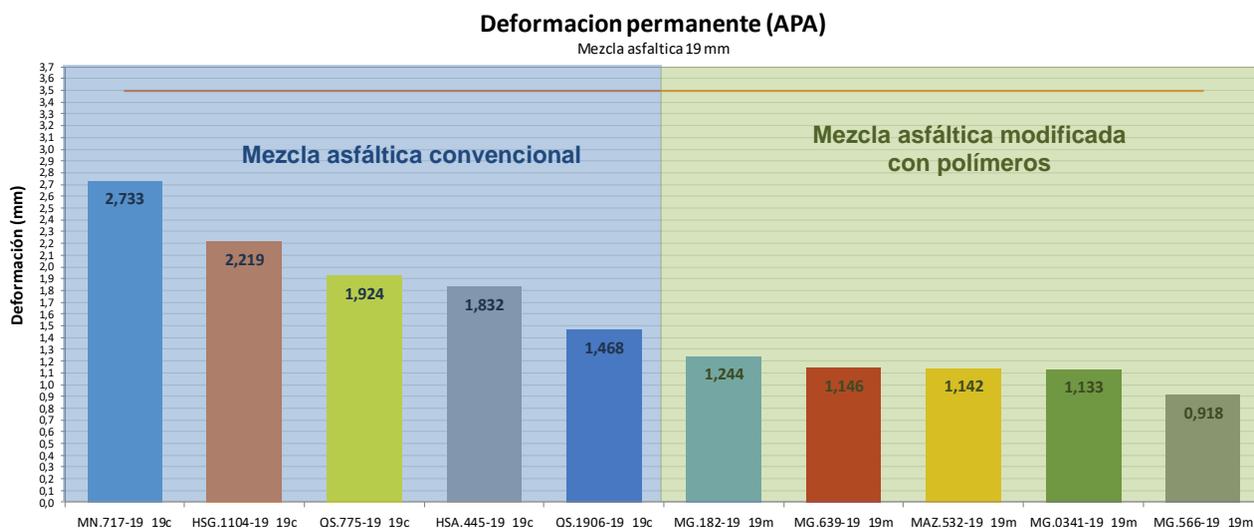


Figura 21. Resultados de deformación permanente para mezcla de tamaño de 19 mm.

C. Comparación de ambos tipos de mezcla

Al comparar los resultados de deformación permanente para la mezcla convencional de TMN 12mm, con la de TMN 19 mm, se determina que en dos centros de producción la mezcla de 12mm, demuestra un mejor comportamiento a la deformación permanente que la mezcla de 19 mm (ver Figura 22).

En el centro de producción la muestra HSA.2199.19_12c, reporta una deformación menor que la deformación obtenida por la muestra HSA.445.19_19c. Similar situación se observa para las muestras de la planta MN, en donde las muestras (2194.19_12c, 440.19_12c y 538.19_12c) de TMN12 mm determinan un valor promedio de 2,1 mm, siendo menor que el valor reportado por la muestra MN.717.19_19c de TMN19 mm.

Sin embargo, para el caso de la muestra de la planta HSG.1104.19_19c la deformación obtenida es menor, al compararla con la deformación de la muestra HSG.189.19_12c.

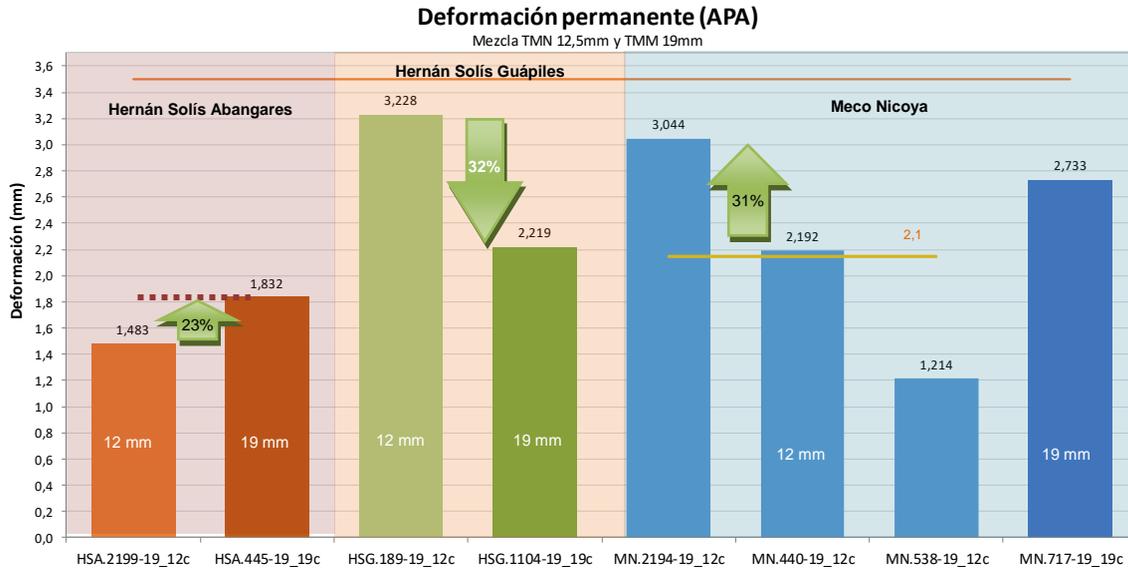


Figura 22. Resultados de deformación permanente para ambos tipos de mezcla.

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 1. 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 esta normativa es sumamente exigente, por lo que algunos estados de EU (Texas y Colorado) han establecido el límite de la especificación hasta 12,5 mm.

⁶Especificación tomada de normativa de la Ciudad de Hamburgo.

A. 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 23, se determina que el 89% de la mezcla asfáltica convencional de tamaño 12 mm resiste satisfactoriamente la deformación, esto demuestra que las mezclas asfálticas analizadas son competentes ante el daño por deformación permanente o ahuellamiento y cumplen el criterio de referencia utilizado en el presente análisis. Sin embargo, la mezcla de MN. 2194.19_12c denota una mayor deformación a la permitida, pero según el resultado se considera que no es afectada por el daño por humedad.

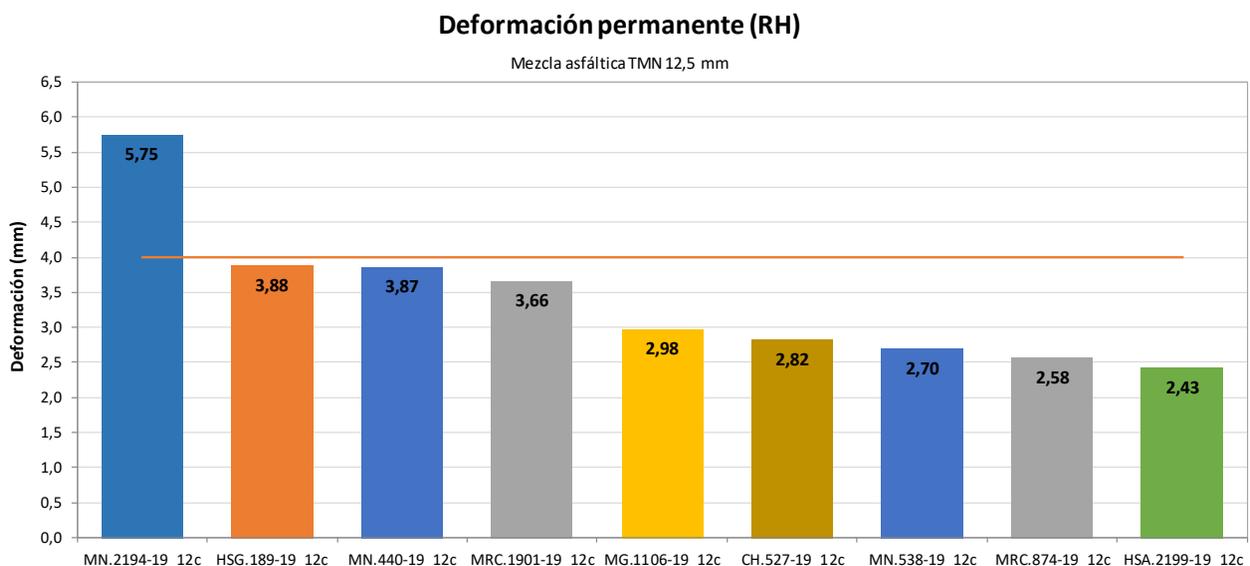


Figura 23. Resultados de Rueda Hamburgo para mezcla de tamaño de 12 mm.

B. 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 las plantas de HSA.445.19_19c, HSG.1104.19_19c, MN.717.19_19c y QS (1906.19_19c y 775.19_19c) tienen una deformación promedio de 3,3 mm.

Por su parte las mezclas modificadas con polímeros MG (182.19_19m, 341.19_19m, 566.19_19m y 639.19_19m) y MAZ.532.19_19m determinan valores menores de deformación, con un promedio aproximado de deformación de 1,9 mm.

Al comparar los resultados, se denota que las mezclas convencionales muestran valores mayores de deformación permanente que las mezclas modificadas. Al contrastar los resultados con otros criterios internacionales, la deformación reportada es sumamente competente.

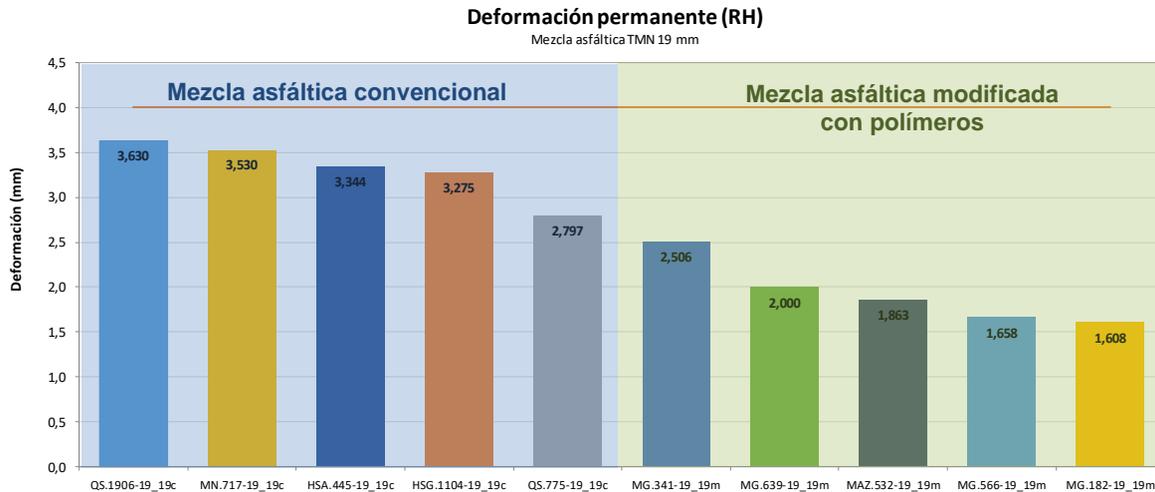


Figura 24. Resultados de Rueda de Hamburgo para mezcla de tamaño de 19 mm.

C. Comparación de ambos tipos de mezcla

Al efectuar una comparación del efecto del tamaño de agregado en los resultados del Ensayo de Rueda de Hamburgo, se denota que para las muestras de la planta HSG.1104.19_19c y HSG.189.19_12c, que la mezcla asfáltica convencional con agregado de TMN de 19mm reporta un mejor valor a la resistencia a la deformación, que la mezcla del mismo tipo pero con agregado TMN de 12,5mm, la cual presenta una mayor deformación.

Por su parte para la planta MN, las muestras de TMN de 12 mm (2194.19_12c, 440.19_12c y 538.19_12c) determinan un promedio aproximado de 4mm, siendo mayor deformación que la reportada por la mezcla MN.717.19_19c de TMN de 19mm; sin embargo, hay que tener en cuenta que 2 de las muestras de 12mm tienen un comportamiento similar a la de 19mm, en cuanto a deformación.

Solo para las muestras de la planta HSA.445.19_19c la mezcla convencional de 19 mm reporta una mayor deformación en relación a la muestra HSA.2199.19_12c de 12 mm.

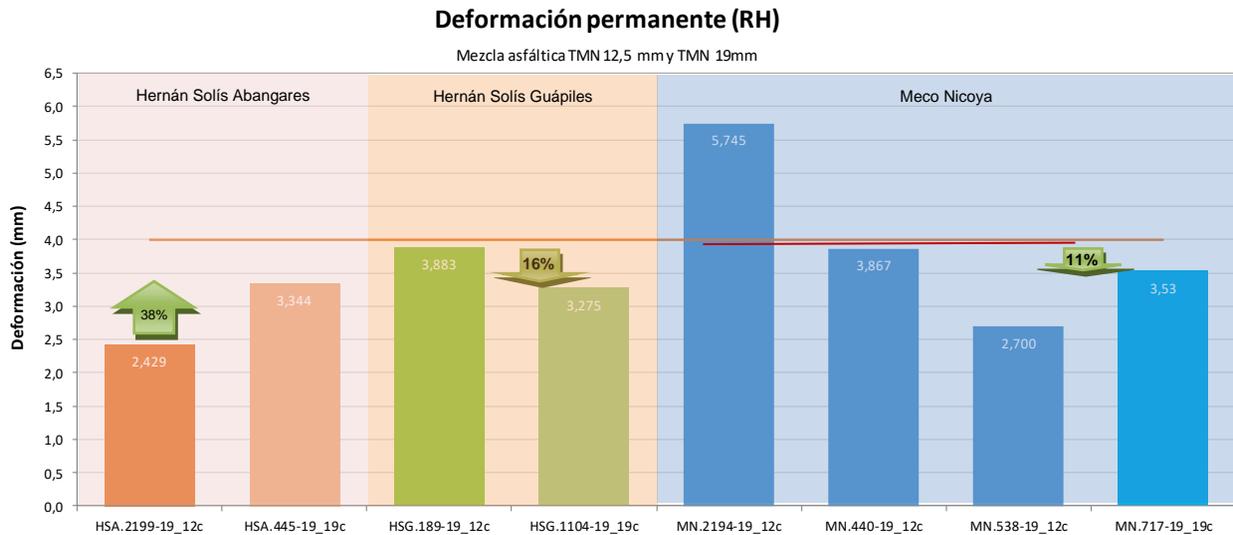


Figura 25. Resultados de Rueda Hamburgo para ambos tipos de mezcla.

SOBRE EL NÚMERO DE FLUJO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

La deformación en la carpeta asfáltica es causada principalmente por la repetición de cargas de tráfico que producen 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 número de flujo (Flow Number). 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 Número de Flujo denota el número de ciclos después de los cuales el asfalto experimenta la deformación. El Número de Flujo 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 una temperatura específica 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 Número de Flujo.

Observación 2. Se evidencia que algunas 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 Número de Flujo.

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 alto (tránsito mayor a 30 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 establecen 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 Número de Flujo.

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

A. Mezcla asfáltica de tamaño de 12,5 mm

Los resultados de ensayo de número de flujo presentados en la Figura 26, muestran que el 60% (5 de 9) de las muestras de la mezcla asfáltica convencional producidas en MN.440.19_12c, HSG.189.19_12c, MRC.1901.19_12c y MN.2194.19_12c solamente alcanzan entre un 0,6 a 0,9 de la cantidad de ciclos estipulados en la normativa de referencia evaluada. Sin embargo, las mezclas asfálticas de MN.538.19_12c, CH.527.19_12c, MRC.874.19_12c, HSA.2199.19_12c y MG.1106.19_12c demuestran soportar mayor cantidad de ciclos tipificados desde el doble hasta 14 veces el valor recomendado.

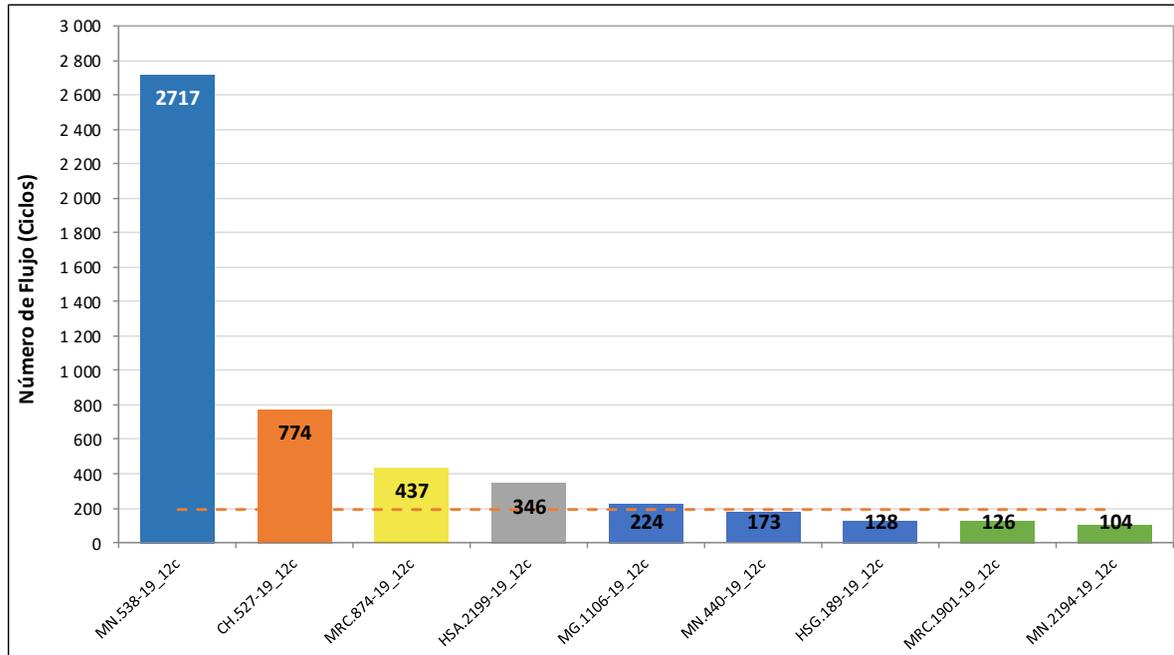


Figura 26. Numero de Flujo de la mezcla asfáltica de tamaño de 12 mm.

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

B. Mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm

Los resultados de ensayo de la mezcla de 19 mm evidencian que la mezcla producida con polímero en las plantas MG.182.19_19m, MAZ.532.19_19m, MG.566.19_19m y MG.341.19_19m, tiene una capacidad de soportar desde 8 hasta 16 veces más la cantidad mínima de ciclos establecidos para el parámetro de Número de Flujo (Figura 27).

En cuanto a las mezclas convencionales se observa que la de la planta QS.775.19_19c y la de la planta HSG.1104.19_19c muestran una capacidad de soporte de 6 y 2 veces, respectivamente, la cantidad mínima de ciclos indicados en los requisitos de referencia. Por su parte las mezclas HSA.445.19_19c y QS.1906.19_19c no cumplen con el valor de referencia evaluado.

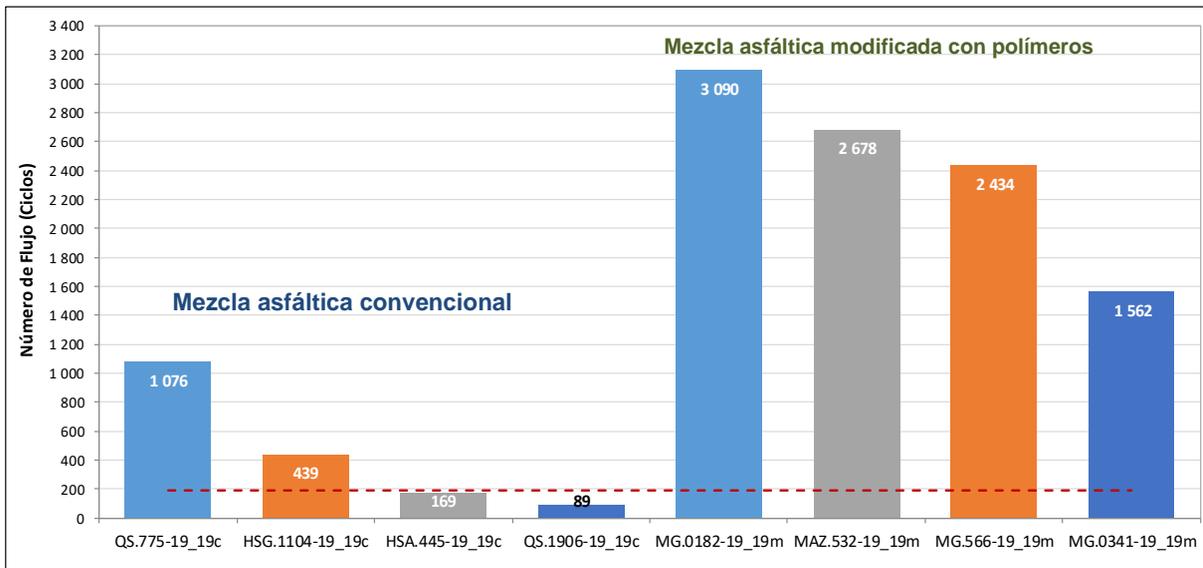


Figura 27. Número de Flujo de la mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm.

C. Comparación de ambos tipos de mezcla

Al efectuar una comparación de los resultados de Número de Flujo obtenidos para ambos tamaños (12 y 19 mm) de mezclas elaboradas con asfalto convencional, no se denota una ventaja comparativa entre un tipo de tamaño de mezcla sobre otra.

De la figura 28, se observan 3 resultados (MN.538.19_12c, QS.775.19_19c y CH.527.19_12c) con valor promedio de 1500 repeticiones, 2 de los cuales son en mezclas de 12 mm. Posteriormente en un ámbito medio de valores se observan 4 muestras (HSG.1104.19_19c, MRC.874.19_12c, HSA.2199.19_12c y MG.1106.19_12c) con un valor promedio de 360 repeticiones se observan mezclas de ambos tipos.

Y finalmente, se determinan 2 mezclas de tamaño de 19 mm (HSA.445.19_19c y QS.1906.19_19c) y 4 mezclas de 12 mm (MN.440.19_12c, HSG.189.19_12c, MRC.1901.19_12c y MN.2194.19_12c) que no cumplen el valor de referencia con el que se compara el desempeño de las mezclas asfálticas.

El análisis anterior, lleva a concluir que la mezcla de 19 mm no muestra una ventaja definitiva sobre la mezcla de 12 mm, ya que la muestra MN.538-19_12c es la que mayor cantidad de ciclos resiste. En tanto que la que menor cantidad de ciclos soporta es la mezcla QS.1906.19_19c.

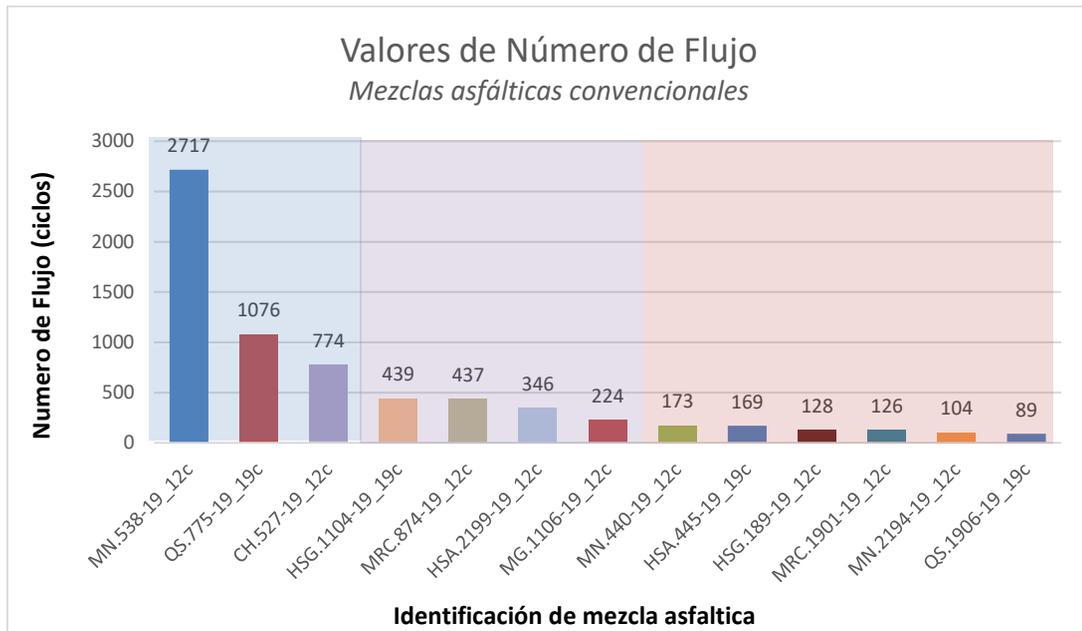


Figura 28. Número de Flujo para ambos tipos de mezcla asfáltica convencional.

COMPARACIÓN GENERAL DE LOS ENSAYOS DE DEFORMACIÓN PERMANENTE

Con el fin de comparar el desempeño general de las mezclas asfálticas evaluadas mediante los ensayos que determinan la deformación permanente de la mezcla, se tabulan en las tablas A y B los diversos resultados reportados de los diferentes ensayos realizados: Analizador de Pavimentos (APA), Rueda de Hamburgo y Número de Flujo. Posteriormente se le da una clasificación a cada una de las muestras analizadas, para finalmente obtener un valor ponderado con el cual se clasifica el desempeño a la deformación permanente de las mezclas analizadas.

A. Mezcla asfáltica de 12,5 mm

De la Tabla 12 se denota que las 3 muestras de mezcla provenientes del centro de producción de Nicoya muestran un comportamiento variable, ya que así a como la muestra del MN.538-19_12c (marzo 2019) presenta tener en términos generales, el mejor comportamiento ante la deformación permanente en los tres ensayos. Sin embargo, la muestra MN.2194-19_12c de mezcla asfáltica del mes de octubre 2019, es la que determina ser la más susceptible a la deformación permanente, mostrando las mayores deformaciones.

De acuerdo con la clasificación mostrada en la Tabla 12, se puede establecer que las muestras de mezcla asfáltica MRC.874, HSA.2199 y CH.527 -todas de TMN de 12mm-, exhiben tener una buena

capacidad de soporte a la deformación permanente. Sin embargo, las mezclas MN.440, HSG.189 y MRC.1901 muestran ser un poco más susceptibles a la deformación permanente.

Tabla 12. Comparación de resultados para diferentes ensayos de deformación permanente, TMN 12mm.

Planta de producción	Identificación	Clasificación APA	Deformación APA (mm)	Clasificación RH	Deformación Rueda Hamburgo (mm)	Clasificación FN	Numero de flujo (Ciclos)	Promedio General
Meco Nicoya 12 mm Marzo 2019	MN.538-19_12c	1	1,214	3	2,700	1	2717	1,7
Meco Río Claro 12 mm Mayo 2019	MRC.874-19_12c	2	1,300	2	2,575	3	437	2,3
Hernán Solís Abangares 12 mm Octubre 2019	HSA.2199-19_12c	4	1,483	1	2,429	4	346	3,0
Constructora Herrera 12 mm Marzo 2019	CH.527-19_12c	3	1,463	4	2,820	2	774	3,0
Meco Guápiles 12 mm Junio 2019	MG.1106-19_12c	5	1,874	5	2,981	5	224	5,0
Meco Río Claro 12 mm Setiembre 2019	MRC.1901-19_12c	6	2,137	6	3,663	8	126	6,7
Meco Nicoya 12 mm Febrero 2019	MN.440-19_12c	7	2,192	7	3,867	6	173	6,7
Hernán Solís Guápiles 12 mm Enero 2019	HSG.189-19_12c	9	3,228	8	3,883	7	128	8,0
Meco Nicoya 12 mm Octubre 2019	MN.2194-19_12c	8	3,044	9	5,745	9	104	8,7

B. Mezcla asfáltica de 19 mm

Del análisis de los resultados de deformación permanente de la mezcla convencional presentados en la Tabla 13 en color azul, se denota que la mezcla producida en la planta de Quebradores del Sur, para la mezcla QS.775_19c (Abril 2019) muestra un adecuado soporte de ciclos de carga ante la deformación permanente; sin embargo, el promedio general muestra que la mezcla QS.1906_19c (Agosto 2019) es la más susceptible a la deformación de las mezclas convencionales. Por su parte las muestras HSG.1104_19c y HSA.445_19c presentan un valor mayor para el índice establecido, mostrando ser mezclas susceptibles a la deformación permanente.

Por otra parte, las mezclas asfálticas modificadas producidas en la planta de Meco ubicada en Guápiles (182_19m y 566_19m) presentan índices calculados que muestran una buena resistencia a la deformación permanente. Por su parte la muestra 532_19m de la planta Meco de Aguas Zarcas muestra ser un poco más susceptible a la deformación permanente. No obstante, se puede establecer (de acuerdo al índice) que la muestra MG.341_19m de febrero de 2019 es la más susceptible a la deformación permanente, que las demás muestras.

Tabla 13. Comparación de resultados para diferentes ensayos de deformación permanente, TMN 19mm.

Planta de producción	Identificación	Clasificación APA	Deformación APA (mm)	Clasificación RH	Deformación Rueda Hamburgo (mm)	Clasificación FN	Flow Number (Ciclos)	Ponderado General
Quebradores del Sur 19 mm Abril 2019	QS.775-19_19c	3	1,924	1	2,797	1	1076	1,0
Hernán Solís Guápiles 19 mm Junio 2019	HSG.1104-19_19c	4	2,219	2	3,275	2	439	5,3
Hernán Solís Abangares 19 mm Marzo 2019	HSA.445-19_19c	2	1,832	3	3,344	3	169	6,0
Quebradores del Sur 19 mm Agosto 2019	QS.1906-19_19c	1	1,468	5	3,630	4	89	6,7
Meco Nicoya 19 mm Abril 2019	MN.717-19_19c	5	2,733	4	3,530	-	-	na
Meco Guápiles 19 mm Enero 2019	MG.0182-19_19m	5	1,244	1	1,608	1	3090	1,7
Meco Guápiles 19 mm Marzo 2019	MG.566-19_19m	1	0,918	2	1,658	3	2434	2,0
Meco Aguas Zarcas 19 mm Marzo 2019	MAZ.532-19_19m	3	1,142	3	1,863	2	2678	6,0
Meco Guápiles 19 mm Febrero 2019	MG.0341-19_19m	2	1,133	5	2,506	4	1562	13,3
Meco Guápiles 19 mm Marzo 2019	MG.639-19_19m	4	1,146	4	2,000	-	-	na

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 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)

Hallazgo 5: Algunas de las mezclas asfálticas fabricadas con asfalto modificado no cumplen con el requisito de resistencia a la fatiga establecido para mezclas asfálticas de alto desempeño. Con relación a las mezclas asfálticas convencionales se observa que algunas de las muestras 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_0) 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 14.

La especificación para el ensayo de falla por fatiga establece lograr una serie de cargas cíclicas que inducen una deformación unitaria constante (400 μ s y 600 μ s) en una viga de mezcla asfáltica, tal como se indica en la Tabla 14. Por lo que los puntos establecidos en la especificación⁸ se pueden representar como una línea recta en un eje logarítmico (Figura 29.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 29.b.

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

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

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 14. 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		≥ 450 000	≥ 450 000	≥ 300 000
600 E-6 mm/mm		≥ 50 000	≥ 50 000	≥ 30 000

El plano de la especificación (Figura 29.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).

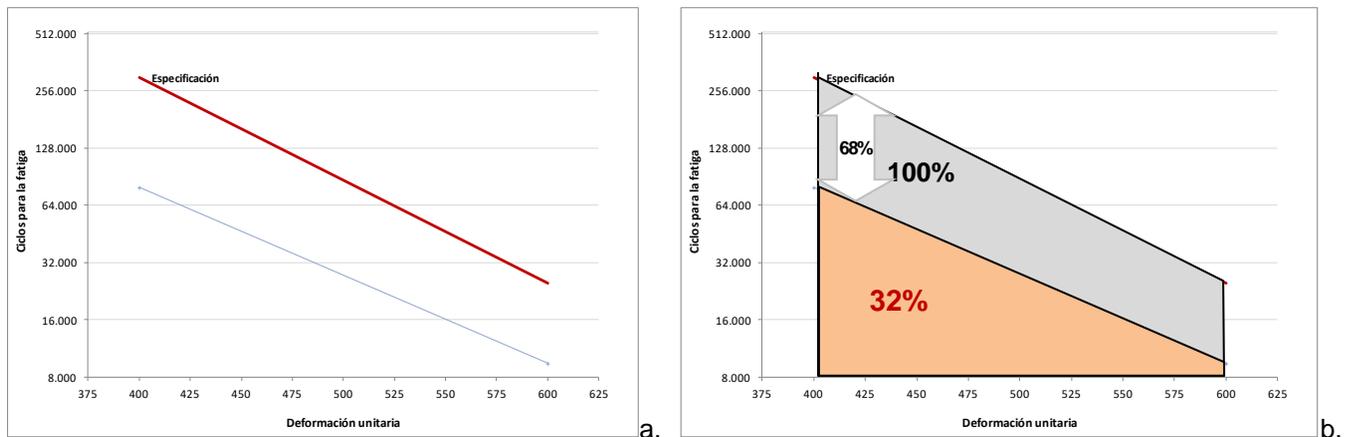


Figura 29. Área de la figura geométrica formada por la especificación de fatiga.

A. Mezcla asfáltica de tamaño de 12,5 mm

Los resultados del ensayo a fatiga para la mezcla asfáltica de tamaño 12 mm, establecen que el 77% de los valores individuales (14 de 18) 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 y e de la Figura 30.

Del análisis de los resultados obtenidos para las mezclas asfálticas producidas con ligante asfáltico convencional, se determina que 6 de las muestras analizadas se encuentran por debajo de la especificación utilizada para comparación. Lo que establece que algunas de las mezclas producidas en plantas como MN, MG, MRC CH y HSA tienen entre un 19% y un 55% de la capacidad para soportar las magnitudes de fatiga de referencia. No obstante, la mezcla asfáltica convencional producida en la planta MRC (874.19_12c) cumple los requisitos establecidos para una mezcla designación D, tal como se aprecia en la Figura 30.e.

Por su parte, 2 muestras de las analizadas cumplen con alguno de los requisitos valorados, por lo que, con algunas modificaciones en los componentes de la mezcla asfáltica, podrían mejorar su capacidad de soporte a la fatiga. De forma tal que la mezcla de HSG.189.19_12c convencional requeriría aumentar su capacidad de soporte en una magnitud aproximada del 10% (en la deformación de 400 μ s) para cumplir con ambos requisitos de resistencia a la fatiga, como se observa en la Figura 30.d. Por su parte la mezcla producida en MN.440.19_12c convencional requeriría aumentar su capacidad de fatiga (en la deformación de 600 μ s) en una magnitud aproximada del 45%, para cumplir con ambos requisitos (Figura 30.e).

La mayoría de estos resultados obtenidos; 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 con mezcla fabricada con asfalto convencional en los proyectos de conservación vial.

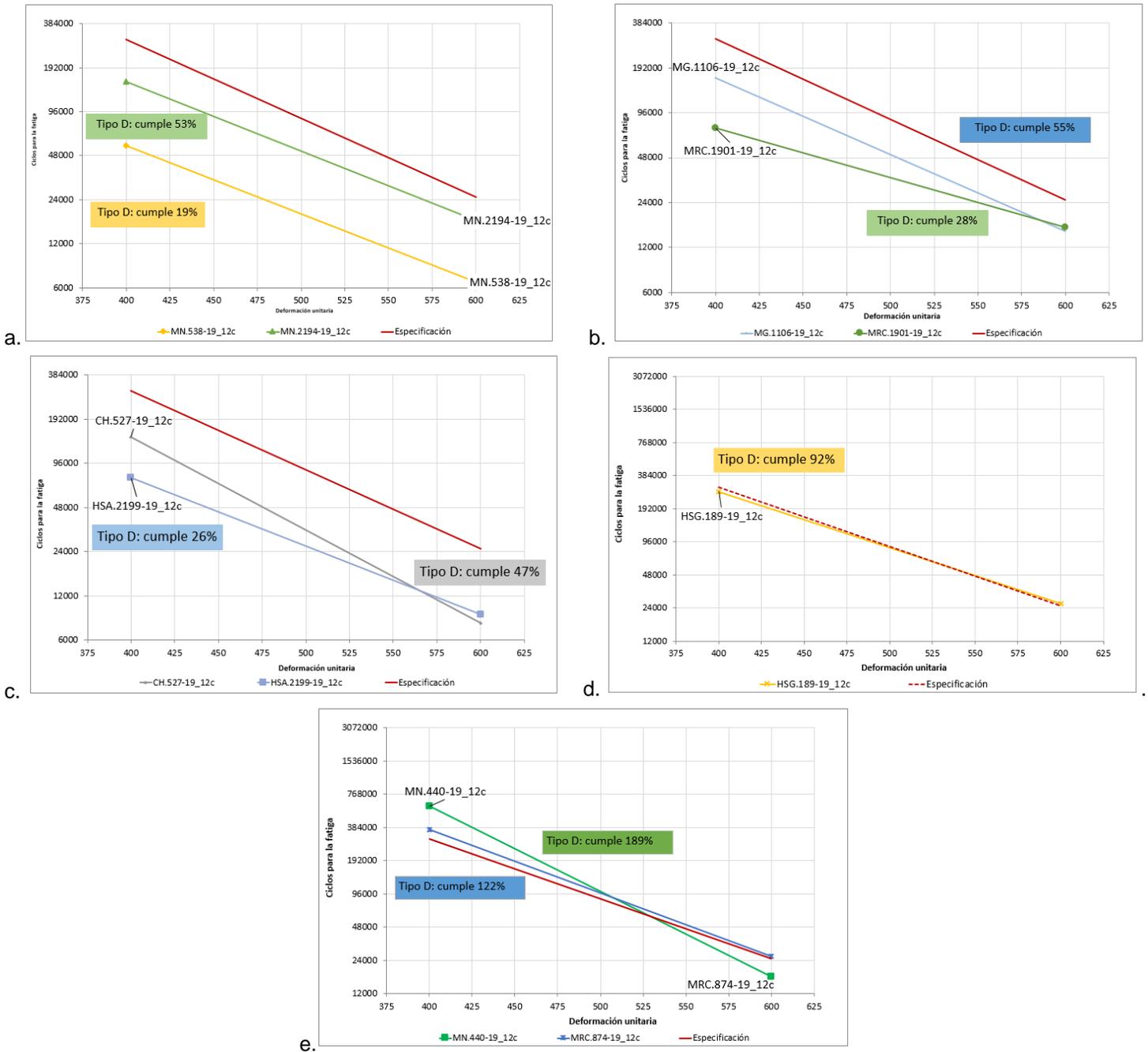


Figura 30. Resultados del ensayo de fatiga para la mezcla de 12,5 mm.

B. Mezcla asfáltica de tamaño de 19 mm

Respecto a los resultados de capacidad de resistir fatiga obtenidos para la mezcla asfáltica convencional de tamaño de 19 mm, se evidencia que el 60% (6 de 10) de los resultados individuales se encuentran por debajo de los requisitos de la especificación establecida.

No obstante, se denota que una de las mezclas producidas con asfalto convencional en la planta de QS.775.19_19c (Figura 31b.) demuestra tener una resistencia a la fatiga superior a los requisitos estipulados en la normativa de referencia, tanto así que superan los valores establecidos para la especificación en un 54%.

Las restantes mezclas asfálticas producidas de las plantas HSA.445_19c, HSG.1104_19c y QS.1906.19_19c mantienen valores inferiores a los utilizados como referencia en este estudio, tal como se ejemplifica en las Figura 31a, b. y c, logrando abarcar solamente 50%, 41% y 37% respectivamente.

Mezcla modificada

Por su parte, la mezcla asfáltica modificada con polímero sí debe cumplir con la disposición de fatiga para mezclas asfálticas de alto desempeño indicada en el cartel de licitación. Por lo que de los resultados se denota que las mezclas producidas con asfalto modificado con polímero en la planta de MG.182.19_19m, MG.566.19_19m y MAZ.532.19_19c (Figuras 31 e, f. y d.) cumplen con ambos valores de la especificación de referencia de fatiga, superando el requisito solicitado en un 83%, 38% y 33%, respectivamente.

Sin embargo, la muestra MG.341.19_19m, a pesar de superar la deformación de 400 μ s, incumple la especificación de 600 μ s en una magnitud de 14%. Por su parte la muestra MG.639.19_19m incumple ambos valores de la especificación en una magnitud, respectivamente, de 1% y 9% los valores de ensayo de 400 μ s y 600 μ s.

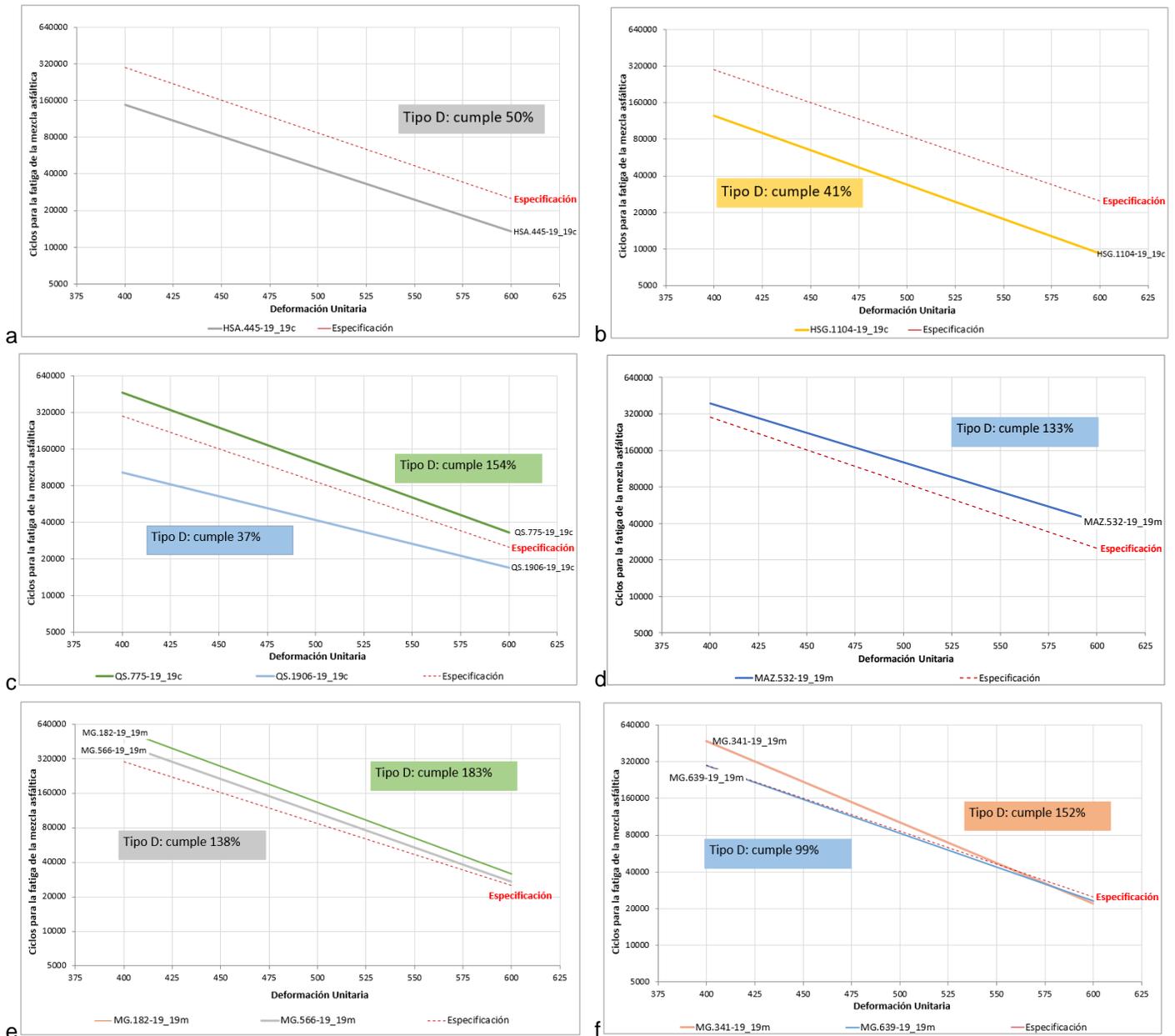


Figura 31. Resultados del ensayo de fatiga para la mezcla de 19 mm.

SEGUNDA PARTE

14. ANALISIS MECANÍSTICO-EMPÍRICO DE DESEMPEÑO DE RESULTADOS

Los ensayos de desempeño que se realizan a la mezcla asfáltica permiten predecir su comportamiento durante la etapa de servicio, en función de la cantidad de tránsito esperado, la velocidad de circulación y el clima, entre otros elementos que se deben considerar. En las secciones siguientes se analizan los resultados de desempeño obtenidos para las mezclas fabricadas en las plantas de producción que se estudian en las secciones precedentes.

Los modelos de análisis de predicción de deterioros han logrado establecer una relación directa entre las propiedades del material de la MAC y el desempeño del pavimento, que puede ser usado después de que la mezcla se ha diseñado. Lo cual permite predecir el desempeño (fatiga, agrietamiento y deformación permanente) de un pavimento incorporando las características específicas (contenido de asfalto, cantidad de vacíos, asfalto efectivo) de una mezcla asfáltica en caliente.

Es por esto que en las Tabla 15 y Tabla 16, se detallan los resultados de los ensayos Marshall para las muestras analizadas en el presente informe, como parte de las principales características físicas y mecánicas de la mezcla asfáltica.

Tabla 15. Resultados de ensayo Marshall a la mezcla asfáltica de 12 mm.

Informe	Planta	Abreviación	Fecha de muestreo	Asfalto (PTM) %	Asfalto efectivo %	Vacíos %
				-	-	3
				-	-	5
I-1109-19	Constructora Herrera	CH.527.19_12c	12/03/2019	6,05	4,78	4,95
I-0215-19	Hernán Solís Guápiles	HSG.189.19_12c	25/01/2019	5,90	4,46	3,88
I-1567-19	Meco Guápiles	MG.1106.19_12c	12/06/2019	5,53	4,15	4,92
I-1094-19	MECO Nicoya	MN.440.19_12c	28/02/2019	6,00	4,29	5,29
I-1112-19	MECO Nicoya	MN.538.19_12c	14/03/2019	4,76	3,86	5,36
I-1860-19	MECO Río Claro	MRC.1901.19_12c	11/09/2019	5,77	4,54	4,34
I-1398-19	MECO Río Claro	MRC.874.19_12c	06/05/2019	5,85	4,46	5,51

Tabla 16. Resultados de ensayo Marshall a la mezcla asfáltica de 19 mm.

Informe	Planta	Abreviación	Fecha de muestreo	Asfalto (PTM) %	Asfalto efectivo %	Vacíos %
<i>Límite Inferior</i>				-	-	3
<i>Límite Superior</i>				-	-	5
I-1095-19	Hernán Solís Abangares	HSA.445.19_19c	01/3/2019	5,58	4,35	4,43
I-1565-19	Hernán Solís Guápiles	HSG.1104.19_19c	12/6/2019	5,45	3,80	3,90
I-1859-19	Quebradores del Sur	QS.1906.19_19c	12/9/2019	5,47	4,27	4,06
I-1397-19	Quebradores del Sur	QS.775.19_19c	25/4/2019	5,87	4,45	4,46
I-1111-19	Meco Aguas Zarcas	MAZ.532.19_19m	12/3/2019	5,58	4,18	5,83
I-0214-19	Meco Guápiles	MG.182.19_19m	25/1/2019	5,69	4,63	4,69
I-0288-19	Meco Guápiles	MG.341.19_19m	19/2/2019	5,24	4,22	5,06
I-1168-19	Meco Guápiles	MG.566.19_19m	19/3/2019	5,40	4,38	4,97
I-1266-19	Meco Guápiles	MG.639.19_19m	28/3/2019	5,50	4,36	4,70

Observación 3. Se determina que las mezclas asfálticas analizadas tienen mayor resistencia a la deformación permanente y reducida resistencia para soportar deterioro por fatiga.

ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Las actuales metodologías de diseño de pavimentos están basadas en principios mecánicos empíricos, en donde las deformaciones y esfuerzos críticos producidos por las cargas de vehículos y el medio ambiente, son calculados usando la teoría mecanicista. Estos son relacionados empíricamente a los deterioros tales como deformaciones y agrietamientos en el pavimento. La anterior metodología utilizada (AASSHTO 93) está basada en ecuaciones limitadas de desempeño del pavimento. (NCHRP Report 673)

Los actuales modelos de predicción de deterioros han sido calibrados usando gran cantidad de datos, de secciones de pavimento de Norteamérica, lo que lo ha convertido en una potente herramienta de análisis. Además, permite establecer una relación entre las propiedades del material de la MAC y el desempeño del pavimento, que puede ser usado después de que la mezcla se ha diseñado, para verificar si esta puede proveer un desempeño aceptable para el sitio donde se va a colocar. (NCHRP Report 673)

Estas metodologías permiten predecir el desempeño (fatiga, agrietamiento y deformación permanente) de un pavimento incorporando características específicas de una mezcla asfáltica en caliente. Además, permiten diseñar una estructura nueva de pavimento o una rehabilitación de una estructura existente. (NCHRP Report 673)

A. Resistencia de la mezcla asfáltica al agrietamiento por fatiga

Para efectuar el análisis de desempeño de ambos tipos de mezcla asfáltica (12 mm y 19 mm, convencional y modificada), inicialmente se considera que la temperatura de la mezcla asfáltica se mantiene a 25°C, para una velocidad de operación de 60 km/h. Además, se establece un paquete estructural típico invariante como se presenta en la Figura 32, considerando únicamente las propiedades particulares de cada una de las mezclas asfálticas producidas en planta y analizadas en el presente informe, tales como contenido de vacíos, asfalto efectivo y módulo dinámico, entre otras.

10 cm	Carpeta asfáltica módulo = variable	Contenido de vacíos Asfalto efectivo Módulo Dinámico
20 cm	Base Granular módulo = 36,000 psi	
30 cm	Sub base Granular módulo = 15,000 psi	
infinito	Sub rasante módulo = 5,000 psi	

Figura 32. Paquete estructural utilizado para el análisis del desempeño de la MAC

Basándose en esta información, utilizando el software 3D Move y aplicando la metodología de diseño de pavimentos mecanístico-empírica (MEPDG⁹) indicada en el Anexo A, se estima la cantidad de "ciclos de carga vehicular" que se requieren para generar el origen del agrietamiento en la parte inferior de la carpeta asfáltica.

TEMPERATURA DE DISEÑO (25°C)

De dichas gráficas se denota que, de acuerdo con las propiedades específicas de las mezclas asfálticas analizadas las mezclas que resisten una mayor cantidad de circulación vehicular, aproximadamente 2 millones, antes del inicio del deterioro por agrietamiento a fatiga, son las muestras de las plantas de HSG.189.19_12c y QS.775.19_19c para una temperatura de 25°C.

⁹ Guía de Diseño de Pavimentos Mecanístico-Empírica, denominada por sus siglas en inglés MEPDG.

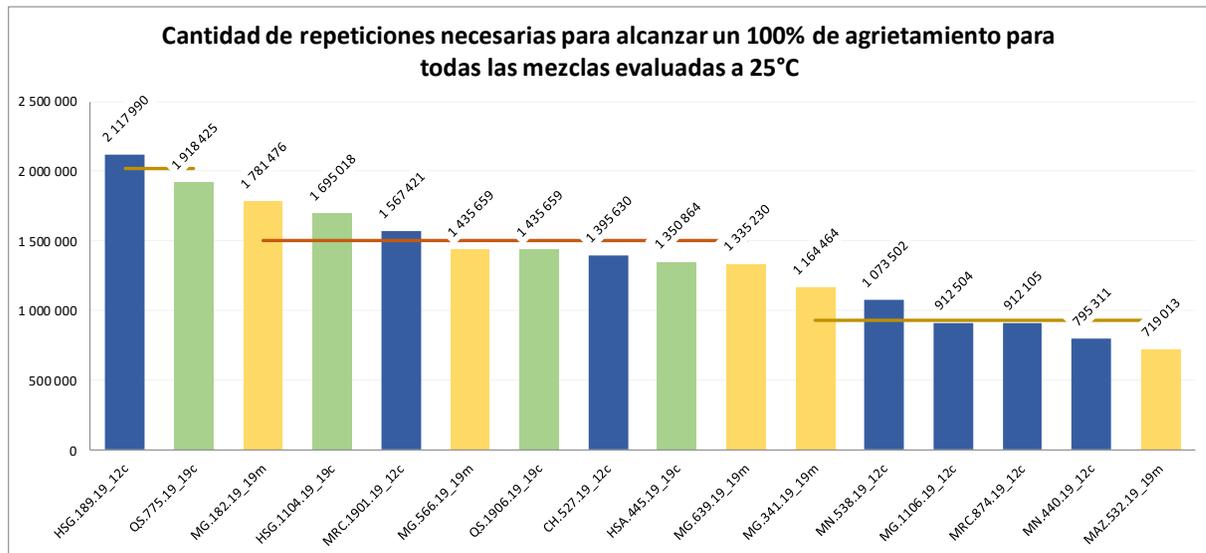


Figura 33. Cantidad de ciclos para producir agrietamiento por fatiga en la carpeta asfáltica.

En tanto que las mezclas producidas en las plantas MG.341_19m, MN.538_12c, MG.1106.19_12c, MRC.874.19_12c, MN.440.19_12c y MAZ.532.19_19m, con una tendencia a soportar una menor cantidad de ciclos de carga, aproximadamente 930 000, para que se inicie el agrietamiento en la carpeta asfáltica.

Por su parte 8 mezclas fabricadas en las plantas MG.182.19_19m, HSG.1104.19_19c, MRC.1901.19_12c, MG.566.19_19m, QS.1906.19_19c, CH.527.19_12c, HSA.445.19_19c y MG.639.19_19m muestran una condición intermedia de resistencia de cargas de tránsito (1,3 millones), para alcanzar el agrietamiento en la carpeta asfáltica.

TEMPERATURAS DE OPERACIÓN

Considerando las temperaturas mínimas y máximas para diversas regiones de Costa Rica, se analizan las diferentes mezclas asfálticas ensayadas en el presente informe, con el fin de establecer su posible desempeño y así determinar la capacidad de resistencia que pueden proporcionar bajo estas condiciones de temperatura. Se plantean 2 posibles escenarios, uno de clima caliente en donde la mezcla asfáltica alcance una temperatura de 40°C considerando lugares como Guanacaste, Pérez Zeledón, Limón, entre otros y otro tipo de clima más frío, en donde se alcance unos 10°C en zonas montañosas tales como Cerro de la Muerte, Zona de los Santos entre otras regiones. Se mantienen las condiciones de velocidad enunciadas en secciones anteriores.

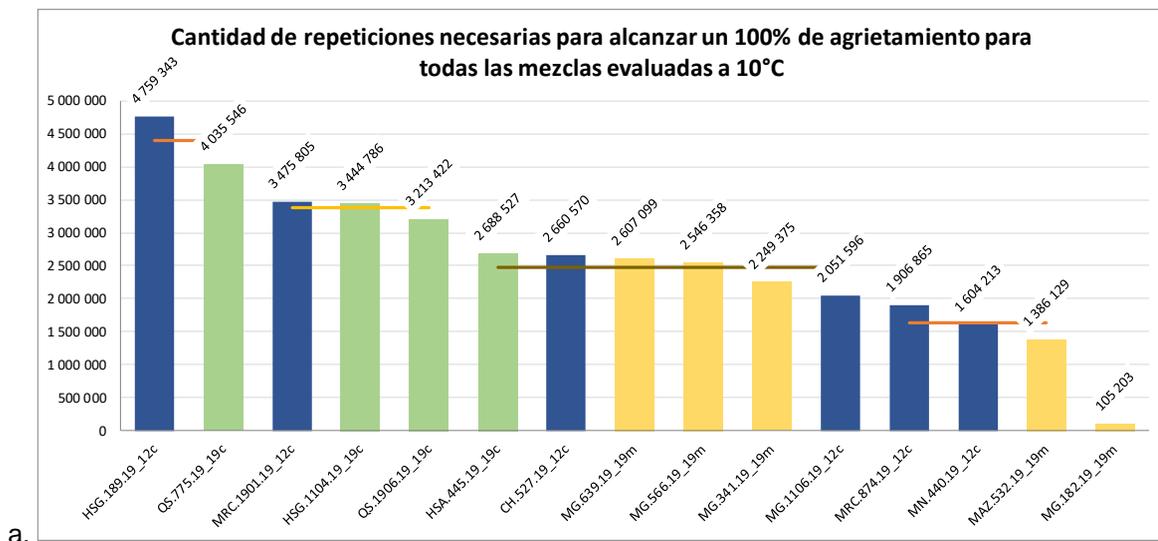
TEMPERATURA FRÍA (10°C)

La aparición del agrietamiento en las carreteras, inicia con la fatiga de la capa asfáltica la cual está estrechamente asociada con la cantidad de vehículos que circulan por ella, pero también se encuentra considerablemente vinculada a la temperatura a la que se vea expuesta durante su vida útil.

Entre menor sea la temperatura de la capa asfáltica, ésta es más susceptible a agrietarse, ya que el asfalto se vuelve rígido y potencialmente más quebradizo (frágil), lo que favorece la formación de las grietas. Por lo tanto, al analizar en la Figura 34 cuales resultados de la mezcla producida tendrían mayor posibilidad de verse afectados por condiciones de baja temperatura, se observa que las plantas HSG y QS son las que tienen zonas de influencia con condición climática fría.

Al determinar la cantidad de repeticiones de carga que pueden soportar las diferentes mezclas asfálticas estudiadas, se puede establecer que las mezclas de las plantas asfálticas HSG.189.19_12c y QS.775.19_19c, pueden soportar una condición media de 4,4 millones de ciclos en condiciones de clima frío; por su parte, las mezclas producidas en las plantas de MRC.1901.19_12c, HSG.1104.19_19c y QS.1906.19_19c determina una cantidad cercana a los 3,4 millones de ciclos de carga.

Según las condiciones de tránsito descritas en el Anexo C, y atribuyendo solamente condiciones de fatiga, para las condiciones anteriormente descritas se puede establecer una duración entre 2,8 a 3,6 años para que las fisuras se presenten.



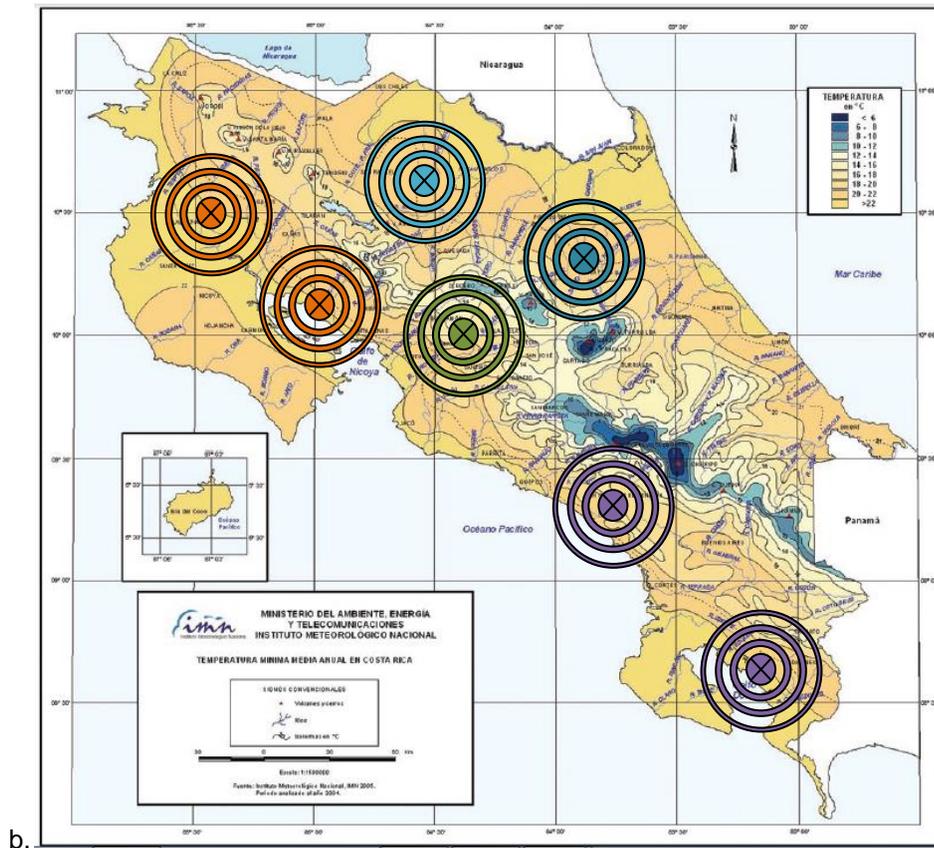


Figura 34. Repeticiones para producir la fatiga de la mezcla asfáltica, mapa de temperaturas frías y áreas de influencia según zona para las plantas asfálticas. Fuente Instituto Meteorológico Nacional.

Mientras que las restantes 9 muestras de las mezclas asfálticas analizadas conforman dos conjuntos, el primero HSA.445.19_19c, CH.527.19_12c, MG(639.19_19m, 566.19_19m, 341.19_19m y 1106.19_12c) con una capacidad de repeticiones de aproximadamente 2,5 millones de ciclos para que se presente la fatiga en condiciones de clima frío. Y el segundo conjunto conformado por MG.1106.19_12c, MRC.874.19_12c y MAZ.532.19_19m con una capacidad de repeticiones de aproximadamente 1,6 millones de ciclos para que se presente el fenómeno de fatiga. De estas plantas, la otra mezcla asfáltica que podría verse afectada por bajas temperaturas sería MG, ya que las restantes plantas asfálticas las condiciones de temperatura fría son de aproximadamente entre 20 a 22°C, lo cual no afecta considerablemente la durabilidad de la mezcla asfáltica. Por lo que de acuerdo con los ciclos reportados para las mezclas de HSG y MG se podría estar desarrollando el agrietamiento en la capa asfáltica en un plazo de 1¼ a 2 años.

B. Resistencia de la mezcla asfáltica a la deformación

La deformación permanente se refiere a la cantidad de repeticiones para generar una deformación de 12 mm en la superficie de rodamiento de la carpeta asfáltica, considerando condiciones de velocidad de operación de 60 km/h y una temperatura de 25°C para ambos tipos de mezcla asfáltica (12,5 mm y 19 mm, convencional y modificada).

Además, se consideró un paquete estructural típico invariante como se presenta en la Figura 32, se obtienen los valores de "ciclos de carga vehicular" que se requieren para generar la deformación de 12 mm que se muestran en la Figura 35 a. y b. Para ello se utilizó el software 3D Move, se empleó la metodología de diseño de pavimentos mecanístico-empírica (MEPDG¹⁰) indicada en el Anexo B y se adoptaron las propiedades particulares de cada una de las mezclas asfálticas producidas en planta y analizadas en el presente informe, tales como contenido de vacíos, asfalto efectivo y módulo dinámico, entre otras.

TEMPERATURA DE DISEÑO (25°C)

Se observa que la muestra MN.538.19_12c de las mezclas asfálticas analizadas soporta una cantidad de repeticiones de carga para presentar deformación en la superficie de ruedo cercana a los 250 millones. En tanto, que las mezclas fabricadas en los centros de producción QS.775.19_19c, MG.341.19_19m, MG.182.19_19m, HSG.1104.19_19c y MAZ.532.19_19m muestran una capacidad de soportar alrededor de 118 millones de repeticiones de carga para que se manifiesten desplazamientos en la capa asfáltica.

Las mezclas elaboradas en 8 muestras de las plantas CH.527.19_12c, MG.639.19_19m, MG.1106.19_12c, MN.440.19_12c, MRC.874.19_12c, MRC.1901.19_12c, HSG.189.19_12c y HSA.445.19_19c, alcanzan alrededor de 67 millones de ciclos de tránsito vehicular para llegar a presentar deformación en la superficie de ruedo. En esta condición se observa el 75% de las mezclas asfálticas de TMN de 12 mm convencionales.

¹⁰ Guía de Diseño de Pavimentos Mecanístico-Empírica, denominada por sus siglas en inglés MEPDG.

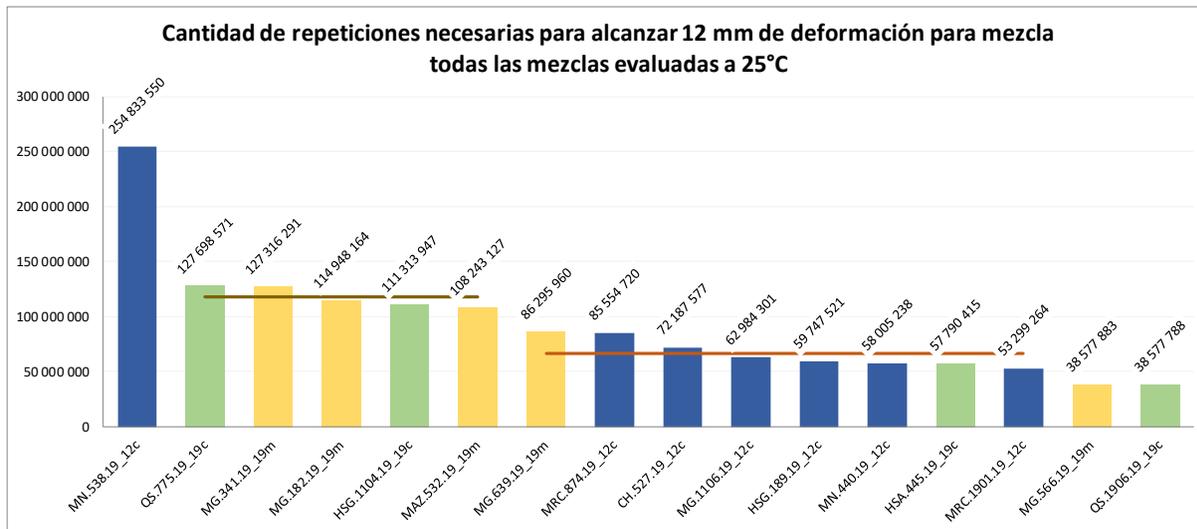


Figura 35. Cantidad de ciclos para producir deformación plástica en la carpeta asfáltica.

TEMPERATURAS DE OPERACIÓN

Como se dijo anteriormente para el análisis del posible comportamiento de las diferentes mezclas asfálticas, se establecieron temperaturas mínimas y máximas para diversas regiones de Costa Rica con el fin de establecer su posible desempeño y así determinar la capacidad de resistencia a la deformación permanente que pueden proporcionar bajo estas condiciones de temperatura.

Por lo que se plantea un escenario de clima caliente en donde la mezcla asfáltica alcance una temperatura de 40°C considerando lugares como Guanacaste, Pérez Zeledón ó Limón. Para este análisis se mantienen las condiciones de velocidad enunciadas en secciones anteriores.

La deformación de la mezcla asfáltica se puede manifestar en forma de roderas o de desplazamiento de la misma, ya sea por altas cargas de tránsito o por efecto de intensas temperaturas ambientales, ya que temperaturas cercanas a los 40°C son capaces de ablandar el asfalto, y por ende ante cargas estándar, deformar la carpeta asfáltica. Es por ello que se analiza el comportamiento de deformación de las mezclas asfálticas examinadas en el presente informe, ante temperaturas extremas que se pudiesen presentar en el territorio costarricense, tal como se presenta en la Figura 36b. Se incluyen tanto las mezclas convencionales, así como las modificadas para ambos tamaños de agregados TMN12 mm y TMN19 mm.

De la Figura 36a se denota que las mezclas producidas en las plantas HSA.445.19_19c, MN.440.19_12c, MG.1106.19_12c, MRC.1901.19_12c y HSG.189.19_12c, son las que soportan menos cantidad de repeticiones (entre 1 a 2 millones de ciclos¹¹) para generar una deformación de 12

¹¹ Lo cual representa aproximadamente entre 1 y 1,6 años, para el esquema del Anexo C.

mm. Por lo que se debe tener en cuenta que los centros de producción HSA y MN despachan mezcla a zonas donde se registran temperaturas altas, en particular hacia la provincia de Guanacaste con temperaturas aproximadas en la carpeta asfáltica a 40°C.

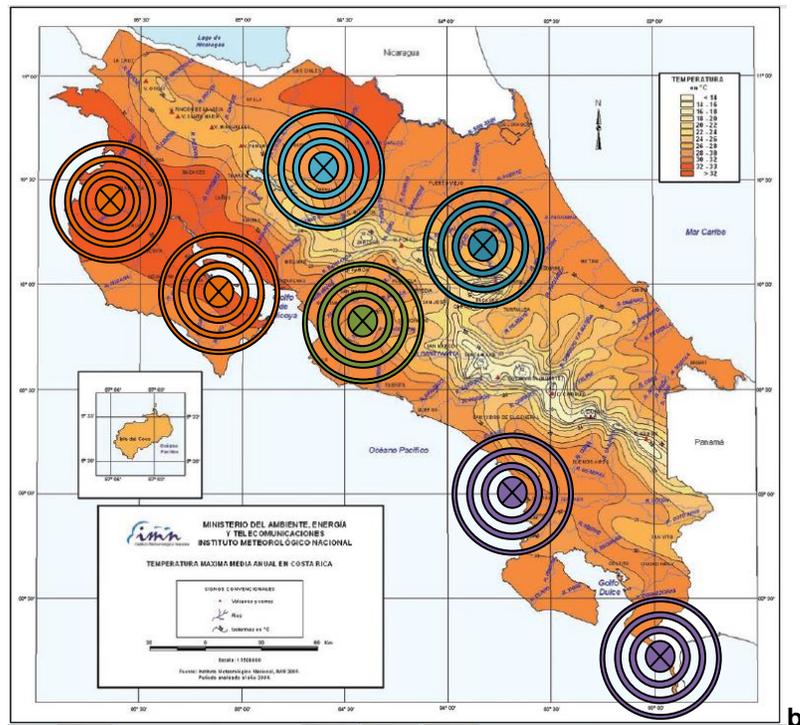
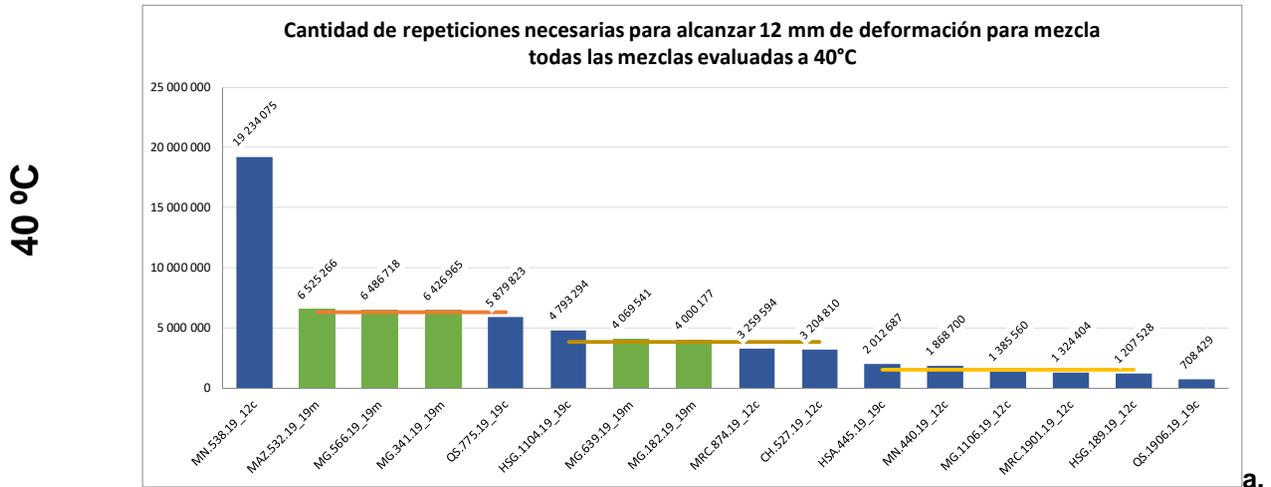


Figura 36. Cantidad de ciclos para deformación, mapa de temperaturas calientes y áreas de influencia según zona para las plantas asfálticas. Fuente Instituto Meteorológico Nacional.

Por su parte, 9 de las mezclas que conforman parte del estudio y que son producidas en las plantas HSG.1104.19_19c, MAZ.532.19_19m, MG(566.19_19m, 341.19_19m, 639.19_19m, 182.19_19m),

MRC.874.19_12c, CH.527.19_12c y QS.775.19_19c soportan entre 3,2 a 6,5 millones de repeticiones para producir una deformación de 12,5 mm, en su gran mayoría de esta mezcla asfáltica se despacha a lugares que no presentan altas temperaturas (según la figura 36b), exceptuando los casos de las plantas de MAZ y CH, que tienen una zona de influencia de temperatura que podría verse afectada por temperaturas aproximadas a 40°C. Dicha cantidad de ciclos producirían la deformación en un plazo de aproximadamente 2,6 a 5,3 años, respectivamente.

Finalmente, la muestra de la planta MN.538.19_12c registra una cantidad impresionante de ciclos para un valor de 19 millones de ciclos para desarrollar una deformación de 12 mm, esto es beneficioso porque esta mezcla asfáltica se utiliza en un clima con una temperatura cercana a los 40°C, lo que representa un periodo de aproximadamente 15 años para que dicho deterioro se manifieste en la carpeta asfáltica.

ANÁLISIS GENERAL DEL DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

A. Resistencia de la mezcla asfáltica al agrietamiento por fatiga

Al tabular y analizar todos los resultados de los ensayos de fatiga para todos los tipos de mezcla (modificada, convencional, TMN 12mm y TMN 19 mm) y para las diferentes temperaturas de análisis, tal como se detalla en la Tabla 17, se logra establecer que existe una relación evidente entre las propiedades físicas de las mezclas asfálticas (porcentaje de vacíos y contenido de asfalto efectivo), con la capacidad a resistir ciclos para la fatiga de las muestras estudiadas.

Tabla 17. Resultados volumétricos y de fatiga para la mezcla asfáltica en caliente.

Identificación	Vacíos	Promedio	Asf.Efectivo	Promedio	R. Efect/Vacio	Promedio	Valores a 10°C		Valores a 25°C		Valores a 40°C y 50°C		
							Fatiga	Promedio	Fatiga	Promedio	Fatiga	Promedio	
HSG.189.19_12c	3,88	3,88	4,46	4,46	1,15	1,15	4 759 343	4 759 343	2 117 990	2 117 990	1 255 132	1 863 408	1 559 270
MRC.1901.19_12c	4,34	4,40	4,54	4,40	1,05	1,00	3 475 805	3 253 109	1 567 421	1 592 070	966 058	1 302 286	927 838
QS.1906.19_19c	4,06		4,27		1,05		3 213 422		1 435 659		1 002 049	-	
QS.775.19_19c	4,46		4,45		1,00		4 035 546		1 918 425		989 983	848 091	
MG.182.19_19m	4,69		4,63		0,99		-		1 781 476		898 709	844 081	
HSA.445.19_19c	4,43		4,35		0,98		2 688 527		1 350 864		822 323	946 499	
HSG.1104.19_19c	3,90		3,8		0,97		3 444 786		1 695 018		892 278	801 835	
CH.527.19_12c	4,95		4,78		0,97		2 660 570		1 395 630		819 866		
MG.639.19_19m	4,70		4,36		0,93		2 607 099		1 335 230		757 785	701 795	
MG.566.19_19m	4,97	4,96	4,38	4,30	0,88	0,87	2 546 358	2 307 684	1 435 659	1 197 315	714 930	599 581	635 431
MG.341.19_19m	5,06		4,22		0,83		2 249 375		1 164 464		612 490	514 500	
MG.1106.19_12c	5,11		4,22		0,83		1 827 905		853 907		506 352	736 110	
MAZ.532.19_19m	5,83		4,18		0,72		1 386 129		1 386 129		719 013	719 013	

- se descartan dichos datos del análisis, debido a que sus valores no se reportaron o reportaban resultados incoherentes dentro del análisis.

Nota: del análisis realizado se decidió agrupar los resultados obtenidos para las temperaturas de estudio de 40°C y 50°C, ya que no difieren notoriamente

La relación se logra determinar cuando se relaciona el valor de “asfalto efectivo” presente en la mezcla asfáltica¹² con el “contenido de vacíos” de cada una de las mezclas asfálticas analizadas, obteniéndose la relación “*Efectivo/Vacíos*” (casillas color verde), tal como se puede visualizar en la Tabla 17.

A partir de la magnitud de este coeficiente se ordenan los valores en forma decreciente y de acuerdo con la cantidad de ciclos se conforman grupos que muestran valores similares o una tendencia entre los resultados. Por lo tanto, se puede determinar que conforme la razón existente “*Efectivo/Vacíos*”, incrementa la cantidad de repeticiones de los ciclos de carga para provocar la fatiga, también se acrecienta, tal como se ejemplifica en la Figura 38.

Al analizar los resultados de la Tabla 17 de contenido de vacíos y la cantidad efectiva de ligante asfáltico en la mezcla asfáltica¹³, se evidencia que las plantas que reportan relaciones “*Efectivo/Vacíos*” mayores a 1, son las mezclas que resisten una mayor cantidad de repeticiones de ciclos antes del inicio del deterioro por agrietamiento a fatiga. Por otro lado, las mezclas que presentan una relación cercana a 0,80 entre ambas propiedades, son las que muestran una tendencia a soportar una menor cantidad de ciclos de carga para que se inicie el agrietamiento en la carpeta asfáltica.

Por ende el comportamiento de estos parámetros evidencia que porcentajes de asfalto efectivo cercanos a 4,5%, bajos contenidos de vacíos y por lo tanto altos valores en la “relación de *Efectivo/Vacíos*” (mayores a 1), es la condición donde se obtienen la mayor cantidad de ciclos para alcanzar la fatiga. Por el contrario, contenidos de vacíos altos, porcentajes de asfalto efectivo de 4,2% y bajos valores en la “relación *Efectivo/Vacíos*” (cercasas a 0,7) favorecen el comienzo del agrietamiento con niveles reducidos de circulación de tránsito.

¹² El valor del asfalto efectivo y del contenido de vacíos corresponde a los obtenidos mediante la metodología de ensayo Marshall realizado a la cada una de las mezclas asfálticas analizadas.

¹³ Puesto que el modelo de fatiga es dependiente de estas propiedades.

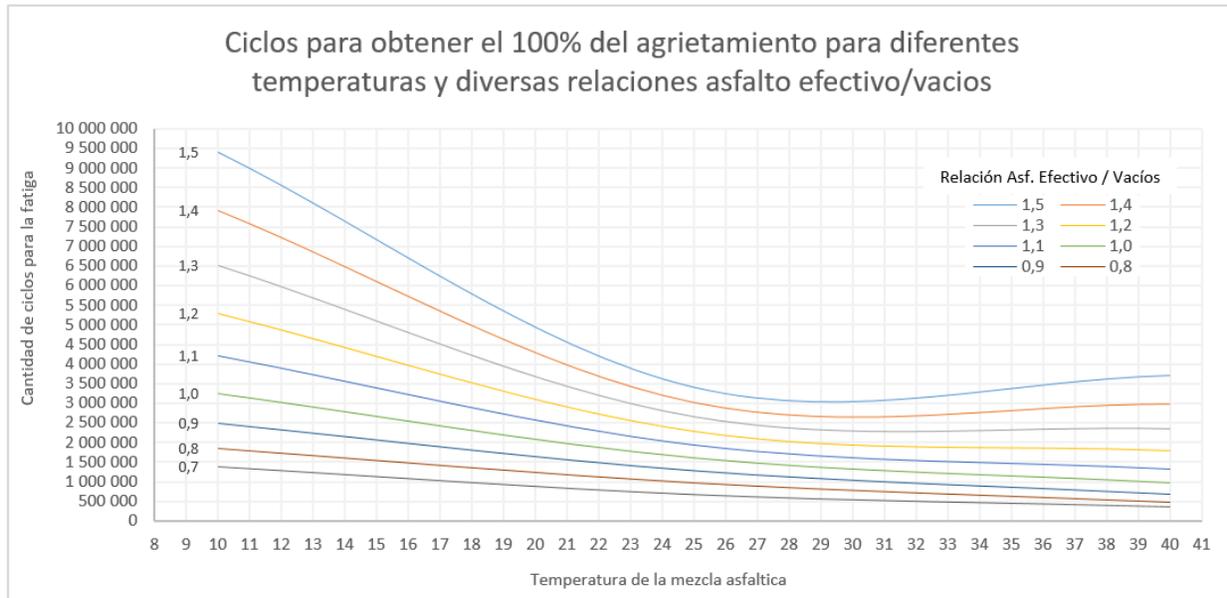


Figura 37. Cantidad de repeticiones de carga para producir la fatiga de la mezcla asfáltica, según porcentaje de vacíos y contenido de asfalto efectivo.

Se hace evidente, que conforme la cantidad de asfalto efectivo aumenta, los vacíos disminuyen, tal como se muestra en el recuadro de la Figura 38. Lo que establece una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de vacíos (%V) y el asfalto efectivo (%asf._{efec}), ya que conforme el asfalto efectivo aumenta (o los vacíos disminuyen) la capacidad de resistencia de ciclos de carga para que suceda el agrietamiento incrementa indudablemente, tal como se observa en la Figura 38. Por lo que se puede derivar que a mayores cantidades de asfalto en la mezcla¹⁴ se van a lograr carpetas con una mejor capacidad a resistir agrietamiento por fatiga.

Además, se observa que el contenido promedio de asfalto efectivo para las tres condiciones intermedias es relativamente similar para las mezclas asfálticas, variando tan solo de 4,2% a 4,5% en su mayoría; sin embargo, el contenido de vacíos es el factor que mayor repercusión tiene en la capacidad de resistencia de los ciclos de carga, ya que los valores van desde 3,9% hasta 5,8%, lo que produce que la capacidad de resistencia de ciclos para la fatiga vaya creciendo conforme los vacíos disminuyen.

¹⁴ Determinada de acuerdo a una metodología de diseño de mezcla asfáltica.

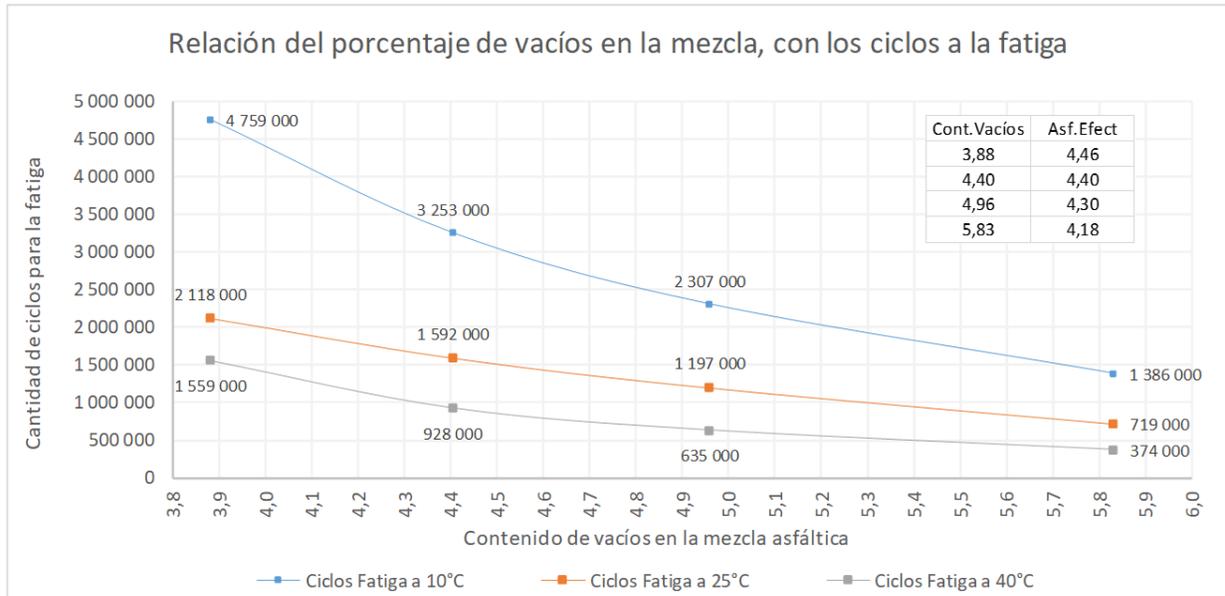


Figura 38. Cantidad de repeticiones de carga para producir la fatiga de la mezcla asfáltica, según porcentaje de vacíos y contenido de asfalto efectivo.

De la información presentada en la Tabla 17, se puede complementar el análisis con las diversas condiciones de temperatura de la mezcla asfáltica que se estudiaron para analizar el comportamiento a la resistencia a la fatiga conforme varía la cantidad de ciclos de carga. Lográndose determinar¹⁵ que conforme la temperatura de la mezcla se incrementa, se disminuye la capacidad de soporte de ciclos de carga a la fatiga de la mezcla asfáltica.

Además, en la Figura 39 es notoria la relación directa entre la cantidad de asfalto efectivo y el aumento en la resistencia ante los ciclos de carga, ya que a mayor cantidad de asfalto efectivo, se observa que en general las mezclas asfálticas estudiadas incrementan la capacidad de soportar la cantidad de ciclos de carga para producir el agrietamiento en la capa de mezcla asfáltica, independientemente de la condición de temperatura. Este comportamiento, también se ve reflejado por la relación existente entre el asfalto efectivo y el porcentaje de vacíos (*“Efectivo/Vacíos”*).

También es evidente que conforme la temperatura en la mezcla asfáltica aumenta, producto de la influencia del medio ambiente, decrece la capacidad de soportar los ciclos de carga vehicular, tal como se observa en la Figura 39.

¹⁵ Desde el punto de vista totalmente teórico y considerando que la mezcla no está afectada por ningún otro deterioro.

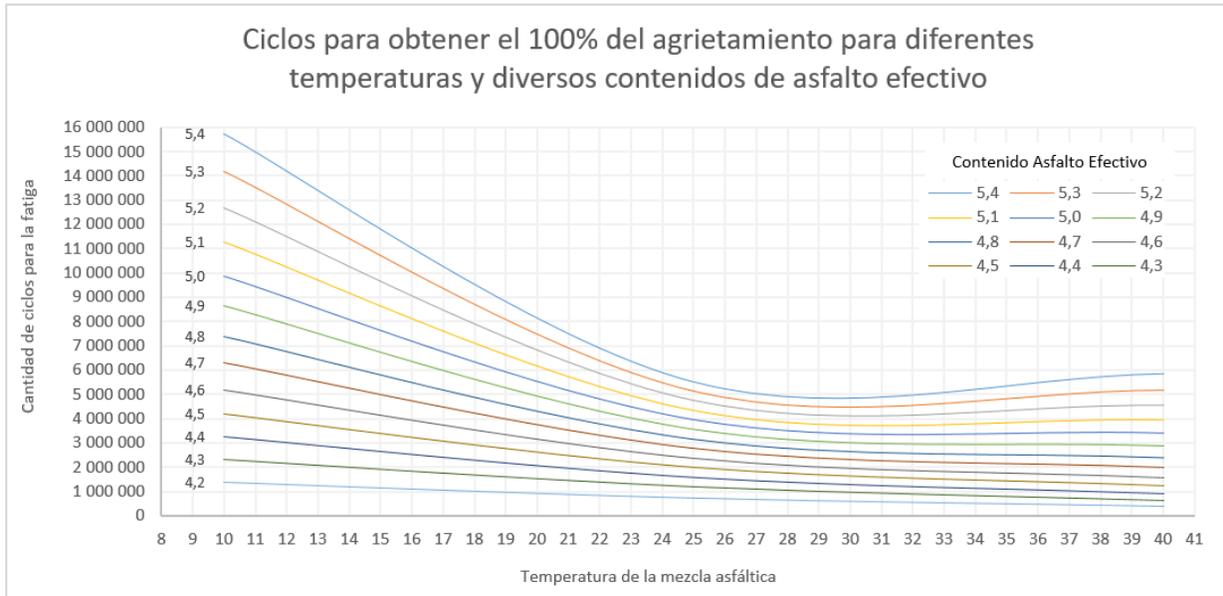


Figura 39. Cantidad de repeticiones de carga para producir la fatiga de la mezcla asfáltica, según porcentaje de vacíos y contenido de asfalto efectivo.

C. Resistencia de la mezcla asfáltica a la deformación permanente

Respecto a la deformación permanente de la mezcla asfáltica, al agrupar y analizar los resultados obtenidos para todas las mezclas estudiadas, tal como se presenta en la Tabla 18, en esta ocasión no se logró establecer una posible relación lógica entre algunas de las propiedades físicas y volumétricas de la mezcla.

Ya que como en el caso del agrietamiento a la fatiga, se espera una correspondencia¹⁶ con la relación “efectivo-vacíos” ya que según esta decrece, se espera que la cantidad de ciclos aumente para que suceda la deformación permanente de 12mm. Pero, tal como se observa en los valores promedio presentados en la Tabla 18, para las diversas temperaturas en algunos casos intermedios los ciclos disminuyen, en vez de ser mayores, y vuelven a posteriormente vuelven a aumentar

Tabla 18. Resultados volumétricos y de deformación permanente para la mezcla asfáltica.

Identificación	Vacíos	Promedio	Asf.Efectivo	Promedio	R.Efect/Vacíos	Promedio	Valores a 10°C		Valores a 25°C		Valores a 40°C		Valores a 50°C	
							Deformación	Promedio	Deformación	Promedio	Deformación	Promedio	Deformación	Promedio
HSG.189.19_12c	3,9	3,88	4,46	4,46	1,15	1,15	1 502 681 250	1 502 681 250	59 747 521	59 747 521	1 207 528	1 207 528	71 319	71 319
QS.1906.19_19c	4,1	4,20	4,27	4,41	1,05	1,05	1 134 812 803	1 247 869 062	38 577 788	45 938 526	708 429	1 016 417	43 707	69 915
MRC.1901.19_12c	4,3		4,54		1,05		1 360 925 321		53 299 264		1 324 404		96 123	
QS.775.19_19c	4,5		4,45		1,00		2 275 570 234		127 698 571		5 879 823		629 424	
IMG.182.19_19m	4,7		4,63		0,99		350 444 534		114 948 164		4 000 177		397 751	
HSA.445.19_19c	4,4	4,49	4,35	4,40	0,98	0,98	1 164 025 001	1 394 395 795	57 790 415	96 787 735	2 012 687	3 978 158	167 625	403 729
HSG.1104.19_19c	3,9		3,8		0,97		1 932 355 083		111 313 947		4 793 294		489 053	
CH.527.19_12c	5,0		4,78		0,97		1 249 584 123		72 187 577		3 204 810		334 793	
IMG.639.19_19m	4,7	4,84	4,36	4,37	0,93	0,90	1 488 722 857	1 671 049 121	86 295 960	62 436 922	4 069 541	5 278 129	461 751	630 288
IMG.566.19_19m	5,0		4,38		0,88		1 853 375 386		38 577 883		6 486 718		798 825	
MG.1106.19_12c	4,9		4,15		0,84		1 558 107 118		62 984 301		1 385 560		87 709	
MG.341.19_19m	5,1	5,20	4,22	4,28	0,83	0,82	1 952 456 276	1 597 089 095	127 316 291	83 465 138	6 426 965	3 235 205	702 386	308 305
MN.440.19_12c	5,3		4,29		0,81		1 197 787 543		58 005 238		1 868 700		144 752	
MRC.874.19_12c	5,5		4,46		0,81		1 680 005 442		85 554 720		3 259 594		298 374	
MN.538.19_12c	5,4	5,60	3,86	4,02	0,72	0,72	-	1 719 000 418	254 833 550	181 538 338	19 234 075	12 879 670	3 136 833	2 036 201
MAZ.532.19_19m	5,8		4,18		0,72		1 719 000 418		108 243 127		6 525 266		935 570	

¹⁶ En el informe LM-PI-AT-057-18, se logró establecer una correspondencia entre la relación efectivo-vacíos y la cantidad de ciclos necesarios para desarrollar una deformación permanente de 12mm en la mezcla asfáltica.

15. 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 2019, se emiten las siguientes conclusiones con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

Ensayos Generales

- a. Las granulometrías de las mezclas de TM.12,5 mm, no presentan incumplimientos; pero en la fracción fina muestran una tendencia densa. Por su parte las mezclas de TM.19 mm muestran variabilidad en las mallas de $\frac{3}{4}$ y $\frac{1}{2}$. Igualmente muestran una tendencia hacia el límite denso en la fracción fina (mallas N°30 a N°200), así como algunas muestras con incumplimientos en las mallas de la fracción fina.
- b. Respecto al contenido de asfalto se observa variabilidad para todos los tipos de mezcla estudiados TM.12 convencional y TM.19 convencional y modificada, con algunos incumplimientos de los límites de contenido de asfalto establecidos en los diseños de mezcla, en los tres tipos de mezcla.
- c. Ambos tipos de mezcla TM.12 convencional y TM.19 convencional y modificada, muestran incumplimientos en cuanto al parámetro de contenido de vacíos en la mezcla asfáltica con valores de 72%, 64% y 93%, respectivamente, determinados mediante el análisis estadístico.
- d. En relación al requerimiento de vacíos en el agregado mineral (VMA), ambos tipos de mezclas TM.12 convencional y TM.19 convencional y modificada los cumplen, con poca variabilidad.
- e. En tanto que el parámetro de vacíos llenos con asfalto (VFA) determina del análisis estadístico una variabilidad de 83%, 64% y 62% para las mezclas TM.12 convencional y TM.19 convencional y modificada, incumpliendo los valores especificados.
- f. La relación polvo asfalto se cumple satisfactoriamente para la mezcla TM.19 modificada; sin embargo, para las mezclas TM.12 y TM.19 convencional si reportan incumplimiento de la especificación original.

Deformación permanente

- g. En la totalidad de las muestras de mezcla de TM.12,5 mm y de TM.19 mm convencional y modificada, se obtienen valores que cumplen la referencia utilizada para el ensayo de deformación permanente (APA). En comparación con criterios internacionales todos los valores reflejan mezclas asfálticas con un buen comportamiento a la deformación permanente.
- h. El 11% de las muestras ensayadas de TM.12,5 mm, presentan resultados mayores al valor de referencia utilizado para el ensayo de Rueda de Hamburgo, evidenciando mezclas asfálticas

deformables. Mientras que las muestras de TM.19 mm convencional y modificada cumplen el criterio general de comparación a la deformación permanente.

- i. Los resultados de los ensayos de desempeño de deformación permanente, evidencian que no se puede establecer diferencias significativas en términos de la utilización de una mezcla de un tamaño nominal mayor. Es decir, no se puede establecer un criterio para seleccionar entre una mezcla asfáltica u otra, según la necesidad de la ruta.

Fatiga

- j. Se determina que algunas de las muestras de la mezcla de TM.12,5 mm, tienen una tendencia a cumplir alguno de los límites que establece la normativa, por lo que si posiblemente se efectuara alguna mejora en la composición de la mezcla asfáltica, el 33% del producto analizado lograría alcanzar la clasificación de mezcla de alto desempeño (tipo D) para resistir agrietamiento por fatiga. El 40% de la mezcla de 19mm fabricada con asfalto convencional, cumple con los criterios de mezclas de alto desempeño tipo D. En 2 de 4 de las muestras modificadas TM.19 mm no se cumplen con los requisitos de la especificación de 600 μ s.
- k. Se evidencia que existe una relación directa entre la cantidad de asfalto efectivo presente y el contenido de vacíos en la mezcla, con la cantidad de ciclos que puede soportar una capa asfáltica antes de alcanzar la fatiga. Por lo que al aumentar el asfalto efectivo en las mezclas asfálticas se logra mejorar la resistencia a la fatiga de las carpetas asfálticas.

Ensayos no contractuales

- l. En cuanto al ensayo de número de flujo (Flow Number) se determina que el 40% de la mezcla de TM.12,5 mm convencional no cumple con el valor mínimo de comparación, en tanto que 2 de las 4 muestras de TM.19 mm convencionales tampoco cumplen con dicho parámetro. Lo que indica que podrían ser mezclas deformables. Por su parte las muestras de TM.19 mm modificadas superan ampliamente dicho valor, lo que demuestra gran capacidad de soporte a la deformación permanente.

Análisis mecánico de la mezcla

- m. La metodología de diseño de mezcla asfáltica que se aplica actualmente, considera las mismas condiciones de tipo de asfalto y composición granulométricas para todas las condiciones de temperatura y de carga vehicular imperantes en el país y no permite discriminar las condiciones particulares de cada zona. Por lo que no se logra obtener la mezcla ideal para cada zona del país y para cada condición de tránsito particular.
- n. Se determina que algunas de las mezclas asfálticas con condiciones ventajosas para resistir fatiga (ideales para climas templados), se utilizan en regiones con altas temperaturas. Mientras que mezclas con una excelente resistencia a la deformación permanente (adecuadas para climas calientes) se emplean en zonas donde predominan temperaturas bajas. Lo que evidencia que las

mezclas no se ajustan, ni se plantean para las condiciones de trabajo donde van a ser utilizadas. Por ello que, para cumplir con esas condiciones particulares, se deberá modificar el asfalto virgen, aumentando innecesariamente el costo de la mezcla producida, producto de un diseño inadecuado para las condiciones climáticas de la zona donde será colocado.

16. 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. 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.
- b. Enfocar la especificación de las mezclas asfálticas que se utilizan para realizar labores de conservación vial desde el punto de vista de fatiga, ya que con cantidades bajas de repeticiones de carga se produce el agrietamiento de la mezcla.
- c. Requerir metodologías de diseño de mezclas asfálticas y de los materiales (metodología de diseño balanceado de mezcla -balance mix design-) que las componen que sean congruentes con las condiciones de cargas de tránsito y clima de la región/zona donde la carpeta asfáltica será colocada, con el fin de que se obtenga un comportamiento adecuado durante el periodo de operación de diseño.

17. 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.



EQUIPO AUDITOR

Preparado por:
Ing. Víctor Cervantes Calvo.
Auditor Técnico

Preparado por:
Sra. Rose Mary Cabalceta Rubio.
Asistente Técnica

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

Aprobado por:
Ing. Alejandro Navas Carro, M.Sc.
Director LanammeUCR

18. ANEXOS

Anexo A. Metodología para determinar cantidad de ciclos que produce 100% de agrietamiento.

El procedimiento que se plantea a continuación es el recomendado por la MEPDG del 2004 (National Cooperative Highway Research Program, 2004), y matemáticamente se resume desde la ecuación 1 hasta la ecuación 6, el mismo permite estimar la cantidad de repeticiones de carga (80 KN) necesarias para la falla a fatiga de una mezcla asfáltica.

La ecuación 1 permite estimar la cantidad de repeticiones necesarias para alcanzar un 100% de daño en un pavimento asfáltico.

$$N_f = 0,00432xCxk'_1 \left(\frac{1}{\varepsilon_t}\right)^{3,9492} \left(\frac{1}{E^*}\right)^{1,281}$$

Ecuación 1

$$C = 10^M$$

Ecuación 2

$$M = 4,84 \left[\frac{V_b}{V_a + V_b} - 0,69 \right]$$

Ecuación 3

$$k'_1 = \frac{1}{0,000398 + \frac{0,003602}{1 + e^{(11,02 - 3,49 * h_{ac})}}}$$

Ecuación 4

Donde:

- E*: Módulo dinámico de la mezcla asfáltica (psi).
- ε_t : Deformación por tensión en la fibra inferior de la capa asfáltica (in/in)
- V_b : Contenido de asfalto efectivo (%).
- V_a : Porcentaje de vacíos (%).
- k'_1 : Parámetro de corrección según tipo de grieta. (Ecuación 4).
- h_{ac} : espesor de carpeta asfáltica (in).
- C: Factor de ajuste de laboratorio a campo. (Ecuación 2 y 3).



Anexo B. Metodología para determinar cantidad de ciclos que genera una deformación de 12mm

El procedimiento de cálculo en este apartado se base en las formulas y procedimientos presentes en la "Guía mecanístico- empírica de diseño de pavimentos (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide MEPDG)" para la deformación permanente de la carpeta asfáltica. Se realiza el cálculo de la cantidad de ejes equivalentes utilizando la ecuación 5. Al ser una ecuación compleja para despejar la variable de interés N (cantidad de ejes) se hace uso de la herramienta "Solver" presente en el software "Microsoft Office Excel 2007".

$$\frac{\epsilon_p}{\epsilon_r} = 10^{-3,4488T^{1,5606}N^{0,479244}}$$

Ecuación 5

Donde:

ϵ_p = Deformación plástica acumulada a N repeticiones de carga (in/in).

ϵ_r = Deformación vertical resiliente (in/in).

T = Temperatura de la mezcla (°F).

N = Número de repeticiones de carga.

Anexo C. Metodología para estimación de cantidad de ejes equivalentes.

Para la estimación de los ejes equivalentes se utilizó la información del Cuadro 1, además se considera un porcentaje de distribución direccional de 50%, un porcentaje de utilización del carril de 100% (carretera de dos carriles), una tasa de crecimiento de 6,9% y un TPDA inicial de 9628.

Cuadro 1. Distribución porcentual según el tipo de vehículo y factor camión.

Tipo de vehículo	FC	T%	FC*T%
Liviano	0,000	46,69%	0,000
Pickup	0,012	0,00%	0,000
C2+	0,026	17,17%	0,004
C2	0,465	8,01%	0,037
Bus-C2	1,706	2,98%	0,051
C3	1,098	1,88%	0,021
T3-S2	1,705	23,27%	0,397
T3-S2	0,000	0,00%	0,000
		Sumatoria	0,510

A partir de la información presentada en el Cuadro anterior, se procede a calcular los ejes equivalentes, para distintos periodos de diseño.

$$ESAL \text{ diseño} = TPDA_0 \cdot DS \cdot LDF \cdot 365 \cdot GY \cdot \sum (T \cdot FC)$$

Donde:

T: Porcentaje de camiones del TPD

FC: Factor camión

LDF: Factor de distribución por carril

DS: Factor de distribución direccional

TPDA₀: Tránsito promedio diario al inicio del periodo de diseño

GY: Factor de crecimiento

Además,

$$GY = \frac{(1 + r)^Y - 1}{r}$$

Donde:

r: Tasa de crecimiento

Y: Periodo de diseño

Ejemplo: Ejes equivalentes para un periodo de diseño de 10 años

$$GY = \frac{(1 + r)^Y - 1}{r} = \frac{(1 + 0,069)^{10} - 1}{0,069} = 13,751$$

$$ESAL \text{ diseño} = TPDA_0 \cdot DS \cdot LDF \cdot 365 \cdot GY \cdot \sum (T \cdot FC) = 9628 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 365 \cdot 13,751 \cdot 0,510$$

∴ *ESAL* diseño ≈ 12,32 millones de ejes equivalentes



Anexo D. Descargo al informe y el Análisis del descargo por parte de la Auditoría.



Montes de Oca, 21 de Julio de 2020
GCSV-79-2020-3253 (182)

Ingeniera
Ing. Wendy Sequelra Rojas, M.Sc.
Coordinadora
Unidad de Auditoría Técnica LanammeUCR

REFERENCIA: Respuesta al oficio LM-IC-D-0491-2020

Estimada Ingeniera:

En atención al oficio indicado en la referencia, se le comunica que al ser un Informe de la "Evaluación de la calidad y desempeño de la mezcla asfáltica producida durante el 2019 en las plantas asfálticas de los proyectos de conservación vial", este Departamento de Verificación de la Calidad consideró oportuno tener la opinión de cada uno de los contratistas de obra que fueron auditados en el Informe en cuestión, motivo por el cual se le trasladó el Informe correspondiente a los diferentes involucrados.

De los involucrados consultados, solamente contestó un representante de la empresa MECO, mismo que indicó:

"...Hemos revisado el Informe que nos adjuntaron: **LM-IC-D-0491-2020: "EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA DURANTE EL 2019 EN LAS PLANTAS ASFÁLTICAS DE LOS PROYECTOS DE CONSERVACIÓN VIAL** fuente Lanamme. Del mismo, no vamos a referirnos en sus alcances. Y más bien solicitamos, que para futuras y próximas Auditorías se trabaje en conjunto, tratando de seguir el mismo Proceso/Modelo Estadístico con que se nos Evalúa para realizar el pago en función de la Calidad Mensual, Conavi.

No omitimos manifestar que las mezclas evaluadas en este estudio, y para una mejor comprensión de los resultados, deberían de dividirse en Diseños por Planta, Diseños Vigentes, diseños por tipos (Modificados y convencionales) y por las especificaciones que los rigen..."



Consejo Nacional de Vialidad. 100 metros Este de la Rotonda de Betania, Montes de Oca.
Tel: (506) 2202-5489 Fax: (506) 2225-4254 Apartado Postal 616-2010 San José, Costa Rica
www.conavi.go.cr





GERENCIA DE CONSERVACION DE VIAS Y PUENTES

Montes de Oca, 21 de Julio de 2020
GCSV-79-2020-3253 (182)
Página 2

Además de querer conocer la opinión de los contratistas, se les solicitó a las verificadoras comparar los resultados del Informe en cuestión con los resultados obtenidos por ellos para los días en estudio.

Seguidamente se transcribe la respuesta de tres empresas que brindan sus servicios de verificación.

CACISA

"...Respecto al Informe del Lanamme, mis observaciones son las siguientes (relacionadas con las plantas de HSollis Guápiles y Quebradores del Sur.

Los resultados obtenidos por el Lanamme en el análisis Marshall y relaciones volumétricas, son similares a las del análisis que hemos realizado en la verificación de la calidad.

Hay un valor de un contenido de asfalto, para la Planta de HSollis Guápiles, el cual está bajo del mínimo permitido. Llama la atención, ya que no hemos tenido ese tipo de resultado en varios años de verificación de la calidad.

Lo que se recomendaría en este caso, es indicarle al Lanamme que puede utilizar nuestras Instalaciones para cuartear la mac y que se la lleven suelta, de forma tal que la manipulación de la muestra sea la misma para ambos labs y se eliminen variables que permitan comparar los resultados.

Para la relación polvo - asfalto, el Lanamme utiliza un máximo de 1,3 para dicha relación, cuando lo correcto es utilizar 1,5.

Es interesante que las mezclas convencionales cumplan con la especificación para la deformación permanente.

Finalmente, cabe destacar que el Lanamme indica que existe una relación entre el contenido de asfalto efectivo y los vacíos de la mezcla, con el desempeño de la mac a la fatiga, por lo que recomienda especificar un % de asfalto mínimo en las especificaciones.



Consejo Nacional de Vialidad. 100 metros Este de la Rotonda de Betania, Montes de Oca.
Tel: (506) 2202-5480 Fax: (506) 2225-4254 Apartado Postal #16-2010 San José, Costa Rica
www.consvi.go.cr





GERENCIA DE CONSERVACION DE VIAS Y PUENTES

Montes de Oca, 21 de julio de 2020
GCSV-79-2020-3253 (182)
Página 3

Precisamente, en los Informes de verificación mensuales de verificación, que CACISA presenta, se indica la importancia de volver a especificar el valor máximo de la relación polvo / asfalto, en 1.3, ya que de esa forma se obliga a que los contratistas le incorporen más asfalto a la mac, y por lo tanto, se producirán mezclas de mejor desempeño a la fatiga..."

VIETO

*...HALLAZGO 1.

Para mezclas 12,5 mm el Hallazgo revela que las combinaciones de los agregados utilizados en la producción de mezcla presentados por el contratista y aprobados por la administración son adecuados para producir la granulométrica que cumpla con la especificación.

Para mezclas de 19 mm la evidencia de los Incumplimientos en la mallas 12,5 mm (1/2) y 19,0 mm (3/4), sin embargo estos parámetros en la plantas de Abangares y Río Claro se ha mantenido dentro lo solicitado.

HALLAZGO 2.

Con respecto a lo Indicado en la tabla 6. Para la muestra M-2199-19 Informe I-2064-19, este resultado presenta un valor de 4,9 %, sin embargo, el resultado de la verificadora es de 5,45% Informe 19-LVA-0761-1231, cuyo valor es el óptimo de la mezcla asfáltica según el diseño LGC No. 01-0993-2019 para el análisis de la mezcla asfáltica de ese día.

Revisando los resultados obtenidos de la muestra M-2199-19 en la figura 10, se observa que los vacíos en la mezcla no son congruentes el valor de asfalto reportado de 4,9% y según el diseño aprobado este valor debería estar en el orden del 5,9 % de vacíos en la mezcla. El valor de vacíos de la M 1299-19 es del 4,9 % aproximadamente.

Hallazgo 3.

Sobre los parámetros volumétricos en las recomendaciones de cada mes se hace la Indicación si se encuentra Incumplimientos..."



Consejo Nacional de Vialidad. 100 metros Este de la Rotonda de Betania, Montes de Oca.
Tel: (506) 2202-5480 Fax: (506) 2225-4254 Apartado Postal 618-2010 San José, Costa Rica
www.consvi.go.cr





GERENCIA DE CONSERVACION DE VIAS Y PUENTES

Montes de Oca, 21 de Julio de 2020
GCSV-79-2020-3253 (182)
Página 4

LGC

La empresa LGC Ingeniería de Pavimentos brindó su respuesta mediante el oficio 293-2020 adjunto.

Atentamente,

**JULIO CESAR
CARVAJAL
SABORIO
(FIRMA)**

Firmado digitalmente
por JULIO CESAR
CARVAJAL SABORIO
(FIRMA)
Fecha: 2020.07.21
07:27:57 -06'00'

Ing. Julio César Carvajal Saborio, MAP
DEPARTAMENTO DE VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD
GERENCIA DE CONSERVACIÓN DE VIAS Y PUENTES

JCSUCS

© *Arbitro
Copador*



Consejo Nacional de Vialidad. 100 metros Este de la Rotonda de Betania, Montes de Oca.
Tel: (506) 2262-5496 Fax: (506) 2225-4254 Apartado Postal 618-2010 San José, Costa Rica
www.conavi.go.cr





LGC

INGENIERIA DE PAVIMENTOS

San José, 17 de julio de 2020.

OFICIO N°01-293-2020

REFERENCIA: Observaciones al Informe LM-INF-IC-D-0038-2020
PROYECTO: 2018CD-000001-0GCSV

Señor:
Ing. Julio Cesar Carvajal Saborío
Departamento de Verificación de la Calidad
San José

Estimado Señor:

En atención a su solicitud, le remito una serie de observaciones al informe LM-INF-IC-D-0038-2020, realizado por LanammeUCR, en lo que respecta a los resultados de las plantas productoras de mezcla asfáltica de Nicoya (Constructora Meco) y San Carlos (Constructora Hemera) donde, actualmente LGC Ingeniería de Pavimentos presta los servicios de Verificación de acuerdo con la Contratación Directa N°2018CD-000001-0GCSV "Contratación especial de laboratorios de Ensayo para la obtención de servicios de verificación de la calidad de los proyectos del CONAVI".

El cuadro 1 muestra un resumen comparativo entre los resultados obtenidos del análisis a la mezcla asfáltica realizado por LanammeUCR (color verde) y los nuestros (color azul):

Cuadro 1. Comparación de resultados LGC vs. LanammeUCR

Prueba	2019-01-28		2019-02-12		2019-03-21		2019-04-12		2019-05-02		2019-05-18		2019-06-11	
	LANAMMEUCR	LGC												
Ref. Cúmulos	5,00		5,00		5,00		5,00		5,00		5,00		5,00	
Análisis sobre la mezcla	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20	6,20
Viscos	9,0	9,0	9,0	9,0	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7
VMA	23,2	23,9	23,2	23,9	23,9	23,2	23,9	23,9	23,9	23,2	23,9	23,9	23,9	23,9
VFA	60	70	62	60	67,9	70	70,0	71	70,5	70	60	70	60	60
P/Ref.	1,28	1,00	1,28	1,00	1,02	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ref. Ejeal	4,70	5,00	4,70	4,71	-	4,90	-	4,90	-	4,80	-	5,00	4,70	-

* Se usó como MAC de 70 mm, sin empuje de las tar de 22,0 mm

- Debido a que los datos proporcionados obedecen a muestreos puntuales para diferentes meses de producción, diferentes diseños de MAC y distintas

OFICIO 01-293-2020
LGC Ingeniería de Pavimentos S.A.
Laboratorio y Control de Calidad de Materiales
Desamparados, San Miguel, San José, Costa Rica.

Tel. 2270-5552 y 2270-5554
e-mail: lgcingenieriadepavimentos@gmail.com

Pág. 1 de 3





LGC

INGENIERIA DE PAVIMENTOS

plantas productoras, no es posible establecer un análisis de inferencia estadística para determinar la variabilidad entre ambos laboratorios.

2. Según los resultados obtenidos por ambos laboratorios, de manera general, los contenidos de asfalto sobre la mezcla muestran resultados similares entre LanammeUCR y LGC.
3. En la muestra 717-19 de la planta de Nicoya, se indica en el informe del LanammeUCR como mezcla de 19 mm, sin embargo, debería ser de 12 mm ya que en ese mes solo hubo un tipo de mezcla producida según nuestros registros.
4. Para la muestra del consecutivo 527-19 del LanammeUCR correspondiente a la Planta Constructora Herrera, no se tiene una mezcla de contraste, ya que en ese mes la planta no tuvo producción para los proyectos de conservación vial.
5. Las muestras del LanammeUCR que mayor diferencia presentan respecto a las de LGC en cuanto al contenido de asfalto, son las de fecha de producción del 21 de marzo y 30 de abril, no obstante, todos los parámetros cumplen para ambos laboratorios.
6. Referente a los parámetros de VMA y VFA, no se emite criterio debido a que se desconocen los valores de GBS de los agregados que se utilizaron en el informe del LanammeUCR.
7. La mezcla código 440-19 del LanammeUCR de la planta de Nicoya, refleja resultados distintos de vacíos al laboratorio de verificación LGC (5.3 % LanammeUCR aproximadamente y 3.6 % LGC), para porcentajes de asfalto similares. Si se toma en cuenta que dicho porcentaje de asfalto sobre la mezcla indicado por LanammeUCR es de 6.00 % aproximadamente y el porcentaje óptimo del diseño obedece a 5.90 %, es evidente que el porcentaje de vacíos de aproximadamente 5,3 % emitido por LanammeUCR no es un dato consistente.
8. En cuanto a los resultado del ensayo de desempeño a la fatiga de las mezclas asfálticas, como se ha conversado en varias ocasiones en el pasado, este ensayo tiene el inconveniente de que su alta variabilidad



LGC

INGENIERIA DE PAVIMENTOS

dificulta la interpretación de los resultados, y su comportamiento depende de otras propiedades de la mezcla, como la distribución granulométrica, propiedades volumétricas del agregado, características del asfalto y su afinidad con el agregado y porcentaje de vacíos en las probetas, por lo que recomendar el que se valore 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" para lograr mejorar este parámetro de desempeño no es la única solución.

Sin otro particular le saludo

Se despide atentamente:

Firmado digitalmente
por LUIS GUILLERMO
CHAVARRIA BRAVO
(FIRMA)
Fecha: 2020.07.20
13:25:31 -06'00'

Ing. Luis Guillermo Chavarría Bravo MSc.
Céd. 1-0687-0104
Representante Legal
LGC Ingeniería de Pavimentos S.A.

C/c Archivo

 <small>LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</small>	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales	Referencia: ANEXO 21
	Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo	Versión: 1
Consecutivo:		Página: 1/7

1. Nombre Informe

Informe: LM-INF-IC-D-003B-2020 “Evaluación de la calidad y el desempeño de la mezcla asfáltica producida durante el 2019 en las plantas asfálticas de los proyectos de conservación Vial. Licitación pública No. 2014LN-000018-OCV00. Varias Zonas”

2. Descargo

El día 21 de julio de 2020, a las 7:34 am se recibe mediante correo electrónico el oficio GCSV-79-2020-3253 el cual contiene el descargo al informe citado anteriormente. El oficio lo remite el ingeniero Julio Carvajal Saborío, encargado del Departamento de la Verificación de la Calidad del Conavi, el cual va dirigido a la coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica, Wendy Sequeira Rojas.

3. Análisis del descargo

A continuación, se analiza el contenido del descargo aportado en el oficio GCSV-79-2020-3253. Dicho oficio inicialmente presenta los argumentos de los contratistas de obra y posteriormente se presentan los argumentos de los laboratorios de verificación.

Constructora MECO

“...Hemos revisado el Informe que nos adjuntaron: **LM-IC-D-0491-2020: “EVALUACIÓN DE LA CALIDAD Y DESEMPEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA DURANTE EL 2019 EN LAS PLANTAS ASFÁLTICAS DE LOS PROYECTOS DE CONSERVACIÓN VIAL** fuente Lanamme. Del mismo, no vamos a referirnos en sus alcances. Y más bien solicitamos, que para futuras y próximas Auditorías se trabaje en conjunto, tratando de seguir el mismo Proceso/Modelo Estadístico con que se nos Evalúa para realizar el pago en función de la Calidad Mensual, Conavi.

No omitimos manifestar que las mezclas evaluadas en este estudio, y para una mejor comprensión de los resultados, deberían de dividirse en Diseños por Planta, Diseños Vigentes, diseños por tipos (Modificados y convencionales) y por las especificaciones que los rigen...”

Con relación a la indicado por el representante de la empresa Meco, con relación a **“que las mezclas evaluadas en este estudio, y para una mejor comprensión de los resultados, deberían de dividirse en diseños por planta, diseños vigentes, diseños por tipos (modificados y convencionales) y por las especificaciones que los rigen”** se indica que el informe se separaron los resultados de las mezclas asfálticas por tamaño máximo de agregado usado en la producción, dando como resultado mezcla de TMN 12mm y mezcla de TMN 19 mm. Además, se agruparon por el tipo de material, mezclas convencionales y mezclas modificadas. Finalmente, se indica que las muestras corresponden a muestreos puntuales realizados en diferentes meses, por lo que no se puede efectuar agrupaciones como las sugeridas entre ellas por tipos de diseños.

	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales	Referencia: ANEXO 21
	Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo	Versión: 1
Consecutivo:		Página: 2/7

Laboratorio Cacisa

“...Respecto al informe del Lanamme, mis observaciones son las siguientes (relacionadas con las plantas de HSolís Guápiles y Quebradores del Sur.

Los resultados obtenidos por el Lanamme en el análisis Marshall y relaciones volumétricas, son similares a las del análisis que hemos realizado en la verificación de la calidad.

No hay comentarios con respecto a este punto.

Hay un valor de un contenido de asfalto, para la Planta de HSolís Guápiles, el cual está bajo del mínimo permitido. Llama la atención, ya que no hemos tenido ese tipo de resultado en varios años de verificación de la calidad.

El laboratorio Cacisa en su descargo argumenta que *“para la planta de Hernán Solís Guápiles no se han obtenido resultados de contenido de asfalto menores al mínimo permitido, por varios años”*. A pesar de dicha afirmación, al revisar el informe de ensayo I-1128-19 para la muestra M-544-19 se comprueba que el resultado de contenido de asfalto es 5,03% y el informe de ensayo I-1565-19 para la muestra M-1104-19 se confirma que el resultado es 5,45% tal y como se reportaron en el informe de auditoría del Lanamme, por lo que los resultados se mantienen en el informe.

Lo que se recomendaría en este caso, es indicarle al Lanamme que puede utilizar nuestras instalaciones para cuartear la mac y que se la lleven suelta, de forma tal que la manipulación de la muestra sea la misma para ambos labs y se eliminen variables que permitan comparar los resultados.

Con relación al cuarteo de la mezcla en el laboratorio, la intención de los muestreos del Lanamme es obtener una muestra independiente de manera que la muestra que se obtiene represente la mezcla asfáltica que está produciendo en el momento de la toma de la muestra. Tal como el modelo que utilizan los laboratorios de control de calidad y el de verificación de calidad en la actualidad, en donde cada uno toma su muestra independiente, la gran mayoría de las veces en la misma unidad de muestreo.

Sin embargo, hay que hacer hincapié en que, en la mayoría de los muestreos realizados por el Lanamme, los laboratorios de control de calidad y el de verificación de calidad participan tomando cada uno sus muestras independientes, de la misma unidad de muestreo.

 LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales	Referencia: ANEXO 21
	Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo	Versión: 1
Consecutivo:		Página: 3/7

Para la relación polvo - asfalto, el Lanamme utiliza un máximo de 1,3 para dicha relación, cuando lo correcto es utilizar 1,6.

Se utiliza el valor original de la especificación polvo-asfalto con el fin de valorar que tanta capacidad o que tan alejadas de dicha relación se encuentran las empresas constructoras. Ya que el parámetro relación polvo asfalto es un indicador de la cantidad de contenido de asfalto, en particular asfalto efectivo, que está presente en las mezclas asfálticas producidas. Se utiliza el valor de 1,3 para detectar las variaciones que se han producido desde el aumento del límite superior a un valor de 1,6 en los factores de asfalto efectivo y porcentaje de malla 200.

Se podría agregar el límite de 1,6 en las gráficas para las mezclas con tamaños de TMN 12 mm y 19 mm y añadir en el cuadro de cumplimiento del porcentaje con relación al límite de 1,6.

Finalmente, cabe destacar que el Lanamme indica que existe una relación entre el contenido de asfalto efectivo y los vacíos de la mezcla, con el desempeño de la mac a la fatiga, por lo que recomienda especificar un % de asfalto mínimo en las especificaciones.

Precisamente, en los informes de verificación mensuales de verificación, que CACISA presenta, se indica la importancia de volver a especificar el valor máximo de la relación polvo / asfalto , en 1.3, ya que de esa forma se obliga a que los contratistas le incorporen más asfalto a la mac, y por lo tanto, se producirán mezclas de mejor desempeño a la fatiga...”

Se hace hincapié en la necesidad de “obligar” a los contratistas a aumentar la cantidad de asfalto con el que se producen las mezclas asfálticas, con el fin de mejorar el desempeño a la fatiga de la mezcla asfáltica.

Laboratorio Vieto

“...HALLAZGO 1.

Para mezclas 12,5 mm el Hallazgo revela que las combinaciones de los agregados utilizados en la producción de mezcla presentados por el contratista y aprobados por la administración son adecuados para producir la granulométrica que cumpla con la especificación.

Para mezclas de 19 mm la evidencia de los incumplimientos en la mallas 12,5 mm (1/2) y 19,0 mm (3/4), sin embargo estos parámetros en la plantas de Abangares y Río Claro se ha mantenido dentro lo solicitado.

Se comprueba en el papel de trabajo que efectivamente las mallas de $\frac{1}{2}$ y $\frac{3}{4}$ se mantienen dentro de los rangos permitidos por la especificación para la planta de HS Abangares. No se tiene muestra de mezcla asfáltica de TMN 19 mm para la planta de Meco Río Claro.

 LanammeUCR LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales	Referencia: ANEXO 21
	Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo	Versión: 1
Consecutivo:		Página: 4/7

HALLAZGO 2.

Con respecto a lo indicado en la tabla 6. Para la muestra M-2199-19 Informe I-2064-19, este resultado presenta un valor de 4,9 %, sin embargo, el resultado de la verificadora es de 5,45% informe 19-LVA-0761-1231, cuyo valor es el óptimo de la mezcla asfáltica según el diseño LGC No. 01-0993-2019 para el análisis de la mezcla asfáltica de ese día.

Revisando los resultados obtenidos de la muestra M-2199-19 en la figura 10, se observa que los vacíos en la mezcla no son congruentes el valor de asfalto reportado de 4,9% y según el diseño aprobado este valor debería estar en el orden del 5,9 % de vacíos en la mezcla. El valor de vacíos de la M 1299-19 es del 4,9 % aproximadamente.

De acuerdo con el informe de ensayo I-2064-19 emitido por el Lanamme, el contenido de asfalto es de 4,922%, usando un factor de corrección con la fórmula de diseño: Agregado fino 2200-19 (41 %), intermedio 2201-19 (37 %), grueso 2202-19 (22 %) y asfalto 2203-19 (5,45 % PTM). En tanto que el valor del porcentaje de vacíos es de 4,89%, a partir de los resultados de gravedad específica de 2,369 y gravedad máxima teórica de 2,491.

Por lo que se mantienen los resultados presentados en el informe.

Hallazgo 3.

Sobre los parámetros volumétricos en las recomendaciones de cada mes se hace la indicación si se encuentra incumplimientos..."

No hay observaciones respecto a este punto.

Laboratorio LGC

1. Debido a que los datos proporcionados obedecen a muestreos puntuales para diferentes meses de producción, diferentes diseños de MAC y distintas plantas productoras, no es posible establecer un análisis de inferencia estadística para determinar la variabilidad entre ambos laboratorios.

No hay observaciones respecto a este punto.

 <small>LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</small>	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales		Referencia: ANEXO 21
	Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo		Versión: 1
	Consecutivo:	Página: 5/7	

2. Según los resultados obtenidos por ambos laboratorios, de manera general, los contenidos de asfalto sobre la mezcla muestran resultados similares entre LanammeUCR y LGC.

No hay comentarios con respecto a este punto.

3. En la muestra 717-19 de la planta de Nicoya, se indica en el informe del LanammeUCR como mezcla de 19 mm, sin embargo, debería ser de 12 mm ya que en ese mes solo hubo un tipo de mezcla producida según nuestros registros.

Con relación a la muestra M-717-19, se revisa la descripción de ingreso de la muestra y se indica que corresponde a una mezcla de producción de 19 mm de la planta de Nicoya. También se analiza la granulometría de la mezcla obtenida por parte del Lanamme, y de acuerdo a la distribución granulométrica se observa un porcentaje pasando de 87,9% en la malla de 12,5mm (cuando debería ser mayor a 90%), por lo que de acuerdo a la definición de tamaño máximo nominal la mezcla clasifica como mezcla de 19 mm.

Por lo tanto, no se realizarán cambios en el informe.

4. Para la muestra del consecutivo 527-19 del LanammeUCR correspondiente a la Planta Constructora Herrera, no se tiene una mezcla de contraste, ya que en ese mes la planta no tuvo producción para los proyectos de conservación vial.

Se podría considerar eliminar esta muestra del análisis presentado en el informe o agregar una nota donde se aclare que la muestra no se utilizó en un proyecto de conservación vial, ya que, en la descripción de ingreso de la muestra del Lanamme, no se indica destino de la misma.

5. Las muestras del LanammeUCR que mayor diferencia presentan respecto a las de LGC en cuanto al contenido de asfalto, son las de fecha de producción del 21 de marzo y 30 de abril, no obstante, todos los parámetros cumplen para ambos laboratorios.

No hay comentarios con respecto a este punto.

 <small>LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES</small>	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales		Referencia: ANEXO 21
	Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo		Versión: 1
	Consecutivo:	Página: 6/7	

6. Referente a los parámetros de VMA y VFA, no se emite criterio debido a que se desconocen los valores de GBS de los agregados que se utilizaron en el informe del LanammeUCR.

No hay comentarios con respecto a este punto.

7. La mezcla código 440-19 del LanammeUCR de la planta de Nicoya, refleja resultados distintos de vacíos al laboratorio de verificación LGC (5.3 % LanammeUCR aproximadamente y 3.6 % LGC), para porcentajes de asfalto similares. Si se toma en cuenta que dicho porcentaje de asfalto sobre la mezcla indicado por LanammeUCR es de 6.00 % aproximadamente y el porcentaje óptimo del diseño obedece a 5.90 %, es evidente que el porcentaje de vacíos de aproximadamente 5,3 % emitido por LanammeUCR no es un dato consistente.

De acuerdo con el informe de ensayo I-1094-19 emitido por el Lanamme, el contenido de asfalto es de 6,00%, usando un factor de corrección con la fórmula de diseño: Polvo de piedra 0443-19 (52 %), quintilla 0442-19 (27 %), cuartilla 0441-19 (21 %) y contenido de asfalto 0439-19 (5,9% PTM). En tanto que el valor del porcentaje de vacíos es de 5,29%, a partir de los resultados de gravedad específica de 2,344 y gravedad máxima teórica de 2,475. Por lo que se mantienen los resultados presentados en el informe.

 LanammeUCR LABORATORIO NACIONAL DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES	Universidad de Costa Rica Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales		Referencia: ANEXO 21
	Unidad de Auditoría Técnica Análisis del Descargo		Versión: 1
Consecutivo:		Página: 7/7	

8. En cuanto a los resultado del ensayo de desempeño a la fatiga de las mezclas asfálticas, como se ha conversado en varias ocasiones en el pasado, este ensayo tiene el inconveniente de que su alta variabilidad dificulta la interpretación de los resultados, y su comportamiento depende de otras propiedades de la mezcla, como la distribución granulométrica, propiedades volumétricas del agregado, características del asfalto y su afinidad con el agregado y porcentaje de vacíos en las probetas, por lo que recomendar el que se valore 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”** para lograr mejorar este parámetro de desempeño no es la única solución.

Si bien se conoce que el ensayo de desempeño a la fatiga de las mezclas asfálticas mediante el ensayo de vigas tiene variabilidad significativa, también es cierto que depende de otras propiedades como se indica en el descargo. Sin embargo, diferentes estudios realizados en el LanammeUCR han comprobado que uno de los factores que más relevancia tiene en la resistencia a ciclos de fatiga es el contenido de asfalto efectivo en la mezcla asfáltica, seguido del porcentaje de vacíos con el que se elaboren las vigas de ensayo. Es por ello, que para lograr una incidencia en corto plazo nos enfocamos en solicitar un aumento en la cantidad de asfalto presente en la mezcla. Si se consideraran todos los elementos que se indican en el descargo, habría que realizar todo un cambio en las características de los agregados, para lograr cambiar la distribución granulométrica y así incidir en las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica, lo que nos podría llevar a lograrlo a mediano o largo plazo.

Por lo que la recomendación no se altera en el informe.

	Nombre y Puesto	Firma	Fecha
Preparó:	Víctor Hugo Cervantes Calvo		22/07/2020
Revisó:	Rose Mary Cabalceta Rubio		22/07/2020
Aprobó:	Wendy Sequeira Rojas		24/07/2020