



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-080-14

EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS EN LOS PARAMETROS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA EN COSTA RICA. PERIODO 2014

PROYECTO: Conservación de la Red Nacional Pavimentada.

Contratación Directa No. 2009LN-000003-CV.

Varias Zonas

INFORME FINAL

Preparado por:

Unidad de Auditoría Técnica



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

ENERO, 2015

Información técnica del documento

1. Informe final Informe LM-PI-AT-080-14.	2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS EN LOS PARAMETROS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA EN COSTA RICA PARA LOS PROYECTOS VIALES DE CONSERVACION VIAL. Contratación Directa No. 2009LN-000003-CV. Varias Zonas.	4. Fecha del Informe Enero, 2015	
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias ---*---*---		
9. Resumen <p>Sobre la gravedad específica bruta de los agregados: se evidencia que los valores de la gravedad específica (Gbs) y la absorción de los agregados obtenidos del proceso de muestreo y ensayo de los materiales realizado durante el primer semestre del año 2014 por parte del LanammeUCR en las plantas de producción de mezcla asfáltica, muestra una variación importante con respecto a los valores que se indican en los diseños de mezcla, lo que posteriormente incide en los valores de los parámetros volumétricos. Conviene controlar y verificar el efecto del cambio de estos valores ya que inciden directamente en los cálculos volumétricos de la mezcla asfáltica.</p> <p>Sobre la incidencia de la gravedad específica bruta de los agregados en los resultados de la mezcla asfáltica: la variación en los valores de la gravedad específica bruta y absorción del agregado provoca que se afecten los resultados de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica VMA, VFA y relación polvo-asfalto; además el cumplimiento de las especificaciones establecidas.</p> <p>Sobre la incidencia de la gravedad específica bruta de los agregados en el contenido de asfalto de la mezcla asfáltica: la gravedad específica del agregado tiene una alta incidencia en la demanda de asfalto en una mezcla asfáltica, ya que conforme el Gbs de los agregados cambia se produce una modificación de volumen y de peso, por tanto varía la cuantía de asfalto requerida para cubrir las partículas de agregado. Se observó que las mezclas producidas en el 2013 contenían menos cantidad de asfalto del requerido.</p> <p>Sobre la influencia del contenido de asfalto en el desempeño de la mezcla asfáltica: se logra establecer que una mezcla fabricada con un contenido de asfalto (por peso de mezcla) cercano al 5% soporta aproximadamente 3,5 millones de repeticiones de carga para lograr llegar a la falla por fatiga, mientras que una mezcla asfáltica con un contenido de asfalto del 6% aumenta esta capacidad en 5,1 veces. Lo anterior aplicado a una condición de una carretera de tránsito intermedio, implica que se alargaría la vida de servicio a aproximadamente 11,5 años en contraste, con los 3 años que duraría para el primer caso.</p>		
10. Palabras clave Planta asfáltica, Mezcla asfáltica, Diseño de mezcla, Control de Calidad, desempeño	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 31

INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS EN LOS PARAMETROS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA EN COSTA RICA PARA LOS PROYECTOS VIALES DE CONSERVACION VIAL. Contratación Directa No. 2009LN-000003-CV. Varias Zonas

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

Ingeniero de Zona de Conavi: detalle en Tabla 3

Empresa contratista: detalle en Tabla 2

Montos originales de los contratos: ₡121.271.164.382,00 (colones)

Plazo original de ejecución: 1095 días naturales

Coordinador de Programa de Infraestructura de Transporte, PITRA:

Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD

Coordinadora de Auditoría Técnica:

Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

Audidores:

Ing. Víctor Cervantes Calvo (Auditor Líder)

Ing. Francisco Fonseca Chaves (Auditor adjunto)

Asesor Legal:

Lic. Miguel Chacón Alvarado

Alcance del informe:

El alcance de este informe de auditoría técnica se centró en la evaluación de los parámetros de calidad de todas las plantas de producción de mezcla asfáltica que despachan para las actividades de Conservación Vial.

Ubicación de las plantas auditadas:

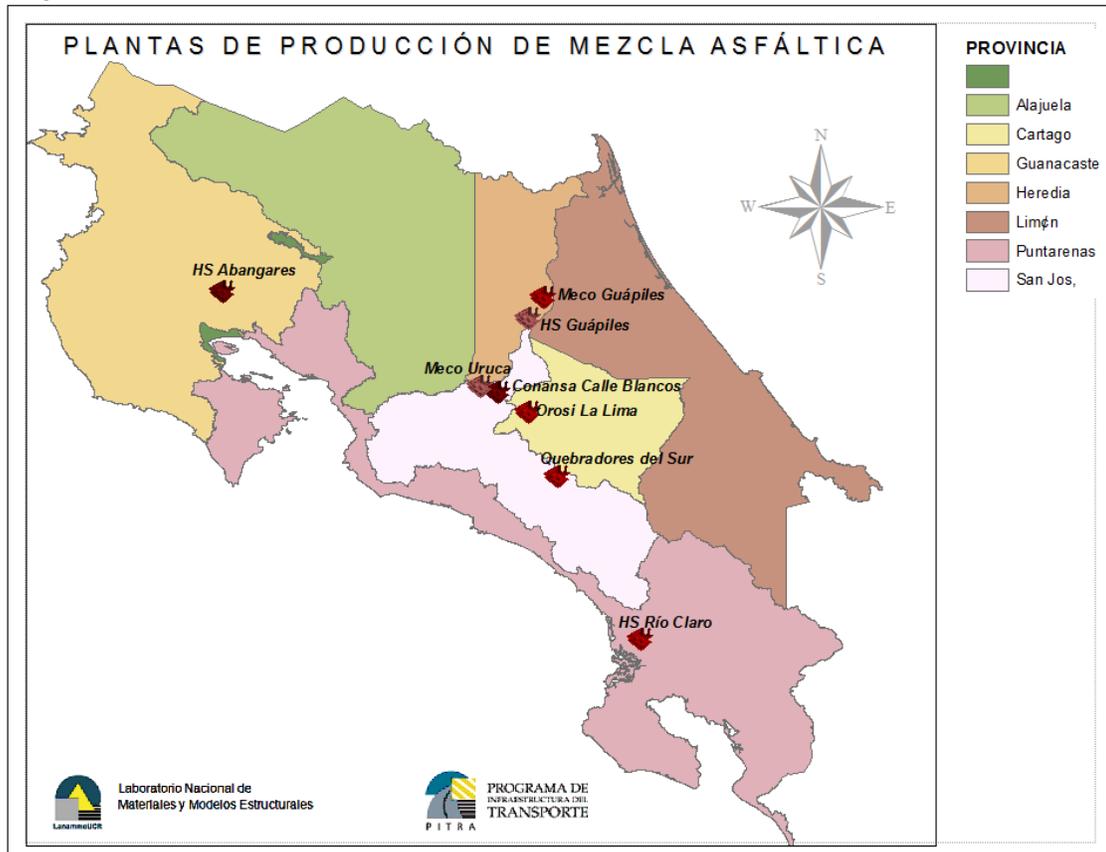


Figura 1. Ubicación aproximada de las Plantas de Producción de Mezcla Asfáltica .



TABLA DE CONTENIDO

1. FUNDAMENTACIÓN.....	6
2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	6
3. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR	7
4. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA.....	7
5. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	11
6. CONCLUSIONES	28
7. RECOMENDACIONES	29

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. DETALLE DE LOS MUESTREOS Y LOS ENSAYOS REALIZADOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.	8
TABLA 2. ZONAS ADJUDICADAS PARA CADA CONTRATISTA Y PLANTA SUPLIDORA.	8
TABLA 3. RESUMEN DE RESULTADOS DE GRAVEDAD ESPECÍFICA BRUTA OBTENIDOS EN LA RONDA DE MUESTREO DEL LANAMMEUCR Y LOS INDICADOS EN LOS DISEÑOS DE MEZCLA ASFÁLTICA.	13
TABLA 4. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO EL VALOR DE GRAVEDAD ESPECÍFICA BRUTA OBTENIDOS EN LA RONDA DE MUESTREO DEL LANAMMEUCR.	17
TABLA 5. RESUMEN DE RESULTADOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA UTILIZANDO EL VALOR DE GRAVEDAD ESPECÍFICA BRUTA REPORTADOS EN LOS INFORMES DE DISEÑO DE MEZCLA.	18
TABLA 6. RESUMEN GBS SEGÚN RESULTADOS DE ENSAYO DEL LANAMMEUCR Y DISEÑOS DE MEZCLA	21
TABLA 7. ESTIMACIÓN DE LA DEMANDA DE ASFALTO ASOCIADA AL GBS	23
TABLA 8. DEFORMACIÓN UNITARIA, SEGÚN ESPESOR DE CARPETA.	26
TABLA 9: AUMENTO EN EL NÚMERO DE REPETICIONES DE ACUERDO AL CONTENIDO DE ASFALTO	26

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN APROXIMADA DE LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA	3
FIGURA 2: ESQUEMA DE RELACIONES DE VOLUMEN Y PESO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA	16
FIGURA 3. COMPARACIÓN EN EL CAMBIO DE VOLUMEN PARA UNA MISMA MASA POR VARIACIÓN DEL GBS... ..	21
FIGURA 4. COMPARACIÓN DE UN MISMO VOLUMEN CON AUMENTO DE MATERIAL POR VARIACIÓN DEL GBS. ..	22
FIGURA 5. ESQUEMA DE ESTRUCTURA DE CARRETERA UTILIZADA PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE EJES EQUIVALENTES, PARA MEZCLA ASFÁLTICA CON DIFERENTES CONTENIDOS DE ASFALTO.	26

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. COMPARACIÓN GRÁFICA DE VALORES DE GRAVEDAD ESPECÍFICA BRUTA Y ABSORCIÓN OBTENIDOS POR EL LANAMMEUCR Y LOS INDICADOS EN LOS DISEÑOS DE MEZCLA ASFÁLTICA.	13
GRÁFICO 2. COMPARACIÓN GRÁFICA DE VALORES DE PARÁMETROS OBTENIDOS CON VALORES DE GBS OBTENIDOS POR EL LANAMMEUCR Y LOS INDICADOS EN LOS DISEÑOS DE MEZCLA ASFÁLTICA.	19
GRÁFICO 3. CONTENIDO DE ASFALTO ESTIMADO POR VARIACIÓN DEL GBS.	23
GRÁFICO 4. RELACIÓN DE UN NIVEL DE FATIGA ESPECÍFICO CON RESPECTO A LA RIGIDEZ INICIAL A LA FLEXIÓN EN MEZCLAS ASFÁLTICAS PARA DIFERENTES CONTENIDOS DE ASFALTO.	25

INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA. EVALUACIÓN DE LA INFLUENCIA DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS AGREGADOS EN LOS PARAMETROS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA EN COSTA RICA PARA LOS PROYECTOS VIALES DE CONSERVACION VIAL. CONTRATACIÓN DIRECTA NO. 2009LN-000003-CV, VARIAS ZONAS

1. FUNDAMENTACIÓN

La auditoría técnica externa a los procesos, controles, laboratorios, proyectos e instituciones públicas que efectúan sus labores para el sector vial, se realiza de conformidad con las disposiciones del artículo 6 de la Ley 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley 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 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.

2.1. OBJETIVO DEL INFORME

El objetivo de este informe es valorar de forma general la influencia del agregado en la calidad de los diseños de mezcla asfáltica y su influencia en los resultados de la mezcla asfáltica producida por los diversos contratistas en los proyectos de conservación vial realizados por el CONAVI.

Informe en versión preliminar LM-PI-AT-080-14	Fecha de emisión: Enero 2015	Página 6 de 31
--	------------------------------	----------------

2.2. ALCANCE DEL INFORME

El estudio se realiza considerando los muestreos de material granular tomados en el periodo comprendido entre marzo y agosto de 2014, englobando todas las plantas de producción activas durante este periodo, cuya producción estuviera destinada a proyectos de conservación vial.

Los resultados que se analizan en el presente informe son los obtenidos por el Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales (LanammeUCR), y además los incluidos en los respectivos diseños de mezcla vigentes y en uso en el momento del muestreo, que son elaborados por el laboratorio de control de calidad del contratista para la producción de mezcla asfáltica en las plantas de producción.

3. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR

- Ing. Víctor Hugo Cervantes Calvo (Auditor Líder)
- Ing. Francisco Fonseca Chaves (Auditor Técnico)
- Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc (Coordinadora de la Unidad de Auditorías Técnicas)
- Lic. Miguel Chacón Alvarado (Asesor Legal)

4. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

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

Durante el proceso de auditoría realizado por la Auditoría Técnica del LanammeUCR se visitaron las instalaciones de las plantas asfálticas indicadas en la Tabla 1 y se tomaron muestras de los materiales granulares de cada uno de los apilamientos utilizados, divididos en cuatro fracciones (dos fracciones gruesas, fracción intermedia y fina, en su mayoría) para llevar a cabo las actividades de evaluación de la planta. Las muestras fueron tomadas de manera aleatoria, las cuales fueron posteriormente ensayadas por el Laboratorio del LanammeUCR. Dicha tabla reúne la información de la fecha en la que los muestreos de material granular fueron efectuados, especificándose la planta correspondiente. Asimismo, se presenta la identificación del diseño de mezcla vigente y en uso para el momento en que se realizó la toma de muestras de agregados y del informe del LanammeUCR en donde se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio.

Tabla 1. Detalle de los muestreos y los ensayos realizados de mezcla asfáltica en caliente.

Planta	Hernán Solís Guápiles (HSG)	Hernán Solís Abangares (HSA)	Hernán Solís Río Claro (HSRC)	Meco Guápiles (MG)	Meco Uruca (MU)	Grupo Orosí La Lima (Or)	Conansa Calle Blancos (Co)	Quebradores del Sur, Pérez Zeledón (QS)
Fecha de muestreo	06 marzo de 2014	11 marzo de 2014	13 marzo de 2014	06 marzo de 2014	07 marzo de 2014	05 marzo de 2014	05 marzo de 2014	14 marzo de 2014
Informe (Lanamme)	I-0284-14	I-0432-14	I-0432-14	I-0284-14	I-0284-14	I-0284-14	I-0284-14	I-0432-14
Diseño de mezcla (en uso)	75-2013	197-2014	E1-19-2014	399-2013	399-2013	405-2013-E	E-07-505-2013	704-2013
Fecha de muestreo	18 junio de 2014	29 de julio de 2014	08 de agosto de 2014	(*)	30 de junio de 2014	31 de julio de 2014	01 de julio de 2014	18 de julio de 2014
Informe (Lanamme)	I-0721-14	I-0851-14	I-0913-14	(*)	I-0722-14	I-0851-14	I-0723-14	I-0852-14
Diseño de mezcla (en uso)	13-2014	230-2014	E1-19-2014	(*)	276-13	909-2014	323-14	337-14

(*) En el periodo de julio a agosto de 2014 no se logró realizar el muestreo en esta planta.

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.

Región	Zona	Contratista	Monto Original del contrato mediante la licitación LP 2009 LN-000003-CV	Ubicación de la Planta Suplidora
Central	Zona 1-1, San José	Hernán Solís	¢5.549.222.535,78	Guápiles
	Zona 1-2, Puriscal	Hernán Solís	¢4.291.578.645,51	Guápiles
	Zona 1-3, Los Santos	Hernán Solís	¢5.555.449.468,00	Guápiles
	Zona 1-4, Alajuela Sur	CONANSA	¢4.608.863.388,58	Calle Blancos
	Zona 1-5, Alajuela Norte	Hernán Solís	¢7.089.329.362,08	Guápiles
	Zona 1-6, San Ramón	MECO	¢6.211.572.187,00	Uruca
	Zona 1-7, Cartago	Grupo Orosí	¢6.845.235.305,02	La Lima
	Zona 1-8, Turrialba	Hernán Solís	¢4.838.733.092,26	Guápiles
	Zona 1-9, Heredia	MECO	¢7.311.833.477,77	Uruca
Chorotega	Zona 2-1, Liberia	Hernán Solís	¢4.417.349.209,24	Abangares
	Zona 2-2, Cañas	Hernán Solís	¢5.982.104.437,16	Abangares
	Zona 2-3, Santa Cruz	Hernán Solís	¢3.541.049.417,99	Abangares
	Zona 2-4, Nicoya	Hernán Solís	¢3.551.140.851,22	Abangares
Pacífico	Zona 3-2, Quepos	MECO	¢4.280.126.635,95	Uruca
Brunca	Zona 4-1, Pérez Zeledón	Quebradores Sur	¢9.061.853.750,00	Pérez Zeledón
	Zona 4-2, Zona Sur	Hernán Solís	¢9.999.455.201,10	Río Claro
	Zona 4-3, Zona Sur	Hernán Solís	¢4.521.475.948,62	Río Claro
Huétar Atlántica	Zona 5-1, Guápiles	MECO	¢5.218.817.958,09	Guápiles
	Zona 5-2, Limón	MECO	¢5.725.487.416,62	Guápiles
Huétar Norte	Zona 6-1, San Carlos	MECO	¢6.903.116.448,00	Guápiles
	Zona 6-2, San Carlos	Hernán Solís	¢5.767.369.646,00	Guápiles
Monto Total			¢121.271.164.382,00	

Fuente: Licitación Pública No.2009LN-000003-CV.

Informe en versión preliminar LM-PI-AT-080-14	Fecha de emisión: Enero 2015	Página 8 de 31
--	------------------------------	----------------

4.1. ANTECEDENTES DEL INFORME

Se realizaron los muestreos de mezcla asfáltica en el período de marzo a agosto de 2014 en las diversas instalaciones de las plantas asfálticas indicadas en la Tabla 1, con la finalidad de tomar muestras y posterior ensayo de la mezcla asfáltica producida y despachada a los proyectos de obra de Conservación Vial. Se logró obtener un total de 54 muestras de la mezcla elaborada en dichas plantas.

En el informe LM-AT-021-14 se efectúa un análisis general de los resultados de los parámetros establecidos por la normativa nacional para la mezcla asfáltica producida durante el año 2013, entre los parámetros que se estudiaron se abarcaron los que controlan la volumetría de la mezcla asfáltica, a saber contenido de asfalto, vacíos, VMA, VFA y relación polvo asfalto. En dicho informe se determina que la mayoría de la mezcla asfáltica producida por las plantas productoras presentan incumplimientos en los parámetros volumétricos: vacíos, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA) y en la relación polvo/asfalto. Además se evidencia una preferencia a producir con cantidades considerables de material fino pasando la malla 200 (polvo), lo cual aunado con la tendencia de porcentajes de asfalto cercanos al 5% influye significativamente en el comportamiento e incumplimiento de los parámetros mencionados (vacíos, VMA, VFA y relación polvo-asfalto).

Sin embargo, en ese informe no se incluyó el análisis de algunos parámetros del agregado mineral; componente principal de la mezcla asfáltica, ya que se encuentra presentes en una proporción entre el 93% a 95%.

El diseño de mezcla para ser producido en planta es formulado por el laboratorio de control de calidad del contratista para la producción de mezcla asfáltica en las plantas de producción; el cual define el valor de los parámetros requeridos por la normativa contractual, entre ellos el tamaño máximo nominal, proporción de combinación de agregados, contenido óptimo de asfalto, contenido de vacíos y otros parámetros relacionados con las propiedades de los agregados que definen la volumetría de la mezcla asfáltica.

Se hace hincapié en que el proceso de formulación y planteamiento del diseño de la mezcla no debe enfocarse solamente como un requisito contractual, sino que más bien es un compromiso técnico tanto del contratista que producirá la mezcla asfáltica, como de su consultor de calidad quien es el que formula el diseño de manera que se asegure que se logra alcanzar la calidad y desempeño requerido contractualmente, del producto fabricado a través de este diseño. De igual manera la Administración debe garantizar que se lleve a cabo la verificación de calidad del diseño y de la implementación en la planta de producción.

Por tanto, el presente informe es una continuación de dicho análisis, en donde se pretende evidenciar la influencia que estos parámetros de los agregados minerales, tales como gravedad específica y absorción, tienen en la formulación de la mezcla asfáltica producida durante el primer semestre de 2014.

Informe en versión preliminar LM-PI-AT-080-14	Fecha de emisión: Enero 2015	Página 9 de 31
--	------------------------------	----------------



5. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA EL ANALISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-AT-080B-14

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-123-14 del 18 de noviembre de 2014 se envía el informe preliminar LM-PI-AT-080B-14 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 se otorga un plazo de 15 días hábiles posteriores al recibo de dicho informe para el envío de comentarios al informe preliminar.

Posterior al envío del informe preliminar se le brinda audiencia a la parte auditada para que se refiera al informe preliminar, el día 26 de noviembre de 2014 a las 9:00 am en las instalaciones del LanammeUCR en donde se realizó la presentación del informe LM-PI-AT-080B-14 en su versión preliminar y en la que participaron los ingenieros Ing. Julio Carvajal Ing. Esteban Jarquín Vargas, Ingenieros de la Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, Ing. Alexander Guerra de la Auditoría Interna de CONAVI. Así como los auditores encargados del informe y la coordinadora de la Unidad de Auditoría Técnica-PITRA LanammeUCR, Ing. Wendy Sequeira Rojas. Posteriormente el día 08 de diciembre de 2014 se realiza la presentación del informe a las empresas verificadoras de la calidad que le brindan servicios al Conavi, se contó con la participación de las siguientes personas de los diferentes laboratorios: Claudio Araya Mora de Castro y de la Torre, Sergio Fernández Cerdas, Patricia Murillo Hidalgo y Róger Arroyo Acosta de Ingeniería Técnica de Pavimentos, Carlos Solís M. de Cacisa y Juan Carlos Vargas de Vieto.

El 16 de diciembre de 2014 se recibe el oficio GCSV-79-2014-5769 emitido por el Ing. Julio César Carvajal Saborío, del departamento de calidad de la Gerencia de Conservación de Vías y Puentes, en el cual se recopilan los comentarios de las diferentes empresas verificadoras de calidad sobre el informe LM-PI-AT-080B-14. Por lo tanto, en cumplimiento de los procedimientos de auditoría técnica y una vez analizado el documento en mención, y teniendo en cuenta lo pertinente, se procede a emitir el presente informe LM-PI-AT-080-14 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley. La emisión del informe final se realiza en Enero de 2015.

Informe en versión preliminar LM-PI-AT-080-14	Fecha de emisión: Enero 2015	Página 10 de 31
--	------------------------------	-----------------

6. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

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

6.1. HALLAZGOS Y OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA

La normativa prevaleciente en los carteles de licitación y en las contrataciones, se establece en la Disposición Vial AM-01-2001 sección 401.04.02. En dicha sección se indican los parámetros que deben cumplir los materiales granulares utilizados para fabricar mezcla asfáltica, disponiendo una serie de requisitos que son necesarios para proveer a la mezcla asfáltica de características de durabilidad y resistencia adecuadas.

Sin embargo, en relación a parámetros que tienen una incidencia significativa en el comportamiento de la mezcla asfáltica tales como son las propiedades de los agregados minerales: gravedad específica, absorción de los agregados y la composición granulométrica; solamente se especifica, en el cartel de licitación, una frecuencia de ensayo asociada a la cantidad de producción de mezcla asfáltica.

Por esta razón, el monitoreo e inspección continuo de la variación de las propiedades físicas de los agregados durante el proceso de producción, como parte del proceso de control de calidad, es de vital importancia, ya que permite detectar posibles variaciones que intervendrían en el proceso productivo que podrían requerir efectuar modificaciones o ajustes correctivos.

6.1.1. Sobre la variabilidad del valor de gravedad específica bruta de los agregados

Observación Nº 1: Los valores de la gravedad específica combinada de los agregados para la determinación de los parámetros volumétricos obtenidos por el LanammeUCR difieren con respecto a los valores indicados en los informes de diseño de mezcla asfáltica vigente y en uso para el momento de muestreo.

El programa de muestreo y ensayo de los materiales realizado durante el primer semestre y el segundo semestre del año 2014 por parte del LanammeUCR en las plantas de producción de mezcla asfáltica permite determinar el valor de la gravedad específica (Gbs) de los agregados mediante el análisis de la información contenida en los informes de ensayo (Primer semestre: I-0284-14 e I-0432-14. Segundo Semestre: I-0721-14, I-0722-14, I-0723-14, I-0851-14, I-0852-14 y I-0913-14). Además, los resultados obtenidos en estos informes facultan efectuar una comparación entre estos valores de Gbs con respecto a los valores reportados en el diseño de mezcla.

En la

Tabla 3 y la Tabla 4 se presenta el resumen de los resultados obtenidos para los materiales ensayados durante el primer semestre y el segundo semestre del año 2014. Para este análisis se obtienen muestras de cada una de las fracciones de agregado que se utilizan en la producción (por ejemplo: fino, cuartilla, quintilla gruesa y quintilla fina), para cada fracción se determinan los valores de Gbs los cuales son combinados matemáticamente de acuerdo con los porcentajes en que se proponen combinar cada una de estas fracciones y que se indican en el diseño de mezcla.

Se denota que los valores de gravedad específica bruta varían en el tiempo, siendo ejemplo de ello la variación observada en el caso de HSA de un valor de 2,615 kg/cm³ indicado en el diseño de mezcla de febrero de 2014 a un valor de 2,563 kg/cm³ para la muestra tomada por el LanammeUCR en marzo de 2014. En el Gráfico 1 se puede observar una tendencia a que los valores del LanammeUCR son menores con respecto a los valores indicados en los diseños de mezcla.

Asimismo, al analizar los resultados de absorción del agregado se denota algunas diferencias entre los valores obtenidos por el LanammeUCR y los indicados en los diseños de mezcla, siendo en su generalidad valores mayores que los reportados en los diseños, esta situación se muestra en los Gráfico 1 y Gráfico 2.

Tabla 3. Resumen de resultados de gravedad específica bruta obtenidos en la ronda de muestreo del mes de marzo de 2014 realizada por el LanammeUCR y los indicados en los diseños de mezcla asfáltica.

LanammeUCR^(*)

Planta	Informe	GBS Combinada	ABS Combinada
HSA	I-0432-14	2,563	3,055
HSRC	I-0432-14	2,568	2,352
HSG	I-0284-14	2,610	2,356
Orosí	I-0284-14	2,575	2,851
Conansa	I-0284-14	2,629	2,160
MG	I-0284-14	2,620	2,340
MU	I-0284-14	2,624	2,300

Diseños de Mezcla

Planta	Informe	GBS Combinada	ABS Combinada
HSA	197-2014	2,615	2,112
HSRC	E1-019-2014	2,579	2,330
HSG	75-2013	2,631	2,129
Orosí	ITP 405-13-E	2,630	2,030
Conansa	LGC E-07-505-2013	2,661	2,490
MG	399-13	2,632	1,768
MU	399-13	2,632	1,768

(*) Dato calculado por el equipo de auditoría.

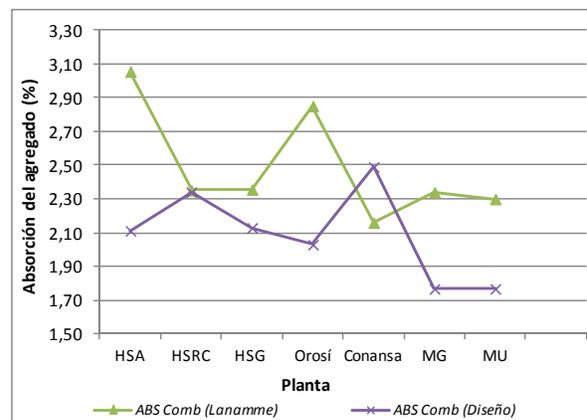
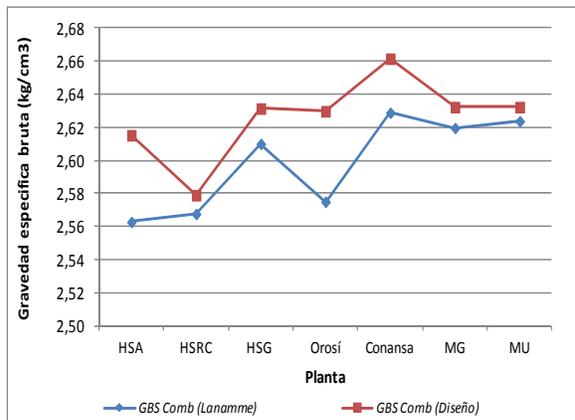


Gráfico 1. Comparación gráfica de valores de gravedad específica bruta y absorción obtenidos por el LanammeUCR para la ronda de muestreo del mes de marzo de 2014 y los indicados en los diseños de mezcla asfáltica.

Tabla 4. Resumen de resultados de gravedad específica bruta obtenidos en la ronda de muestreo del mes de junio a agosto de 2014 realizada por el LanammeUCR y los indicados en los diseños de mezcla asfáltica.

LanammeUCR

Planta	Informe	GBS Combinada	ABS Combinada
HSA	I-0851-14	2,567	2,483
HSRC	I-0913-14	2,567	2,484
HSG	I-0721-14	2,575	2,053
Orosí	I-0851-14	2,602	2,182
Conansa	I-0723-14	2,614	2,411
MU	I-0722-14	2,609	2,532
QS	I-0852-14	2,617	2,442

Diseños de Mezcla

Planta	Informe	GBS Combinada	ABS Combinada
HSA	230-2014	2,614	1,895
HSRC	E1-019-2014	2,579	2,330
HSG	13-2014	2,633	2,210
Orosí	OJM 909-2014	2,615	2,145
Conansa	LGC 323-14	2,661	2,529
MU	276-14	2,649	1,930
QS	337-14	2,702	1,940

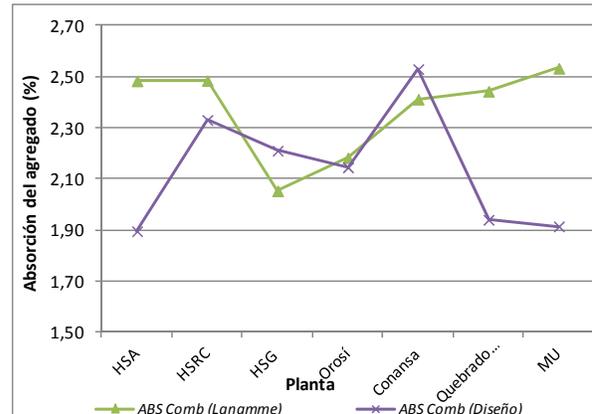
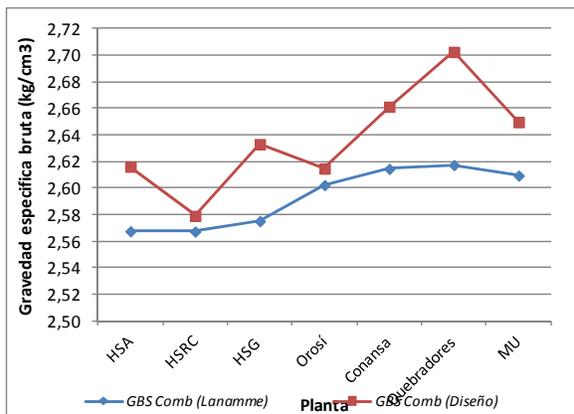


Gráfico 2. Comparación gráfica de valores de gravedad específica bruta y absorción obtenidos por el LanammeUCR para la ronda de muestreo realizada entre julio y agosto 2014 y los indicados en los diseños de mezcla asfáltica.

Resumiendo los cálculos anteriormente realizados, se logra determinar que los valores de la gravedad específica combinada y las absorciones de los informes de diseño de mezcla asfáltica en uso difieren de los resultados obtenidos por el LanammeUCR, por lo que se debería verificar continuamente su efecto en los cálculos de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica (vacíos, VMA, VFA y relación polvo-asfalto) tal como se analizará en el presente informe.

6.1.2. Sobre la influencia del valor de gravedad específica bruta de los agregados en los parámetros de control de calidad de la mezcla asfáltica

Observación N° 2: La variación en los valores de Gbs afecta los resultados diarios que se reportan en el control de calidad de la mezcla producida.

Los valores de gravedad específica y absorción de los agregados minerales inciden directamente en la determinación de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica, a saber contenido de vacíos, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos con asfalto (VFA) y la relación entre la cantidad de polvo y asfalto, las cuales se muestran en la Figura 3 esbozando las relaciones típicas volumétricas y de peso en una mezcla asfáltica.

La variación de la gravedad específica de los agregados incide directamente en el acomodo de las partículas de los agregados y por ende en el volumen y la masa ocupado por estos, por lo que para compensar la variación de espacio o peso, hay que efectuar cambios en la curva granulométrica. Este ajuste en la curva granulométrica, por efecto del cambio en el volumen de los agregados, afecta directamente la volumetría de la mezcla asfáltica. Al variar la volumetría -o masa- de la mezcla asfáltica se va a producir directamente un cambio en la determinación de los parámetros volumétricos de la mezcla que se esquematizan en la Figura 3. Los parámetros volumétricos contenido de vacíos, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos con asfalto (VFA) y la relación entre la cantidad de polvo y asfalto son considerablemente sensibles a los cambios anteriormente indicados, tal como se mostrará en la siguiente sección.

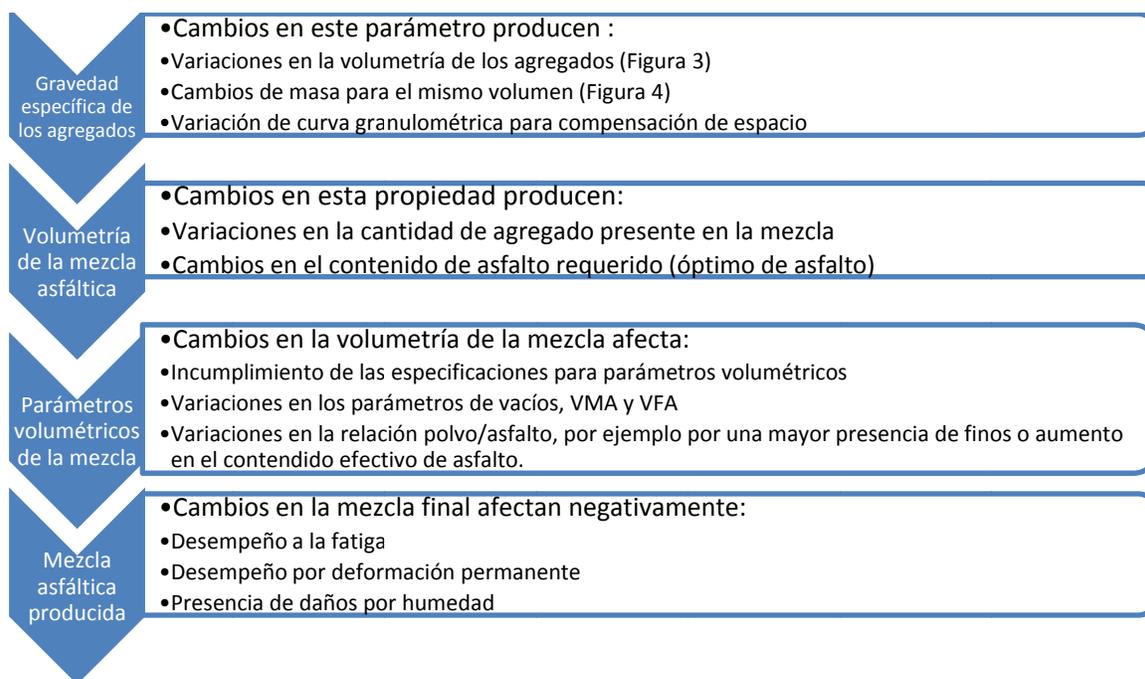


Figura 2: Efectos en las relaciones de volumen y peso de una mezcla asfáltica por variaciones de la gravedad específica del agregado.

Como se deriva de la figura anterior si el valor de la gravedad específica de los agregados que se usan cotidianamente en la producción varía, se pueden obtener valores diferentes en la volumetría de la mezcla, los cuales pueden influir en el control del proceso de producción de la mezcla asfáltica, repercutiendo en el cumplimiento de los requisitos especificados en la normativa vigente e inclusive en el desempeño futuro del pavimento durante su vida útil, tal como se analizará más adelante. Es por ello que también se debe mantener un control riguroso del efecto de este cambio en la gravedad específica de los agregados, sobre la volumetría de la mezcla asfáltica el cual finalmente se verá reflejado en la calidad de la misma.

Por este motivo, y como se evidenció en la observación 1 que los valores de la gravedad específica y absorción del diseño difieren con relación a los que se obtuvieron por el LanammeUCR, se procede a cuantificar el efecto que esta variación en la gravedad específica de los agregados podría tener al realizar los cálculos de volumetría, primeramente con los valores reportados por el LanammeUCR y posteriormente con los valores indicados en los diseños de mezcla, para finalmente realizar una comparación de esta influencia. Para ello, inicialmente se varía únicamente el valor de la gravedad específica del agregado, suponiendo que algunos de los valores de la mezcla asfáltica se mantienen invariantes¹ con el fin de valorar la sensibilidad de los parámetros volumétricos (VMA, VFA, polvo/asfalto) ante variaciones de la gravedad específica de los agregados.

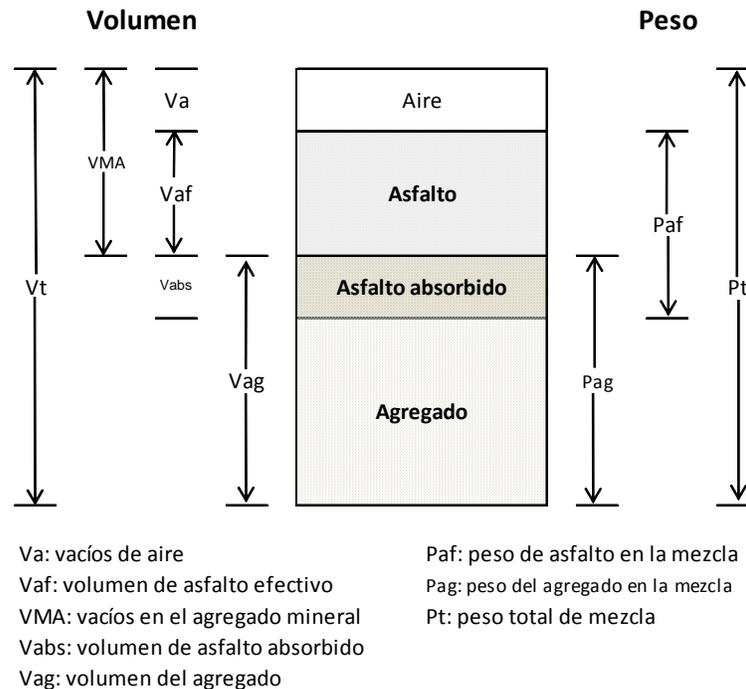


Figura 3: Esquema de relaciones de volumen y peso en una mezcla asfáltica

¹ Al variar la gravedad específica de los agregados, considerando una determinada masa, cambia el volumen de la mezcla y por ende cambia la demanda de asfalto (contenido de asfalto) variando de esta manera la relación polvo asfalto, además si el valor de Gbs aumenta se tiene una menor cantidad de material granular (en un mismo volumen) lo que modifica el acomodo de las partículas de agregados, afectando finalmente la gravedad específica de la mezcla, los vacíos, el VMA y el VFA. También se considera que se mantiene la misma granulometría de los agregados.

A modo de ejemplificar la incidencia de la variación de la gravedad específica y absorción de los agregados, se presentan los cálculos únicamente con los resultados de las muestras obtenidas durante el mes de marzo de 2014², en el cual se ensayaron muestras de agregado y de mezcla asfáltica procedentes de 7 plantas de producción, obteniendo los resultados de ensayo que se tabulan en la

Tabla 3.

Posteriormente, se efectúa el mismo análisis variando únicamente el valor de la gravedad específica indicada en el diseño de mezcla asfáltica en uso y manteniendo los mismos resultados³ obtenidos en el ensayo del LanammeUCR. Se obtiene que los resultados volumétricos de VMA, VFA y relación polvo asfalto varían, tal como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 5. Resumen de resultados de la mezcla asfáltica utilizando el valor de gravedad específica bruta obtenidos en la ronda de muestreo del LanammeUCR realizada en marzo de 2014.

Planta	Informe Lanamme	Gbs Agregado Lanamme(*)	VMA $\geq 14\%$	VFA (65%-75%)	Relación P/A 0,6%-1,3%	% asfalto efectivo (*)	% asfalto	% malla 200
HSA	I-0463-14 I-0371-14	2,563	13,5	60,9	1,54	3,63	5,3	5,6
HSA(polímero)	I-0463-14	2,563	13,6	71,1	1,67	4,25	5,9	7,1
HSRC	I-0463-14 I-0494-14	2,568	13,1	70,3	1,59	4,08	4,8	6,5
HSRC	I-0463-14 I-0494-14	2,568	13,6	64,5	1,59	3,89	4,8	6,2
HSG	I-0463-14 I-0455-14	2,610	12,9	73,8	1,42	4,10	5,1	5,8
Orosí	I-0463-14 I-0420-14	2,575	12,6	75,1	1,61	4,10	5,4	6,6
Conansa	I-0463-14 I-0221-14	2,629	13,9	70,2	1,16	4,24	5,4	4,9
MG	I-0463-14 I-0470-14	2,620	14,5	62,6	1,34	3,95	5,5	5,3
MU	I-0463-14 I-0480-14	2,624	13,4	65,8	1,63	3,81	5,0	6,2

(*) Dato calculado por el equipo de auditoría.

² Correspondientes al Informe I-0463-14.

³ Correspondientes al Informe I-0463-14. Se mantienen los mismos resultados para los parámetros Gbs de la mezcla asfáltica, máxima teórica, porcentaje de asfalto, Gbs de asfalto, porcentaje pasa N°200.

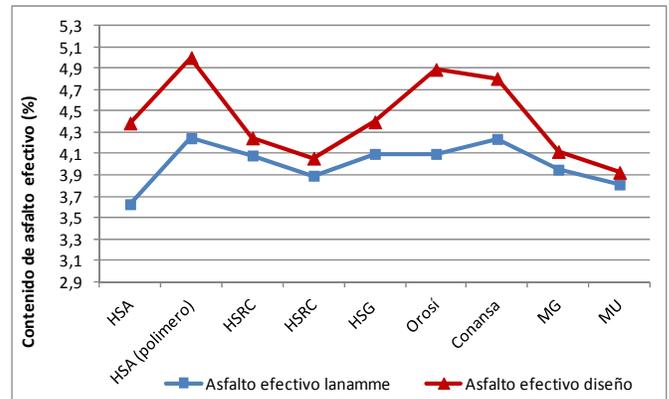
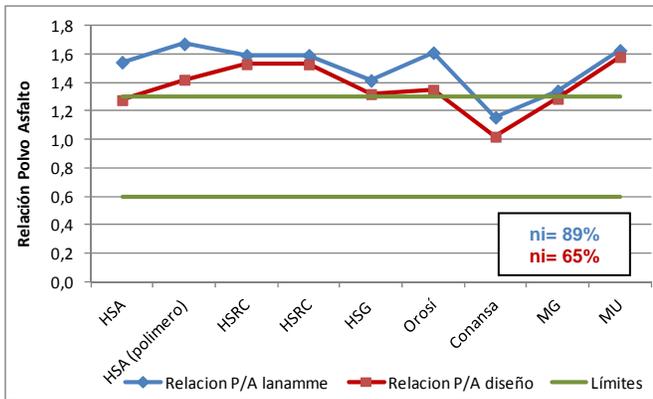
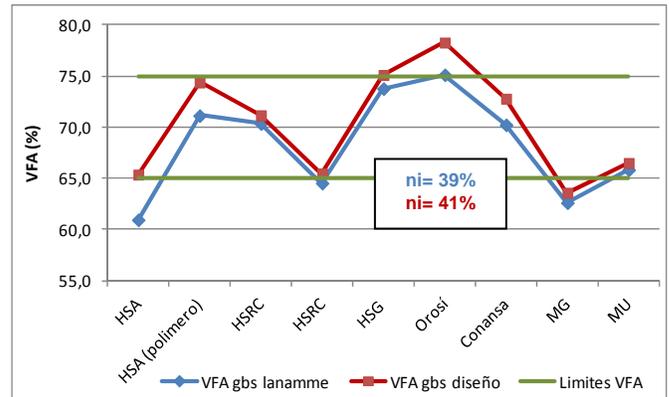
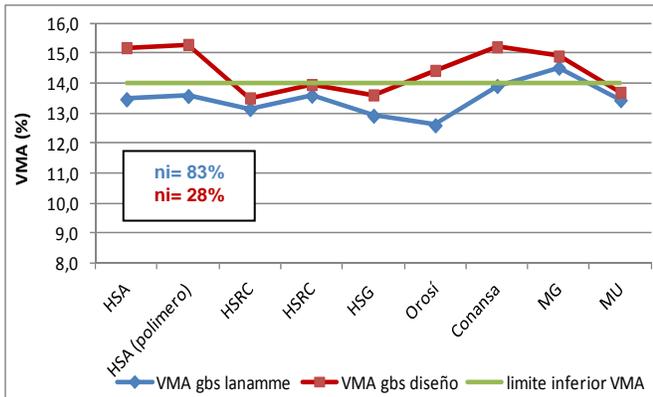
Tabla 6. Resumen de resultados de la mezcla asfáltica utilizando el valor de gravedad específica bruta reportados en los informes de diseño de mezcla.

Planta	Informe	Gbs Agregado Diseño(§)	VMA $\geq 14\%$	VFA (65%-75%)	Relación P/A 0,6%-1,3%	% asfalto efectivo (*)	% asfalto	% malla 200
HSA	197-2014	2,615	15,2	65,4	1,28	4,39	5,3	5,6
HSA (polimero)	197-2014	2,615	15,3	74,4	1,42	5,00	5,9	7,1
HSRC	E1-19-2014	2,579	13,5	71,2	1,53	4,25	4,8	6,5
HSRC	E1-19-2014	2,579	14,0	65,5	1,53	4,06	4,8	6,2
HSG	75-2013	2,631	13,6	75,1	1,32	4,40	5,1	5,8
Orosí	ITP 405-13	2,630	14,4	78,3	1,35	4,89	5,4	6,6
Conansa	LGC 505-2013	2,661	15,2	72,8	1,02	4,80	5,4	4,9
MG	399-13	2,632	14,9	63,6	1,29	4,12	5,5	5,3
MU	399-13	2,632	13,7	66,5	1,58	3,92	5,0	6,2

(*) Dato calculado por el equipo de auditoría.

(§) Dato que cambia para determinar la sensibilidad de los parámetros volumétricos, obtenido de los diseños de mezcla.

Al efectuar la comparación en la variación de los valores de volumetría se denota que la gravedad específica de los agregados tiene mayor incidencia en los parámetros de VMA, el asfalto efectivo (porcentaje de asfalto real menos el asfalto absorbido) y la relación polvo-asfalto, ya que tiende a incrementar el incumplimiento en estos parámetros, tal como se presenta en el Gráfico 3, también se observa que no tiene gran influencia en el parámetro de VFA.



ni: nivel de incumplimiento estimado

Gráfico 3. Comparación gráfica de valores de parámetros obtenidos con valores de Gbs obtenidos por el LanammeUCR y los indicados en los diseños de mezcla asfáltica.

Es criterio del equipo auditor que es de vital importancia valorar durante los procesos de control de la calidad de la mezcla asfáltica producida, la incidencia que tienen los valores de la gravedad específica bruta y absorción del agregado mineral; ya que -como se ha evidenciado-, los valores de parámetros de VMA⁴, VFA y relación polvo asfalto varían significativamente y por ende en la valoración del cumplimiento de las especificaciones establecidas.

⁴ La variación de la gravedad específica bruta y absorción del agregado mineral afecta también el espacio o volumen abarcado por estas partículas, por lo que una de las alternativas para subsanar esta variación de espacio se logra cambiando la curva granulométrica, en este caso en particular una forma de lograr el cumplimiento de especificaciones es acercar la curva granulométrica hacia el límite grueso (abrir espacio) de modo que se logre un VMA mayor.

6.1.3. Sobre la influencia del valor de gravedad específica bruta de los agregados en el contenido óptimo de asfalto diseñadas por el método Marshall

Observación Nº 3: La variación de los valores de gravedad específica bruta de los agregados podrían incidir en el contenido de asfalto que se utiliza para la producción de mezcla asfáltica.

Cambios en los valores de gravedad específica bruta (Gbs) de los agregados, podría afectar el porcentaje de asfalto óptimo que demanda la cantidad de agregado en una mezcla asfáltica⁵. De acuerdo con los resultados obtenidos por el LanammeUCR, se evidencia que los valores obtenidos en los ensayos de Gbs, realizados en el primer semestre de 2014, han disminuido con relación a los valores que se indican en los diseños de mezcla con los que se produjo la mezcla asfáltica.

La variación del valor del Gbs podría tener un efecto significativo en la composición de la mezcla asfáltica, tanto en el volumen de agregado, así como en la cantidad de asfalto requerido en la misma ya que ambos parámetros están directamente relacionados con el valor de Gbs.

Es importante recordar que de acuerdo con la normativa vigente una mezcla asfáltica debe cumplir simultáneamente en el rango de contenido de asfalto⁶ óptimo $\pm 0,5\%$ todos los parámetros volumétricos VMA, VFA, relación polvo/asfalto y contenido de vacíos. Por tanto si no existe cumplimiento o se determinan incumplimientos considerables, se debe valorar variar la curva granulométrica, ya que no se pueden solventar estos incumplimientos únicamente variando el porcentaje de asfalto.

Se observa que los diseños de mezcla reportan en su gran mayoría Gbs alrededor de 2,630 kg/m³ inclusive reportando valores de 2,707 kg/m³, lo que en general establece contenidos óptimos de asfalto entre 4,8% y 5,5%. (ver Tabla 7)

⁵ En el presente caso, para simplificación del análisis, al igual que en el caso anterior se supone que la variación de la gravedad específica de los agregados no provoca cambios en la volumetría de la mezcla asfáltica (gravedad específica de la mezcla, vacíos, VMA y el VFA), se mantiene la premisa para la granulometría de los agregados.

⁶ Se determina valorando cuando la mezcla asfáltica alcanza el 4% de vacíos.

Tabla 7. Resumen GBS según resultados de ensayo del mes de marzo de 2014 del LanammeUCR y Diseños de Mezcla

Planta	% asfalto	Informe	Gbs Lanamme	Informe	Gbs Diseño
HSA	5,3	I-0463-14/I-0371-14	2,563	197-2014	2,615
HSRC	4,8	I-0463-14/I-0494-14	2,568	E1-019-2014	2,579
HSG	5,1	I-0463-14/I-0455-14	2,610	75-2013	2,631
Orosí	5,4	I-0463-14/I-0420-14	2,575	ITP 405-13	2,630
Conansa	5,4	I-0463-14/1-0221-14	2,629	LGC 505-2013	2,661
MG	5,5	I-0463-14/I-0470-14	2,620	399-13	2,632
MU	5,0	I-0463-14/I-0480-14	2,624	399-13	2,632

Como se evidenció en la observación 1 la gravedad específica de los agregados varía en el tiempo, disminuyendo en particular a valores promedio de $2,570 \text{ kg/m}^3$, tal como los valores que se obtuvieron en los ensayos realizados por el LanammeUCR a los agregados durante el periodo de muestreos del primer semestre de 2014 que se resumen en la Tabla 7. Esta variación incide directamente en la cantidad de agregado presente en una misma masa de agregado, lo cual se sintetiza en la Figura 4 en donde se observa que el volumen de los agregados aumenta, para una misma masa, conforme el Gbs disminuye. Lo que significa que se requiere de mucho menor cantidad de agregado más pesado, para obtener un mismo peso.

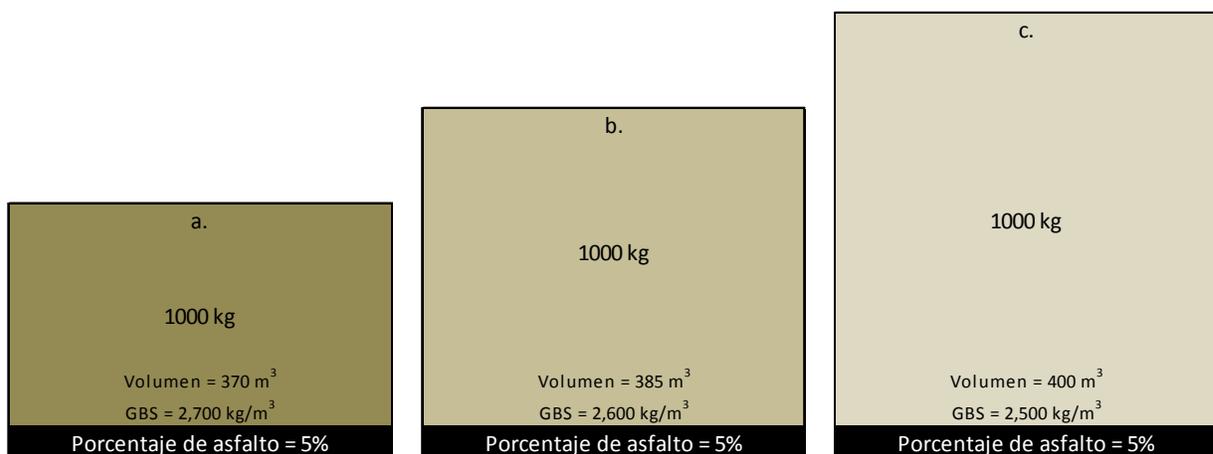


Figura 4. Comparación en el cambio de volumen para una misma masa por variación del GBS.

Asimismo, como se puede notar en la Figura 4, si el valor de Gbs disminuye en el tiempo (avanzando en la Figura 4 de izquierda a derecha) puede existir el riesgo de que el contenido de asfalto óptimo -definido inicialmente en el diseño de mezcla- no sea suficiente para cubrir adecuadamente las partículas y como consecuencia el agregado podría quedar recubierto por una película muy delgada de asfalto por el efecto del aumento de volumen y cantidad, lo

que a la postre provocaría que sea más vulnerable a los efectos climáticos y de intemperismo.

Al aumentar el valor de Gbs de los agregados va a existir una reducción de volumen para el mismo peso (tal como se esquematiza en la Figura 4) por tanto los vacíos disponibles entre las partículas van a ser llenados por asfalto, por lo que el valor de VMA aumenta, implicando una mayor cantidad de asfalto.

Situación contraria resultaría si el valor de Gbs aumenta en el tiempo (examinando la Figura 4 de derecha a izquierda), podría provocar el efecto de tener más cantidad de asfalto de la requerida debido a la reducción en el volumen de agregado (menos cantidad de piezas) para crear la capa delgada de asfalto en las partículas minerales, pudiendo llegar a quedar asfalto en exceso, lo que podría ser perjudicial para la carpeta asfáltica en servicio, manifestándose una posible inestabilidad o migración de asfalto a la superficie (exudación).

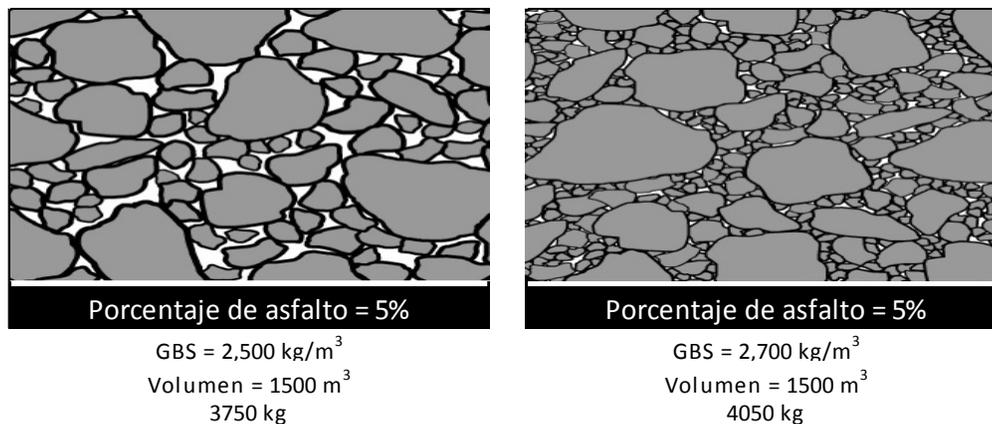


Figura 5. Comparación de un mismo volumen con aumento de material por variación del GBS.

Por otra parte, se debe tener conocimiento de la variación de la gravedad específica durante el proceso de diseño, ya que partir de un Gbs de valor alto con una tendencia a disminuir podría generar la noción de tener disponible más espacio entre los agregados (para un mismo peso, menos cantidad de agregado, pero más denso -ver Figura 4 a y c-) para alojar el asfalto y los vacíos (concepto de VMA) tal como se deriva del análisis de los resultados mostrados en el Gráfico 3, en donde se evidencia un mayor valor de VMA con un valor mayor de Gbs que el obtenido por el Lanamme. Cuando en realidad este espacio está siendo abarcado por agregado pero de menor densidad, tal como se ilustra en la **Figura 5** (un mismo volumen, pero con diferentes cantidades de agregado).

Asimismo, si se considera la consiguiente variación en el valor de la absorción del agregado, se tiene una aparente mejoría en la relación polvo asfalto, tal como se evidenció anteriormente en el Gráfico 3, en donde con valores de Gbs mayores se tendría un incumplimiento del 65%, mientras que con valores menores se obtendría un 89%.

Estimación del contenido de asfalto requerido según el Gbs

El Instituto Mexicano del Transporte⁷ propone una metodología para estimar la cantidad de asfalto requerida para un tipo de agregado para fabricar una mezcla asfáltica. El cálculo de la estimación incluye el valor de la gravedad específica del agregado, el detalle del cálculo se presenta en el Anexo 1. De dicha metodología se establece un escenario de demanda de asfalto para los diferentes tipos de agregados ejemplificados en la Figura 4.

Tabla 8. Estimación de la demanda de asfalto asociada al Gbs de los agregados

Gravedad específica bruta de los agregados (Gbs)	Diferencia [§] entre Gbs y Gse de 0,10	Diferencia entre Gbs y Gse de 0,15	Diferencia entre Gbs y Gse de 0,20
	Contenido asfalto estimado (%Pa)		
2,500	6,1	6,7	7,3
2,600	5,8	6,4	7,0
2,700	5,6	6,1	6,7

Gse: gravedad específica efectiva del agregado (está influenciado por absorción).

[§] De los análisis anteriormente realizados se puede establecer una diferencia existente entre el Gbs y el Gse que varía aproximadamente entre 0.16 y 0.22; por lo que para el presente análisis se definen tres valores 0.10, 0.15 y 0.20 para establecer los escenarios de sensibilidad.

De los datos de la **Tabla 8** se corrobora que el valor de la gravedad específica del agregado tiene una alta incidencia en la demanda de asfalto en una mezcla asfáltica, ya que conforme el Gbs de los agregados aumenta (volumen disminuye, para un mismo peso) es menor la cuantía de asfalto requerida para cubrir las partículas de agregado, al estar en menor cantidad. En el Gráfico 4 se presenta una comparación visual de la demanda de asfalto de acuerdo con la gravedad específica del agregado.

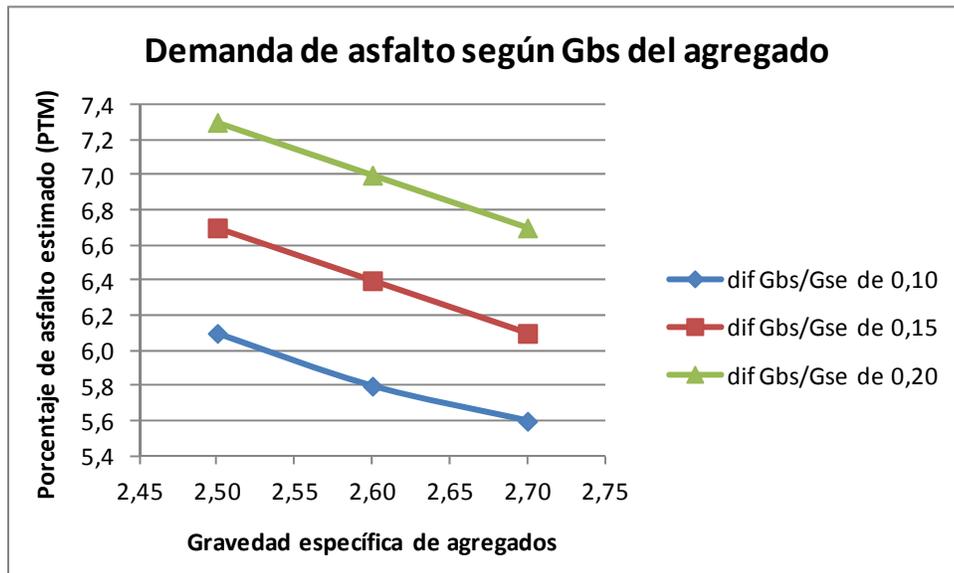


Gráfico 4. Contenido de asfalto (PTM) estimado por variación del GBS.

⁷ En la publicación técnica 267 denominada "Caracterización Geo-mecánica de Mezclas Asfálticas".

Es por esta razón que el contenido de asfalto óptimo indicado en el diseño debe de ser continuamente revisado y actualizado, máxime si se considera que los ensayos realizados por el LanammeUCR revelan una variación a la baja del valor de gravedad específica bruta, lo cual de acuerdo con resultados de contenido de asfalto (resumidos en la Tabla 7) reportados en el informe LM-AT-021-14 "EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA EN COSTA RICA PARA LOS PROYECTOS VIALES DE CONSERVACIÓN VIAL. CONTRATACIÓN DIRECTA NO. 2009LN-000003-CV. VARIAS ZONAS" emitido en marzo del presente año, se podría determinar que las mezclas asfálticas se han estado produciendo con menor cantidad de asfalto que el estimado en el presente análisis.

6.1.4. Sobre la influencia del contenido de asfalto en el desempeño de la mezcla asfáltica

Observación N° 4: : Los contenidos de asfaltos presentados en los diseños de mezcla afectan el desempeño por fatiga de la mezcla asfáltica y su vida útil a largo plazo.

En un estudio realizado por investigadores⁸ del LanammeUCR denominado "Influencia de la energías de compactación y granulometría en el desempeño de mezclas asfálticas para pavimentos de bajo tránsito" se relaciona un nivel de fatiga específico con respecto a la rigidez inicial a la flexión para mezclas asfálticas con diferentes contenidos de asfalto. A partir de los resultados mostrados en dicho estudio, se desarrolla el Gráfico 5, en donde se presentan mezclas con diferente rigidez inicial y se comparan la cantidad de repeticiones de carga que soporta la mezcla a diferentes deformaciones constantes aplicadas.

De dicha gráfica se deriva que mezclas con contenidos de asfalto mayores soportan una mayor cantidad de repeticiones de carga sometidas a una misma deformación. Para un aumento de asfalto en aproximadamente 0,5% se amplía considerablemente el número de repeticiones de carga para la falla por fatiga para una deformación constante de 250 ms, obteniendo una repetición de 7.500.000 cargas para el contenido de 5,66% pasando a un aumento en la cantidad de repeticiones a aproximadamente 17.750.000 para el contenido de 6,12%. Se observa un aumento en el desempeño de la mezcla en función del aumento del contenido de asfalto, acrecentándose poco más de 2 veces o 230% más de vida a fatiga.

Inclusive al comparar con la mezcla asfáltica fabricada con un 5,2% de asfalto se observa que las repeticiones que se logran son de aproximadamente de 3.510.000 repeticiones, mostrando que una carpeta con mezcla asfáltica con una rigidez correspondiente a un contenido cercano al 6% tiene una capacidad de 5,1 veces la lograda por la mezcla con contenido de 5,2% .

⁸ Informe final de graduación desarrollado por el señor Daniel Chacón Oviedo, con la dirección de Ing. Fabian Elizondo Arrieta y la asesoría de los Ingenieros José Pablo Aguiar Moya y Andrea Ulloa Calderón.

Posteriormente, de manera comparativa para establecer una magnitud de comparación con lo que sucede en una carretera en operación se analizaron varias estructuras típicas de pavimento sometidas a una carga de 9.000 lbs (correspondiente a medio eje equivalente de carga) con el fin de conocer la deformación unitaria en la fibra inferior de la carpeta asfáltica y posteriormente asociarla a un número de repeticiones según figura anterior.

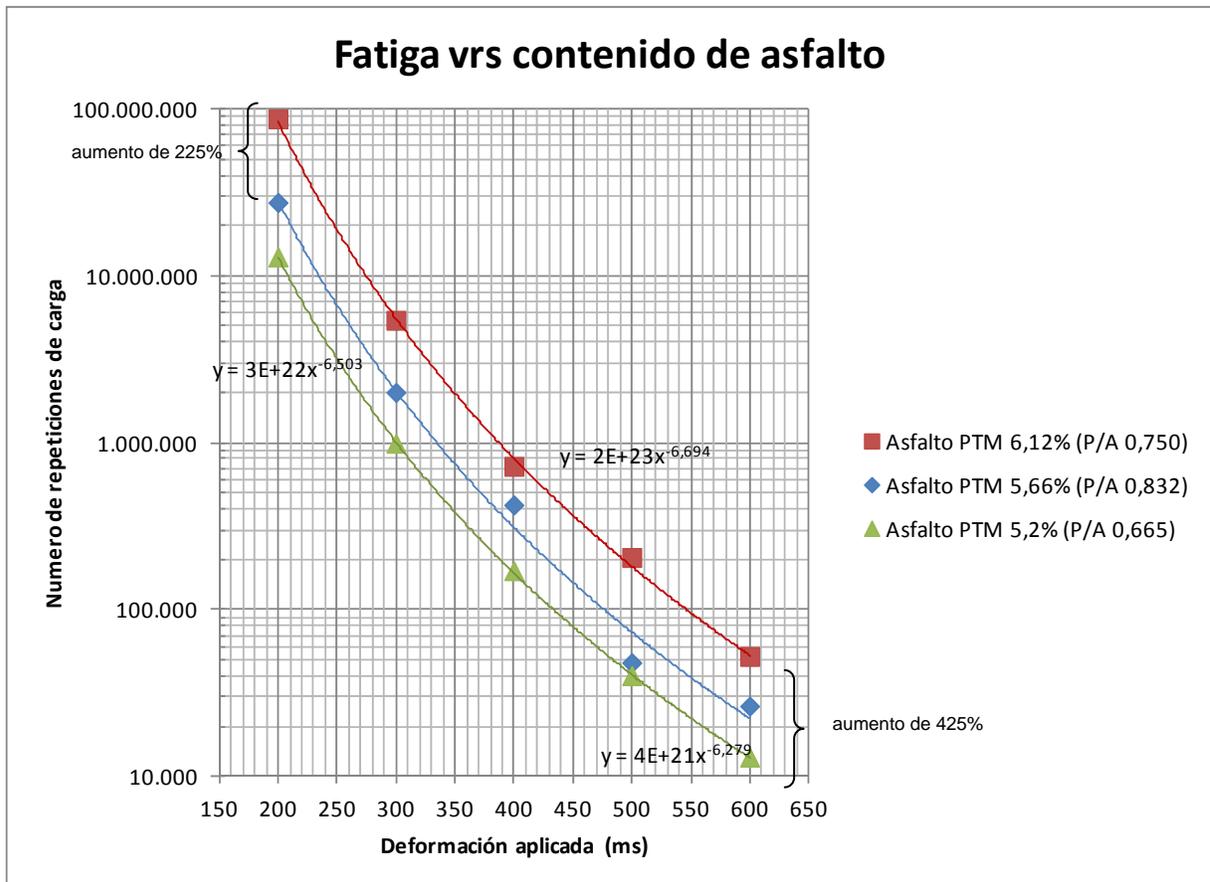


Gráfico 5. Relación de un nivel de fatiga específico con respecto a la rigidez inicial a la flexión en mezclas asfálticas para diferentes contenidos de asfalto.

Las estructuras se conformaron de la siguiente manera: espesor variable de carpeta asfáltica (Módulo = 450.000 psi), 20 cm de base granular (Módulo = 28.000 psi), 30 cm de subbase (Módulo = 15.000 psi), colocado sobre una subrasante con un módulo resiliente igual a 5.000 psi. En la **Figura 6** se presenta un esquema de la estructura indicada.

variable	Carpeta asfáltica módulo = 450,000psi
20 cm	Base Granular módulo = 28,000 psi
30 cm	Sub base Granular módulo = 15,000 psi
infinito	Sub rasante módulo = 5,000 psi

Figura 6. Esquema de estructura de carretera utilizada para estimar la cantidad de ejes equivalentes, para mezcla asfáltica con diferentes contenidos de asfalto.

Las deformaciones unitarias obtenidas fueron las siguientes:

Tabla 9. Deformación unitaria, según espesor de carpeta.

Espesor de carpeta asfáltica (cm)	Deformación unitaria (ms)
5	457
10	359
15	251

Utilizando una deformación unitaria de 251 ms, se observa que un aumento del 18% en el contenido de asfalto conlleva a un aumento significativo en la resistencia de repeticiones de carga de fatiga en una carpeta asfáltica, tal como se presenta en la Tabla 10.

Tabla 10. Número de repeticiones de acuerdo al contenido de asfalto

Contenido de asfalto (%)	Deformación aplicada	Número de repeticiones (*)	Incremento porcentual repeticiones (%)	Incremento porcentual asfalto (%)
5,20%	250	3.510.708	-	-
5,66%	250	7.643.942	232%	9%
6,12%	250	17.750.867	506%	18%

(*) para una deformación unitaria típica de: 250 ms y un valor típico de módulo de la mezcla: 3200 MPa y para un 4% de vacíos.

La casilla sombreada es la condición de comparación.

Con el fin de poner en perspectiva la magnitud del número de repeticiones se tomará como ejemplo un proyecto con un tránsito intermedio (TPD =6.500) y con alta carga de tránsito

Informe en versión preliminar LM-PI-AT-080-14	Fecha de emisión: Enero 2015	Página 26 de 31
--	------------------------------	-----------------

pesado (22%). Una carretera sometida a estas condiciones recibiría diariamente 5.783 repeticiones de carga de 18.000 lbs o ejes equivalentes (ESALs). El número de repeticiones asociados al contenido de asfalto de 5,20% se consumirían en 3 años, en el caso del contenido de asfalto de 5,66% pasarían 6 años y para el caso con mayor contenido de asfalto (6,12%), la mezcla resistiría 11,5 años antes de fallar por fatiga. En otras palabras, el incrementar la cantidad de asfalto en un 18%, se traduciría en 8,5 años más de vida útil, para este ejemplo específico. Por tanto se logra establecer que al aumentar el contenido de asfalto se va a tener un cambio en la vida útil de un pavimento.

De los diseños de mezcla analizados en los procedimientos anteriores, y del informe LM-AT-021-14, se evidencia en los diseños de mezcla asfáltica analizados una tendencia a la reducción de la cantidad de asfalto (oscilando entre 5,4% a 6,0%). Sin embargo, del análisis anterior se puede evidenciar que mezcla asfálticas con una rigidez correspondiente a un contenido de asfalto de 6,12% muestran un aumento en el número de repeticiones de carga a la fatiga de un 500% (para una deformación unitaria constante de 250 ms) con relación a las mezclas con un contenido de asfalto de 5,2%, dicha reducción origina la grave consecuencia que se reduce la vida útil del pavimento debido al agrietamiento por fatiga.

Esto se hace notorio, y cobra mayor importancia, sobre todo en aquellas carreteras en donde se tienen altos volúmenes de tránsito, por lo que de acuerdo con lo mostrado en los párrafos anteriores es conveniente que se valore la posibilidad de aumentar el porcentaje de asfalto a un valor cercano entre 6,0 - 6,3%, lo cual implicaría un aumento de aproximadamente el 18% de la cantidad de asfalto que se utiliza actualmente, pero con un incremento en la vida útil a la fatiga que se supera en cinco veces, alargando la vida operativa de la carretera en 8,5 años.

Además, en aras de proteger la inversión realizada, no solamente se debe considerar el efecto final de una carpeta fatigada a menor cantidad de tránsito sino que se debe evitar no sólo la formación de la grieta la cual permitirá el ingreso del agua y por tanto también la formación del bache y reducción de la capacidad de las capas inferiores. El aumento en la cantidad de asfalto en la mezcla permitiría poder retrasar la aparición de estos deterioros y aumentar la vida útil del pavimento.

Desde un punto de vista constructivo, es indispensable evitar la aparición de grietas en la carpeta asfáltica, ya que una capa fatiga conlleva a la reparación (al menos) en todo el espesor de la carpeta. Por su parte, las deformaciones en la carpeta, implican menores intervenciones de reparación, ya que se podría optar por realizar un perfilado de la superficie deformada y una colocación de una sobrecapa de refuerzo o incluso una microcarpeta en el caso de ahuellamientos menores en la superficie.

7. CONCLUSIONES

A partir del análisis de los resultados de ensayo obtenidos por el LanammeUCR para las plantas de estudio, y del estudio de los resultados mostrados en los diseños de la mezcla asfáltica manufacturada en las diversas plantas de producción asfáltica y de acuerdo con los resultados obtenidos por el LanammeUCR, se emiten las siguientes conclusiones, con el propósito principal de aportar elementos técnicos a los procesos de mejora continua:

- a. Se evidencia que los valores de la gravedad específica combinada de los agregados para la determinación de los parámetros volumétricos varían en el tiempo, ya que los resultados obtenidos por LanammeUCR difieren con respecto a los valores indicados en los informes de diseño de mezcla asfáltica vigente y en uso en el momento del muestreo de la mezcla asfáltica, para un período de diferencia de aproximadamente 6 meses para la mayoría de los casos.
- b. Los valores de la gravedad específica de los agregados tienen una incidencia significativa en los resultados volumétricos de la mezcla asfáltica afectando mayormente a los parámetros de VMA, el asfalto efectivo (porcentaje de asfalto real menos el asfalto absorbido) y la relación polvo-asfalto. Por lo que es de vital importancia la valoración del efecto de los valores de la gravedad específica bruta y absorción del agregado mineral en los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica.
- c. Los valores de la gravedad específica de los agregados modifican el acomodo y volumen de las partículas de los agregados, lo que cambia la curva granulométrica, afectando a su vez la volumetría de la mezcla asfáltica. Estos cambios tienen un efecto significativo en la cantidad de asfalto determinado para la mezcla asfáltica (% óptimo), por la variación de los valores de Gbs y su cambio de masa y volumen del agregado. Se comprueba que conforme el Gbs de los agregados aumenta (volumen disminuye, para un mismo peso) es menor la cantidad de asfalto requerida para cubrir las partículas de agregado. Sin embargo, se debe tener presente que al cambiar el volumen abarcado por estas partículas, también se verá directamente influenciada la curva granulométrica de los agregados.
- d. De la comparación de los resultados de mezcla asfáltica con variación en la rigidez, por efecto de diferentes contenidos de asfalto, se logra determinar que una mezcla correspondiente a un contenido de asfalto de 6,12% demuestra que puede soportar un aumento en el número de repeticiones de carga a la fatiga de un 500% (para una deformación de 250 ms) con relación a una mezcla con un contenido de asfalto de 5,2%. Esta situación valorada en carreteras que tienen altos volúmenes de tránsito indica que para una determinada cantidad diaria de repeticiones la carretera con la mezcla de 6,12% de asfalto podría tener una duración de 11,5 años antes de fallar por fatiga, mientras que la carretera con la mezcla de 5,2% tan solo duraría 3 años para la falla por fatiga.
- e. El aplazamiento de la aparición de deterioros tales como grieta o carpeta fatigada, conlleva el aumento de la vida útil del pavimento; así como también la posible reducción de costos, ya que se requeriría intervenciones menores para la reparación. Una capa fatigada conlleva a la reparación (al menos) en todo el espesor de la

carpeta y un incremento en los esfuerzos que causan deformaciones permanentes mayores en las capas inferiores (base, subbase y subrasante) y por lo tanto, un daño cada vez más complejo de reparar.

- f. El diseño de la mezcla no solamente es un requisito contractual, sino que es un compromiso técnico que asegure la calidad y desempeño del producto fabricado mediante este diseño. De igual manera la Administración debe garantizar que se lleve a cabo la verificación de calidad del diseño y de la implementación en la planta de producción.

8. 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 a éste y futuros proyectos.

- a. Revisar y verificar regularmente los valores de la absorción y gravedad específica combinada de los agregados utilizados durante el proceso de producción de mezcla asfáltica.
- b. Ratificar el efecto en la curva granulométrica, en la volumetría de la mezcla asfáltica y en el contenido de asfalto cuando se determinen cambios en la gravedad específica y absorción del agregado.
- c. Verificar que la recarga de los apilamientos de agregados en la planta de producción de mezcla asfáltica, no produzca alteraciones en los materiales existentes que se han caracterizado anteriormente.
- d. Valorar la inclusión de parámetros de evaluación de desempeño de la mezcla asfáltica a nivel contractual, como requisitos de la fase del diseño de la mezcla, que permitan evaluar, diferenciar y determinar un diseño de mezcla balanceado entre el comportamiento a fatiga y la deformación permanente de una mezcla asfáltica, procurando el mayor beneficio de desempeño durante la etapa de operación de la carpeta asfáltica construida.

Realizado por:



Ing. Victor Cervantes Calvo
Auditor Técnico, LanammeUCR



Ing. Francisco Fonseca Chaves
Auditor Técnico, LanammeUCR

Aprobado por:



Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc.

Coordinadora Unidad de Auditora Técnica, LanammeUCR

Aprobado por:



Ing. Luis Guillermo Loria Salazar, PhD.

Coordinador General del Programa de Infraestructura
de Transporte, LanammeUCR

Visto bueno de legalidad:



Lic. Miguel Chacón Alvarado.
Asesor Legal LanammeUCR

ANEXO 1. Estimación del contenido de asfalto requerido según tipo de agregado

Inicialmente se estima la gravedad específica efectiva del agregado por medio de la siguiente ecuación:

$$G_{se} = G_{bs} + 0,9(G_{sa} - G_{bs})$$

en donde:

G_{se} : Gravedad específica efectiva

G_{bs} : Gravedad específica bruta

G_{sa} : Gravedad específica aparente

A partir de los cálculos realizados con la información de los ensayos realizados por LanammeUCR se logra determinar que la diferencia existente entre el G_{bs} y el G_{se} varía aproximadamente entre 0,16 y 0,22. Por lo que para el cálculo de la estimación del contenido de asfalto se establecen escenarios de sensibilidad para establecer la variabilidad de dicha estimación, con tal fin se definen tres valores 0.10, 0.15 y 0.20.

Gravedad específica bruta (G_{sb})	Diferencia entre G_{bs} y G_{se} de 0,10	Diferencia entre G_{bs} y G_{se} de 0,15	Diferencia entre G_{bs} y G_{se} de 0,20
	Valor de GSE, según escenarios		
2,500	2,600	2,650	2,700
2,600	2,700	2,750	2,800
2,700	2,800	2,850	3,000

Luego se estima el volumen de asfalto efectivo (V_{be}) y el volumen de asfalto absorbido (V_{ba}) mediante las expresiones:

$$V_{ba} = \frac{P_s \times (1 - V_a)}{\left(\frac{P_b}{G_b} + \frac{P_s}{G_{se}}\right)} \times \left(\frac{1}{G_{sb}} - \frac{1}{G_{se}}\right)$$

$$V_{be} = 0,176 - 0,067 \log(19,0)$$

en donde P_s : Porcentaje de agregado = $(1 - P_b)$

V_a : Contenido de vacíos

P_b : porcentaje de asfalto

Finalmente, el contenido de asfalto óptimo se calcula con la siguiente ecuación

$$P_{bi} = \frac{G_b \times (V_{be} + V_{ba})}{(G_b \times (V_{be} + V_{ba})) + W_s} \times 100$$

Informe en versión preliminar LM-PI-AT-080-14	Fecha de emisión: Enero 2015	Página 31 de 31
--	------------------------------	-----------------