



Laboratorio Nacional de
Materiales y Modelos Estructurales



PROGRAMA DE
INFRAESTRUCTURA DEL
TRANSPORTE

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

Proyecto: LM-PI-AT-021-14

EVALUACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA PRODUCIDA EN COSTA RICA PARA LOS PROYECTOS VIALES DE CONSERVACION VIAL. PERIODO 2013

***PROYECTO: Conservación de la Red Nacional Pavimentada.
Contratación Directa No. 2009LN-000003-CV.***

Varias Zonas

INFORME EN VERSIÓN 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

JUNIO, 2014



Información técnica del documento

1. Informe en versión final Informe LM-PI-AT-021-14.	2. Copia No. 1	
3. Título y subtítulo: EVALUACIÓN 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 Junio, 2014	
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 el contenido de asfalto de mezcla asfáltica producida: se determina que la mayoría de las plantas incluidas en este análisis muestran incumplimientos en el contenido óptimo de asfalto señalado en el diseño. Inclusive en algunos casos el valor promedio no cumple con el requisito establecido de que dicho contenido puede variar en una magnitud de 0,5%, siendo esto un indicio de un proceso productivo con alta variabilidad, carente de capacidad para cumplir el valor meta propuesto en el diseño.</p> <p>Sobre la calidad de la mezcla asfáltica producida: se determinan incumplimientos en parámetros Marshall que definen la volumetría de la mezcla asfáltica, siendo estos: contenido de vacíos de la mezcla, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA) y la relación polvo/asfalto, para la mayoría de los centros de producción estudiados, en la relación polvo/asfalto, existe una alta incidencia del porcentaje de material fino pasando la malla 200 con valores cercanos al límite superior permitido. Otro factor que se evidencia que interviene es la absorción de asfalto de los agregados ya que dejan contenidos de asfalto efectivo reducidos. Asimismo se deriva que bajos contenidos de asfalto, altos contenidos de vacíos y altos contenidos de finos, pueden resultar en menoscabo de la durabilidad y resistencia al agrietamiento por fatiga, así como un posible envejecimiento del asfalto por un aumento en la permeabilidad.</p> <p>Sobre el diseño de la mezcla asfáltica: el análisis preliminar de los diseños de las plantas en estudio pone en evidencia un importante nivel de riesgo potencial de incumplimiento para algunos de los parámetros de calidad en el rango de contenido óptimo de asfalto propuesto en el diseño. Esto se evidenció mediante los niveles de incumplimiento obtenidos del análisis de los resultados de ensayo de calidad de la mezcla asfáltica elaborada por las diferentes plantas. Por lo que se comprueba que un buen o mal diseño se hace patente durante la fase productiva de la mezcla asfáltica.</p>		
10. Palabras clave Planta asfáltica, Mezcla asfáltica, Diseño de mezcla, Control de Calidad	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 37

INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
EVALUACIÓN 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 3

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:

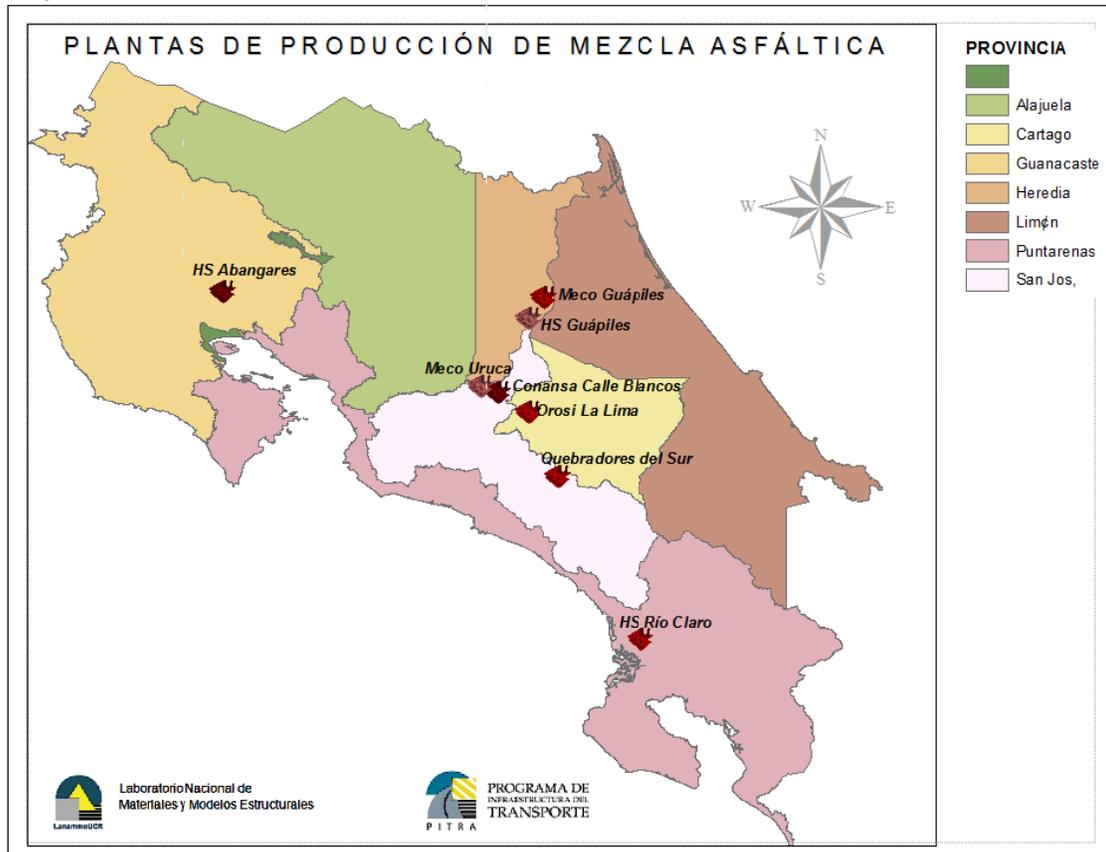


Figura 1. Ubicación aproximada de las Plantas de Producción de Mezcla Asfáltica .

TABLA DE CONTENIDO

1. FUNDAMENTACIÓN.....	6
2. OBJETIVO DE LAS AUDITORÍAS TÉCNICAS	6
2.1. Objetivo del informe.....	6
2.2. Alcance del informe	7
3. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR.....	7
4. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	7
4.1. Información general de la plantas	9
4.2. antecedentes del informe	10
5. RESULTADOS DE LA AUDITORÍA TÉCNICA	12
5.1. Hallazgos Y Observaciones de la Auditoría.....	12
5.1.1. Sobre el contenido de asfalto de la mezcla asfáltica producida.....	13
5.1.2. Sobre los parámetros de calidad de la mezcla asfáltica producida.....	15
5.1.3. Sobre la consistencia de los diseños de mezcla vigente durante el periodo de estudio.....	29
6. CONCLUSIONES.....	32
7. RECOMENDACIONES	33

LISTA DE TABLAS

TABLA 1. DETALLE DE LOS MUESTREOS Y LOS ENSAYOS REALIZADOS DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.....	8
TABLA 2. PARÁMETROS GENERALES DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	8
TABLA 3. ZONAS ADJUDICADAS PARA CADA CONTRATISTA Y PLANTA SUPLIDORA.....	9
TABLA 4. PARÁMETROS GENERALES DE LOS DISEÑOS DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	13
TABLA 5. ESPECIFICACIÓN DE PARÁMETROS SEGÚN EL MÉTODO MARSHALL.....	15
TABLA 6. RESUMEN DE RESULTADOS MARSHALL, PARA TODAS LAS PLANTAS ASFÁLTICAS.....	22
TABLA 7. ESCENARIO DE SENSIBILIDAD DE LOS PARÁMETROS POLVO (% MALLA 200) Y ASFALTO EFECTIVO.....	26
TABLA 8. INFLUENCIA DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, DURANTE SU ETAPA DE SERVICIO.....	28
TABLA 9. ANÁLISIS DEL RANGO EFECTIVO DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA LOS DIVERSOS INFORMES PRESENTADOS EN CADA UNA DE LAS PLANTAS DE ESTUDIO.....	30
TABLA A.1. RESUMEN DE CUMPLIMIENTO DE ESPECIFICACIONES, PARA VALORES PROMEDIO EN TODAS LAS PLANTAS ASFÁLTICAS.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA A.2. PORCENTAJES DE INCUMPLIMIENTO CALCULADOS PARA LOS PARÁMETROS EN ESTUDIO, PARA TODAS LAS PLANTAS ASFÁLTICAS.....	36

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN APROXIMADA DE LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	3
FIGURA 2. GRÁFICO DE LOS RESULTADOS DE CONTENIDO DE ASFALTO PARA TODAS LAS PLANTAS DE PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA ANALIZADAS. FUENTE: AUDITORÍA TÉCNICA.....	14
FIGURA 3. CONTENIDO DE VACÍOS Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS.....	17
FIGURA 4. PARÁMETRO VMA Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS.....	18
FIGURA 5. PARÁMETRO VFA Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS.....	19
FIGURA 6. RELACIÓN POLVO/ASFALTO Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS.....	20
FIGURA 7. MALLA 200, % ASFALTO Y PORCENTAJE FUERA DE ESPECIFICACIÓN PARA TODAS LAS PLANTAS ESTUDIADAS.....	21
FIGURA 8. MALLA 200, ZONAS DE CONTROL DE PROCESOS Y GRÁFICO ACUMULADO.....	26

INFORME FINAL DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA. EVALUACIÓN 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 calidad de la mezcla asfáltica producida por los diversos contratistas, para ser utilizada en los procesos de conservación vial aplicados por el CONAVI. Dicha valoración se realiza iniciando con la evaluación del diseño de mezcla utilizado por la planta para la producción de mezcla asfáltica. Además se evalúan los parámetros de calidad y aceptación de conformidad con lo que se establece en las especificaciones contractuales y las prácticas ordinarias para diseño de mezcla.

Informe final LM-PI-AT-021-14	Fecha de emisión: Junio 2014	Página 6 de 37
----------------------------------	------------------------------	----------------

2.2. ALCANCE DEL INFORME

El estudio que realiza esta auditoría abarca un periodo de producción de aproximadamente cuatro meses, comprendido entre marzo de 2013 a junio de 2013, considerando todas las plantas de producción activas en este periodo, cuya producción estuviera destinada a proyectos de conservación vial.

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

3. INTEGRANTES DEL EQUIPO DE AUDITORÍA TÉCNICA DEL LANAMMEUCR

- Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc (Coordinadora de la Unidad de Auditorías Técnicas)
- Ing. Víctor Hugo Cervantes Calvo (Auditor Técnico)
- Ing. Francisco Fonseca Chaves (Auditor Técnico)
- 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 planta asfálticas indicadas en la Tabla 1 y se tomaron muestras de la mezcla asfáltica por un periodo definido para llevar a cabo las actividades de evaluación de la planta. Las muestras fueron tomadas de manera aleatoria, las cuales fueron posteriormente ensayadas por el Laboratorio de Mezclas Bituminosas del LanammeUCR. Los ensayos realizados consistieron en determinar el valor del contenido de asfalto (ASTM D-6307 /ASTM-D-95) y la composición granulométrica (ASTM D 5444) de cada una de las muestras. Asimismo, se contactaron a los Ingenieros encargados de cada una de las plantas para obtener información y documentación relacionada con el proceso de supervisión y control implementado para el despacho de mezcla.

Al mismo tiempo se obtuvieron muestras de cada uno de los materiales utilizados en la producción, tanto de ligante asfáltico como de material granular de cada uno de los apilamientos utilizados, divididos en cuatro fracciones (dos fracciones gruesas, fracción intermedia y fina). El propósito de recolectar dichos materiales es establecer el factor de corrección tipificado para el ensayo de contenido de asfalto (ASTM D 6307), como parte del factor de corrección se determina también el contenido de humedad (ASTM D-95) presente en cada una de las muestras de mezcla asfáltica.

Informe final LM-PI-AT-021-14	Fecha de emisión: Junio 2014	Página 7 de 37
----------------------------------	------------------------------	----------------

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

Planta	Periodo de Muestreo	Cantidad de muestras		Informe LM-PI-AT
		Contenido de Asfalto	Parámetros Marshall	
Meco, Uruca (MUG)	Marzo-Abril 2013	8	8	40-13
Meco, Guápiles (MUG)	Marzo-Abril 2013	7	7	40-13
Hernán Solís, Abangares (HSA)	Abril-Mayo 2013	13	13	48-13
Hernán Solís, Río Claro (HSR)	Abril-Mayo 2013	7	7	84-13
Orosí, Lima (Or)	Abril-Mayo 2013	7	7	90-13
Conansa, Calle Blancos (Co)	Marzo-Abril 2013	7	7	*
Hernán Solís, Guápiles (HSG)	Marzo 2013	5	5	*

(*) para estas plantas no se realizó informe de auditoría técnica.

En la Tabla 1 se presenta, cronológicamente, el detalle de los muestreos de mezcla asfáltica en caliente tomadas, especificándose la planta correspondiente. Asimismo, en la Figura 1 se presenta una ubicación aproximada de cada una de las plantas de productoras de mezcla asfáltica visitadas.

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 la volumetría de la mezcla asfáltica. En la Tabla 2 se resumen los parámetros generales definidos en cada uno de los documentos mencionados.

Tabla 2. Parámetros generales de los diseños de mezcla asfáltica

Planta	Informe de Diseño de Mezcla	Parámetros del diseño de mezcla				
		Contenido óptimo de asfalto sobre peso de mezcla	Finos	Intermedios	Gruesos (19mm)	Gruesos (15,9mm/12,5mm)
Conansa, Calle Blancos (Co)	Inf. N°208-2012	5,52%	50%	30%	5%	15%
Meco, Uruca (MUG)	Inf. N°337-2011	5,35 %	40 %	16 %	22 %	22 %
Meco, Guápiles(MUG)						
Orosí, Lima (Or)	Inf. N°780-2012	6,52%	49%	15%	15%	21%
Hernán Solís, Guápiles (HSG)	Inf. N°369-2012	5,7% (con aditivo)	34%	42%	6%	18%
Hernán Solís, Abangares (HSA)	Inf. N°1070-2012	6,2% (con aditivo)	48%	4%	4%	44%
Hernán Solís, Río Claro (HSR)	Inf. N°040-2013	7,06% (con aditivo)	43%	30%	12%	15%

4.1. INFORMACIÓN GENERAL DE LAS PLANTAS

La 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 continua (Plantas Continuas). Siendo la única con proceso discontinuo (Planta de Bache) la planta de Conansa, ubicada en Calle Blancos.

Se logró evidenciar que las plantas de mezcla asfáltica, en general cumplen con las estipulaciones que se establecen para las instalaciones que producen mezcla asfáltica para actividades de conservación vial de acuerdo con la contratación directa 2009LN-000003-CV de las líneas adjudicadas a cada una de las empresas constructoras. En la Tabla 3, se muestra el detalle de las contrataciones y las empresas adjudicatarias, así como la asociación general de cada una de las plantas con las zonas a las cuales suplen mezcla asfáltica.

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

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 [¢14.487.751.395,25] (161%)	Guápiles
	Zona 1-2, Puriscal	Hernán Solís	¢4.291.578.645,51 [¢7.137.376.991,86] (66%)	Guápiles
	Zona 1-3, Los Santos	Hernán Solís	¢5.555.449.468,00 [¢7.052.106.171,02] (27%)	Guápiles
	Zona 1-4, Alajuela Sur	CONANSA	¢4.608.863.388,58 [¢10.380.004.990,45] (125%)	Calle Blancos
	Zona 1-5, Alajuela Norte	Hernán Solís	¢7.089.329.362,08 [¢9.638.420.427,62] (36%)	Guápiles
	Zona 1-6, San Ramón	MECO	¢6.211.572.187,00 [¢7.148.979.758,95] (15%)	Uruca
	Zona 1-7, Cartago	Grupo Orosí	¢6.845.235.305,02 [¢11.951.919.277,53] (75%)	La Lima
	Zona 1-8, Turrialba	Hernán Solís	¢4.838.733.092,26 [¢7.807.889.232,16] (61%)	Guápiles
	Zona 1-9, Heredia	MECO	¢7.311.833.477,77 [¢14.623.666.955,55] (100%)	Uruca
Chorotega	Zona 2-1, Liberia	Hernán Solís	¢4.417.349.209,24 [¢10.464.270.233,99] (137%)	Abangares
	Zona 2-2, Cañas	Hernán Solís	¢5.982.104.437,16 [¢8.864.538.764,22] (48%)	Abangares
	Zona 2-3, Santa Cruz	Hernán Solís	¢3.541.049.417,99 [¢8.560.082.538,63] (142%)	Abangares
	Zona 2-4, Nicoya	Hernán Solís	¢3.551.140.851,22 [¢12.062.371.263,60] (240%)	Abangares
Pacífico	Zona 3-1, Puntarenas	Hernán Solís	¢4.943.781.250,16 [¢8.019.974.916,42] (62%)	Abangares
Pacífico	Zona 3-2, Quepos	MECO	¢4.280.126.635,95 [¢11.660.768.392,60] (172%)	Uruca
Brunca	Zona 4-1, Pérez Zeledón	Quebradores Sur	¢9.061.853.750,00 [¢9.061.853.750,00] (0%)	Pérez Zeledón
	Zona 4-2, Zona Sur	Hernán Solís	¢9.999.455.201,10 [¢19.484.233.663,31] (95%)	Río Claro
	Zona 4-3, Zona Sur	Hernán Solís	¢4.521.475.948,62 [¢10.082.251.401,12] (123%)	Río Claro

Región	Zona	Contratista	Monto Original del contrato mediante la licitación LP 2009 LN-000003-CV	Ubicación de la Planta Suplidora
Huétar Atlántica	Zona 5-1, Guápiles	MECO	¢5.218.817.958,09 [¢10.998.425.256,36] (111%)	Guápiles
	Zona 5-2, Limón	MECO	¢5.725.487.416,62 [¢9.777.497.577,70] (71%)	Guápiles
Huétar Norte	Zona 6-1, San Carlos	MECO	¢6.903.116.448,00 [¢14.991.296.593,39] (117%)	Guápiles
	Zona 6-2, San Carlos	Hernán Solís	¢5.767.369.646,00 [¢12.281.357.570,42] (113%)	Guápiles
Monto Total			¢126.214.945.632,15 [¢237.037.036.626,44] (88%)	

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

[] Las cifras indicadas entre paréntesis son los montos actualizados en cada contrato hasta diciembre de 2013.

() El porcentaje mostrado es el crecimiento con respecto al monto original.

4.2. ANTECEDENTES DEL INFORME

Debido a la ausencia de contratos de organismos de ensayo¹ para realizar la verificación de calidad en las plantas de mezcla asfáltica durante finales del año 2012 e inicios del año 2013, y de acuerdo con lo solicitado por el Señor Ministro mediante oficio DMOPT-1119-2013 se procedió a realizar un muestreo intensivo a las plantas, los resultados producto de esta actividad fueron enviados oportunamente a la Administración como un insumo para que analizaran los resultados obtenidos por el LanammeUCR y tuviera una referencia en el orden de magnitud de los parámetros analizados.

En el período de marzo a mayo de 2013 se visitaron las instalaciones de las plantas asfálticas indicadas en la Tabla 1 con la finalidad de tomar muestras de la mezcla asfáltica producida y despachada a los diferentes frentes de obra de Conservación Vial. Durante este periodo se lograron obtener 54 muestras de la mezcla elaborada en diversas plantas, las cuales se encuentran ubicadas en diferentes localidades del país (ver detalle en Tabla 1 y Figura 1).

Además de forma frecuente se emitieron oficios al despacho del Ministro del MOPT, en los que oportunamente y con el propósito de contribuir al mejoramiento continuo de la gestión de la Administración, se informaba sobre los resultados de los ensayos realizados a dichas muestras, tal como se detalla en el siguiente cuadro:

Fecha	Oficio	Destinatario
09/05/2013	LM-IC-D-0538-13	DR. PEDRO CASTRO FERNÁNDEZ
26/06/2013	LM-IC-D-0772-13	DR. PEDRO CASTRO FERNÁNDEZ
01/07/2013	LM-IC-D-0753-13	DR. PEDRO CASTRO FERNÁNDEZ
03/07/2013	LM-IC-D-0807-13	DR. PEDRO CASTRO FERNÁNDEZ
07/08/2013	LM-IC-D-0871-13	DR. PEDRO CASTRO FERNÁNDEZ
12/09/2013	LM-IC-D-1003-13	DR. PEDRO CASTRO FERNÁNDEZ
01/10/2013	LM-IC-D-1113-13	DR. PEDRO CASTRO FERNÁNDEZ

¹ De acuerdo con lo indicado en el oficio GCSV-79-2014-2697, hasta el 20 de diciembre de 2013 cuando se logra formalizar la aprobación de los contratos de los organismos de ensayo.

Finalmente, cabe indicar que con base en la información de ensayos se elaboraron 4 informes de auditoría técnica, uno de estos considerando las producciones de mezcla asfáltica de las plantas de la empresa Meco, ubicadas en la Uruca y en Guápiles, resultados que se encuentran acogidos en el informe LM-PI-AT-040-13. Los informes LM-PI-AT-48-13 y LM-PI-AT-84-13, contemplan los resultados de los ensayos de la mezcla asfáltica producida por la empresa Hernán Solís, en sus centros de manufactura emplazados en Abangares y Río Claro. En tanto, los resultados de los ensayos de la mezcla asfáltica elaborada por el Grupo Orosí, se analizan en el informe LM-PI-AT-90-13.

Sin embargo, para la planta de producción de la empresa Conansa, ubicada en Calle Blancos y planta de producción de la empresa Hernán Solís, situada en Guápiles no se emitieron informes de auditoría técnica con los resultados de las muestras ensayadas; los cuales se recogen en el presente informe.

5. AUDIENCIA A LA PARTE AUDITADA PARA EL ANALISIS DEL INFORME PRELIMINAR LM-PI-AT-021B-14

Como parte de los procedimientos de auditoría técnica, mediante oficio LM-AT-054-14 del 28 de mayo de 2014 se envía el informe preliminar LM-PI-AT-021B-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.

El 18 de junio de 2014 se recibe el oficio GCSV-79-2014-2697 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 describen comentarios sobre el informe LM-PI-AT-021B-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-021-14 en su versión final para ser enviado a las instituciones que indica la ley. La emisión del informe final se realiza en Junio de 2014.

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

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, a la fatiga 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.

De acuerdo con la normativa prevaliente en los carteles de licitación y en las contrataciones, se establece en la Disposición Vial AM-01-2001 sección 401.06 los parámetros que la mezcla asfáltica debe cumplir, disponiendo una serie de requisitos que según el método Marshall son los necesarios para proveer a la mezcla asfáltica de espacio suficiente entre partículas, de manera que se recubran adecuadamente y al mismo tiempo brindarle las características físicas y de resistencia adecuadas, este tema se tratará con detalle en el Hallazgo 2.

Por otro lado, el monitoreo e inspección continuo 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 a evaluar o reformular el diseño de la mezcla asfáltica utilizada en el proceso de pavimentación.

Informe final LM-PI-AT-021-14	Fecha de emisión: Junio 2014	Página 12 de 37
----------------------------------	------------------------------	-----------------

6.1.1. Sobre el contenido de asfalto de la mezcla asfáltica producida

HALLAZGO N° 1: SE OBSERVA QUE DE LA MAYORÍA DE LAS PLANTAS ANALIZADAS PRESENTAN UNA ALTA VARIABILIDAD DURANTE EL PROCESO PRODUCTIVO EN EL PARÁMETRO CONTENIDO DE ASFALTO, YA QUE EVIDENCIAN SIGNIFICATIVOS PORCENTAJES FUERA DEL RANGO ÓPTIMO $\pm 0,5\%$ ESTABLECIDO EN EL DISEÑO DE MEZCLA VIGENTE.

Los requisitos para la mezcla asfáltica señalados en las especificaciones nacionales, apartado 401.06 de la Disposición Vial AM-01-2009, establecen que el parámetro de contenido de asfalto debe mantenerse en $\pm 0,5\%$ (variabilidad permitida) con respecto al valor óptimo de asfalto determinado en el diseño de mezcla.

Se denota que para los diferentes periodos de estudio abarcados (en su mayoría comprendidos entre marzo, abril y mayo de 2013) en cada una de las plantas, el análisis estadístico realizado para el parámetro de contenido de asfalto evidencia una alta variación en el proceso productivo, con respecto a lo indicado en la normativa nacional AM-01-2009, en la que se establece que el contenido de asfalto debe tener una variación de tan sólo el 0,5% a partir del valor óptimo definido en el diseño de mezcla (óptimo de asfalto $\pm 0,5\%$).

Tabla 4. Parámetros generales de los diseños de mezcla asfáltica

Planta	Informe de Diseño de Mezcla	Contenido óptimo de asfalto sobre peso de mezcla		
		Diseño de mezcla (rango óptimo)	Resultados de Laboratorio del Lanamme	
			Promed.	Des. Estándar
Conansa, Calle Blancos (Co)	Inf. N°208-2012	5,52% (5,02%-6,02%)	5,44%	0,23%
Meco, Uruca (MUG)	Inf. N°337-2011 (&)	5,35 % (4,85% - 5,85%)	5,65%	0,44%
Meco, Guápiles(MUG)				
Orosí, Lima (Or)	Inf. N°780-2012	6,12% (5,62%-6,62%)	5,50%	0,27%
Hernán Solís, Guápiles (HSG)	Inf. N°369-2012	5,72% (5,2%-6,2%)	5,84%	0,51%
Hernán Solís, Abangares (HSA)	Inf. N°1070-2012	6,20% (5,7% - 6,7%)	5,98%	0,48%
Hernán Solís, Río Claro (HSR)	Inf. N°040-2013	6,60% (6,1% - 7,1%)	6,00%	0,09%

(&) Se unen los resultados de las plantas de Meco para realizar el análisis, ya que responden al mismo diseño de mezcla. Valores resaltados en rojo, indican que se supera el límite permitido.

En la Figura 2 se presentan gráficamente los resultados de los ensayos de las muestras analizadas. Se indica el valor de contenido de asfalto obtenido para cada muestra ensayada y el promedio del conjunto; así como los límites del rango óptimo, de acuerdo con los datos del informe de diseño de mezcla vigente.

Del análisis a los resultados mostrados en la Tabla 4 se advierte que cuatro de los promedios de asfalto, de los procesos productivos, se encuentran en el ámbito seco del rango de contenido de asfalto (óptimo - 0,5%), estando dos de ellos por debajo de este límite inferior permisible. Si a ello se le aúna el hecho de que los contenidos de asfalto establecidos como óptimos en los diseños de mezcla se establecen por debajo o cercanos al 6% de contenido de asfalto, se podrían esperar mezclas asfálticas con mayor susceptibilidad al daño por humedad, mayor desprendimiento de agregados y por ende menos durabilidad.

Además se denota que la mayoría de los resultados de contenido de asfalto evidencian un nivel de incumplimiento con relación al parámetro de contenido óptimo de asfalto $\pm 0,5\%$. Los porcentajes de incumplimiento estimados estadísticamente, para los procesos productivos regularmente controlados en donde el promedio de contenido de asfalto se mantiene dentro del rango definido por el valor de óptimo de asfalto $\pm 0,5\%$, se encuentran entre 30,6% hasta 39,3%. Se particulariza el proceso productivo discontinuo (planta de bache), en donde el porcentaje de incumplimiento es de tan sólo un 6%.

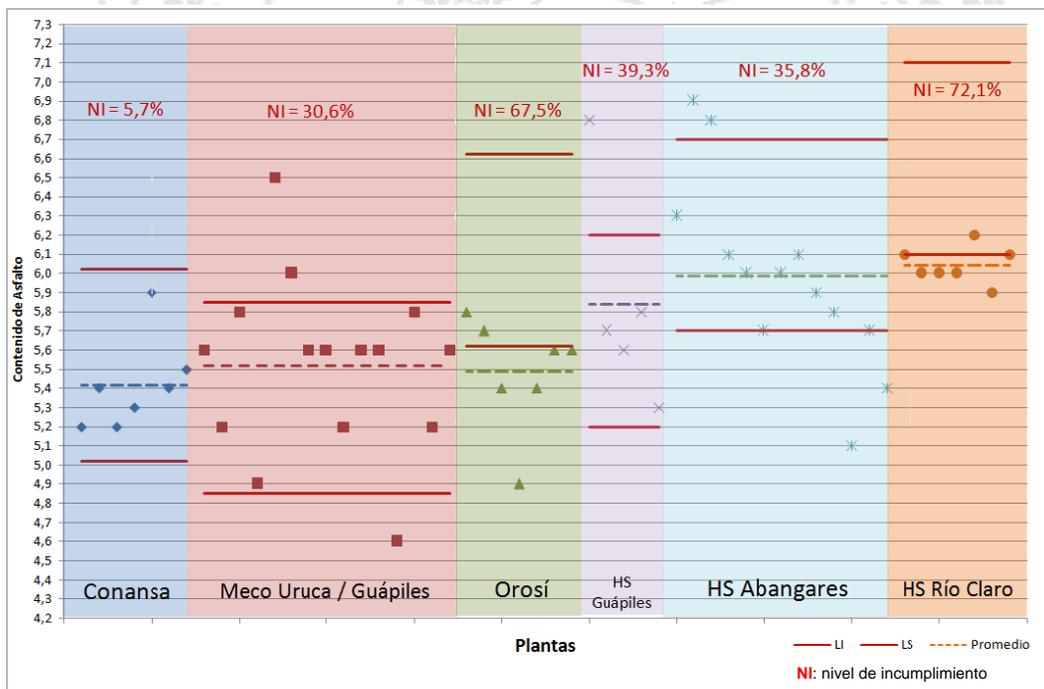


Figura 2. Gráfico de los resultados de contenido de asfalto para todas las plantas de producción de mezcla asfáltica analizadas. Fuente: Auditoría Técnica

Por otro lado, se evidencia que el proceso productivo en dos de las plantas analizadas, el valor promedio de contenido de asfalto se mantiene por debajo del límite inferior definido por

el valor de óptimo de asfalto $\pm 0,5\%$. Dichos procesos productivos, para el periodo analizado, establecen porcentajes de incumplimiento de 67,5% y 72,1% (los resultados del análisis estadístico -grado de cumplimiento- de especificaciones se presentan en el Anexo A), para las plantas de Orosí y Hernán Solís en Río Claro, respectivamente. Cabe destacar que contenidos bajos de asfalto, pueden provocar altos valores de vacíos, así como mayor susceptibilidad al daño por humedad como se mencionó anteriormente.

En este apartado se debe tener en cuenta que el cartel de licitación en la sección relacionada con la determinación estadística de la calidad de los materiales, establece como límite máximo permisible, para una población típica de 30 muestras, un valor máximo de incumplimiento de 40%, a partir del cual el producto ó parámetro analizado se considera que tiene una calidad inaceptable. Sin embargo, hay que tener en cuenta que el valor máximo de incumplimiento varía según la cantidad de muestras que se analizan (ver **Tabla 1**) en este informe estos valores rondarían entre 58%, 54%, 52% y 46%, para una cantidad de muestras de 5, 7, 8 y 13 muestras, respectivamente.

6.1.2. Sobre los parámetros de calidad de la mezcla asfáltica producida

HALLAZGO N° 2: 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 TALES COMO: VACÍOS, VACÍOS EN EL AGREGADO MINERAL (VMA), VACÍOS LLENOS DE ASFALTO (VFA) Y EN LA RELACIÓN POLVO/ASFALTO ESTABLECIDOS EN LA DISPOSICIÓN VIAL AM-01-2001.

Según los parámetros establecidos en la Disposición Vial AM-01-2001 sección 401.06 del cartel de licitación, la mezcla asfáltica debe cumplir con una serie de requisitos de aceptación y de evaluación, de acuerdo 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 5** se presentan los rangos admisibles según la metodología Marshall.

Tabla 5. 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%
Relación polvo/asfalto (*)		0,6 a 1,3 %
Vacíos en agregado mineral (VAM) (*)		Mínimo 14%
Vacíos llenos de asfalto (VFA) (*)		
Tráfico en millones de ejes equivalentes	Inferior a 0,3 (liviano)	70% a 80%
	De 0,3 a 3 (medio)	65% a 78%
	Superior o igual a 3 (pesado)	65% a 75%

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

* Requisito de aceptación de la mezcla asfáltica, de acuerdo con el cartel de licitación.

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 lo definido en la contratación directa 2009LN-000003-CV, el detalle se muestra en la Tabla 3.

Del análisis general se observa que para los diferentes parámetros de calidad establecidos para la mezcla asfáltica, los cuales se indican en la normativa nacional AM-01-2009, se denota un cumplimiento en el parámetro de estabilidad y flujo Marshall, para el periodo de estudio. Sin embargo, durante este mismo periodo (en su mayoría comprendido entre marzo, abril y mayo de 2013) para cada una de las plantas, el análisis estadístico² realizado evidencia incumplimientos en los parámetros que definen la volumetría de la mezcla asfáltica, siendo estos: contenido de vacíos de la mezcla, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA) y la relación polvo/asfalto, los cuales se analizarán individualmente en las secciones subsiguientes.

Contenido de vacíos de la mezcla

En la Figura 3 se presentan los resultados de vacíos en la mezcla obtenidos por el Lanamme, para cada una de las plantas incluidas en el estudio. Se evidencia que para los 3 procesos que determinan mayor nivel de incumplimiento, los porcentajes de incumplimiento se ubican entre 46% y 57% (HSA, HSG y Or), llegando a ubicarse los valores promedio cercanos al límite inferior permitido en dos de las plantas y en una el promedio llega a ser inclusive mayor al límite superior permitido. Valores bajos en la cantidad de vacíos, puede ocasionar mezcla susceptible a la exudación de asfalto o deformación plástica. Por otra parte, porcentajes de vacíos altos podrían producir un envejecimiento prematuro de la mezcla, ya que son más permeables y por tanto más propensos a sufrir los efectos dañinos de la humedad.

Los demás procesos productivos, a pesar que el promedio de contenido de vacíos se mantiene dentro del rango permitido (3% a 5%), por efecto de la alta variabilidad del proceso productivo se determinan porcentajes de incumplimiento entre un 12% y 38% (MUG, Co y HSR).

Se debe de tener presente que para los tamaños de muestra analizados, el nivel de incumplimiento máximo permitido, para considerar una muestra como aceptable oscila entre 47% y 58% de los valores fuera de los límites. Implicando que los procesos indicados inicialmente, serían considerados como inaceptables.

² Los resultados del análisis estadístico (grado de cumplimiento de especificaciones) mencionados en este apartado se presentan en la tabla 10 del Anexo.

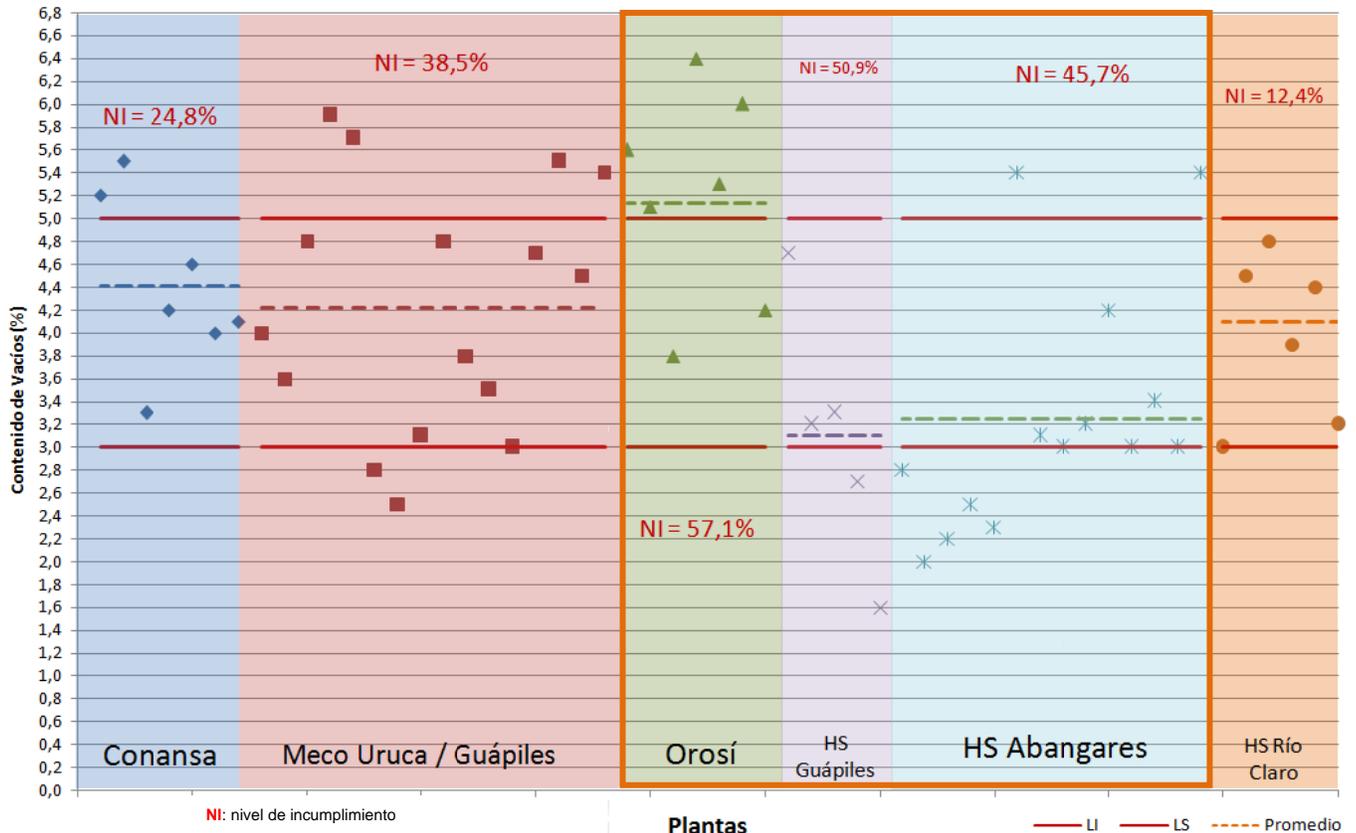


Figura 3. Contenido de vacíos y porcentaje fuera de especificación para todas las plantas estudiadas.

Parámetro de vacíos en el agregado mineral (VMA)

En la Figura 4 se presenta de forma gráfica los resultados de vacíos en el agregado mineral (VMA) obtenidos para las plantas analizadas, y se determina un nivel de cumplimiento general según el valor mínimo de 14% requerido por la metodología Marshall. Se infiere un porcentaje fuera de los límites entre 25% y 37% para 3 de las plantas (MUG, Or y HSA) y en dos de ellas (Co y HSG) no se determinan muestras fuera del límite permitido. Sin embargo, en una de las plantas (HSR) analizadas se observa un alto nivel de incumplimiento del valor permitido, determinando que el 95% de las muestras ensayadas lo incumplen. En el caso de vacíos en el agregado mineral (VMA) valores cercanos al límite o por debajo del mínimo podrían producir problemas de durabilidad de la mezcla producida.

Se debe tener presente que para los tamaños de muestra analizados, el nivel de incumplimiento máximo permitido, para considerar una muestra como aceptable oscila entre 47% y 58% de los valores fuera de los límites.

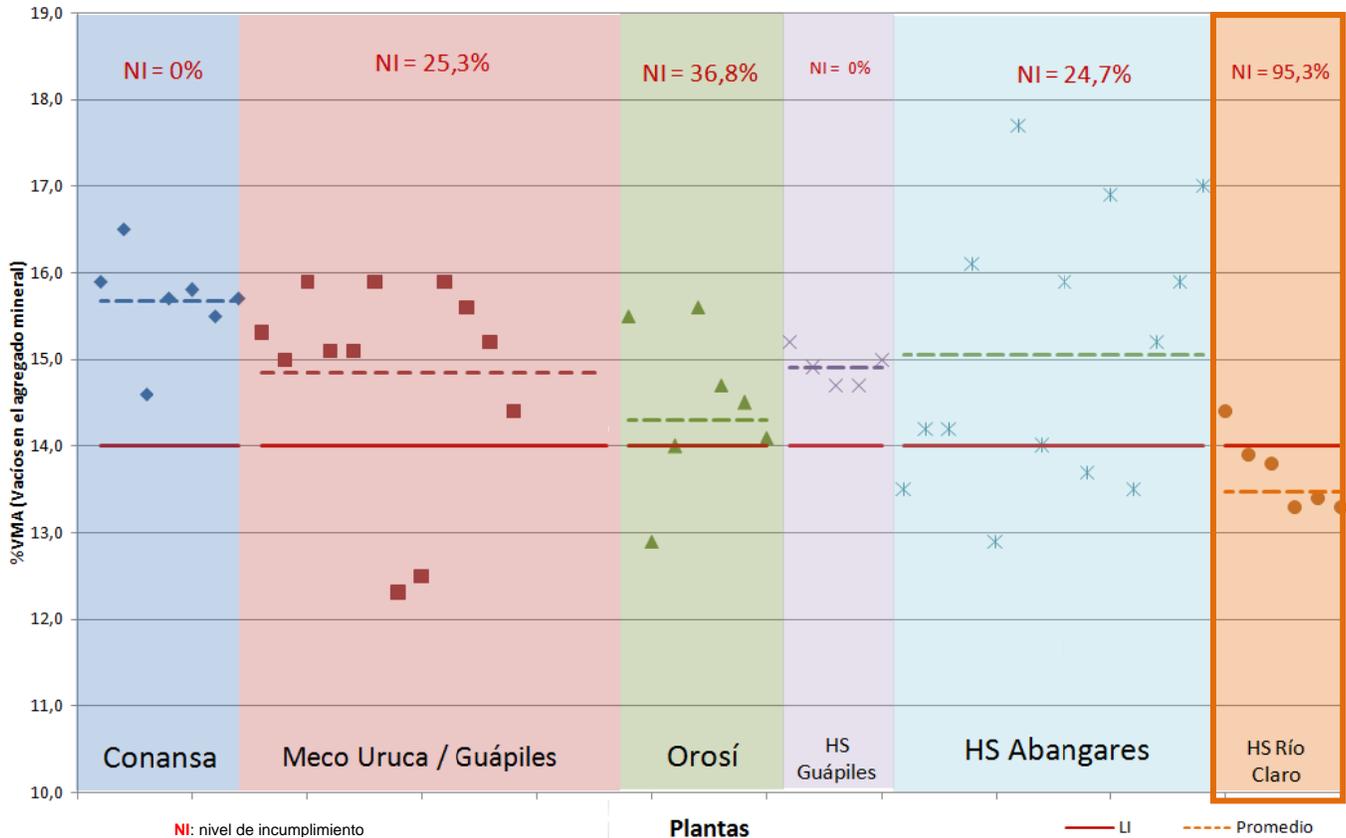


Figura 4. Parámetro VMA y porcentaje fuera de especificación para todas las plantas estudiadas.

Parámetro de vacíos llenos de asfalto (VFA)

Con relación al parámetro de vacíos llenos con asfalto la especificación establece que los límites que deben regir para condiciones de tránsito alto deben estar entre 65% a 75%. Se considera que a pesar de que algunos diseños de mezcla asfáltica, presentados por el contratista de las diferentes plantas incluidas en el estudio, indican condiciones de tránsito medio, se observó en las boletas de despacho que la mayoría de la mezcla asfáltica era también destinada para ser colocada en sitios de condiciones de alto tránsito. En la Figura 5 se presentan los resultados en forma gráfica. Se observa un alto nivel de incumplimiento que oscila entre 52% y 77% (los resultados del análisis estadístico -grado de cumplimiento- de especificaciones se presentan en el Anexo A) para cuatro de las plantas estudiadas (MUG, Or, HSG y HSA). En 2 de estas plantas los valores están cercanos a 80%; cuando el valor de VFA excede el 80-85 por ciento la mezcla se vuelve inestable y pueden producirse deformaciones en la carpeta asfáltica (ahuellamiento).

Por su parte dos de las plantas estudiadas (Co y HSR) muestran un porcentaje fuera de los límites de aproximadamente el 25%. Se debe tener presente que para los tamaños de muestra analizados, el nivel de incumplimiento máximo permitido, para considerar una muestra como aceptable oscila entre 47% y 58% de los valores fuera de los límites.

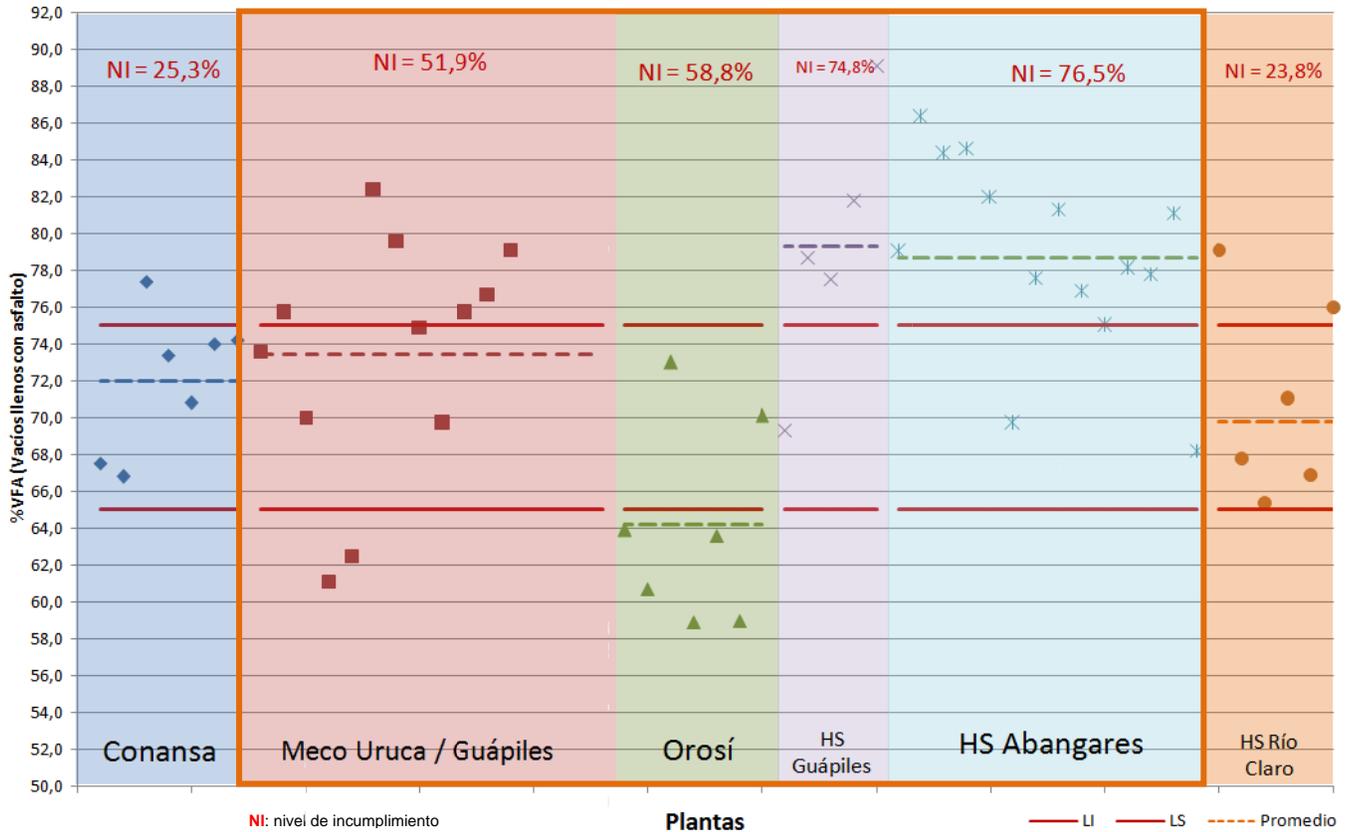


Figura 5. Parámetro VFA y porcentaje fuera de especificación para todas las plantas estudiadas.

Relación Polvo Asfalto

En la Figura 6 se presentan de forma gráfica los resultados de ensayo, así como el nivel de incumplimiento con relación al parámetro relación polvo-asfalto, cuyo valor permitido por las especificaciones se establece entre 0,6% y 1,3%. En dicha gráfica se observa que en cinco de las plantas estudiadas el porcentaje promedio se ubica por encima del límite superior permitido, estableciendo porcentajes de incumplimiento del 97,5% a 99,8%, siendo los menores valores de 49% y 61,4% (los resultados del análisis estadístico -grado de cumplimiento- de especificaciones se presentan en el Anexo A). Lo que evidencia un absoluto incumplimiento de los requisitos contractuales establecidos.

Solamente un proceso productivo muestra un nivel de cumplimiento aceptable, reportando un 6,3% de valores fuera de los límites, sin embargo se puede observar que dichos valores se ubican cercanos al límite superior. Se debe de tener presente que para los tamaños de

muestra analizados, el nivel de incumplimiento máximo permitido, para considerar una muestra como aceptable oscila entre 47% y 58% de los valores fuera de los límites.

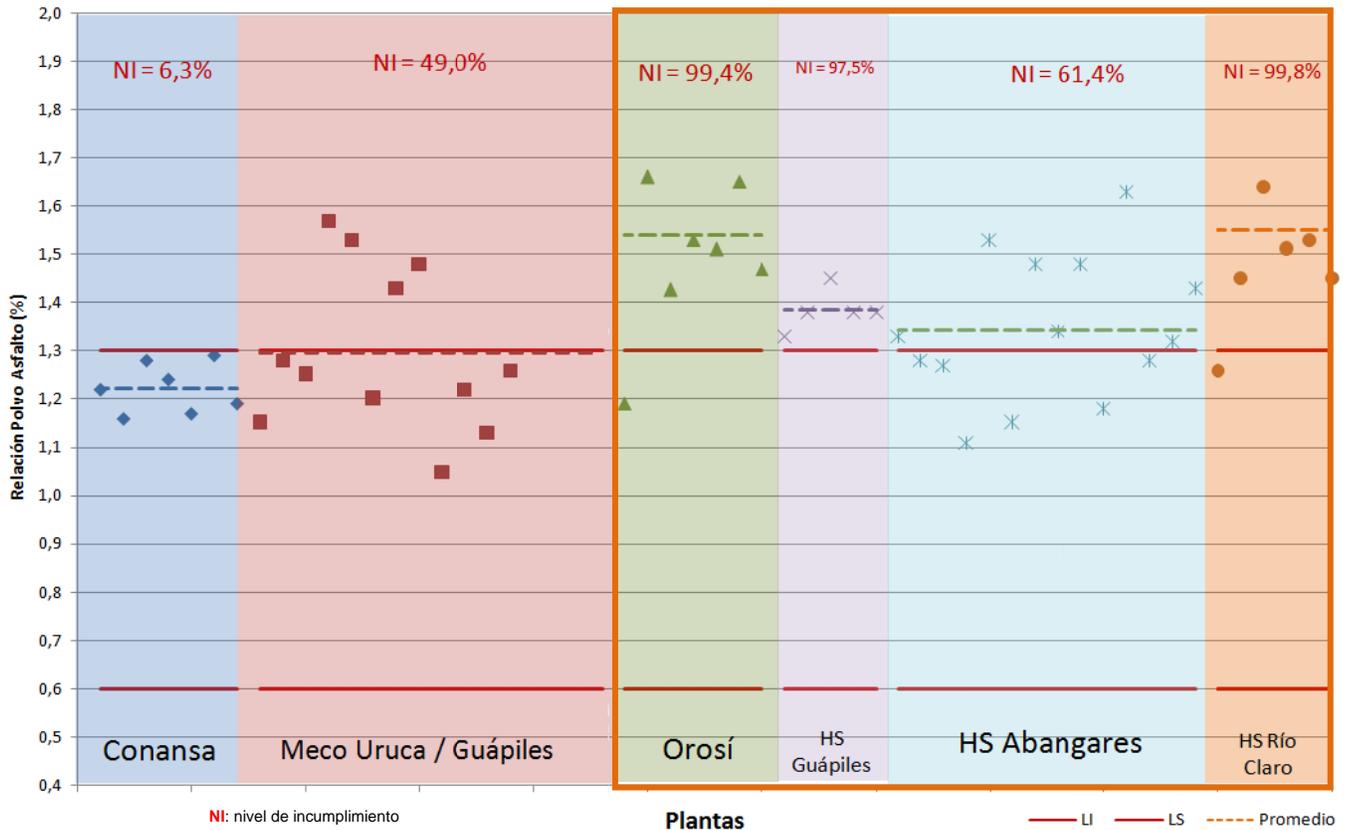


Figura 6. Relación polvo/asfalto y porcentaje fuera de especificación para todas las plantas estudiadas.

Al analizar la influencia de los parámetros que están involucrados en la relación polvo asfalto (presentados en la Figura 8), los cuales corresponden al porcentaje pasando la malla 200 en la granulometría de la mezcla asfáltica y el segundo se refiere al contenido de asfalto efectivo. El comportamiento se establece que el porcentaje pasando la malla 200, para la mayoría de las plantas se determina entre el 5% y el 7%, cercano al máximo valor del rango permitido para dicha malla (2% a 8%).

Por su parte, el contenido de asfalto, en dos de las plantas estudiadas, establece altos porcentajes de incumplimiento³ (67,5% y 72,1%) con tendencia hacia el menor contenido de asfalto óptimo de producción, en ambos casos la relación polvo asfalto se incumple en su totalidad. Estas mezclas al tener una alta cantidad de material granular y poco asfalto, el mastic resultante tiende a ser muy rígido.

³ Los resultados del análisis estadístico (grado de cumplimiento de especificaciones) mencionados en este apartado se presentan en la tabla 10 del Anexo.

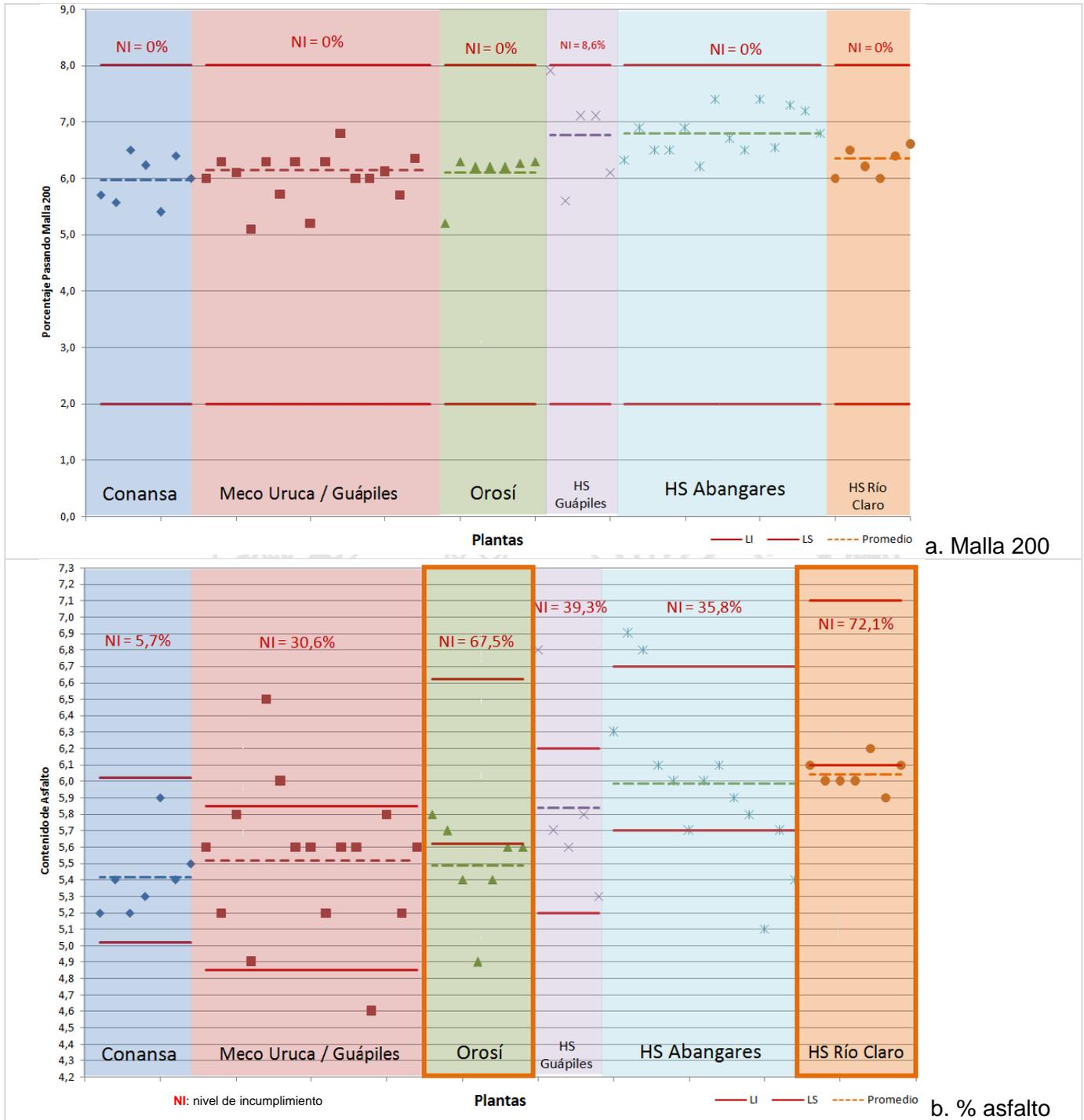


Figura 7. Malla 200, % asfalto y porcentaje fuera de especificación para todas las plantas estudiadas.

De igual manera en tres plantas se determina un nivel medio de incumplimiento (30,6% a 39,3%) en cuanto al contenido de asfalto óptimo de producción, mostrando una alta dispersión del proceso productivo con respecto a los límites permisibles; esta situación afecta negativamente la relación polvo asfalto, ya que se evidencian niveles significativos de incumplimiento (49%, 61% y 97%). Lo que tendería a advertir que se requiere una menor cantidad de material pasando la malla 200, dejando de lado la capacidad de absorción de los agregados.

Análisis general de los resultados obtenidos

Del análisis general se observa que para los diferentes parámetros de calidad establecidos para la mezcla asfáltica, los cuales se indican en la normativa nacional AM-01-2009, se denota un cumplimiento sostenido en el parámetro de estabilidad y flujo Marshall, para el periodo de estudio. Sin embargo, durante este mismo periodo (en su mayoría comprendido entre marzo, abril y mayo de 2013) para cada una de las plantas, el análisis estadístico realizado evidencia incumplimientos en los parámetros que definen la volumetría de la mezcla asfáltica, siendo estos: contenido de vacíos de la mezcla, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA) y la relación polvo/asfalto, en la **Tabla 6** se presenta el resumen de los resultados obtenidos.

Tabla 6. Resumen de resultados Marshall, para todas las plantas asfálticas

Parámetro /Planta	Vacíos (3-5%)	VMA (≥14%)	VFA (65-75%)	Asfalto (%)	Asfalto efectivo (%)	Absorción asfalto (%)	P/A (0,6 - 1,3%)	Malla 200 (2-8%)	GBS
Conansa	4,4	15,7	72	5,40	4,92	0,48	1,2	6,0	2,670
Meco	4,2	14,9	74	5,50	4,69	0,81	1,3	6,1	2,663
Orosí	5,1	14,3	64	5,50	3,96	1,54	1,5	6,1	2,615
HSG	3,1	14,9	79	5,85	4,93	0,92	1,4	6,8	2,655
HSA	3,2	15,1	79	6,00	5,07	0,93	1,3	6,8	2,595
HSRC	4,1	13,5	70	6,05	4,13	1,92	1,6	6,4	2,548

Nota: Los valores que se presentan en las casillas sombreadas son calculados aproximados realizados por la Auditoría Técnica con base en la información de los agregados, incluida en los diseños de mezcla.
Valores resaltados en rojo, indican que se supera el límite permitido.

Por otro lado, al analizar los resultados promedio de ensayo de parámetro Marshall, y el posible fenómeno que está incidiendo en el comportamiento volumétrico de la mezcla se puede advertir que en dos de los procesos productivos hay una mayor influencia. Los cuales se analizarán a continuación.

Planta Orosí

El primero de ellos es el proceso productivo de la mezcla asfáltica en la planta del Grupo Orosí, en donde los resultados reflejan que si bien se tiene un adecuado espacio para alojar el ligante bituminoso entre las partículas de agregado (adecuado VMA), la cantidad de asfalto adicionada en el proceso productivo es muy baja (5,5%), inclusive por debajo del límite inferior óptimo establecido en el diseño de mezcla ($6,12 \pm 0,5\%$). Aunado a la poca presencia de asfalto, se advierte que la cantidad de asfalto que es absorbida por el agregado es de un 30%, quedando aún menor cantidad de asfalto disponible para recubrir el agregado (asfalto efectivo 3,96%). Esto influye significativamente en el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica, con una predisposición a generar considerables vacíos en la mezcla (5,1%).

Por otra parte, se debe considerar que la presencia de finos en las mezclas asfálticas producidas por esta planta, tienden a ser altas (6,1%), lo que también contribuye a reducir la disponibilidad del asfalto efectivo para recubrir los agregados de mayor tamaño; ya que las partículas finas poseen una gran área superficial⁴ que demandan gran parte de este asfalto. Así las cosas, coadyuvan a aumentar la formación de vacíos, que de por sí ya es cuantiosa.

Otro inconveniente que se aprecia de los resultados, es la alta relación existente entre los finos y la cantidad de asfalto efectiva, la cual determina un cociente de 1,54. La metodología tradicional de diseño de mezcla asfáltica, restringe dicha relación a un máximo de 1,3 (con un valor medio de 0,95) con la finalidad de evitar que la combinación asfalto y finos (denominada mástic) aumente la viscosidad del asfalto por exceso de finos. Contenidos de finos significativos pueden generar mezclas asfálticas quebradizas, con predisposición a la fisuración. Con la finalidad de acercarse al valor medio, se podrían tomar acciones correctivas, entre otras sería disminuir la cantidad de polvo a un valor de 4% u otra aumentar la cantidad de contenido de asfalto a un valor cercano al óptimo a un valor de 6,4%.

En términos generales, las acciones a seguir serían aumentar la cantidad de contenido de asfalto de producción, procurando que sea de una mayor viscosidad o los agregados con una menor absorción. Así como disminuir el porcentaje de finos pasando la malla 200.

Planta HSRC

El otro proceso productivo en donde los resultados reflejan una condición particular es en la planta de la Constructora Hernán Solís ubicada en Río Claro, en donde se observa que se podrían tener inconvenientes con el espacio para acomodar el ligante bituminoso entre las partículas de agregado (bajo VMA).

Se observa que el porcentaje de asfalto adicionado es más bajo (6,05%) que el límite inferior óptimo establecido en el diseño de mezcla ($6,6 \pm 0,5\%$). Se aprecia que la cantidad de asfalto que es absorbida por el agregado es de un 32%, quedando aún menor cantidad de asfalto disponible para recubrir el agregado (asfalto efectivo 4,13%). A pesar de esta

⁴ Los factores de área superficial para material fino (pasando malla 200) son de 160, para material intermedio (mallas N^º4 y 50) son de 2 y 30 respectivamente. Como se puede notar el área superficial de los finos es entre 5 y 80 veces mayor.

circunstancia el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica no se ve afectado significativamente.

Asimismo, se establece que la presencia de finos en las mezclas asfálticas estudiadas, tiende a ser altas (6,4%), lo que también contribuye a reducir la disponibilidad del asfalto efectivo para recubrir los agregados de mayor tamaño; ya que las partículas finas poseen una gran área superficial que demandan gran parte de este asfalto.

Producto de esta alta presencia de finos se afecta la relación existente entre los finos y la cantidad de asfalto efectiva, la cual determina un valor alto de 1,55. Como se indicó anteriormente, dicha relación se restringe a un máximo de 1,3 con la finalidad de evitar un aumento en la viscosidad del asfalto por exceso de finos, así como evitar contenidos de finos significativos que pueden generar mezclas asfálticas con predisposición a la fisuración. Con la finalidad de acercarse al valor medio, se podrían tomar acciones correctivas, una de ellas sería disminuir la cantidad de polvo a un valor de 4% u otra aumentar la cantidad de contenido de asfalto a un valor cercano al óptimo a un valor de 6,7%.

En términos generales, las acciones a seguir son aumentar la cantidad de contenido de asfalto de producción, procurando que sea de una mayor viscosidad o los agregados con una menor absorción. Así como disminuir el porcentaje de finos pasando la malla 200.

Plantas HSA / HG

Los otros procesos productivos por analizar son los de las plantas de la Constructora Hernán Solís ubicadas en Abangares y Guápiles, en donde los resultados reflejan una condición adecuada de espacio para acomodar el ligante bituminoso entre las partículas de agregado (adecuado VMA).

Con relación al parámetro VFA se establece que para condiciones de tránsito alto, se debe de regular de forma que se mantenga entre un rango de 65% a 75%. Los resultados de estos procesos productivos reflejan valores de alrededor de un 80% (lo que podría volver inestable la mezcla, produciendo deformaciones en la carpeta asfáltica) indicando que la mayoría del espacio disponible de VMA (volumen disponible entre las partículas del agregado, para acomodar el asfalto y el contenido de vacíos), se encuentra ocupado por el asfalto, lo que a su vez reduce la cantidad de espacio para el contenido de vacíos.

Se observa que los porcentajes de asfalto en ambas plantas esta cercano al valor óptimo establecido en el diseño de mezcla ($6,2 \pm 0,5\%$ y $5,72 \pm 0,5\%$), permitiendo que la cantidad de asfalto absorbida por el agregado sea de tan solo un 15%, quedando una cantidad de asfalto efectivo suficiente para recubrir el agregado (alrededor de 5% de asfalto). Sin embargo, esta cantidad de asfalto es considerable, ya que como se indicó anteriormente reduce el espacio disponible para el aire entre las partículas, reduciendo el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica cercano al límite inferior permitido (3,2% y 3,1% respectivamente).

La composición granulométrica refleja una alta presencia de finos en las mezclas asfálticas estudiadas, con un valor promedio de 6,8%, en ambas plantas; lo cual afecta la relación existente entre los finos y la cantidad de asfalto efectiva, determinando valores mayores al límite máximo permitido de 1,3 (con un valor medio de 0,95).

Con la finalidad de acercarse al valor medio, se podrían tomar acciones correctivas, tales como reducir la cantidad de contenido de asfalto de producción, para reducir el valor de VFA, y, además disminuir el porcentaje de finos pasando la malla 200.

Plantas MUG

Por su parte, los resultados de ensayo correspondientes a las plantas de producción de mezcla asfáltica de la Constructora Meco ubicadas en la Uruca y Guápiles evidencian una condición adecuada de espacio para alojar el ligante bituminoso entre las partículas de agregado (adecuado VMA); sin embargo se denota una alta variación en el parámetro de vacíos llenos con asfalto (VFA) con valor medio cercano al límite superior.

Además se observa una cantidad alta de finos (con un promedio de 6,2%) en las mezclas asfálticas ensayadas de ambas plantas. Si se toma en cuenta la cantidad efectiva de asfalto se establece que con relación a los finos, la razón entre ambos valores determina magnitudes altas, siendo el promedio el mismo valor del límite máximo permitido.

Planta Conansa

La planta de la Constructora Conansa la cual corresponde a un proceso productivo discontinuo (planta de bache) muestra un nivel aceptable de cumplimiento de los requisitos en todos los parámetros de estudio. No obstante, se aprecia una tendencia de la relación polvo asfalto (promedio de 1,22%) hacia el límite superior de la especificación; producto de una cantidad importante de material pasando la malla 200 (cercana al 6%) y al asfalto disponible debido a la absorción del agregado (asfalto efectivo:4,92%).

Indicativos generales

En general se observa un incumplimiento en el parámetro de **relación polvo asfalto** en 5 de las plantas analizadas, evidenciándose valores cercanos o mayores al límite superior permitido de 1,3% (ver Tabla 6). Esto puede ser producto de varios factores, entre los más relevantes, que el porcentaje de material fino pasando la malla 200 se ubica cercano al límite superior permitido. Aproximadamente un 85% de los resultados obtenidos en este ensayo (para todas las plantas) están por encima del valor de 6% de material pasando. Lo cual desde un punto de vista de control de procesos de producción, correspondería a un proceso con una regular a muy alta variabilidad, con un riesgo considerable de incumplimiento de los límites de especificación.

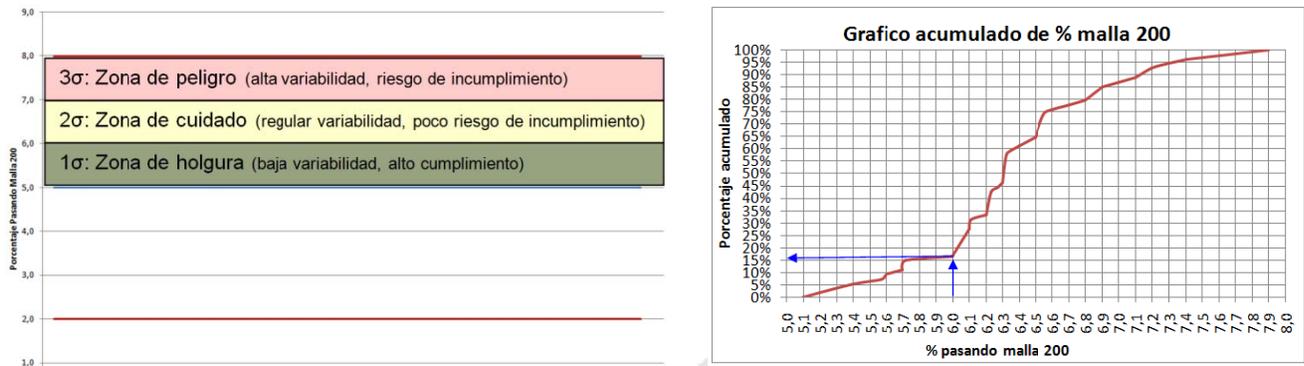


Figura 8. Malla 200, zonas de control de procesos y gráfico acumulado.

Otro de los posibles factores que se evidencian es el uso de agregados con absorciones notorias de asfalto, dejando contenidos de asfalto efectivo reducidos del orden del 4% al 5% (ver **Tabla 6**).

Estableciendo un escenario para valorar la sensibilidad de los valores involucrados en la determinación del parámetro (ver **Tabla 8**), se tiene que para lograr cumplir el valor medio de la relación polvo-asfalto y considerando el contenido de polvo del 6%, dicho porcentaje de asfalto efectivo debería ser de aproximadamente un 6,3%. Por el contrario, si se considera un menor contenido de polvo del 5%, dicho porcentaje de asfalto efectivo debería ser de aproximadamente un 5,26%.

Tabla 7. Escenario de sensibilidad de los parámetros polvo (% malla 200) y asfalto efectivo

Relación polvo-asfalto	Cantidad de polvo	Asfalto efectivo (%)
Valor bajo: 0,6	5% / 6%	8,33 / 10
Valor medio: 0,95	5% / 6%	5,26 / 6,3
Valor alto: 1,3	5% / 6%	3,84 / 4,61

Del análisis anterior se determina que es requerido ya sea aumentar el contenido de asfalto en aproximadamente 1 punto porcentual para el actual porcentaje de polvo utilizado en las plantas. También se colige que otra posible acción sería bajar el actual porcentaje de polvo en aproximadamente 1 punto porcentual, para mantener las cantidades de asfalto óptimo determinadas en los diseños de mezcla.

También se logra confirmar que con los actuales contenidos de asfalto efectivo reducidos del orden del 4% al 5% y el porcentaje de polvo que se utilizan en las producciones de mezcla asfáltica, el riesgo de incumplimiento es muy alto, ya que se van a continuar obteniendo cocientes cercanos al valor máximo permitido por la especificación.

Por otra parte, se logra evidenciar tendencias que podrían provocar incumplimientos en **el porcentaje de vacíos de la mezcla**, ya que 3 de las plantas analizadas muestran valores de ensayo fuera o sumamente cercanos a los límites de especificación. En 2 de ellas los valores

se encuentran cercanos al límite inferior de 3%, lo cual podría ser producto del contenido de material pasando la malla 200 cercano al 7% lo cual promueve a cerrar los vacíos en las mezclas asfálticas. En cuanto a la otra planta se logra determinar un incumplimiento del límite superior (5%) en el porcentaje de vacíos de la mezcla, si bien presenta un contenido de material pasando la malla 200 cercano al 6%, se evidencia una carencia de asfalto con respecto al óptimo, asociado al mismo tiempo a una alta absorción de asfalto. Todo estos factores favorecen la formación de vacíos.

Se evidencia que a pesar de que todos los procesos mantienen un valor promedio alto similar en la **cantidad de polvo** presente en los procesos productivos de mezcla asfáltica (6 a 7%), la cantidad de asfalto adicionada, la absorción de asfalto por parte de los agregados y el espacio disponible para acomodar la materia componente influyen significativamente en el cumplimiento de los parámetros volumétricos de la mezcla (vacíos, VFA y relación polvo-asfalto). Esto se hace evidente cuando hay bajos contenidos de asfalto y alta absorción, influyendo en altos contenido de vacíos ó por su parte una cantidad suficiente de asfalto, con un contenido de polvo alto, provoca una tendencia a bajos contenidos de vacíos.

Además de forma sintetizada en la

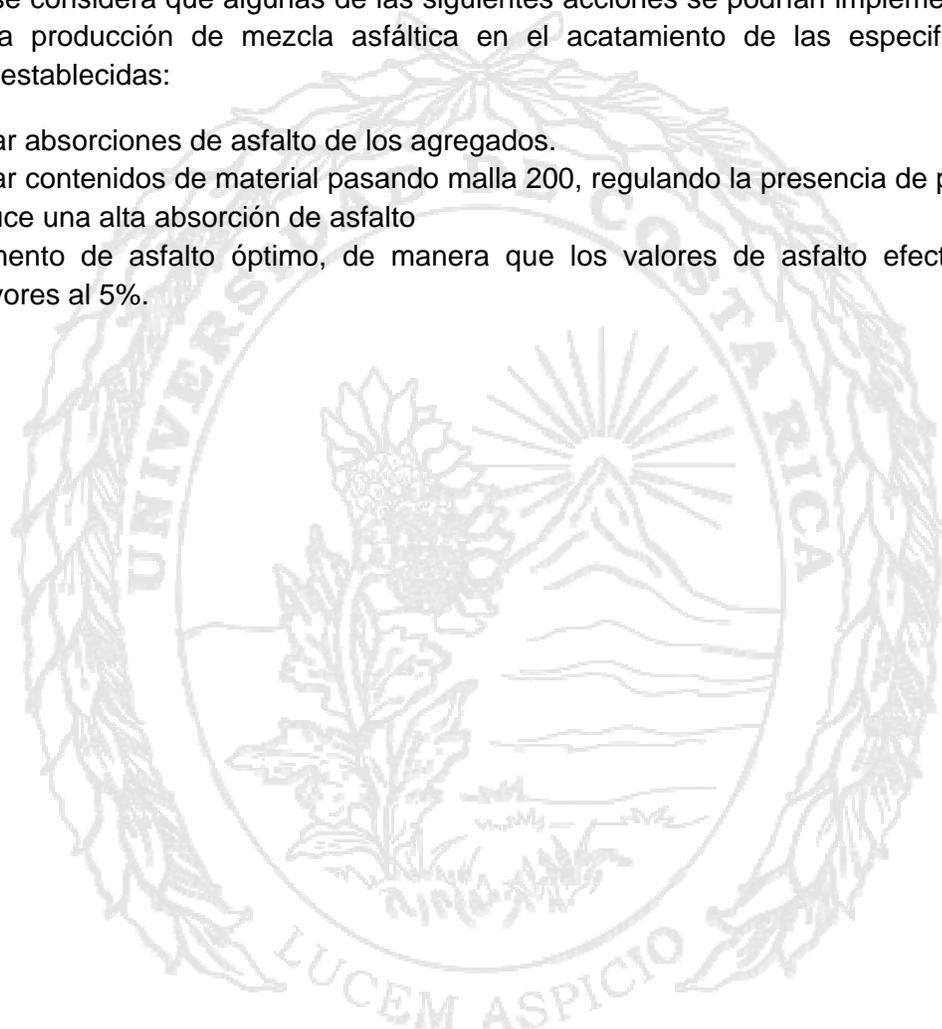
Por tanto de acuerdo con los resultados analizados y las relaciones observadas en términos generales se considera que algunas de las siguientes acciones se podrían implementar para encauzar la producción de mezcla asfáltica en el acatamiento de las especificaciones nacionales establecidas:

1. Bajar absorciones de asfalto de los agregados.
2. Bajar contenidos de material pasando malla 200, regulando la presencia de polvo que induce una alta absorción de asfalto
3. Aumento de asfalto óptimo, de manera que los valores de asfalto efectivo sean mayores al 5%.

Tabla 8 se relacionan las causas y efectos que se han venido analizando a lo largo de este acápite, y como esto repercute en la carpeta de mezcla asfáltica durante su posterior etapa de servicio. Estudios realizados en el LanammeUCR⁵ han determinado que al reducir el contenido de asfalto en las mezclas asfálticas se evidencia un cambio en la vida útil de un pavimento, una disminución en una magnitud aproximada del 0,5% determina una reducción del desempeño de la mezcla en una cuarta parte en la resistencia a la fatiga.

Por tanto de acuerdo con los resultados analizados y las relaciones observadas en términos generales se considera que algunas de las siguientes acciones se podrían implementar para encauzar la producción de mezcla asfáltica en el acatamiento de las especificaciones nacionales establecidas:

4. Bajar absorciones de asfalto de los agregados.
5. Bajar contenidos de material pasando malla 200, regulando la presencia de polvo que induce una alta absorción de asfalto
6. Aumento de asfalto óptimo, de manera que los valores de asfalto efectivo sean mayores al 5%.



⁵ "Influencia de la energía de compactación y granulometría del agregado en el desempeño de mezclas asfálticas para pavimentos mediante el método Marshall", Daniel Chacón, Mayo 2013. "Calibración de un modelo para valorar la susceptibilidad al agrietamiento por fatiga de mezclas asfálticas en Costa Rica" Año 2013.

Tabla 8. Influencia de los parámetros analizados de la mezcla asfáltica, durante su etapa de servicio

Causa	Efecto	Consecuencia en propiedad de mezcla asfáltica en servicio
<i>Bajo contenido de asfalto</i>	Desnudamiento	Disminuye durabilidad
	Recubrimiento delgado del agregado que causa envejecimiento prematuro y desnudamiento	Incrementa permeabilidad
	Agrietamiento	Disminuye resistencia al agrietamiento por fatiga
<i>Alto contenido de vacíos</i>	Envejecimiento prematuro del asfalto seguido de agrietamiento o desintegración	Disminuye durabilidad
	Ingreso más fácil de agua y aire al pavimento causando oxidación y desintegración	Incrementa permeabilidad
	Envejecimiento prematuro del asfalto	Disminuye resistencia al agrietamiento por fatiga
<i>Alto contenido de finos</i>	Mezcla asfáltica tiende a ser más seca o pegajosa y difícil de manejar	Disminuye trabajabilidad

6.1.3. Sobre la consistencia de los diseños de mezcla vigente durante el periodo de estudio

HALLAZGO N° 3: LOS DISEÑOS DE MEZCLA UTILIZADOS EN LA PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA, PRESENTADOS POR LOS CONTRATISTAS DE LAS PLANTAS EN ESTUDIO, TIENDEN A MOSTRAR INCUMPLIMIENTO DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO ESTABLECIDOS EN LA NORMATIVA CONTRACTUAL DENTRO DEL RANGO DE CONTENIDO DE ASFALTO INDICADO PARA LA PRODUCCIÓN, ASPECTO QUE NO SE ADVIERTE EN NINGUNO DE LOS DOCUMENTOS DE DISEÑO DE MEZCLA ANALIZADOS.

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

La Disposición Vial AM-01-2009, en la sección 401.06 define los requisitos que cuantifican la calidad de la mezcla asfáltica a través de la definición de valores límites de algunos parámetros específicos para la mezcla asfáltica, tanto de la metodología Marshall y de características volumétricas, a saber: contenido de vacíos de la mezcla, estabilidad, flujo, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA), correspondientes de la metodología Marshall y el parámetro volumétrico de la relación polvo/asfalto. En la **Tabla 5**

se detallan los valores establecidos en las especificaciones contractuales para cada uno de los parámetros señalados.

Asimismo, en la **Tabla 9** se resume el análisis realizado para cada uno de los diseños de mezcla vigentes, para el periodo de estudio, que se habían presentado para cada una de las plantas incluidas en el muestreo. En la información se indica el cumplimiento de cada uno de los parámetros, así como el incumplimiento con relación a alguno de los límites del rango especificado. Además se indica la restricción máxima del rango de contenido de asfalto, y el rango de contenido de asfalto disponible que garantizaría el cumplimiento de la totalidad de los parámetros establecidos con los valores indicados en las especificaciones contractuales.

Tabla 9. Análisis del rango efectivo de contenido de asfalto para los diversos informes presentados en cada una de las plantas de estudio

Planta	Optimo \pm 0.5 %	Parámetro						Disminución del rango efectivo		
	Rango Diseño	Estab	Flujo	Vacíos	VMA	VFA	P/A	Rango	% disminuido	% disponible
Meco Uruca Meco Guápiles	4,85% a 5,85%	✓	✓	◇(i,s)	✓	◇(s)	*	4,97% a 5,34%	63,5%	31,5%
HS Abangares	5,70% a 6,70%	✓	✓	◇(i,s)	✓	◇(i,s)	✓	5,93% a 6,20%	73%	27%
HS Río Claro	6,10% a 7,10%	✓	✓	✓	✓	◇(s)	*	6,10% a 6,89%	20%	80%
Grupo Orosí	5,62% a 6,62%	✓	◇(s)	◇(i,s)	✓	◇(s)	✓	5,84% a 6,13%	71%	29%
HS Guápiles (con aditivo)	5,2% a 6,2%	✓	✓	◇(i,s)	✓	◇(s)	✓	5,33% a 5,68%	65%	35%
HS Guápiles (sin aditivo)	4,70% a 5,70%	✓	✓	◇(i,s)	✓	◇(s)	✓	4,79% a 5,24%	56%	44%
Conansa	5,02% a 6,02%	✓	✓	✓	✓	◇(s)	✓	5,02% a 5,60%	42%	58%

✓ Cumple en el rango de diseño.

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

* No se pudo hacer el respectivo análisis por falta de información en el diseño.

Para las plantas con las casillas sombreadas, no se emitió informe de auditoría técnica.

Del análisis del comportamiento individual de cada parámetro de los informes de Diseño de Mezcla indicado en el apartado 401.06.02 de la Disposición Vial AM-01-2009 dentro del rango óptimo de contenido de asfalto (ver detalle del análisis en anexo 1) se determina que:

- Los parámetros que muestran un incumplimiento de los rangos establecidos por la normativa contractual para el diseño de mezcla por la metodología Marshall, son el contenido de vacíos y los vacíos llenos de asfalto, el primero en el 72% de los casos y el segundo en todos los casos analizados. En cuatro de los diseños el incumplimiento ocurre en aproximadamente el 60-70% del rango de asfalto indicado en el diseño de mezcla, llegando inclusive a mostrar incumplimientos en el propio valor de óptimo de diseño.
- El parámetro que muestra mayor incidencia de incumplimiento en el rango óptimo de asfalto \pm 0,5%, es el parámetro de vacíos llenos de asfalto (VFA), el cual muestra una

magnitud promedio en el rango de asfalto (óptimo $\pm 0,5\%$) entre un 42% a 51% de reducción del límite superior, en la mayoría de los casos, en donde se incumple el rango establecido para dicho parámetro.

- Por otro lado, el parámetro de vacíos en la mezcla muestra que en el rango de asfalto indicado en los diseños de mezcla (óptimo $\pm 0,5\%$), se produce un incumplimiento en el límite inferior del valor permitido (3 a 5) en un ámbito de 13% a 23%, aumentando el valor de límite inferior indicado en el diseño.
- Para este último caso, este porcentaje de incumplimiento en el propio diseño representa un alto riesgo de establecer un factor de pago reducido, ya que dicho parámetro está incluido como parte de la evaluación para el cálculo del pago en función de la calidad; lo cual en un proceso de producción que se encuentre dentro de control estadístico con un valor de contenido de asfalto óptimo $\pm 0,25\%$ (aproximadamente) no reflejará valores de reducción de pago por calidad.

Como resultado general de este análisis se puede afirmar y advertir que la producción de mezcla asfáltica evidenciaba un importante nivel de riesgo potencial de incumplimiento en el rango de contenido óptimo de asfalto para algunos de los parámetros de calidad indicados anteriormente. Al mismo tiempo, si se considera la capacidad y la variabilidad evidenciada por los procesos productivos, se observa que en la mayoría se llega a sobrepasar los límites de especificación de algunos parámetros establecidos por la metodología de diseño.

Por lo tanto, y teniendo a la vista los niveles de incumplimiento reflejados en los hallazgos anteriores se evidencia que se está materializando el riesgo manifiesto desde la propuesta del diseño de mezcla. Desde esta etapa se pudo haber identificado aquellas mezclas que mostraban un alto potencial de incumplimiento en los parámetros de calidad, tales como las que mostraban incumplimiento considerable en el rango óptimo de asfalto. Se puede afirmar que los incumplimientos determinados en las secciones anteriores son producto, en gran medida, consecuencia de este diseño inadecuado.

Por otra parte, como se ha indicado reiteradamente en informes anteriormente emitidos por esta auditoría la Disposición Vial MN-01-2001, en el apartado 3.3 Recepción del Diseño y la Formula de la Mezcla indica que la Administración deberá aprobar el Diseño de Mezcla presentado por el Contratista, previo al inicio de la producción de mezcla asfáltica bajo este diseño. En varios de los oficios de aprobación extendidos por la Gerencia de Conservación de Vías y Puentes se emitió una aprobación general para la producción de mezcla asfáltica en la planta, sin embargo dicha aprobación no acostumbra realizar un análisis específico que permita establecer alguna posible particularidad del diseño, tal como la restricción del rango de contenido de asfalto indicado, que se define en la metodología Marshall como el óptimo $\pm 0,5\%$.

Normativa técnica de referencia que respalda lo descrito anteriormente, se detalla a continuación: Apartado 401.06 "Requisitos para la mezcla asfáltica" de la Disposición Vial AM-01-2009.

Informe final LM-PI-AT-021-14	Fecha de emisión: Junio 2014	Página 31 de 37
----------------------------------	------------------------------	-----------------

7. CONCLUSIONES

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

- a. Se evidencia una alta variabilidad en los resultados del parámetro de contenido de asfalto reportados en el informe de ensayos de las muestras tomadas en todas las plantas estudiadas. Inclusive algunos de los procesos estudiados durante el periodo de estudio se encuentran fuera de la tolerancia establecida en la Disposición Vial AM-01-2009 (óptimo de asfalto $\pm 0,5\%$).
- b. Se evidencia que la mayoría de la mezcla asfáltica producida por las plantas productoras analizadas presentan incumplimientos en algunos de los parámetros volumétricos los parámetros Marshall para aceptación tales como: vacíos, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA) y en la relación polvo/asfalto establecidos en la Disposición Vial AM-01-2001.
- c. En términos generales se determina una tendencia a producir con cantidades considerables de material fino pasando la malla 200 (polvo), influyendo significativamente en el comportamiento y cumplimiento de los parámetros volumétricos de la mezcla (vacíos, VFA y relación polvo-asfalto).
- d. Asimismo, al analizar los diseños de mezcla asfáltica se determinó que los parámetros volumétricos de porcentaje de vacíos en la mezcla y vacíos llenos de asfalto (VFA) muestran un riesgo potencial de incumplimientos dentro del rango de contenido óptimo de asfalto establecido en los diseños de mezclas. El exceder los valores establecidos en los términos contractuales, en dichos parámetros pueden causar deterioros por inestabilidad de la mezcla o por exudación de asfalto.

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. De acuerdo con lo establecido en el cartel de licitación, todos los parámetros volumétricos deben ser valorados como parte de la aceptación de la mezcla asfáltica producida, situación que de acuerdo con los resultados presentados es absolutamente recomendable. Especificaciones técnicas internacionales sugieren que los parámetros de aceptación de la mezcla asfáltica sean valorados estadísticamente y se determine el porcentaje de los resultados que se encuentran fuera de los límites de especificación para cada uno de ellos, sin que esto conlleve necesariamente a una determinación de un pago reducido por calidad por calidad, contribuyendo a un control de procesos.
- b. A partir de análisis estadísticos se puede determinar el porcentaje tolerable de incumplimiento para cada uno de estos parámetros, considerándose como aceptable, a nivel internacional, el correspondiente a una variabilidad de un 10% (máximo tolerable internacionalmente para un lote de tamaño de 30 muestras, sin incurrir en ajustes económicos por calidad).
- c. Queda a criterio de la Administración valorar la opción de incluir dichos parámetros como parte del modelo de "Pago en función de la calidad" con el propósito de repercutir en una mejora en la metodología de formulación de los diseño de mezcla asfáltica y en los procesos de producción de mezcla asfáltica en caliente que se realizan para los proyectos de Conservación Vial.
- d. Solicitar que el informe de diseño de mezcla asfáltica presente el análisis de variación de todos los parámetros volumétricos y los considerados en la metodología Marshall, en todo el rango de contenido de asfalto propuesto (óptimo $\pm 0,5\%$) que le permita establecer el rango de trabajo probable para el diseño en estudio y establecer un criterio máximo de variación o disminución del rango de trabajo a partir del cual dicho diseño sea considerado que tiene un riesgo potencial significativo para ser producido en planta, de modo que se acepte un diseño confiable para la Administración.

Equipo Auditor



Ing. Víctor Cervantes Calvo.
Auditor Técnico, LanammeUCR



Ing. Francisco Fonseca Chaves.
Auditor Técnico, LanammeUCR

Aprobado por:



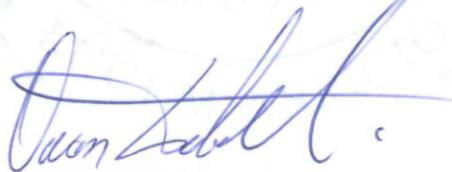
Ing. Wendy Sequeira Rojas, MSc .
Coordinadora Auditora Técnica, LanammeUCR

Aprobado por:

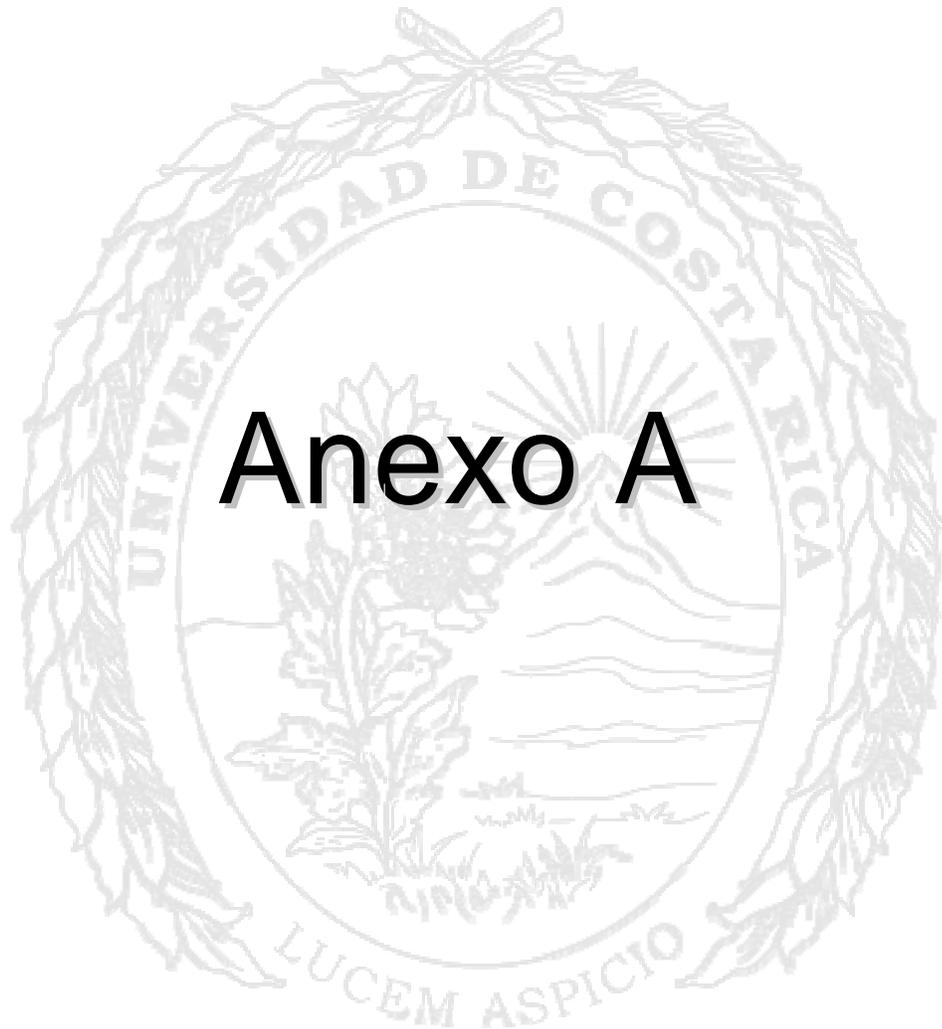


Ing. Luis Guillermo Loría Salazar, PhD.
Coordinador General Programa de Infraestructura de
Transporte, LanammeUCR

Visto bueno de legalidad



Lic. Owen Gooden Morales.
Asesor Legal LanammeUCR



Anexo A

Anexo: Inferencia estadística de la calidad del trabajo realizado

La aplicación de herramientas estadísticas para el análisis de los ensayos de calidad, es una actividad fundamental en cualquier proceso productivo pues permite predecir el nivel de calidad del producto, corregir y prevenir desviaciones y mejorar la eficiencia y eficacia del proceso de producción. Las herramientas estadísticas de control de procesos evalúan no sólo los resultados fuera de los límites de especificación, sino también la variabilidad del proceso, misma que puede aumentar la probabilidad de que la totalidad del producto no cumpla con el nivel de calidad establecido por las especificaciones, como resultado de la variabilidad inherente del proceso.

Por esta razón y con el propósito de aportar elementos que permitan la interpretación de los resultados de los ensayos y acrecentar la calidad de los productos que se utilizan en las labores de construcción de infraestructura vial, esta Auditoría Técnica realiza una evaluación estadística de los resultados incluidos en el presente informe. Para estimar el grado de cumplimiento con las especificaciones establecidas para la mezcla asfáltica se aplica el procedimiento establecido en la sección de "*Pago de obra ejecutada en función de la calidad*" del Cartel de Licitación Pública No. 2009LN-000003-CV", con la finalidad de evidenciar la importancia de la aplicación de herramientas estadísticas en el control de procesos de producción. Si bien es cierto que en la tabla A1 del cartel establece que solamente se determinará el factor de pago para los parámetros: contenido de asfalto, contenido de vacíos y granulometría; para los resultados mostrados en la **Tabla 10** se indican aquellos resultados que superan el "máximo porcentaje permisible de trabajo fuera de los límites de especificación" para considerar un material de categoría II como aceptable contractualmente.

Para el análisis la metodología contractual establece que inicialmente se deben determinar los índices de calidad (Q_s y Q_i) para cada uno de los ensayos que se van a analizar y luego obtener para cada uno, el porcentaje total de datos fuera de los límites de especificación (PT), según lo que establece el Cartel de Licitación al respecto (incisos a, b, c, d y e). El porcentaje fuera de los límites de especificación es una estimación del porcentaje de la totalidad del producto que podría encontrarse fuera de los rangos de especificación para las muestras o periodo analizado (lote).

Informe final LM-PI-AT-021-14	Fecha de emisión: Junio 2014	Página 36 de 37
----------------------------------	------------------------------	-----------------

Tabla 10. Porcentajes de incumplimiento calculados para los parámetros en estudio, para todas las plantas asfálticas

Parámetro /Planta	Vacios (3-5%)	Asfalto (%) Opt.±0.5%	VMA (≥14%)	VFA (65-75%)	P/A (0,6 - 1,3%)	Malla 200 (2-8%)
Conansa	24,8% (0.97)	5.7% (1.00)	0%	25,3%	6.3%	0%
Meco	38,5% (0.81)	30.9% (0.88)	25,3%	51,9% (*)	49.0% (*)	0%)
Orosí	57,1% (*)	67.5% (*)	36,8%	58,8% (*)	99.4% (*)	0%
HSG	50,9% (0.82)	39.3% (0.90)	0%	74,8% (*)	97.5% (*)	0%
HSA	45,7% (0.76)	35.8% (0.85)	24,7%	76,5% (*)	61.4% (*)	0%
HSRC	12,4% (1.00)	72.1% (*)	95,3% (*)	23,8%	99.8% (*)	0%

(): factor por reducción de calidad asociado al nivel de incumplimiento

(*): el valor supera el nivel de incumplimiento máximo permitido contractualmente para material categoría II

Los parámetros en casillas sombreadas no están incluidos en el modelo de pago por calidad

