

**INFORME DE
AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
LM-AT-73-08**

**“ANÁLISIS DE LA METODOLOGÍA DE PAGO APLICADA
POR LA DIRECCIÓN DE CONSERVACIÓN VIAL DEL CONAVI
EN LOS PROYECTOS CONTRATADOS MEDIANTE
LA LICITACIÓN LP-01-2005”**

OCTUBRE 2008

TABLA DE CONTENIDO

	Página
1. Potestades _____	7
2. Alcances y objetivos de la auditoría _____	7
3. Metodología de la auditoría técnica _____	8
4. Marco teórico _____	10
4.1. Procedimiento de pago de Obra ejecutada en función de la calidad ____	10
5. Antecedentes _____	11
5.1. Contratos de Conservación Vial vigentes _____	12
6. Observaciones de la auditoría técnica _____	15
6.1. Observaciones _____	15
7. Conclusiones _____	32
8. Recomendaciones _____	34
9. Bibliografía _____	35
ANEXOS _____	37

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Estimaciones de pago de obra realizada de las zonas de Conservación Vial estudiadas	8
Tabla 2. Parámetros de pago de obra en función de la calidad contratos 2003-2006	12
Tabla 3. Parámetros pago de obra en función de la calidad contratos 2006- 2009	13
Tabla 4. Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica mediante la metodología Marshall, definidos como parámetros de aceptación en la Disposición General AM-01-2001	14
Tabla 5. Resultados de control de calidad y del análisis estadístico realizado por la auditoría.	20
Tabla 6. Variación del factor de pago en las estimaciones de pago de la Línea 22, Zona 1-1, Región 1, Subregión San José.	21
Tabla 7. Variación del factor de pago en las estimaciones de pago de la Línea 14, Zona 1-9, Región 1, Subregión Heredia.	22
Tabla 8. Variación del factor de pago en las estimaciones de pago de la Línea 09, Zona 4-1, Región Brunca.	23
Tabla 9. Resumen de la variación en el monto por reducción de calidad determinado por la variación de pago.	24
Tabla 10. Resumen de los montos pagados para cada actividad para los cuales la mezcla no satisface el parámetro de vacíos.	24
Tabla 11. Datos reportados en la Estimación de pago N° 4 por la empresa Santa Fe, en la planta ubicada en Guápiles y cálculo de promedios y desviaciones estándar para cada parámetro.	38
Tabla 12. Factores de pago obtenidos por calidad y por compactación para cada renglón de pago en los que se utiliza MAC, considerando el parámetro de vacíos como un parámetro de evaluación.	40

Tabla 13. Factores de pago global obtenidos por calidad y por compactación para cada bacheo y sobrecapas no estructurales, considerando el parámetro de vacíos como un parámetro de evaluación.....	41
Tabla 14. Factores de pago global obtenidos por calidad y por compactación para cada bacheo y sobrecapas no estructurales, considerando el parámetro de vacíos como un parámetro de evaluación.....	41
Tabla 15. Estimación del pago total reducido por calidad, considerando el parámetro de vacíos como un parámetro de evaluación.....	41
Tabla 16. Resumen de resultados obtenidos para la Estimación de pago N° 4 presentada por la empresa Santa Fe, ubicada en Guápiles, considerando el parámetro de vacíos como un parámetro de evaluación.....	42

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Resultados de la Relación Polvo/Asfalto para la Planta MECO en la Uruca durante la producción de noviembre 2006 a enero 2007 (Zona 1-9)	26
Figura 2. Resultados de VFA para la Planta MECO en la Uruca durante la producción de noviembre 2006 a enero 2007 (Zona 1-9).....	27
Figura 3. Resultados de Contenido de asfalto para la Planta MECO en la Uruca durante la producción de noviembre 2006 a enero 2007 (Zona 1-9).....	28
Figura 4. Resultados de Malla N° 4 para la Planta MECO en la Uruca durante la producción de noviembre 2006 a enero 2007 (Zona 1-9).....	29
Figura 5. Resultados de Malla N° 30 para la Planta MECO en la Uruca durante la producción de noviembre 2006 a enero 2007 (Zona 1-9).....	30
Figura 6. Resultados de Malla N° 200 para la Planta MECO en la Uruca urante la producción de noviembre 2006 a enero 2007 (Zona 1-9).....	30
Figura 7. Zona 1-1, Gráficas de variabilidad de porcentaje de vacíos de a. Planta Asfáltica Santa Fe Guapiles, producción septiembre 2006 a marzo 2007. b. Planta Asfáltica Santa Fe Cebadilla, producción septiembre a diciembre 2006.	43
Figura 8. Zona 1-9, Gráficas de variabilidad de porcentaje de vacíos de a. Planta Asfáltica Conansa, Calle Blancos, producción julio a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Conansa, Calle Blancos, producción enero a julio 2007.	44
Figura 9. Zona 1-9, Gráficas de variabilidad de porcentaje de vacíos de Planta Asfáltica Meco, La Uruca, producción noviembre 2006 a enero 2007...	45
Figura 10. Zona 4-1, Gráficas de variabilidad de porcentaje de vacíos de a. Planta Asfáltica Quebradores del Sur, Pérez Zeledón, producción julio a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Quebradores del Sur, Pérez Zeledón, producción enero a abril 2007.	46
Figura 11. Zona 1-1, Gráficas de variabilidad del parámetro volumétrico VFA de a. Planta Asfáltica Santa Fe Guapiles, producción septiembre 2006 a	

marzo 2007. b. Planta Asfáltica Santa Fe Cebadilla, producción septiembre a diciembre 2006.	47
Figura 12. Zona 1-9, Gráficas de variabilidad de parámetro volumétrico VFA de a. Planta Asfáltica Conansa, Calle Blancos, producción julio a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Conansa, Calle Blancos, producción enero a julio 2007.	48
Figura 13. Zona 1-9, Gráficas de variabilidad de parámetro volumétrico VFA de la Planta Asfáltica Meco, La Uruca, producción noviembre 2006 a enero 2007.	49
Figura 14. Zona 4-1, Gráficas de variabilidad de parámetro volumétrico VFA de a. Planta Asfáltica Quebradores del Sur, Pérez Zeledón, producción julio a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Quebradores del Sur, Pérez Zeledón, producción enero a abril 2007.	50
Figura 15. Zona 1-1, Grafica de variabilidad del parámetro relación polvo/asfalto de la Planta Asfáltica Santa Fe Guápiles, producción septiembre 2006 a marzo 2007.....	51
Figura 16. Zona 1-1, Gráficas de variabilidad del parámetro relación polvo/asfalto de a. Planta Asfáltica Santa Fe Cebadilla, producción septiembre a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Meco, La Uruca, producción diciembre 2006.	52
Figura 17. Zona 1-9, Gráficas de variabilidad de parámetro relación polvo/asfalto de a. Planta Asfáltica Conansa, Calle Blancos, producción julio a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Conansa, Calle Blancos, producción enero a julio 2007.	53
Figura 18. Zona 1-9, Gráficas de variabilidad de parámetro relación polvo/asfalto de la Planta Asfáltica Meco, La Uruca, producción noviembre 2006 a enero 2007.	54
Figura 19. Zona 4-1, Gráficas de variabilidad de parámetro relación polvo/asfalto de a. Planta Asfáltica Quebradores del Sur, Pérez Zeledón, producción julio a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Quebradores del Sur, Pérez Zeledón, producción enero a abril 2007.	55

INFORME DE AUDITORÍA TÉCNICA EXTERNA
“Análisis de la Metodología de Pago Aplicada por la Dirección de Conservación Vial del CONAVI en los Proyectos Contratados Mediante la Licitación LP-01-2005”

1. POTESTADES

La auditoría técnica externa a los procesos, controles, laboratorios, proyectos e instituciones públicas que efectúan sus labores en las rutas nacionales, se realiza de conformidad con la disposición del artículo 6 de la Ley N° 8114 de Simplificación y Eficiencia Tributarias y su reforma mediante la Ley N° 8603, dentro del Programa de Fiscalización de la Calidad de la Red Vial del Laboratorio Nacional de Materiales de y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica (LanammeUCR).

De manera adicional, el proceso de auditoría se fundamenta en el pronunciamiento C-087-2002 del 4 de abril de 2002, de la Procuraduría General de la República, que indica:

“... la fiscalización que realiza la Universidad de Costa Rica 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 riesgo de esa red. La cual implica una fiscalización a quienes podrían estar fiscalizando proyectos concretos.” (El subrayado no es del texto original)

2. ALCANCES Y OBJETIVOS DE LA AUDITORÍA

Los objetivos generales de esta auditoría son: 1. Analizar si el modelo de pago en función de la calidad es aplicado por los organismos de inspección de los veintidós (22) contratos vigentes en conservación vial, en apego a lo establecido en los carteles de licitación y demás documentos contractuales (para cumplir con éste propósito se analizaron algunas zonas de conservación vial). 2. Valorar el efecto de las modificaciones realizadas al modelo de pago en función de la calidad, con el propósito de determinar si existe una reducción en la capacidad del modelo para evaluar la calidad final de la mezcla recibida y pagada por la Administración.

El propósito principal de este informe es brindarle a la Administración una serie de elementos sobre el funcionamiento y modo de operación del modelo de pago en función de la calidad, utilizado actualmente por los organismos de inspección de la Dirección de Conservación Vial, para que se analicen y se definan las acciones a seguir (correctivas y preventivas) que permitan subsanar las deficiencias de dicho modelo a corto, mediano y largo plazo.

3. METODOLOGÍA DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

Para el análisis de la aplicación de la metodología de pago en función de la calidad, se estudió una muestra de las estimaciones de pago de tres zonas de conservación vial (las cuales se muestran en la Tabla 1). Las zonas se eligieron de manera aleatoria.

Tabla 1. Estimaciones de pago de obra realizada de las zonas de Conservación Vial estudiadas

Periodo	Línea 09, Zona 4-1, Región Brunca (1)	Línea 14, Zona 1-9, Región 1, Subregión Heredia (2)	Línea 22, Zona 1-1, Región 1, Subregión San José (3)
14 al 31 de julio 2006	Nº1	Nº 1	Nº 1
01 al 31 de agosto de 2006		Nº 2	Nº 2
01 al 30 de septiembre 2006	Nº 2	Nº 3	Nº 3
01 al 30 de octubre 2006	Nº 3	Nº 4	Nº 4
01 al 30 de noviembre 2006	Nº 4	Nº 5	Nº 5
01 al 15 de diciembre 2006	-----	Nº 6	Nº 6
16 al 31 de diciembre 2006	Nº 5	Nº 7	Nº 7
01 al 31 de enero 2007	Nº 6	Nº 8	Nº 8
01 al 28 de febrero 2007	Nº 7	Nº 9	Nº 9
01 al 31 de marzo 2007	Nº 8	Nº 10	Nº 10
01 al 30 de abril 2007	Nº 9	Nº 11	-
01 al 30 de mayo de 2007	-	Nº 12	-
01 al 30 de junio de 2007	-	Nº 13	-
01 al 31 de julio de 2007	-	Nº 14	-

(1) Empresa Constructora CONVISUR, Planta de producción de mezcla asfáltica: Quebradores del Sur ubicada en Pérez Zeledón.

(2) Empresa Constructora CONANSA, Plantas de de producción de mezcla asfáltica: Planta de Conansa, ubicada en Calle Blancos y Planta Meco, ubicada en La Uruca.

(3) Empresa Constructora Santa Fe, Plantas de producción de mezcla asfáltica: Planta de Santa Fe, ubicada en Cebadilla de Alajuela y Planta de Santa Fe, ubicada en Guápiles.

Los resultados de control de calidad presentados en las estimaciones se analizaron estadísticamente (calculando los promedios, las desviaciones estándar y los índices de calidad Q_s y Q_i , así como los correspondientes valores de porcentajes de incumplimiento) con el objetivo de contrastar los criterios vigentes, con los utilizados a nivel internacional y con las decisiones y acciones aplicadas por el organismo de inspección de cada uno de los proyectos.

Se estableció como periodo de estudio el comprendido entre julio de 2006 y julio de 2007, con el fin de evaluar el proceso de control de calidad durante el primer año de ejecución de los contratos vigentes de conservación vial.

Cabe mencionar que el modelo de verificación de la calidad, mediante la contratación de organismos de ensayo para los servicios de verificación de calidad, comenzó a operar en el mes de octubre de 2007, aproximadamente. La evaluación de este modelo no se contempla dentro del alcance de esta auditoría.

4. MARCO TEÓRICO

4.1. PROCEDIMIENTO DE PAGO DE OBRA EJECUTADA EN FUNCIÓN DE LA CALIDAD

Los trabajos de obra realizados por el contratista deben ser medidos, evaluados y pagados según el procedimiento establecido contractualmente para cada proyecto específico.

El modelo de pago de obra ejecutada en función de la calidad tiene como propósito evaluar la calidad realmente alcanzada, comparándolos con los requisitos de calidad establecidos y pactados contractualmente para la obra ejecutada. Este nivel de calidad se determina estadísticamente (con base en muestras significativas y representativas), evaluando parámetros de la mezcla asfáltica producida y colocada, definidos como criterios de evaluación, a los cuales se les asigna un peso porcentual en la calidad final de la obra ejecutada. Si la valoración de la obra no llega a alcanzar el mínimo del nivel de calidad requerido, se considera que la condición final de la obra puede llegar a ser contraproducente para la calidad del proyecto, tal como se define en las especificaciones contractuales, por lo que el trabajo no se puede considerar aceptable y no debería ser recibido por el ingeniero de proyecto.

Adicionalmente, el modelo de “*Pago en función de la calidad*” permite que una vez que se haya determinado que la obra realizada por parte del contratista, presenta un puntaje mayor que el nivel mínimo de calidad requerido, pero no alcanza el nivel establecido en las especificaciones del contrato, es sujeto del cálculo estadístico para el pago reducido de la obra realizada, el cual está asociado con un porcentaje de pago (Factor de Pago).

El modelo estadístico tiene como finalidad estimar la variabilidad tanto en el proceso productivo, como en el proceso de colocación y compactación de la mezcla asfáltica, definiendo el promedio (\bar{x}) y la desviación estándar (s) de los parámetros de aceptación establecidos y evaluar estadísticamente el cumplimiento de los límites de especificación o tolerancia mediante índices de calidad (Q_s, Q_i).

5. ANTECEDENTES

En las últimas generaciones de contratos de Conservación Vial (últimos 9 años) se ha definido el procedimiento estadístico de pago en función de la calidad como la principal herramienta del modelo de pago de las obras que realiza el contratista.

El modelo estadístico de pago en función de la calidad, tiene como propósito proporcionar a la Administración una herramienta para evaluar la calidad final de la mezcla asfáltica producida y colocada por el contratista, y de esta manera adecuar el pago de acuerdo con el nivel de calidad y del cumplimiento de las especificaciones.

Por medio de un análisis estadístico contenido en el procedimiento de pago en función de la calidad, la Administración evalúa y cuantifica el nivel de cumplimiento de las especificaciones técnicas convenidas contractualmente. Es decir, la Administración determina, mediante la aplicación de este procedimiento, la calidad del material colocado por los contratistas y asigna un precio a este material que es proporcional al factor de pago calculado.

Una vez determinado el nivel de cumplimiento se aplican “reducciones de pago” a la mezcla asfáltica de acuerdo con un factor calculado por el procedimiento, o inclusive, permite el rechazo total de la mezcla asfáltica producida en un lote de producción específico. Estas “reducciones” se materializan en disminuciones en el pago mensual de la cantidad de mezcla producida y reportada por los contratistas en las estimaciones de pago.

Por este motivo es importante realizar el análisis de forma oportuna, para que la Administración pueda tomar decisiones sobre la calidad de la mezcla antes de pagarla.

La Tabla 2 muestra las características que se evaluaban y el peso porcentual que asignaba el procedimiento de pago en función de la calidad, a cada una de las características de la mezcla asfáltica en caliente en la generación anterior de contratos para los proyectos de Conservación Vial.

Tabla 2. Parámetros de pago de obra en función de la calidad contratos 2003-2006

Contratos 2003 – 2006			
Parámetro	Peso Porcentual	Parámetro	Peso Porcentual
Mezcla Asfáltica Producida	80%	Colocación y Compactación	20%
<i>Porcentaje de Vacíos</i>	1/11	<i>Porcentaje de Vacíos*</i>	20%
<i>Fracción Gruesa</i>	3/11		
<i>Cantidad de Malla 200</i>	3/11		
<i>Porcentaje de Asfalto</i>	4/11		

**Este parámetro de aceptación del acabado final de la mezcla asfáltica se evaluaba en conjunto con el "Espesor final de la capa colocada", sin embargo este último fue eliminado en la orden de modificación N° 9i "Modificación de Especificaciones Especiales" emitida el 15 de mayo del 2003, recayendo todo el peso porcentual de pago por colocación y compactación, únicamente, en el parámetro de "Porcentaje de Vacíos de campo".*

5.1. CONTRATOS DE CONSERVACIÓN VIAL VIGENTES

En la nueva generación de contratos de Conservación Vial se incluyeron algunos cambios en el método de evaluación estadística, por lo cual la auditoría técnica del LanammeUCR establece como objetivo para este informe evaluar y valorar la metodología de pago establecida en el apartado 7. PAGO DE OBRA EJECUTADA EN FUNCION DE LA CALIDAD del Tomo II del Cartel de Licitación LP-01-2005.

En la Tabla 3 se muestran los parámetros de pago para los proyectos de conservación vial que iniciaron en el año 2006, así como los pesos porcentuales establecidos para la aplicación del procedimiento estadístico de pago en función de la calidad.

Tabla 3. Parámetros pago de obra en función de la calidad contratos 2006- 2009

Contratos 2006 – 2009					
Parámetro		Peso Porcentual	Parámetro		Peso Porcentual
Mezcla Asfáltica Producida	Bacheo	90%	Colocación y Compactación	Bacheo	10%
	Sobrecapa	80%		Sobrecapa	20%
Cantidad de Malla 4		Se aplica el factor que tenga menor valor	Porcentaje de Vacíos*		10% ó 20%
Cantidad de Malla 30					
Cantidad de Malla 200					
Porcentaje de Asfalto					

*Este parámetro de aceptación del acabado final de la mezcla asfáltica se evaluaba en conjunto con el "Espesor final de la capa colocada", sin embargo este último fue eliminado en la orden de modificación N° 9i "Modificación de Especificaciones Especiales" emitida el 15 de mayo del 2003, recayendo todo el peso porcentual de pago por colocación y compactación, únicamente, en el parámetro de "Porcentaje de Vacíos de campo".

Dentro de los cambios más significativos efectuados al modelo se precisa la eliminación del peso porcentual de cada uno de los parámetros detallados en la Tabla 2. En los contratos vigentes se determina el pago de acuerdo con el factor de menor calidad que prevalece entre los parámetros de evaluación (factor único), además, el parámetro de "Porcentaje de vacíos" se deja de valorar dentro de los parámetros de pago.

Los contratos vigentes para la "Conservación Vial de la Red Nacional Pavimentada" LP-01-2005, establecen requisitos para la mezcla asfáltica en caliente (MAC) que se utiliza en las veintidós zonas en las que se subdividió la red pavimentada. El apartado 2 del capítulo de "Actualización de especificaciones especiales", indica que la MAC deberá cumplir con los requerimientos establecidos en las Disposiciones Generales vigentes: AM-01-2001, AM-02-2001, AM-03-2001 y AM-04-2001.

Las Disposiciones Generales vigentes señalan que la metodología de diseño de MAC que se aplicará en los proyectos será la metodología Marshall. Esta metodología establece requisitos que deben ser cumplidos por el diseño de mezcla asfáltica propuesto. En la Tabla 4 se listan algunos de estos parámetros y sus correspondientes valores de aceptación

Tabla 4. Requisitos establecidos para el diseño de mezcla asfáltica mediante la metodología Marshall, definidos como parámetros de aceptación en la Disposición General AM-01-2001

Parámetro	Valores de aceptación	Norma
Estabilidad	Mínimo 800 kg (Marshall estándar) Mínimo 1800 kg (Marshall modificado)	AASHTO T-245
Flujo	30 ± 10 centésimas de cm	AASHTO T-245
Contenido de vacíos de aire	4% ± 1	
Relación Polvo/Asfalto	0,6 – 1,3	
Vacíos en el agregado mineral (VAM)	Depende del tamaño nominal del agregado y del porcentaje de vacíos	
Resistencia a la compresión uniaxial retenida	Mínimo 75% Mínimo 21 kg/cm ² (en probetas falladas al aire)	AASHTO T-165 AASHTO T-167
Resistencia a la tensión diametral retenida	Igual o mayor a 75%	AASHTO T-283
Vacíos llenos de asfalto (VFA)*	Depende del tráfico en millones de ejes equivalentes de 8,2 toneladas	

**Este parámetro se define como un requisito de cumplimiento para la mezcla asfáltica en caliente de acuerdo con la metodología de diseño Marshall. Además en la Disposición General AM-01-2001, se define como un requisito de aceptación, sin embargo en el apartado 2.3 de la "Actualización de especificaciones especiales" se excluye.*

6. OBSERVACIONES DE LA AUDITORÍA TÉCNICA

Las observaciones declaradas por el equipo auditor en este informe de auditoría, se fundamentan en evidencias representativas, veraces y objetivas, sustentados en la documentación analizada y respaldados en la experiencia técnica de los profesionales de auditoría, la recolección y análisis de evidencias.

6.1. OBSERVACIONES

Sobre el modelo de pago en función de la calidad vigente

Observación 1: El modelo de pago en función de la calidad vigente, contempla una modificación que no permite valorar completamente la calidad de la mezcla asfáltica producida en planta, debido a que excluye como parámetro de evaluación al porcentaje de vacíos Marshall.

Al valorar la evolución del modelo de pago en función de la calidad vigente con respecto a los proyectos de conservación vial ejecutados en la campaña anterior (LP-01 a 21-2001), se denota un cambio en la metodología de aceptación y pago, debido a que excluye el “porcentaje de vacíos” como parámetro de pago.

La nueva metodología de aceptación estadística y pago únicamente se basa en los resultados de ensayo de los siguientes parámetros: malla N° 4, malla N° 30, malla N° 200 y contenido de asfalto de la mezcla.

Algunos departamentos de transporte internacionales controlan únicamente las proporciones de agregado y contenido de asfalto que se establecieron en el diseño de mezcla inicial. Sin embargo otras entidades a nivel internacional que son referentes del tema, también señalan que cambios en las propiedades de las materias primas principales que componen la mezcla asfáltica (agregado mineral y cemento asfáltico), originan cambios en los parámetros de la mezcla y por lo tanto, es necesario que sean monitoreados y controlados, llegando incluso a establecer que el diseño de mezcla sea replanteado.

La FHWA (Departamento de Transporte de la Administración Federal de Carreteras de Estados Unidos) en el artículo técnico T5040.27 “Asphalt Concrete Mix Design and Field Control” (Diseño de mezcla de concreto asfáltico y control en campo) señala que cuando las propiedades físicas del cemento asfáltico tales como las curvas de temperatura de viscosidad (absoluta o cinemática), muestran un cambio en la viscosidad del asfalto es necesario un nuevo diseño de mezcla. Destaca además que la determinación del porcentaje de vacíos de la mezcla en el

laboratorio es un punto crítico en el proceso de diseño y control de calidad de la mezcla asfáltica.

La metodología Marshall, así como las nuevas metodologías de diseño de mezcla asfáltica (Método Superpave), tiene como finalidad establecer la proporción óptima de los componentes principales de la mezcla.

Ésta proporción va a permitir el adecuado acomodo de las partículas de agregado y el asfalto una vez que se conforme la mezcla asfáltica, de manera que garantice que la mezcla asfáltica tenga suficiente espacio para permitir una posterior compactación por efecto del tráfico. Además debe soportar los efectos climáticos y el paso de las cargas de tránsito que circularán sobre la carpeta asfáltica sin deformarse, deteriorarse ni perder sus características iniciales.

La manera de establecer la proporción adecuada es mediante el cálculo y análisis de los parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica: Vacíos en la mezcla, vacíos en el agregado mineral (VMA), vacíos llenos de asfalto (VFA) y relación Polvo/Asfalto, entre otros.

La cantidad de vacíos en la MAC es necesaria para permitir alguna compactación adicional de la carpeta durante servicio, de manera que el asfalto pueda tener espacio adicional donde acomodarse sin que se produzca exudación o pérdida de estabilidad y que además, no permita el ingreso de aire y agua que podrían causar efectos adversos a la mezcla.

El rango sugerido por el método Marshall de 3% a 5% de vacíos, tiene como finalidad proyectar la densidad de la mezcla que provea una cantidad de vacíos aproximadamente igual a los esperados después de dos o tres años de servicio. Si el porcentaje de vacíos es menor a 3% es probable que se presenten deformaciones en la carpeta asfáltica (ahuellamiento). Si el porcentaje de vacíos es mayor que 5% aumenta la permeabilidad de la mezcla al aire y al agua, lo cual aumenta la tasa de oxidación del asfalto, produciendo agrietamiento y deformaciones.

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. En otras palabras, es la porción de los vacíos del agregado mineral que contiene cemento asfáltico (asfalto absorbido por el agregado), lo cual representa el volumen contenido de asfalto efectivo.

El valor del VMA se especifica como un valor mínimo en función del tamaño del agregado, esto con el fin de garantizar un espesor adecuado de película de asfalto en el agregado que permitir una durabilidad de la MAC. Cuanto mayor sea el VMA

más espacio disponible existirá para lograr la película de asfalto. Un valor bajo de VMA implica una delgada película de asfalto recubriendo las partículas del agregado y por ende una menor durabilidad de la MAC.

Los vacíos llenos de asfalto (VFA) corresponden al porcentaje de asfalto en el valor de VMA. El VFA se establece mediante un rango de valores, el cual se define en función de la cantidad de carga esperada en la carretera (vehículos livianos, de carga, de pasajeros, entre otros), denominada comúnmente como ejes equivalentes o ESALS. Entre mayor sea la carga esperada de tránsito, menores valores de VFA son requeridos con el fin de regular el posible efecto de exudación por efecto de la posterior compactación de la MAC. El método de diseño Marshall establecido en las Disposiciones Generales vigentes señala que para una autopista los valores de VFA deben ser entre 65-75 por ciento, mientras que para una carretera de bajo tránsito estos estarán entre 70-80 por ciento. Cuando el valor de VFA excede el 80-85 por ciento la mezcla se vuelve inestable y puede producirse deformaciones en la carpeta asfáltica (ahuellamiento)

El contenido de asfalto de una mezcla se determina en gran medida por las características del agregado, tales como granulometría y capacidad de absorción. Si la mezcla contiene una gran cantidad de finos el área superficial total del agregado será mayor, lo cual implica que la demanda mayor de asfalto para cubrir y lograr la película de asfalto en las partículas. Esta situación toma mayor importancia con las fracciones muy finas del agregado (pasando malla 200: 0,075 mm), pequeños incrementos pueden demandar gran parte del asfalto añadido a la mezcla, provocando variaciones en la densidad, estabilidad y tenacidad de la mezcla. Por el contrario pequeñas disminuciones dan como resultado una mezcla muy rica en asfalto (mayor flexibilidad). Es por ello que se establece que la proporción entre la cantidad de asfalto presente en la mezcla y las fracciones muy finas (Relación polvo/asfalto) debe ser reguladas a valores que deben estar entre 0,6 y 1,3 con el propósito de controlar el módulo de liquidez de la mezcla.

La medición y el control de los parámetros anteriormente mencionados es un requisito fundamental durante el proceso de diseño y producción de MAC, ya que la combinación de agregados y asfalto debe cumplir valores mínimos o rangos establecidos para que las características y el comportamiento de la MAC sea el esperado. El control continuo de las materias primas y de los parámetros volumétricos durante la producción de la mezcla asfáltica, permite mantener y ajustar oportunamente las proporciones de la fórmula de trabajo y de los materiales, de manera que la mezcla producida cumpla con las especificaciones técnicas.

En nuestro medio, el control de los componentes de la mezcla asfáltica toma mayor relevancia si se considera que las materias primas utilizadas en la producción de mezcla asfáltica muestran variabilidad en las características físicas:

- En cuanto al asfalto, se puede mencionar el hecho de que nuestro país no tiene la posibilidad de producir asfalto con características homogéneas, más bien depende de la fuente de asfalto de la cual se reciba el material. Esta situación ha generado una variación histórica en las propiedades de viscosidad del ligante asfáltico, y por consiguiente en la clasificación del mismo (AC-30, AC-40).

Estas variaciones en la viscosidad del ligante asfáltico, conllevan a mantener un control más riguroso del proceso de diseño de MAC y de producción, ya que afecta directamente las propiedades volumétricas de la MAC (vacíos, VAM, VAF y relación polvo/asfalto) y por consiguiente la calidad final de la MAC producida.

- El otro componente esencial en la producción de MAC, el agregado pétreo, puede provocar cambios en la volumetría de la MAC, si varía el grado de absorción, la granulometría, los porcentajes de combinación (de agregado fino, intermedio y grueso) o la forma de las partículas de cada apilamiento usado.

Por tanto es una labor primordial y básica evaluar, cumplir y controlar los requisitos de la mezcla asfáltica dentro de los rangos especificados en el diseño Marshall, con la finalidad de garantizar que la MAC producida va a comportarse adecuadamente durante el periodo de servicio.

Observación 2: El análisis estadístico del parámetro de evaluación “porcentaje de vacíos” determina variaciones de pago con respecto al modelo de pago en función de la calidad vigente.

Para el presente informe de auditoría se realizó un análisis estadístico del parámetro volumétrico denominado porcentaje de vacíos, para determinar el efecto que la exclusión de dicho parámetro pueda tener en el pago por calidad de la mezcla asfáltica producida en el modelo de pago vigente para el periodo de estudio y las zonas seleccionadas.

Se aplica el modelo de análisis estadístico definido en los contratos vigentes establecido en el apartado 7 del capítulo de “Actualización de especificaciones especiales”, con la variante de incluir dentro de los parámetros de evaluación el porcentaje de vacíos de la mezcla.

El análisis consistió en calcular para cada parámetro de evaluación el promedio (\bar{x}), la desviación estándar (s), los índices de calidad (Q_s, Q_i), el porcentaje de cumplimiento y pago por calidad como se especifica en las secciones 7.1 a 7.6 de la “Actualización de especificaciones especiales”. El análisis estadístico mencionado se efectuó para cada una de las estimaciones de pago presentadas en cada una de las zonas de estudio que se detallan en la Tabla 1.

En la Tabla 5 se presentan los cálculos realizados para los resultados de control de calidad de la mezcla asfáltica producida durante el mes de octubre de 2006 (Estimación N° 4) por la empresa Santa Fe, en la planta ubicada en Guápiles, para la zona 1-1 “Región 1, subregión San José”. En el *Anexo 1* se presenta la memoria de cálculo del análisis estadístico realizado por la auditoría.

Después de efectuar el análisis estadístico de las estimaciones de pago de obra ejecutada para los meses y las zonas incluidos en este estudio, se logra determinar que los factores de pago estimados por esta auditoría son en algunos casos significativamente menores, a los que se obtienen mediante la metodología de pago en función de la calidad aplicada actualmente por los Organismos de Inspección.

En las Tablas 6, 7 y 8 se detalla la incidencia en los factores de pago y en los montos de reducción por calidad, debido a la exclusión del parámetro volumétrico de la mezcla asfáltica (porcentaje de vacíos) de los parámetros de evaluación definidos en el modelo de pago en función de la calidad definido en los contratos vigentes.

Tabla 5. Resultados de control de calidad y del análisis estadístico realizado por la auditoría.

Límites	Mallas			Porcentaje Asfalto	Vacíos MAC	Vacíos Bacheo
	Nº 4	Nº 30	Nº 200			
Límite Inferior (LIE)	49	12	2,6	4,89	3	3
Límite Superior (LSE)	57	19	6,6	5,89	5	9
Fecha	Resultados de Control de Calidad					
03/10/2006	54	18	5,5	5,67	4,7	3,0
04/10/2006	54	18	6,2	5,75	3,3	4,7
05/10/2006	52	17	5,2	5,94	3,5	4,2
06/10/2006	57	19	5,8	5,78	3,9	3,8
07/10/2006	57	19	6,0	5,30	5,3	3,1
08/10/2006	54	18	5,9	5,33	5,1	3,6
09/10/2006	57	18	5,8	5,29	4,8	5,8
10/10/2006	51	16	5,3	5,78	4,2	6,9
11/10/2006	49	16	5,5	5,73	3,1	3,8
12/10/2006	49	16	5,6	5,56	3,6	5,8
13/10/2006	49	16	5,4	5,41	3,4	5,7
18/10/2006	49	18	5,7	5,68	3,2	3,5
19/10/2006	53	20	6,0	6,00	1,8	3,5
20/10/2006	55	20	6,4	5,80	3,2	2,8
24/10/2006	53	18	5,8	5,75	2,8	4,7
25/10/2006	53	17	5,3	5,63	3,0	5,4
26/10/2006	55	18	5,9	5,72	3,7	6,2
27/10/2006	55	19	5,7	5,99	2,8	4,5
						6,6
						5,4
						2,2
<i>Promedio (x)</i>	53,1	17,8	5,7	5,7	3,6	4,53
<i>Desviación Estándar (s)</i>	2,8	1,3	0,3	0,2	0,9	1,34
<i>Índice Superior (Cs)</i>	1,40	0,90	2,72	0,99	1,52	3,34
<i>Índice Inferior (Ci)</i>	1,48	4,51	9,67	3,56	0,70	1,15
<i>Porcentaje fuera LSE (Ps)</i>	8	18	0	16	6	0
<i>Porcentaje fuera LSI (Pi)</i>	7	0	0	0	24	12
<i>Porcentaje Incumplimiento (Ps+Pi)</i>	15	18	0	16	30	12
<i>Factor de pago por calidad individual</i>	0,98	1,00	1,00	0,97	0,92	1,00
<i>Factor de pago global para bacheo</i>	0,928					
<i>Factor de pago global para bacheo urgencia</i>	0,920					
<i>Pago global reducido para bacheo</i>	¢55.755.997,06					
<i>Pago global reducido para bacheo urgencia</i>	¢3.438.130,19					

Tabla 6. Variación del factor de pago en las estimaciones de pago de la Línea 22, Zona 1-1, Región 1, Subregión San José.

Estimación	Factor de pago					
	Incluido en estimaciones de pago [†]			Análisis de la auditoría [§]		
	Bacheo Normal	Bacheo Urgencia	Pavimento	Bacheo Normal	Bacheo Urgencia	Pavimento
Nº 01 Reducción(¢)	α	α	-	α	α	-
Nº 02 Reducción(¢)	α	-	-	α	-	-
Nº 03 Cebadilla Reducción(¢)	0,991 ¢96.499,61	-	-	α	-	-
Nº 03 Guápiles Reducción(¢)	1,000 ¢0	-	-	α	-	-
Nº 04 Cebadilla Reducción(¢)	1,000 ¢0	1,000 ¢0	-	1,000 ¢0	1,000 ¢0	-
Nº 04 Guápiles Reducción(¢)	1,000 ¢0	1,000 ¢0	-	0,928 ¢4.325.896,32	0,920 ¢298.967,84	-
Nº 05 Cebadilla Reducción(¢)	0,964 ¢1.265.276,16	0,960 ¢21.571,19	-	α	α	-
Nº 05 Guápiles Reducción(¢)	1,000 ¢0	1,000 ¢0	-	α	α	-
Nº 07 Cebadilla Reducción(¢)	0,982 ¢8.533,44	0,980 ¢20.866,82	-	0,883 ¢2.677.396,46	0,870 ¢461.213,98	-
Nº 07 Guápiles Reducción(¢)	0,991 (1 al 9 dic) - 1,000 (1 al 31 dic) ¢118.048,35	- 1,000 (10 al 31 dic) 1,000 (1 al 31 dic) ¢0	-	1,000 ¢0	0,970 ¢106.434,00	-
Nº 8 Reducción(¢)	1,000 ¢0	1,000 ¢0	-	0,874 ¢9.747.802,27	0,860 ¢963.492,46	-
Nº 9 Reducción(¢)	1,000 ¢0	-	-	1,000 ¢0	1,000 ¢0	-
Nº 10 Reducción(¢)	1,000 ¢0	-	0,997 ¢286.577,44	1,000 ¢0	1,000 ¢0	0,991 ¢859.732,34
Total Reducción(¢)	¢1.488.357,56	¢42.438,	¢286.577,44	¢16.751.095,05	¢1.830.108,28	¢859.732,34
Total Global Reducción(¢)	¢1.817.373,07			¢19.044.935,67		

[†] Datos reportados en las estimaciones de pago presentadas por el ingeniero de proyecto de la zona respectiva.

[§] En el método de análisis estadístico se considera el porcentaje de vacíos.

- No se realizaron actividades para ese ítem.

* La variabilidad en el parámetro de vacíos determina que la mezcla no debió ser aceptada.

α No se pudo establecer el factor porque no se incluye informe de calidad en la estimación de pago.

■ Valores calculados en la memoria de cálculo presentada en el Anexo 1.

Tabla 7. Variación del factor de pago en las estimaciones de pago de la Línea 14, Zona 1-9, Región 1, Subregión Heredia.

Estimación	Factor de pago					
	Incluido en estimaciones de pago [†]			Análisis de la auditoría [§]		
	Bacheo Normal	Bacheo Urgencia	Pavimento	Bacheo Normal	Bacheo Urgencia	Pavimento
Nº 01 Reducción(¢)	-	-	-	-	-	-
Nº 02 Reducción(¢)	1,000 ¢0	-	-	0,901 ¢5.062.057,30	-	-
Nº 03 Reducción(¢)	1,000 ¢0	1,000 ¢0	-	0,928 ¢2.539.384,95	0,880 ¢490.101,00	-
Nº 04 Reducción(¢)	1,000 ¢0	1,000 ¢0	-	0,982 ¢1.381.149,09	0,980 ¢158.267,58	-
Nº 05 Meco Reducción(¢)	0,973 ¢589.311,84	0,970 ¢58.689,73	-	0,910 ¢1.964.372,78	0,900 ¢195.632,45	-
Nº 05 Conansa Reducción(¢)	0,973 ¢1.748.667,92	0,970 ¢100.007,71	-	0,973 ¢1.748.667,92	0,970 ¢88.628,83	-
Nº 06 y 07 Meco Reducción(¢)	1,000 ¢0	1,000 ¢0	-	0,928 ¢367.109,15	1,000 ¢0	-
Nº 06 y 07 Conan Reducción(¢)	1,000 ¢0	1,000 ¢0	-	0,937 ¢3.436.418,52	1,000 ¢0	-
Nº 08 Meco Reducción(¢)	0,937 ¢1.631.438,40	0,930 ¢55.328,75	-	*	*	-
Nº 08 Conansa Reducción(¢)	0,954 ¢2.164.538,42	-	-	*	-	-
Nº 09 Reducción(¢)	1,000 ¢0	1,000 ¢0	-	0,973 ¢1.919.724,84	0,970 ¢30.836,76	-
Nº 10 Reducción(¢)	0,992 ¢491.684,55	1,000 ¢0	0,988 ¢364.863,53	0,920 ¢4.916.845,47	0,920 ¢39.750,22	0,932 ¢2.067.560,01
Nº 11 Reducción(¢)	1,000 ¢0	-	-	*	-	-
Nº 12 Reducción(¢)	1,000 ¢0	-	-	0,937 ¢2.249.370,10	-	-
Nº 13 Reducción(¢)	1,000 ¢0	1,000 ¢0	0,970 ¢3.266.816,34	0,865 ¢6.336.380,57	0,850 ¢291.299,33	0,865 ¢14.700.673,50
Nº 14 Reducción(¢)	1,000 ¢0	1,000 ¢0	-	0,955 ¢2.087.963,23	0,950 ¢29.542,94	-
Total Reducción(¢)	¢6.625.641,13	¢214.026,19	¢3.631.679,87	¢34.009.443,92	¢1.324.059,11	¢16.768.233,75
Total Global Reducción(¢)	¢10.471.347,19			¢52.101.736,34		

[†]Datos reportados en las estimaciones de pago presentadas por el ingeniero de proyecto de la zona respectiva.

[§] En el método de análisis estadístico se considera el porcentaje de vacíos.

- No se realizaron actividades para ese ítem.

* La variabilidad en el parámetro de vacíos determina que la mezcla no debió ser aceptada.

¤ No se pudo establecer el factor porque no se incluye informe de calidad en la estimación de pago.

Tabla 8. Variación del factor de pago en las estimaciones de pago de la Línea 09, Zona 4-1, Región Brunca.

<i>Estimación</i>	<i>Factor de pago</i>					
	<i>Incluido en estimaciones de pago[†]</i>			<i>Análisis de la auditoría[§]</i>		
	<i>Bacheo Normal</i>	<i>Bacheo Urgencia</i>	<i>Pavimento</i>	<i>Bacheo Normal</i>	<i>Bacheo Urgencia</i>	<i>Pavimento</i>
Nº 1 Reducción(¢)	0,991 ¢453.986,03	0,990 ¢7.560,14	-	0,955 ¢2.269.930,15	0,950 ¢37.800,71	-
Nº 2 Reducción(¢)	0,928 ¢6.832.133,25	-	-	0,793 ¢19.642.383,1	-	-
Nº 3 Reducción(¢)	0,973 ¢1.677.646,25	-	-	0,856 ¢8.946.395,47	-	-
Nº 4 Reducción(¢)	1,000 ¢0	-	0,997 ¢140.784,60	0,883 ¢7.285.546,39	-	0,906 ¢4.408.019,43
Nº 5 Reducción(¢)	0,928 ¢3.620.648,20	0,920 ¢37.328,74	0,956 ¢4.031.188,92	*	*	*
Nº 6 Reducción(¢)	1,000 ¢0	1,000 ¢0	0,982 ¢1.729.784,76	¤	¤	¤
Nº 7 Reducción(¢)	1,000 ¢0	-	1,000 ¢0	0,973 ¢2.219.029,02	-	0,979 ¢1.286.131,44
Nº 8 Reducción(¢)	0,993 ¢708.637,78	-	0,985 ¢2.534.122,80	0,966 ¢3.442.450,35	-	0,964 ¢6.081.894,72
Nº 9 Reducción(¢)	0,996 ¢154.151,72	-	1,000 ¢0	0,996 ¢154.225,35	-	1,000 ¢0
Total Reducción(¢)	¢13.447.203,23	¢44.888,88	¢8.435.881,08	¢43.959.959,83	¢37.800,71	¢11.776.045,59
Total Global Reducción(¢)	¢21.927.973,19			¢55.773.806,13		

[†]Datos reportados en las estimaciones de pago presentadas por el ingeniero de proyecto de la zona respectiva.

[§] En el método de análisis estadístico se considera el porcentaje de vacíos.

- No se realizaron actividades para ese ítem.

* La variabilidad en el parámetro de vacíos determina que la mezcla no debió ser aceptada.

¤ No se pudo establecer el factor porque no se incluye informe de calidad en la estimación de pago.

En la Tabla 9 se presentan los montos totales por concepto de reducción en función de la calidad presentados en las estimaciones de pago, los cuales se contrastan con los montos calculados por esta auditoría incluyendo dentro del correspondiente análisis estadístico el parámetro de porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica.

Tabla 9. Resumen de la variación en el monto por reducción de calidad determinado por la variación de pago.

Zona de conservación vial analizada	Total Global Reducción(¢)	
	Estimaciones de pago	Análisis de la auditoría
Línea 09, Zona 4-1, Región Brunca	¢21.927.973,19	¢55.773.806,13
Línea 14, Zona 1-9, Región 1, Subregión Heredia	¢10.471.347,19	¢52.101.736,34
Línea 22, Zona 1-1, Región 1, Subregión San José	¢1.817.373,07	¢19.044.935,67
Total	¢ 34.216.693,45	¢126.920.478,14

De dicho análisis estadístico también se determina que, si el parámetro de vacíos estuviese considerado como parte integral del modelo de pago en función de la calidad, algunas de las actividades reportadas mensualmente en las estimaciones aportadas por el contratista, tales como bacheo normal, bacheo urgencia y pavimento, no cumplirían el nivel de aceptación estadístico especificado en el modelo de pago debido a la significativa variabilidad mostrada por este parámetro.

En la Tabla 10 se tabulan las actividades y los montos correspondientes a la MAC que no alcanzaba satisfacer los requisitos de calidad por vacíos especificados por el método de diseño Marshall establecido en los contratos.

Tabla 10. Resumen de los montos pagados para cada actividad para los cuales la mezcla no satisface el parámetro de vacíos.

Zona de conservación vial analizada	Total Global (¢)		
	Bacheo Normal	Bacheo Urgencia	Pavimento
Línea 09, Zona 4-1, Región Brunca	¢11.392.656,02	¢253.148,94	¢5.652.416,88
Línea 14, Zona 1-9, Región 1, Subregión Heredia	¢98.582.196,41	¢790.410,72	-
Línea 22, Zona 1-1, Región 1, Subregión San José	¤	¤	¤
Total	¢ 109.974.852,43	¢ 1.043.559,66	¢5.652.416,88
Total General	¢ 116.670.828,97		

- No se realizaron actividades para ese ítem.

¤ No se pudo realizar el análisis de pago por calidad porque no se incluye informe de calidad en la estimación de pago.

En las Figura 7, 9 y 10 que se incluyen en el *Anexo 2* se puede observar gráficamente la variabilidad significativa que presentó el parámetro de vacíos de la mezcla asfáltica durante los primeros 12 meses de producción para las labores de Conservación Vial en las zonas en estudio, zonas 1-1, 1-9 y 4-1 (julio de 2006 a julio de 2007).

Observación 3: Una significativa mayoría de los resultados de los ensayos de control de calidad de la mezcla asfáltica producida, denotan un constante incumplimiento en los parámetros de la metodología Marshall especificada contractualmente como herramienta de diseño y control.

Al analizar los resultados de ensayo reportados en los informes de control de calidad, se observa un incumplimiento constante en algunos de los parámetros volumétricos de la MAC, tales como VMA, VFA y relación polvo/asfalto. Esta situación se mantiene recurrentemente durante varios meses del periodo de 12 meses de producción de mezcla asfáltica estudiado por esta auditoría, sin que se defina alguna acción correctiva que permita ajustar la fórmula de trabajo o se plantee un nuevo diseño. Tal como se mencionó en la observación 1, mantener un control y monitoreo constante es importante para obtener una mezcla adecuadamente proporcionada que permita un apropiado comportamiento mecánico, lo cual se refleja en la calidad final de la obra durante el periodo de servicio.

A manera de ejemplo, a continuación se muestran y analizan algunos casos de los incluidos en el estudio, en donde puede advertir un alto incumplimiento en los parámetros de control mencionados anteriormente, para varias de las plantas de producción de MAC.

En la Figura 1 se puede nota que 57 datos de un total de 68 datos de los resultados del ensayo relación polvo/asfalto (aproximadamente un 84%) se encuentran fuera de los límites de especificación establecidos en los documentos contractuales. Las herramientas tradicionales de control estadístico para procesos de producción, reflejarían que el proceso de producción no está en la capacidad de fabricar la mezcla asfáltica cumpliendo los límites de especificación establecidos para el proceso, ya que el promedio de la relación polvo/asfalto evidentemente se encuentra por encima de los mismos.

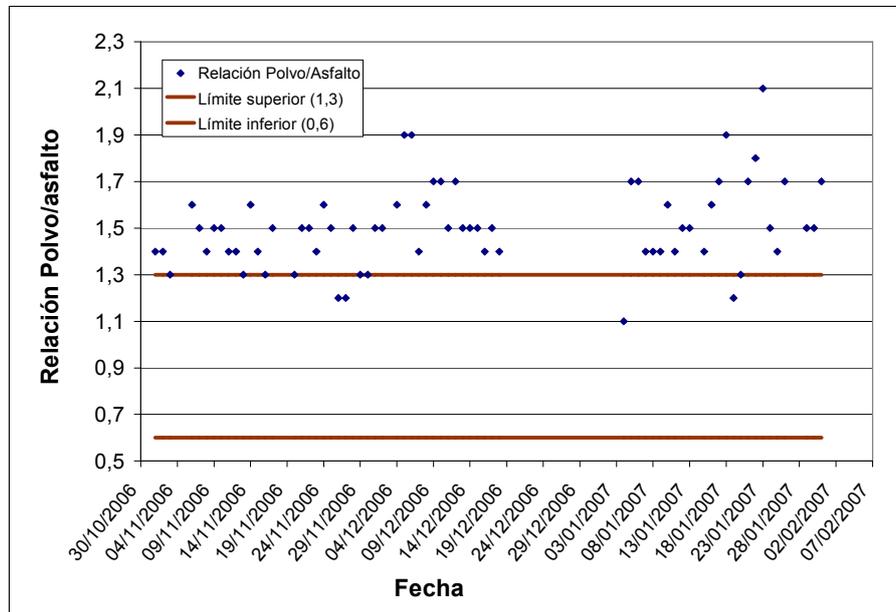


Figura 1. Resultados de la Relación Polvo/Asfalto para la Planta MECO en la Uruca durante la producción de noviembre 2006 a enero 2007 (Zona 1-9)

Los métodos tradicionales de control estadístico de procesos productivos buscan hacer una importante contribución a los procesos aplicados, con el propósito de que estos sean eficientes y eficaces, para ello se aplican conceptos tales como: gráficas de control estadístico (promedios, recorridos, atributos), habilidad y desempeño de los procesos (C_p , C_{pk} , C_k , concepto de 6σ) entre otras herramientas que son aplicables a los diferentes procesos productivos.

De igual manera en la Figura 2 se observa que 23 datos de un total de 68 datos resultados de VFA (cerca de un 34%) se encuentran fuera de los límites de especificación establecidos por la metodología Marshall.

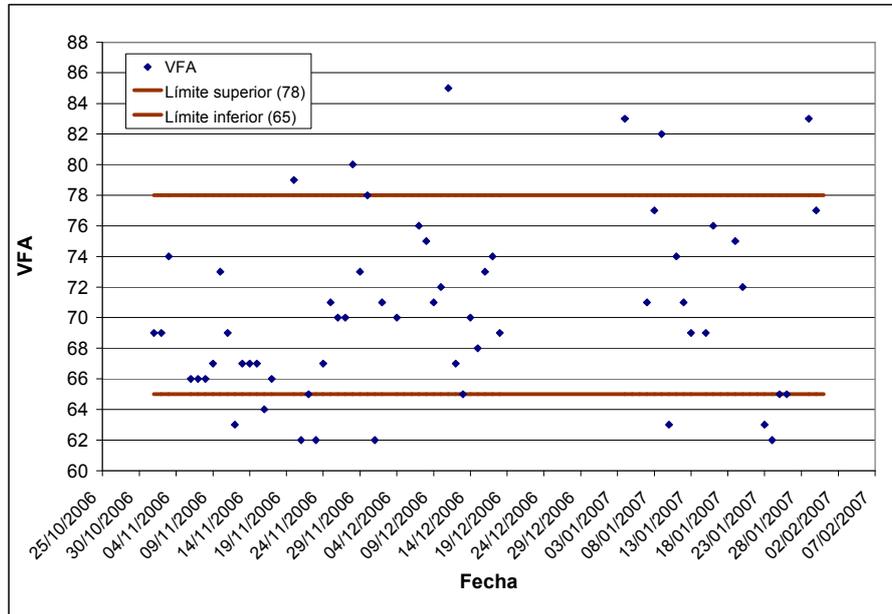


Figura 2. Resultados de VFA para la Planta MECO en la Uruca durante la producción de noviembre 2006 a enero 2007 (Zona 1-9)

Sin embargo, los resultados reportados en estas mismas estimaciones no reportan desviaciones significativas de los otros parámetros Marshall de la mezcla, que están definidos como parámetros de evaluación (contenido de asfalto, Malla N° 4, Malla N°30 y Malla N° 200), tal y como se observa en las Figuras 3, 4, 5 y 6, la cantidad de resultados de ensayo fuera de los límites de especificación es muy bajo comparado con los parámetros mostrados anteriormente.

Para el caso del parámetro del contenido de asfalto que se muestra en la Figura 3 se observa que de los 68 datos reportados para el periodo señalado, 16 datos se ubican por encima de los límites de especificación, aproximadamente un 24%.

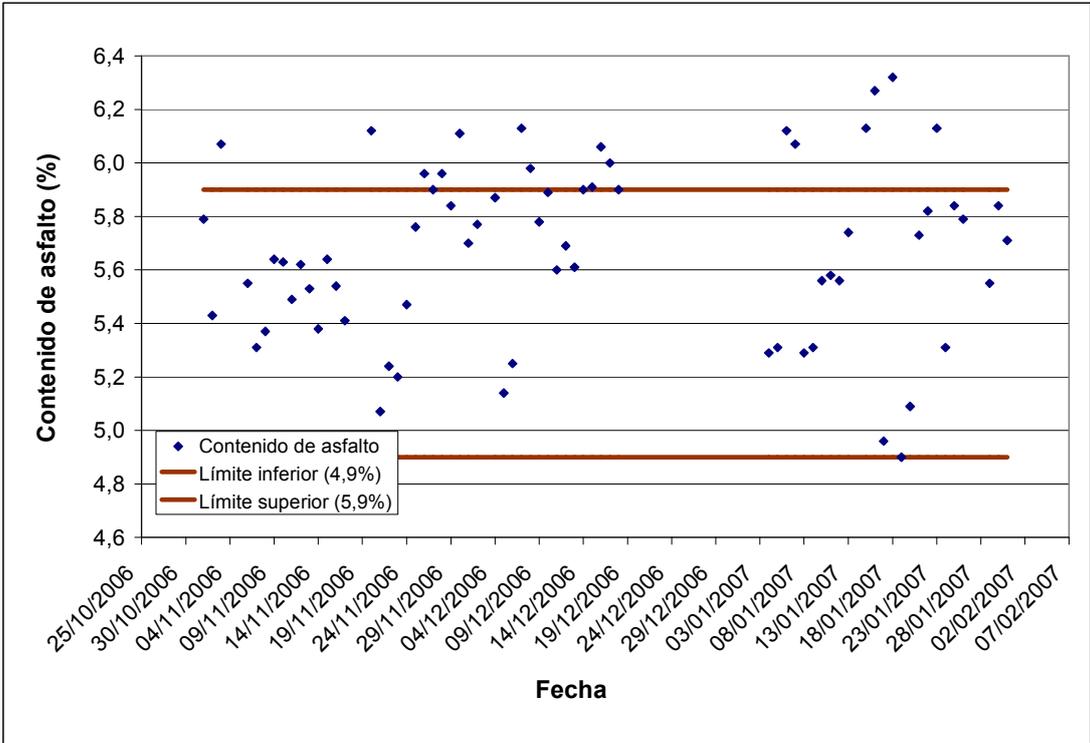


Figura 3. Resultados de Contenido de asfalto para la Planta MECO en la Uruca durante la producción de noviembre 2006 a enero 2007 (Zona 1-9)

En el caso del parámetro de pago Malla N° 4, se observan desviaciones, pero en menor cantidad 9 de 68 datos se encuentra fuera de los límites (aproximadamente un 13%). (ver Figura 4).

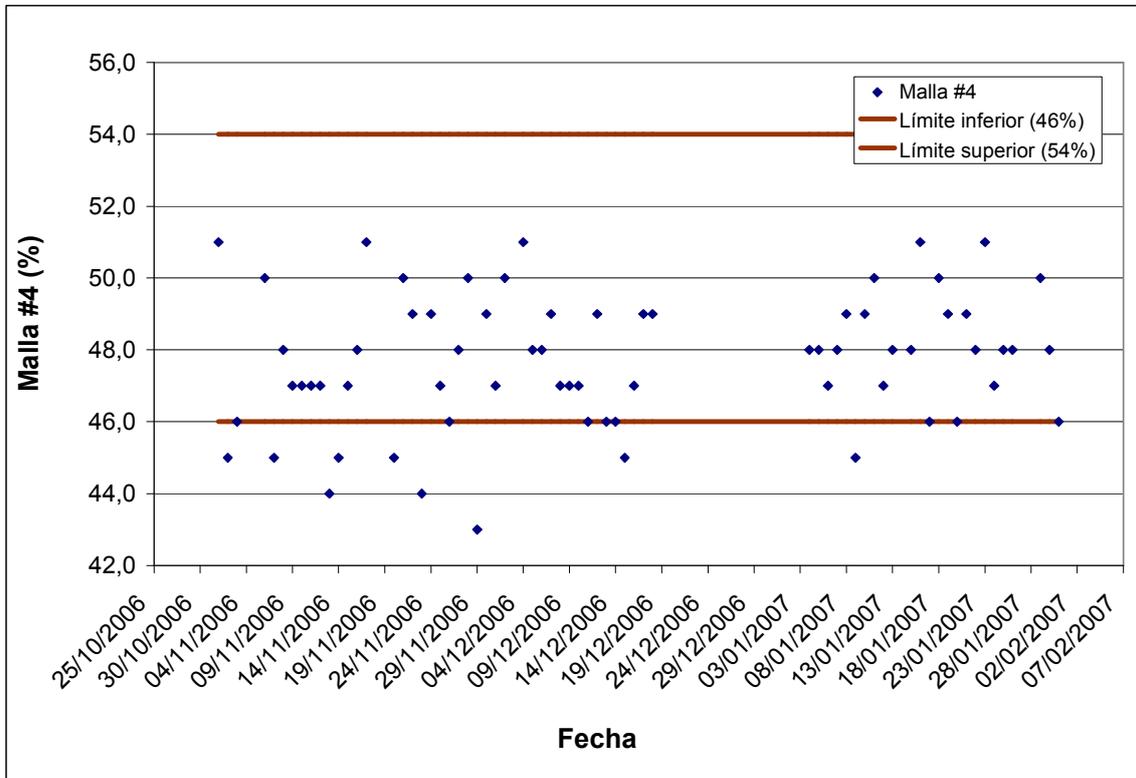


Figura 4. Resultados de Malla N° 4 para la Planta MECO en la Uruca durante la producción de noviembre 2006 a enero 2007 (Zona 1-9)

En las Figuras 8 y 9 se muestran los gráficos para los parámetros de pago Malla #30 y Malla N° 200. Para el caso de la Malla N° 30, no se presentan resultados fuera de los límites de especificación (ver Figura 5) y en el caso de la Malla N° 200 sólo uno de los puntos se encuentra fuera de los límites de especificación (ver Figura 6).

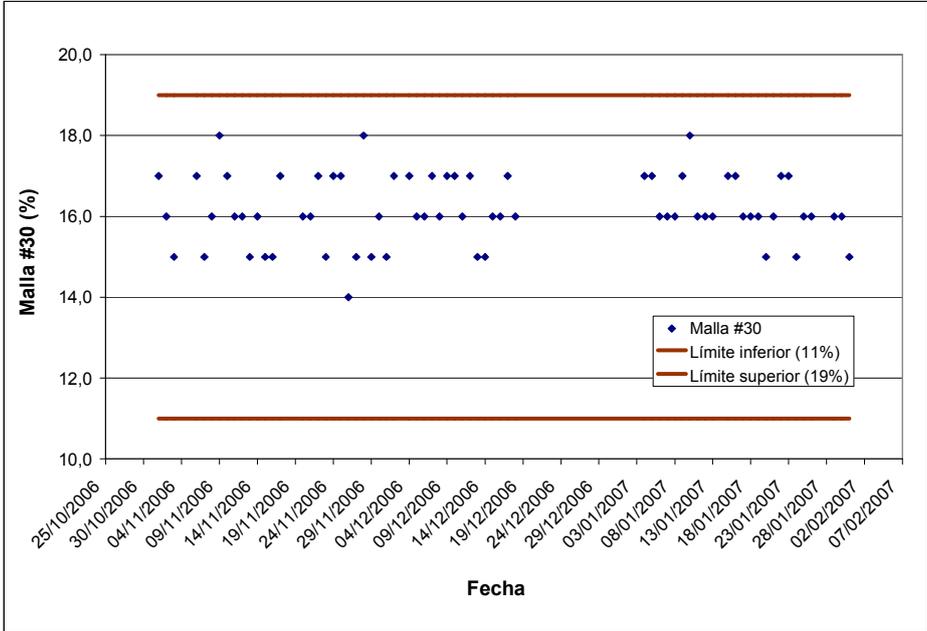


Figura 5. Resultados de Malla N° 30 para la Planta MECO en la Uruca durante la producción de noviembre 2006 a enero 2007 (Zona 1-9)

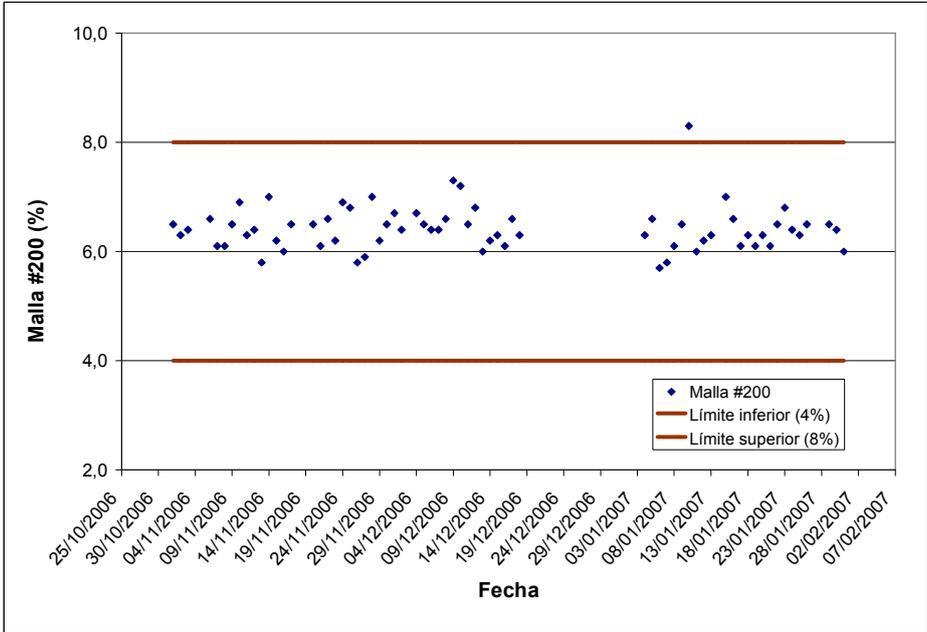


Figura 6. Resultados de Malla N° 200 para la Planta MECO en la Uruca urante la producción de noviembre 2006 a enero 2007 (Zona 1-9).

Los criterios generales del diseño de mezcla Marshall, la determinación de la fórmula de trabajo y el proceso de control de calidad de producción de la mezcla asfáltica definidos en los documentos contractuales establecen claramente que, la mezcla asfáltica debe cumplir con todos los requerimientos establecidos, tanto durante el proceso de diseño de mezcla así como las especificaciones generales para garantizar la calidad y el buen desempeño de la mezcla durante el periodo de servicio.

Incumplir alguno de los parámetros elementales del diseño de mezcla conlleva, en la mayoría de los métodos tradicionales de control estadístico de procesos productivos, a detener la manufactura y a analizar e investigar todo el proceso para determinar las causas que provocan las desviaciones de los parámetros con respecto al diseño, con el fin de establecer una serie de acciones que permitan ya sea corregir o ajustar la fórmula de trabajo, de modo que se apegue a las características de los materiales pactadas contractualmente o que se deba plantear un nuevo diseño de mezcla asfáltica.

En los Anexos 3 y 4 se adjuntan todas las gráficas de los parámetros VFA y Relación Polvo/Asfalto para las plantas en estudio que han proveído la MAC a las zonas en estudio y para el periodo de 12 meses.

7. CONCLUSIONES

1. Del análisis estadístico del parámetro de vacíos Marshall se determina que existe una variabilidad estadísticamente significativa en la mezcla asfáltica producida durante el periodo de julio 2006 a julio 2007, analizado para cada uno de las tres plantas de producción de MAC que abastecen a los proyectos estudiados, zona 1-1, 1-9 y 4-1.
2. El parámetro de vacíos Marshall estuvo considerado como parámetro de evaluación, en el modelo de pago en función de la calidad durante las labores de conservación vial llevadas a cabo por CONAVI durante los contratos 2001-2003. Sin embargo para los contratos vigentes 2006-2009 éste parámetro se excluyó. Al considerar la inclusión del parámetro de vacíos Marshall -dentro del presente informe- como parámetro de evaluación en el modelo de pago en función de la calidad, se determinó una variación considerable en el monto por reducción por concepto de calidad de los pagos efectivamente realizados, tal como se detalla en la Tabla 9. Además, se determinó que en algunas estimaciones mensuales la mezcla asfáltica despachada a los proyectos mostraba una alta variabilidad estadísticamente significativa en dicho parámetro, por lo que no satisfacía los requerimientos de porcentaje dentro de los límites de especificación, lo que podía calificar como “inaceptable”.
3. La metodología de diseño de mezcla asfáltica Marshall establece una serie de parámetros volumétricos de control como requisito indispensable para verificar que las proporciones de agregado mineral y cemento asfáltico son las adecuadas para producir una mezcla asfáltica de acuerdo con la metodología mencionada. Variantes en algunos de estos parámetros volumétricos pueden conllevar a problemas de desempeño, duración, comportamiento durante servicio, entre otros. Es por ello, que la mezcla asfáltica producida debe ser monitoreada, controlada y ajustada de acuerdo con los parámetros establecidos, para garantizar que la mezcla cumple completamente a satisfacción con los criterios de diseño y control pactados contractualmente entre el contratista y la Administración.
4. Es importante tener presente que la valoración estadística y el control de los parámetros volumétricos es un requisito fundamental, independientemente de estar asociada con la determinación de factores de pago, sobretodo si se considera que cambios en las propiedades de las materias primas que componen la mezcla asfáltica originan variaciones considerables en los parámetros volumétricos, requiriendo incluso, algunas

veces, el rediseñar o replantear el diseño original de la mezcla asfáltica y por ende el contenido de asfalto o las proporciones de agregados.

5. Se determinó que la MAC pese a mantenerse en muchos casos dentro de los límites de especificación en los actuales parámetros de evaluación (porcentaje de asfalto, malla 4, malla 8 y malla 200), los parámetros volumétricos definidos por la metodología Marshall (VMA, VFA, relación polvo/asfalto) se mantuvieron fuera de control, localizándose fuera de los límites de especificación.

8. RECOMENDACIONES

A continuación se enumeran algunas recomendaciones para que sean consideradas por la Administración, con el objetivo de que se definan e implementen soluciones integrales a las observaciones descritas en el informe, con la intención de contribuir a la mejora de las actividades de control y verificación de calidad que se aplican a proyectos en ejecución y proyectos futuros. La Administración debería:

1. Analizar de manera integral, aplicando herramientas estadísticas, los efectos de la exclusión del parámetro de vacíos Marshall, en la producción de mezcla asfáltica y en el modelo de pago en función de la calidad, considerando la variabilidad en las fuentes de materia prima.
2. Aceptar mezcla asfáltica que satisfaga todos los requisitos definidos en la documentación contractual vigente (Disposición vial AM-01-2001), para la metodología de diseño y control Marshall.
3. Exigir la aplicación de herramientas estadísticas de control de procesos productivos para la aceptación de la mezcla asfáltica utilizada en los proyectos de conservación vial. Algunas de las herramientas aplicadas tradicionalmente a los diferentes procesos productivos son: gráficas de control estadístico (tales como gráficas de promedios, gráficas de recorridos y gráficas de atributos), habilidad y desempeño de los procesos (C_p , C_{pk} , C_k , concepto de 6σ), entre otras.

9. BIBLIOGRAFIA

1. American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO R 9-05 **“Standard Recommended Practice for Acceptance Sampling Plans for Highway Construction”**.
2. American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO R 38-04 **“Standard Practice for Quality Acceptance of Standard Materials”**.
3. Asphalt Institute. **Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente**. Serie de manuales N°22 (MS-22). Lexington, KY.
4. Consejo Nacional de Vialidad. **Carteles de licitación de proyectos de conservación vial**. LPCO-09 a 21-2001. Tomos I. Tomo II Disposiciones generales y otros documentos.
5. Consejo Nacional de Vialidad. **Carteles de licitación conservación vial de la red nacional pavimentada**. LP-01-2005.
6. Consejo Nacional de Vialidad. **Actualización de especificaciones especiales**. LP-01-2005. (Mayo 2006)
7. Instituto Nacional de Vías. **Mezclas Asfálticas en Caliente**. (Concreto Asfáltico y Mezcla de Alto Módulo) Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras actualización, Artículo 450-07. Colombia. (2007).
8. Juran, J.M. **Análisis y planeación de la calidad**. Tercera edición. Mcgraw Hill. México (1995)
9. Lundy, James R. **Acceptance Procedures for Dense-Graded Mixes**. Literature Review. Department on Transportation and Federal Highway Administration. Oregon, Estados Unidos de América (2001).
10. Roberts, F. L.; Kandhal, P. S. et all. **Hot mix asphalt materials, mixture, design and construction**. National Center for Asphalt Technology and NAPA Education Foundation. Segunda edición. Lanham, Maryland. (1996).
11. Shell Bitumen. **The Shell Bitumen Handbook**. Primera edición. Reino Unido (1991)
12. US Department of Transportation Federal Highway Administration. **Asphalt Concrete Mix Design and Field Control** Technical Advisory. Artículo T5040.27 <http://www.fhwa.dot.gov/legregs/directives/techadvs/t504027.htm>

Firmas del equipo auditor

Inga. Jenny Chaverri Jiménez MSc. Eng.
Coordinadora de Auditorías Técnicas
LanammeUCR

Ing. Víctor Cervantes Calvo
Auditor LanammeUCR

Inga. Ellen Rodríguez Castro
Auditora LanammeUCR

Visto Bueno De Legalidad

Lic. Miguel Chacón Alvarado
Asesor Legal Externo
Auditorías Técnicas LanammeUCR

ANEXOS

Anexo 1. Memoria de cálculo del análisis estadístico realizado por la auditoría

Para los resultados de control de calidad de la mezcla asfáltica producida durante el mes de octubre de 2006 (Tabla 11) por la empresa Santa Fe, en la planta ubicada en Guápiles, para la zona 1-1 "Región 1, subregión San José" se determinan:

1. Los promedios y desviaciones estándar para cada uno de los parámetros.

Tabla 11. Datos reportados en la Estimación de pago N° 4 por la empresa Santa Fe, en la planta ubicada en Guápiles y cálculo de promedios y desviaciones estándar para cada parámetro.

Límites	Mallas			Porcentaje Asfalto	Vacíos MAC	Vacíos Bacheo
	N° 4	N° 30	N° 200			
Límite Inferior (LIE)	49	12	2,6	4,89	3	3
Límite Superior (LSE)	57	19	6,6	5,89	5	9
Fecha	Resultados de Control de Calidad					
03/10/2006	54	18	5,5	5,67	4,7	3,0
04/10/2006	54	18	6,2	5,75	3,3	4,7
05/10/2006	52	17	5,2	5,94	3,5	4,2
06/10/2006	57	19	5,8	5,78	3,9	3,8
07/10/2006	57	19	6,0	5,30	5,3	3,1
08/10/2006	54	18	5,9	5,33	5,1	3,6
09/10/2006	57	18	5,8	5,29	4,8	5,8
10/10/2006	51	16	5,3	5,78	4,2	6,9
11/10/2006	49	16	5,5	5,73	3,1	3,8
12/10/2006	49	16	5,6	5,56	3,6	5,8
13/10/2006	49	16	5,4	5,41	3,4	5,7
18/10/2006	49	18	5,7	5,68	3,2	3,5
19/10/2006	53	20	6,0	6,00	1,8	3,5
20/10/2006	55	20	6,4	5,80	3,2	2,8
24/10/2006	53	18	5,8	5,75	2,8	4,7
25/10/2006	53	17	5,3	5,63	3,0	5,4
26/10/2006	55	18	5,9	5,72	3,7	6,2
27/10/2006	55	19	5,7	5,99	2,8	4,5
-	-	-	-	-	-	6,6
-	-	-	-	-	-	5,4
-	-	-	-	-	-	2,2
Promedio (x)	53,1	17,8	5,7	5,7	3,6	4,53
Desviación Estándar (s)	2,8	1,3	0,3	0,2	0,9	1,34

2. Posteriormente se calcula el índice de calidad inferior (Q_i) y el índice de calidad superior (Q_s), de acuerdo a:

$$Q_s = \frac{LSE - \bar{X}}{s} \quad (\text{Ec.1})$$

$$Q_i = \frac{\bar{X} - LIE}{s} \quad (\text{Ec.2})$$

A manera de ejemplo se determinan los índices de calidad para el parámetro porcentaje de vacíos de la mezcla. Los límites para dicho parámetro son::

Límite inferior de especificación (LIE) = 3%

Límite superior de especificación (LSE) = 5%.

Aplicando las Ec.1 y Ec.2 se obtienen los siguientes resultados:

$$Q_i = \frac{3,6 - 3,0}{0,9}$$

$$Q_i = 0,70$$

$$Q_s = \frac{5,0 - 3,6}{0,9}$$

$$Q_s = 1,52$$

3. Para cada uno de los valores de índices de calidad (inferior y superior) se determina el **porcentaje estimado fuera de los límites de especificación**, utilizando una tabla de distribución normal estadística. Para un total de 18 muestras ensayadas ($n=18$) y un valor de $Q_i=0,70$ se obtiene un **porcentaje estimado fuera de los límites de especificación** de $P_i=24$. Para el valor de $Q_s=1,52$ se obtiene un **porcentaje estimado fuera de los límites de especificación** de $P_s=6$.
4. Luego se calcula el porcentaje total estimado de trabajo fuera de LSE y LIE (porcentaje defectuoso) efectuando la suma de ambos porcentajes estimados obtenidos ($P_s + P_i$). Porcentaje de incumplimiento $24+6 = 30$.

5. Se repiten todos los pasos anteriores para cada uno de los parámetro de evaluación: Malla N° 4, malla N° 30, malla N° 200, porcentaje de asfalto y vacíos de campo (carpeta, bacheo, bacheo de urgencia).
6. Para calcular el factor de pago a ser aplicado, se debe considerar entre los parámetros Malla N° 4, malla N° 30, malla N° 200, porcentaje de asfalto y contenido de vacíos de la mezcla el que presente mayor Porcentaje de Incumplimiento.
7. Con el valor mayor del Porcentaje de Incumplimiento obtenido, se determina el factor de pago global el cual está conformado por el **Factor de Pago por Calidad (FPQ)** y **Factor de Pago por Compactación (FPC)** al comparar con una tabla de Factor esperado de pago en función del Porcentaje de incumplimiento (según categoría del parámetro). A dichos factores se les designa un peso porcentual de acuerdo al renglón de pago, tal como se detalla a continuación:

Tabla 12. Factores de pago obtenidos por calidad y por compactación para cada renglón de pago en los que se utiliza MAC, considerando el parámetro de vacíos como un parámetro de evaluación.

Renglón de pago según el contrato	Factor de pago global por	
	Calidad	Compactación
Carpeta	0,7	0,3
Bacheo y sobrecapas no estructurales	0,9	0,1
Bacheo Urgencia	1,0	0,0

De acuerdo con los resultados obtenidos el parámetro que presenta mayor Porcentaje de Incumplimiento corresponde al porcentaje de vacíos (30) para el cual el factor de pago por calidad es de 0,92. En cuanto al factor de pago por compactación, el Porcentaje de Incumplimiento por vacíos en campo por compactación de bacheo, corresponde a 1,00.

Tabla 13. Factores de pago global obtenidos por calidad y por compactación para cada bacheo y sobrecapas no estructurales, considerando el parámetro de vacíos como un parámetro de evaluación.

Renglón de pago según el contrato	Factor de pago global por	
	Calidad	Compactación
Bacheo y sobrecapas no estructurales	0,9	0,1
Factor de pago	0,92	1,0
Producto	0,828	0,1
Sumatoria (Factor de pago global)	0,928	

Tabla 14. Factores de pago global obtenidos por calidad y por compactación para cada bacheo y sobrecapas no estructurales, considerando el parámetro de vacíos como un parámetro de evaluación.

Renglón de pago según el contrato	Factor de pago global por	
	Calidad	Compactación
Bacheo Urgencia	1,0	0,0
Factor de pago	0,92	1,0
Producto	0,92	0,0
Sumatoria (Factor de pago global)	0,920	

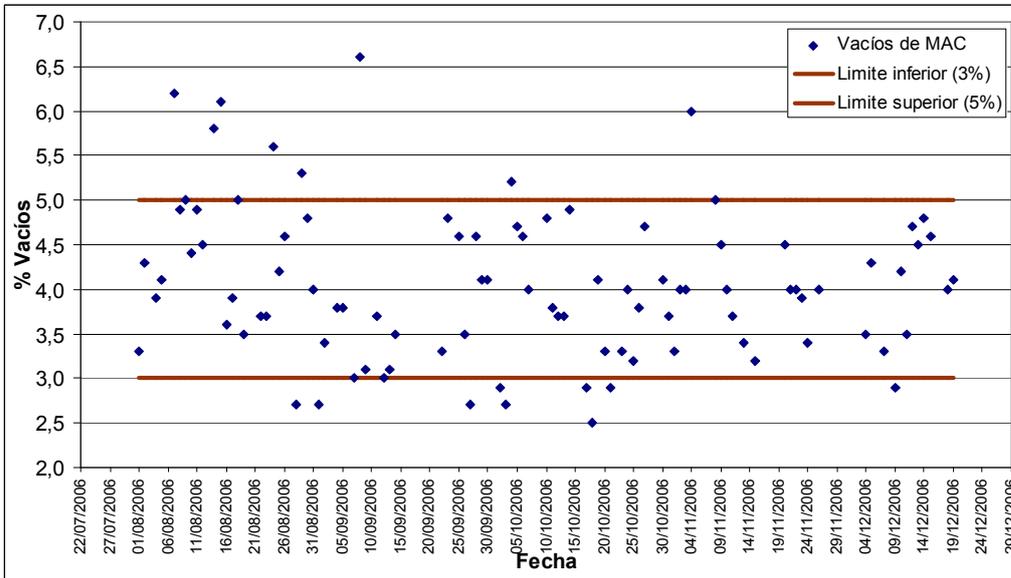
8. El cálculo del Pago Global se determina con el producto del factor de pago global, la cantidad efectivamente aceptada para el período y el precio unitario del renglón de pago según el contrato.

Tabla 15. Estimación del pago total reducido por calidad, considerando el parámetro de vacíos como un parámetro de evaluación.

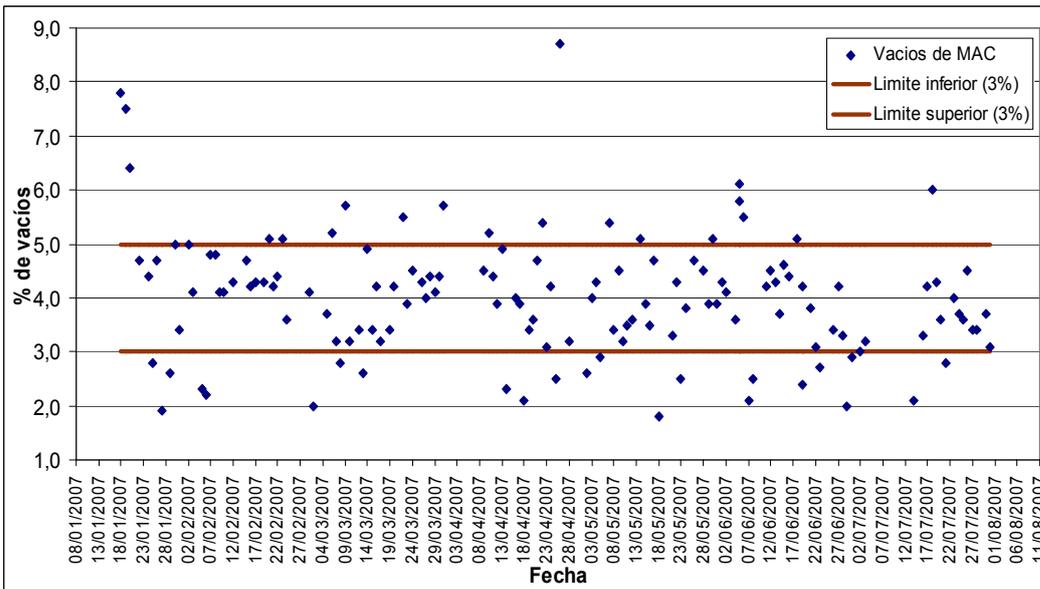
Renglón de pago	Factor de pago global	Cantidad	Precio	Pago total	Pago total reducido por calidad
Bacheo y sobrecapas no estructurales	0,928	1.508,13	¢39.838,67	¢60.081.893,39	¢55.755.997,06
Bacheo Urgencia	0,920	84,89	¢44.022,83	¢3.737.098,04	¢3.438.130,19

Tabla 16. Resumen de resultados obtenidos para la Estimación de pago N° 4 presentada por la empresa Santa Fe, ubicada en Guápiles, considerando el parámetro de vacíos como un parámetro de evaluación.

Límites	Mallas			Porcentaje Asfalto	Vacíos MAC	Vacíos Bacheo
	N° 4	N° 30	N° 200			
<i>Promedio (x)</i>	53,1	17,8	5,7	5,7	3,6	4,53
<i>Desviación Estándar (s)</i>	2,8	1,3	0,3	0,2	0,9	1,34
<i>Indice Superior (Cs)</i>	1,40	0,90	2,72	0,99	1,52	3,34
<i>Indice Inferior (Ci)</i>	1,48	4,51	9,67	3,56	0,70	1,15
<i>Porcentaje fuera LSE (Ps)</i>	8	18	0	16	6	0
<i>Porcentaje fuera LSI (Pi)</i>	7	0	0	0	24	12
<i>Porcentaje Incumplimiento (Ps+Pi)</i>	15	18	0	16	30	12
<i>Factor de pago por calidad individual</i>	0,98	1,00	1,00	0,97	0,92	1,00
<i>Factor de pago global para bacheo</i>	0,928					
<i>Factor de pago global para bacheo urgencia</i>	0,920					
<i>Pago global para bacheo</i>	¢55.755.997,06					
<i>Pago global para bacheo urgencia</i>	¢3.438.130,19					



a.



b.

Figura 8. Zona 1-9, Gráficas de variabilidad de porcentaje de vacíos de a. Planta Asfáltica Conansa, Calle Blancos, producción julio a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Conansa, Calle Blancos, producción enero a julio 2007.

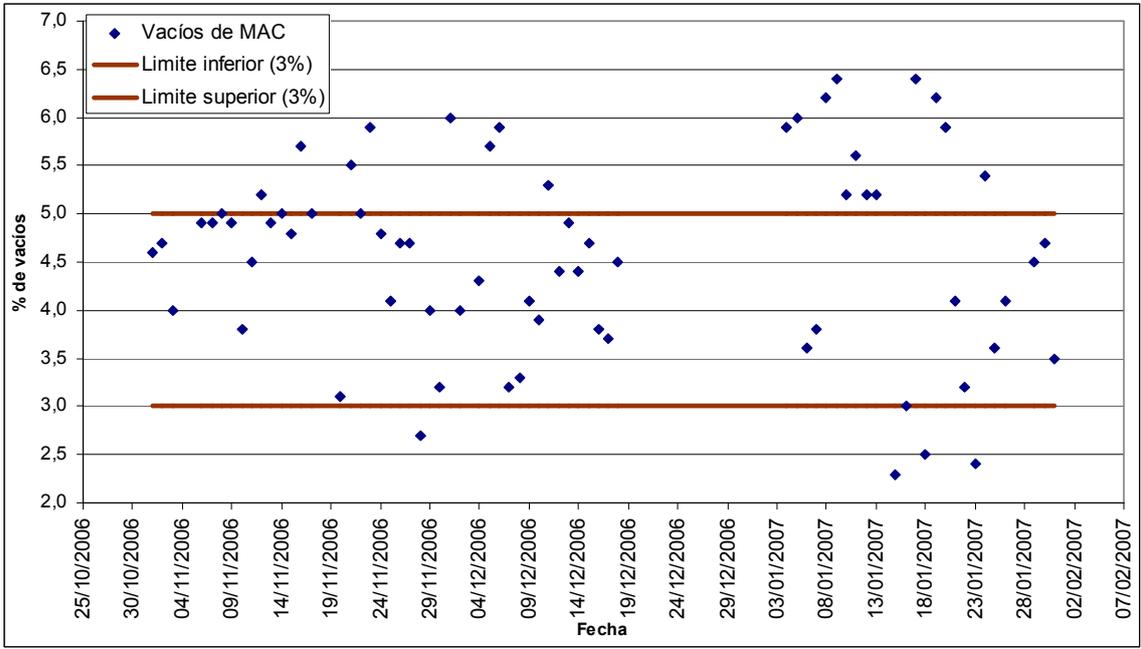
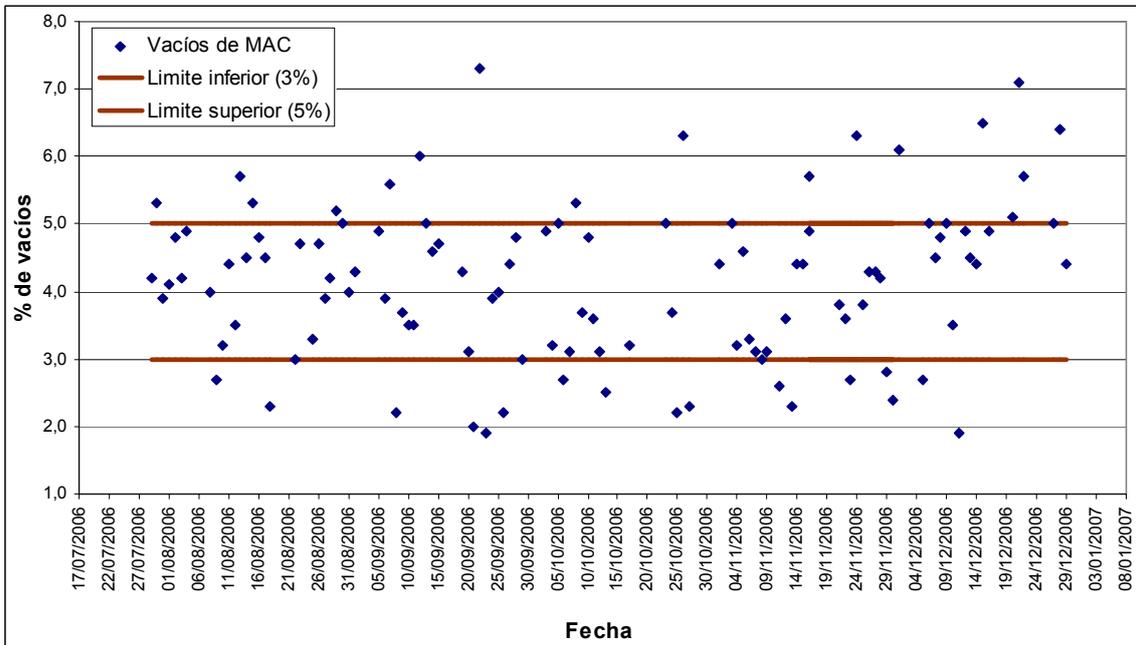
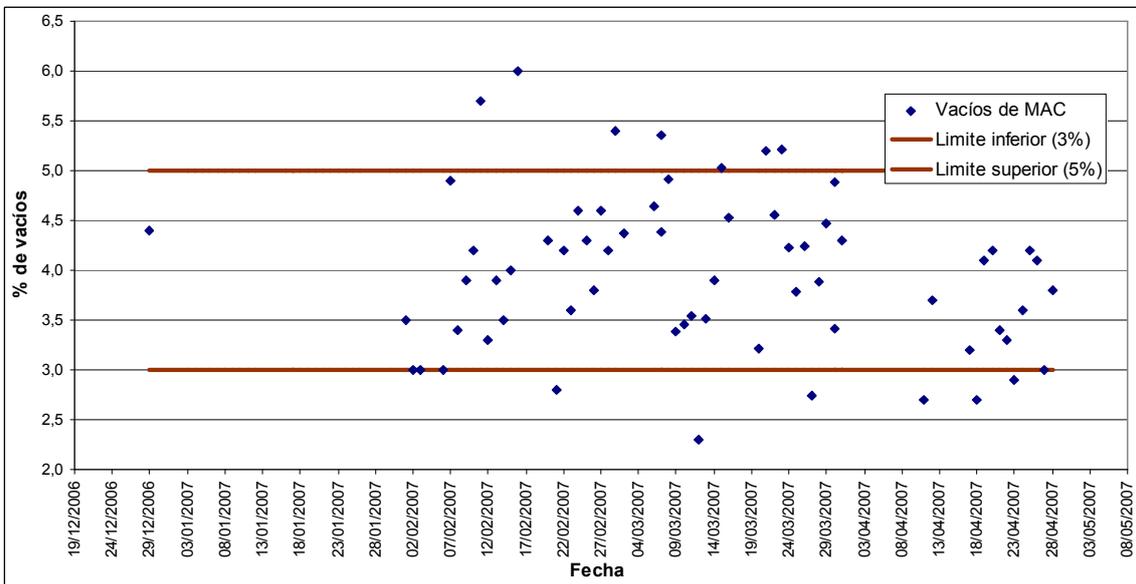


Figura 9. Zona 1-9, Gráficas de variabilidad de porcentaje de vacíos de Planta Asfáltica Meco, La Uruca, producción noviembre 2006 a enero 2007.



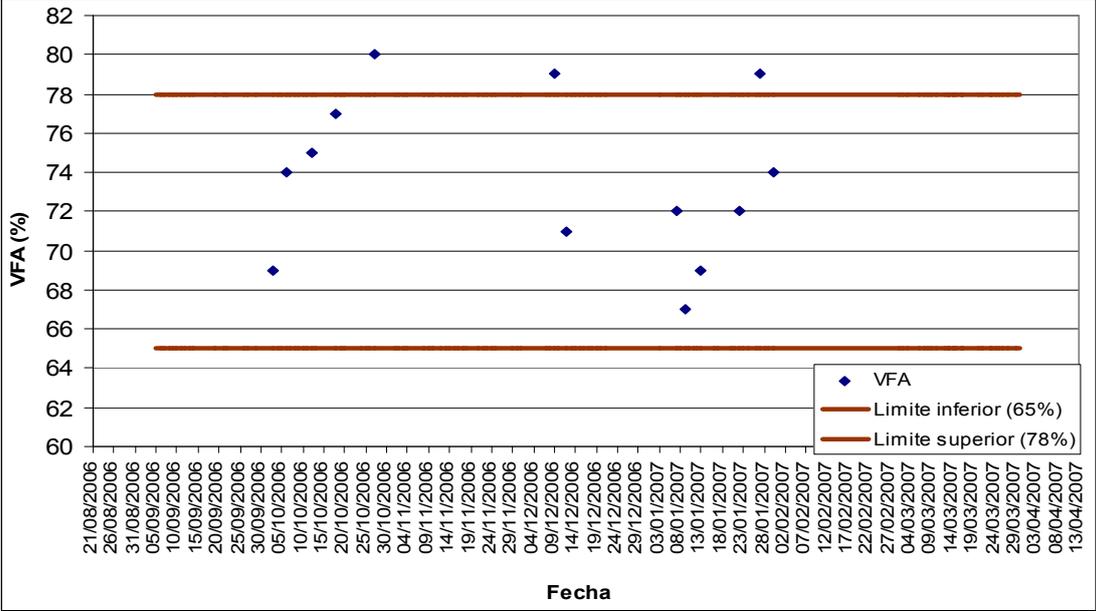
a.



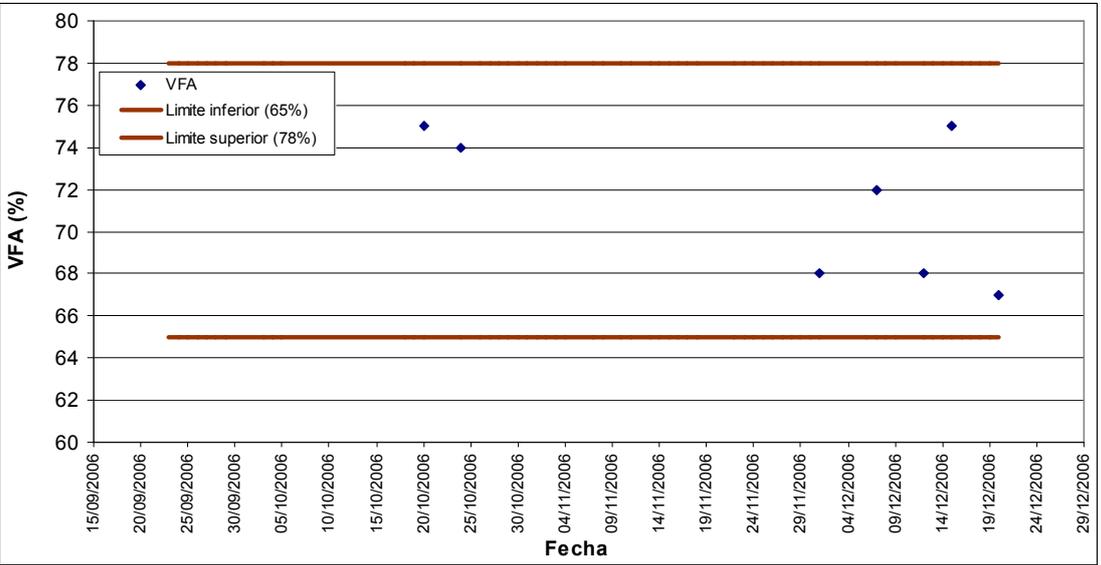
b.

Figura 10. Zona 4-1, Gráficas de variabilidad de porcentaje de vacíos de a. Planta Asfáltica Quebradores del Sur, Pérez Zeledón, producción julio a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Quebradores del Sur, Pérez Zeledón, producción enero a abril 2007.

Anexo 3. Variabilidad del parámetro volumétrico VFA en MAC

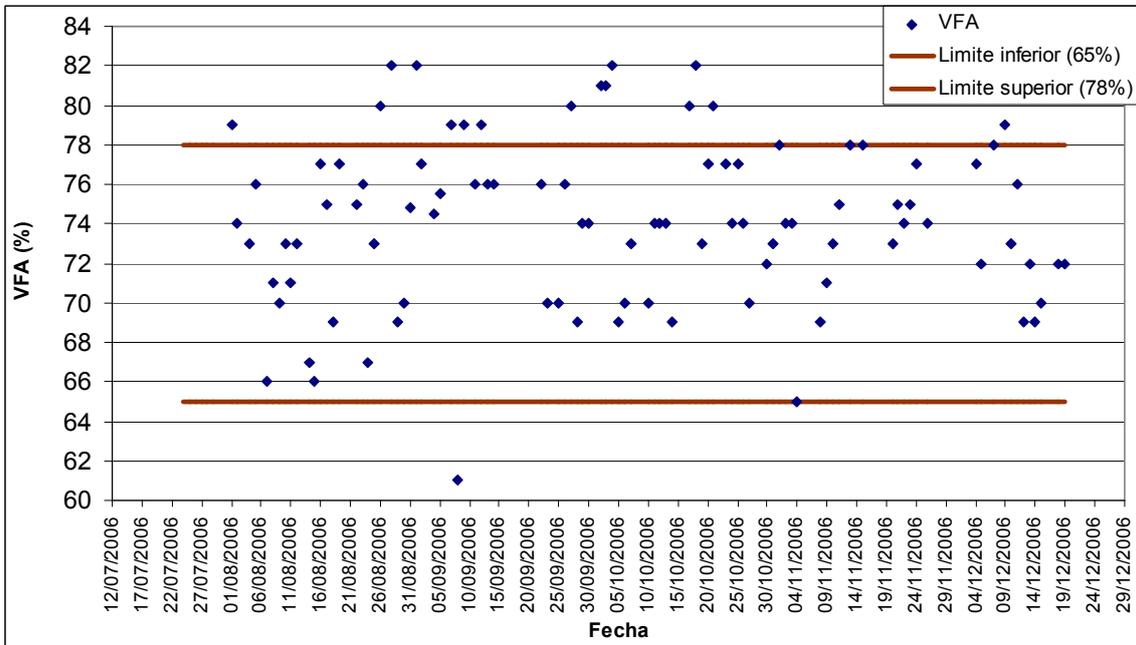


a.

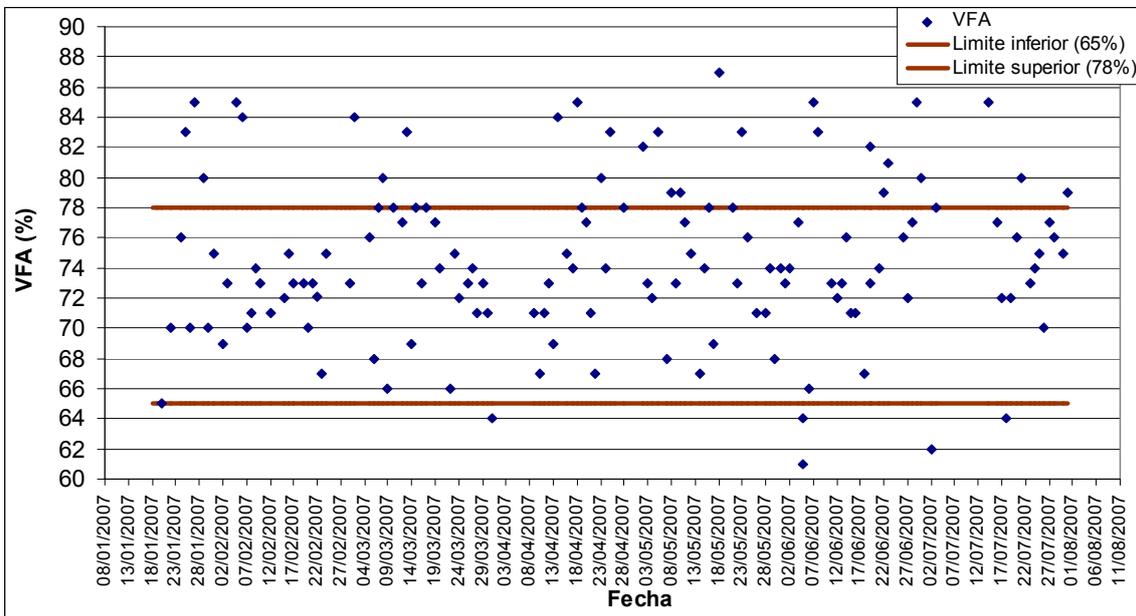


b.

Figura 11. Zona 1-1, Gráficas de variabilidad del parámetro volumétrico VFA de a. Planta Asfáltica Santa Fe Guapiles, producción septiembre 2006 a marzo 2007. b. Planta Asfáltica Santa Fe Cebadilla, producción septiembre a diciembre 2006.



a.



b.

Figura 12. Zona 1-9, Gráficas de variabilidad de parámetro volumétrico VFA de a. Planta Asfáltica Conansa, Calle Blancos, producción julio a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Conansa, Calle Blancos, producción enero a julio 2007.

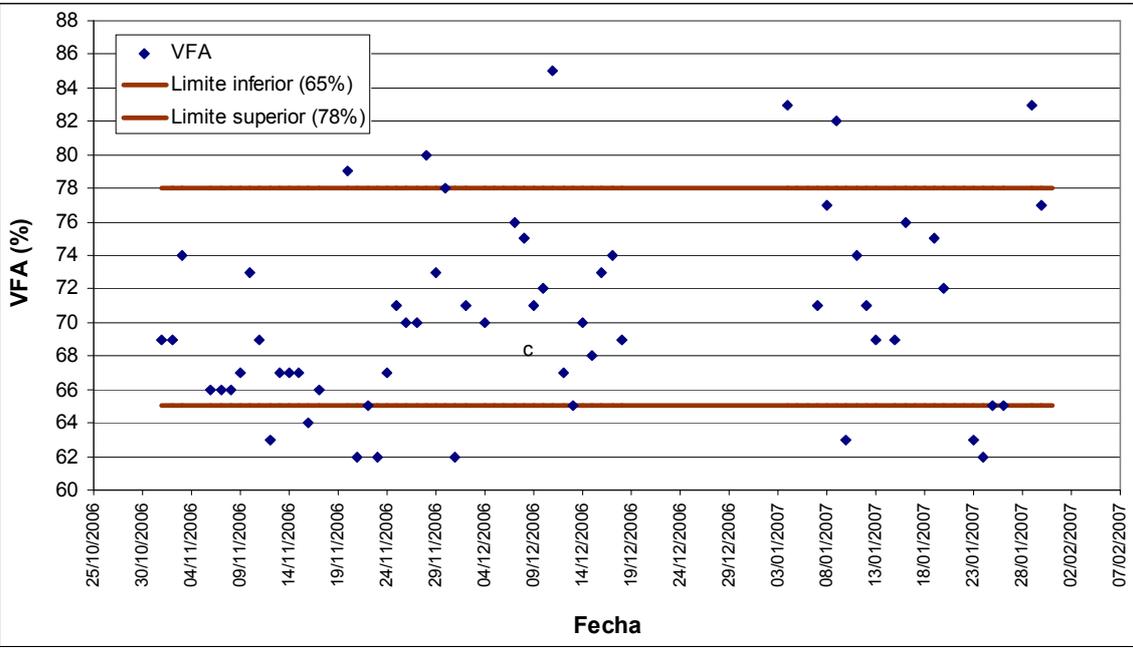
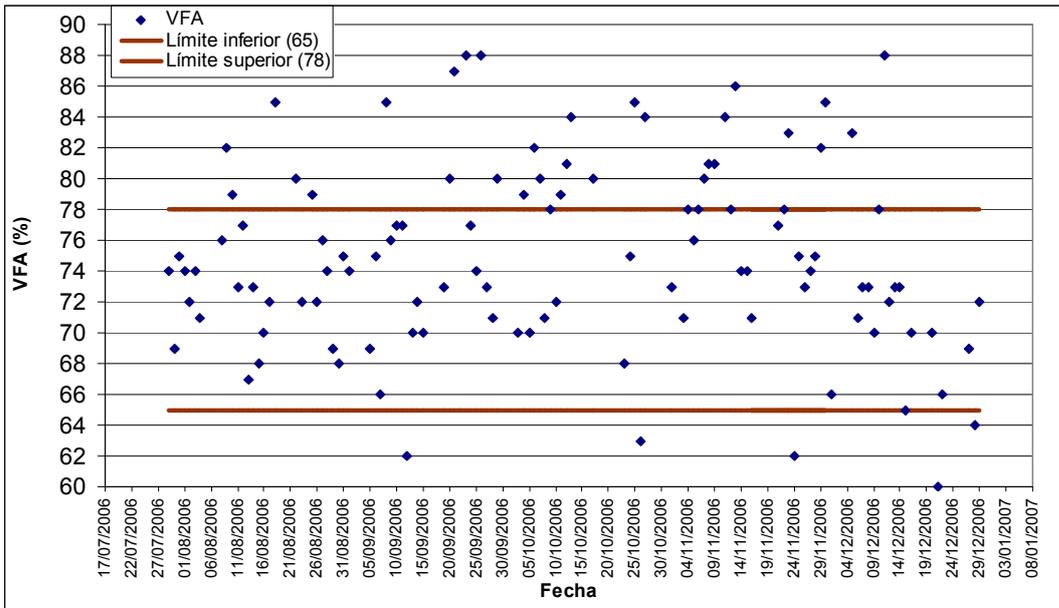
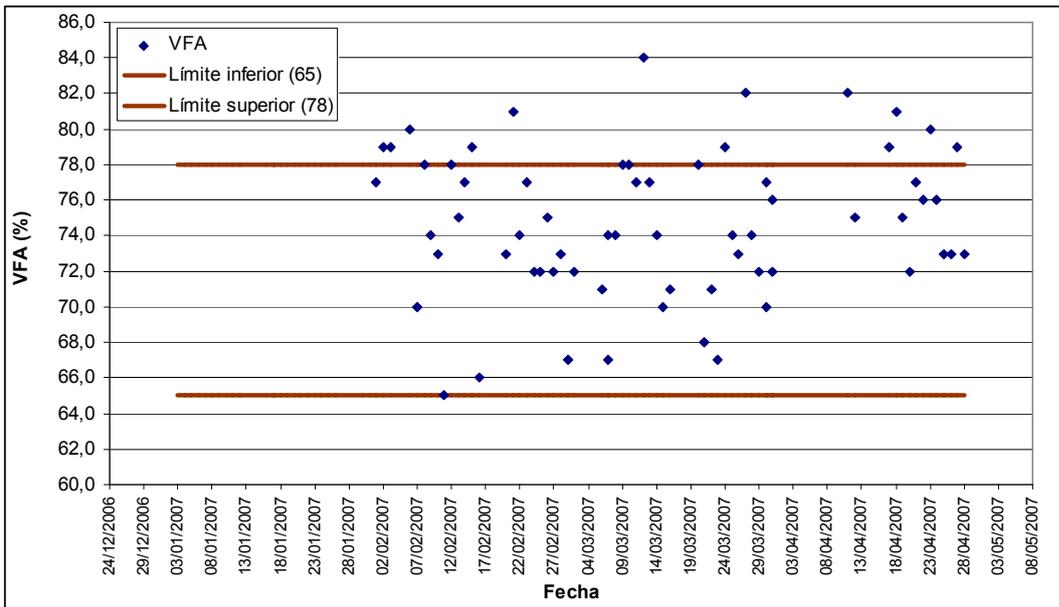


Figura 13. Zona 1-9, Gráficas de variabilidad de parámetro volumétrico VFA de la Planta Asfáltica Meco, La Uruca, producción noviembre 2006 a enero 2007.



a.



b.

Figura 14. Zona 4-1, Gráficas de variabilidad de parámetro volumétrico VFA de a. Planta Asfáltica Quebradores del Sur, Pérez Zeledón, producción julio a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Quebradores del Sur, Pérez Zeledón, producción enero a abril 2007.

Anexo 4. Variabilidad del parámetro relación polvo/asfalto en MAC

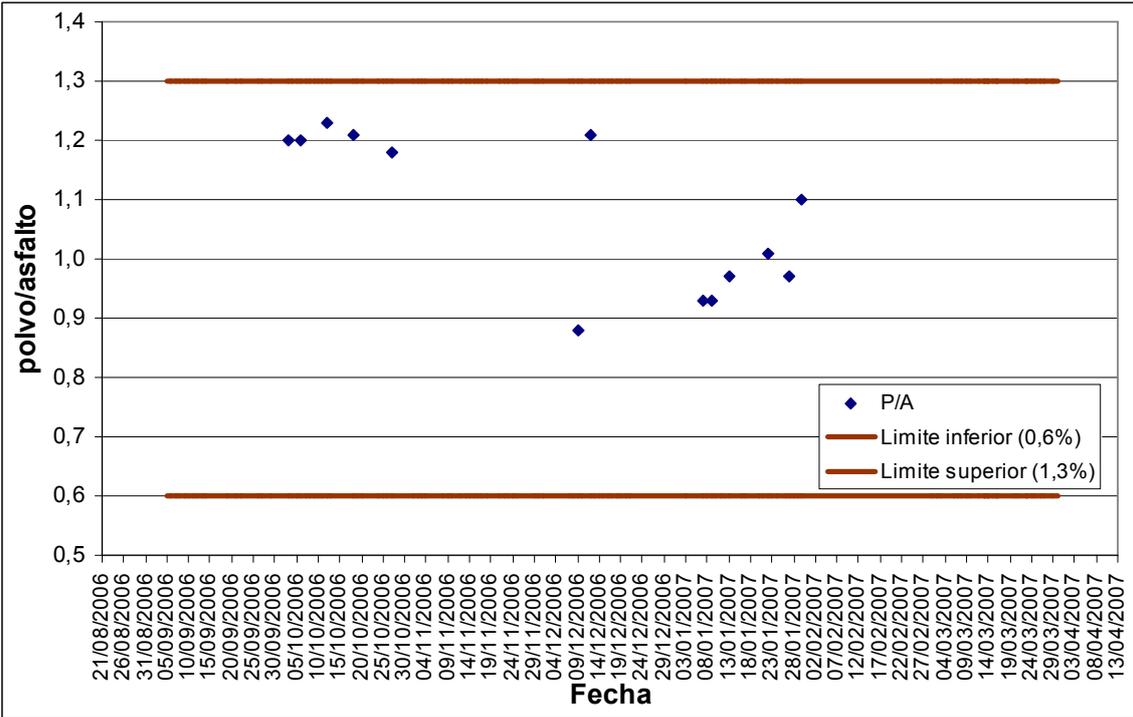
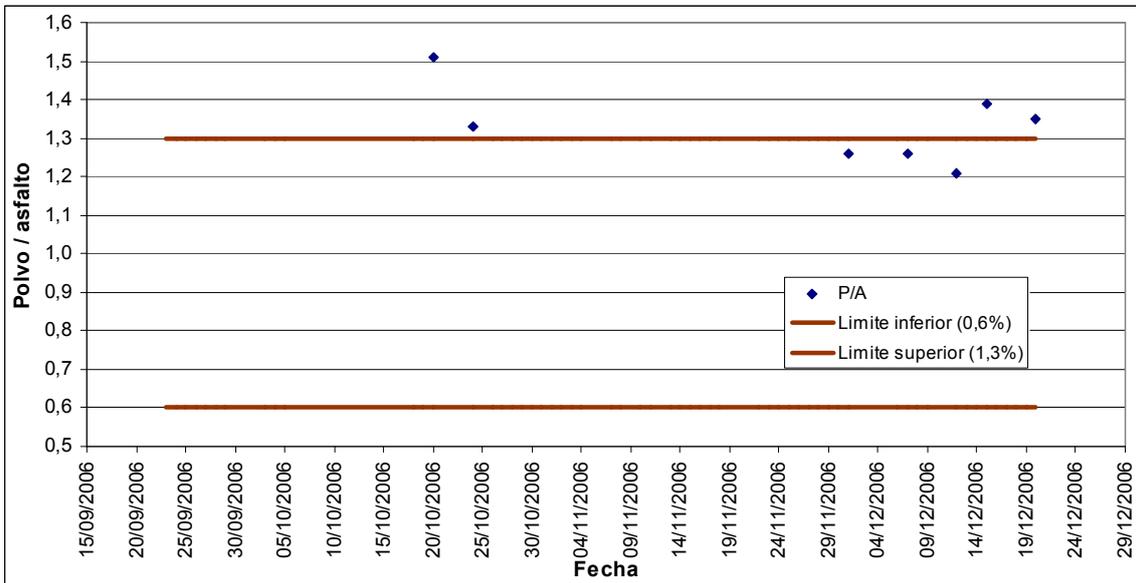
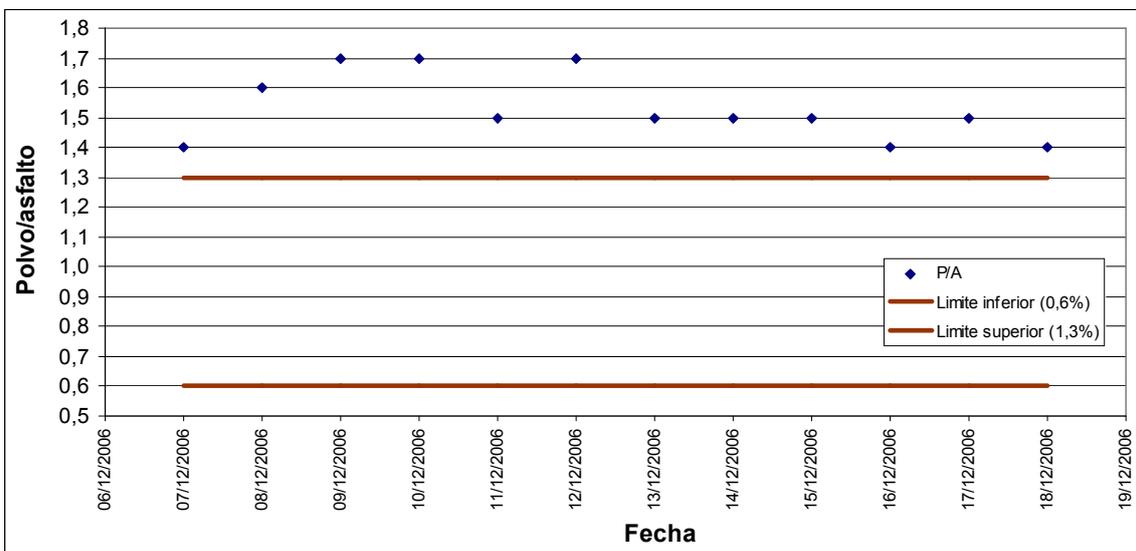


Figura 15. Zona 1-1, Grafica de variabilidad del parámetro relación polvo/asfalto de la Planta Asfáltica Santa Fe Guápiles, producción septiembre 2006 a marzo 2007.

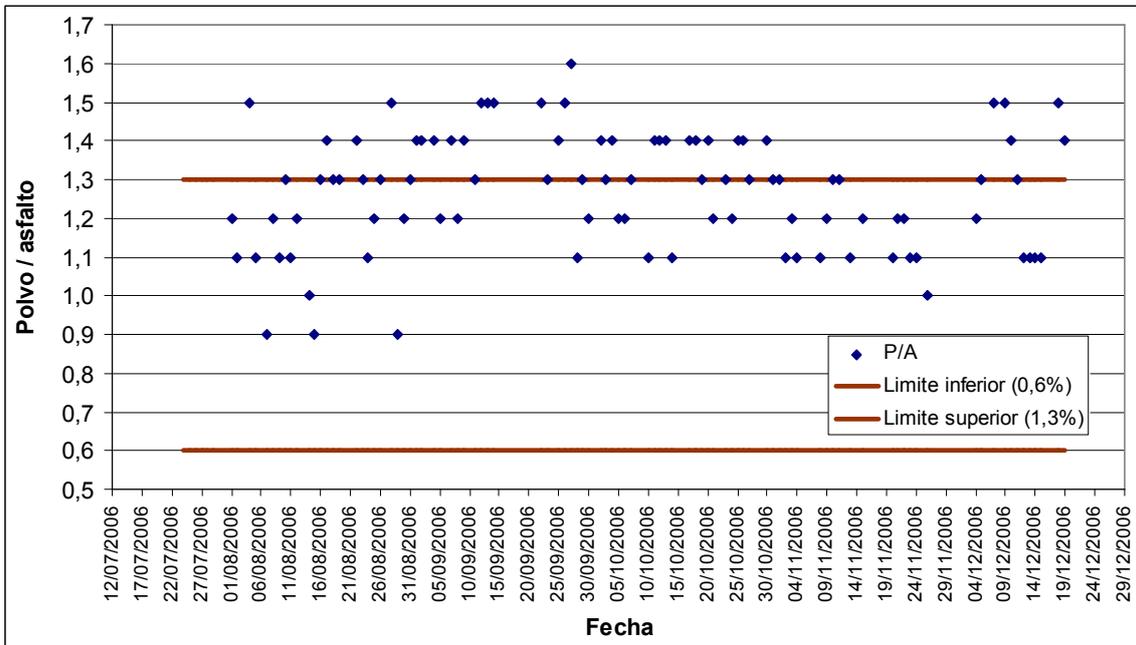


a.

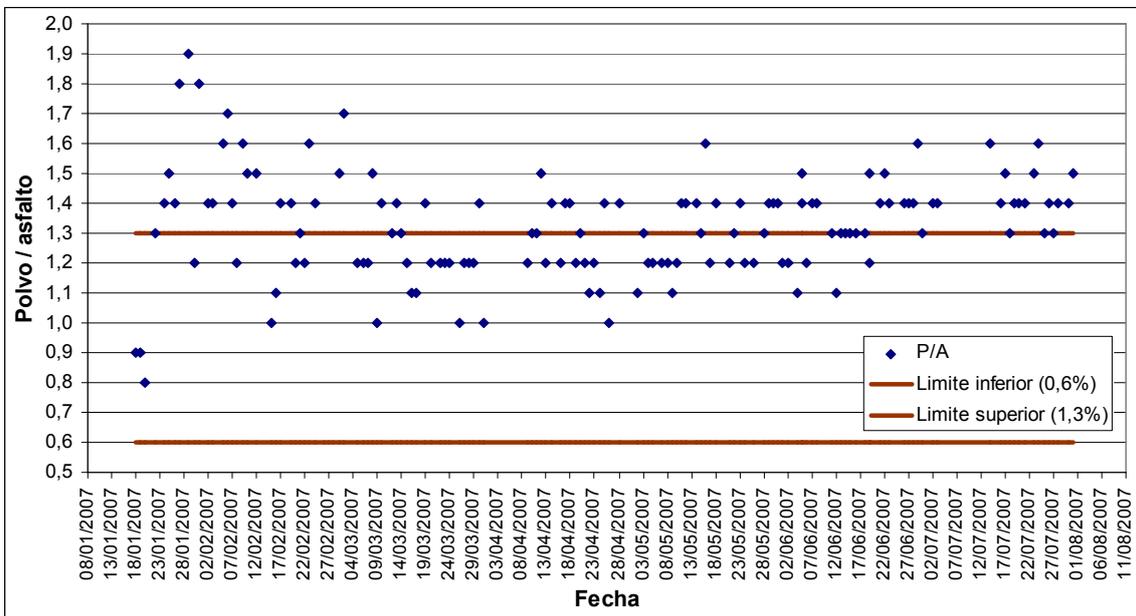


b.

Figura 16. Zona 1-1, Gráficas de variabilidad del parámetro relación polvo/asfalto de a. Planta Asfáltica Santa Fe Cebadilla, producción septiembre a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Meco, La Uruca, producción diciembre 2006.

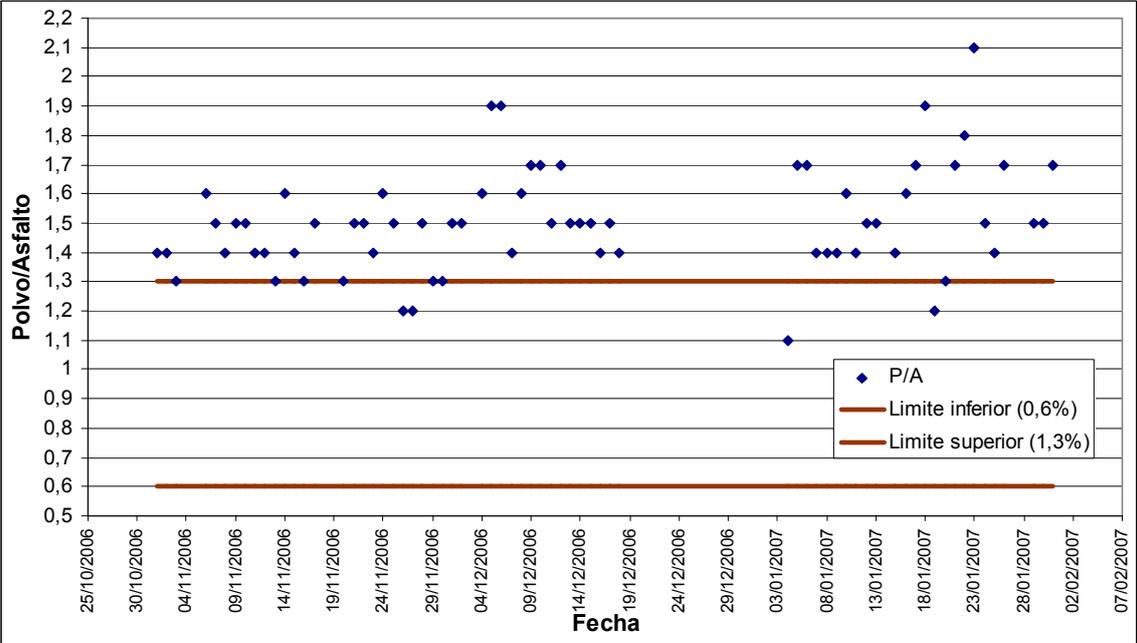


a.



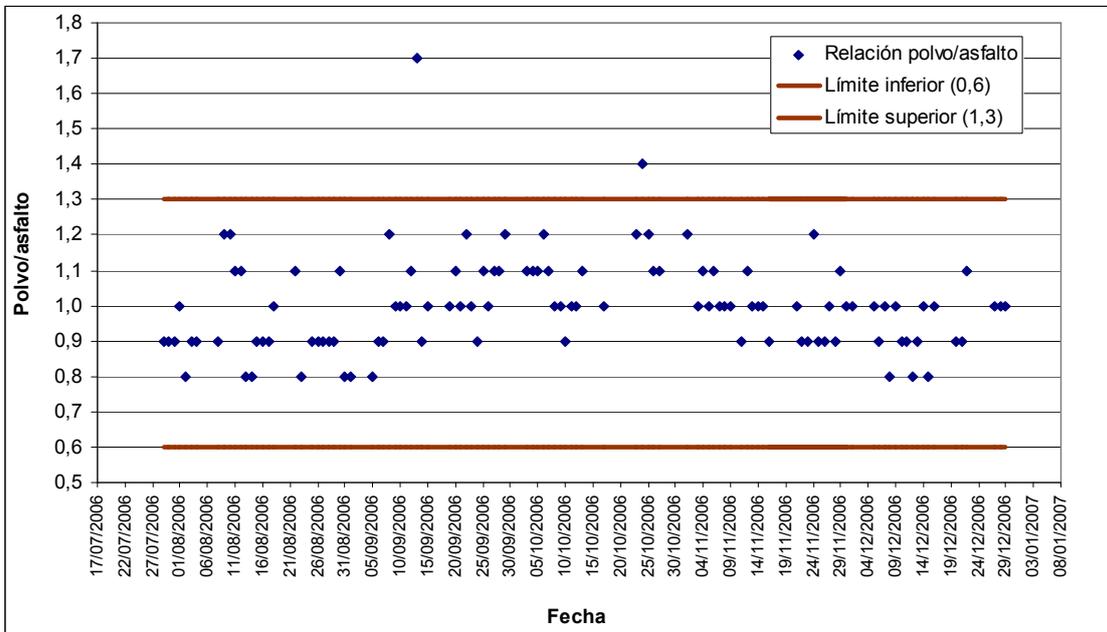
b.

Figura 17. Zona 1-9, Gráficas de variabilidad de parámetro relación polvo/asfalto de a. Planta Asfáltica Conansa, Calle Blancos, producción julio a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Conansa, Calle Blancos, producción enero a julio 2007.

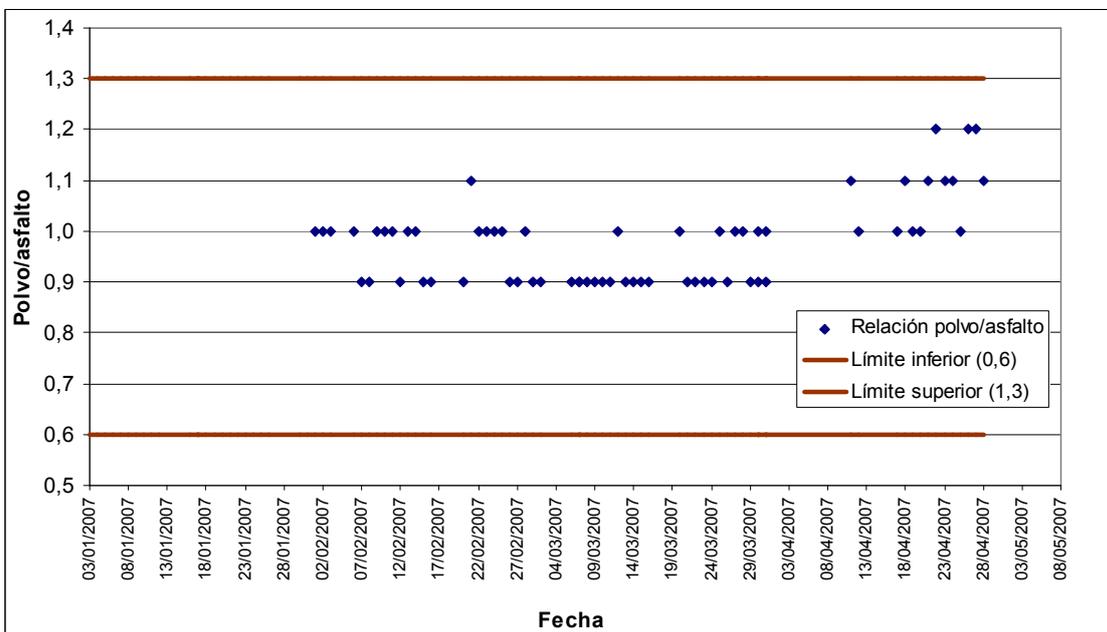


C.

Figura 18. Zona 1-9, Gráficas de variabilidad de parámetro relación polvo/asfalto de la Planta Asfáltica Meco, La Uruca, producción noviembre 2006 a enero 2007.



a.



b.

Figura 19. Zona 4-1, Gráficas de variabilidad de parámetro relación polvo/asfalto de a. Planta Asfáltica Quebradores del Sur, Pérez Zeledón, producción julio a diciembre 2006. b. Planta Asfáltica Quebradores del Sur, Pérez Zeledón, producción enero a abril 2007.