

CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN SANTANDER

N. AFANASIEVA, M. ALVAREZ, J. CALDERON, S. DUARTE

Grupo de Investigación en Asfaltos – GIAS, Universidad Industrial de Santander
Bucaramanga, Colombia
e-mail: gias@uis.edu.co

RESUMEN

En este trabajo se establecen las tecnologías empleadas, parámetros de operación y características de las materias primas del proceso de preparación de mezcla asfáltica de las plantas en caliente que actualmente se encuentran en operación en el departamento de Santander, Esgamo, Impregilo y Pavicol. Además, se presentan los valores de algunas propiedades del envejecimiento termooxidativo que sufre el asfalto en cada una de estas plantas y se determina la adhesión entre asfalto-agregado en las mezclas producidas en Santander.

INTRODUCCIÓN

Los pavimentos flexibles o asfálticos constituyen el mayor porcentaje de materiales de construcción de la red vial en muchos países^{1-3,27} y la calidad del asfalto utilizado ejerce una gran influencia en la durabilidad o vida útil de su estructura⁵⁻⁷. Los períodos de vida útil de los pavimentos colombianos por lo general son muy cortos, aproximadamente dos o tres años como máximo; lo cual conlleva sobrecostos para su mantenimiento y se hace necesario utilizar recursos adicionales que podrían destinarse para la pavimentación de nuevas vías^{4,40}.

El proceso de producción de mezclas asfálticas involucra varios cambios fisicoquímicos tanto en los materiales asfálticos como en los minerales¹¹⁻¹³, que requieren de la ingeniería de procesos para brindar soporte en aspectos como:

- Control y regulación del proceso
- Control de calidad de materiales asfálticos, agregados y mezclas asfálticas
- Control ambiental (emisiones, fluentes, ruido)

- Transferencia de nuevas tecnologías y equipos
- Seguridad industrial
- Optimización de recursos energéticos
- Almacenamiento y transporte de materiales.

El Grupo de Investigación en Asfaltos de la UIS realizó un estudio en las plantas que operan actualmente en el departamento de Santander, Esgamo, Impregilo y Pavicol; en las que se determinaron estándares de operación utilizados, equipos, instrumentos, controles, calidad y naturaleza de materiales, datos de control de calidad del producto y el estado actual de las obras pavimentadas.

LAS PLANTAS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE EN SANTANDER

Las plantas de mezcla asfáltica en caliente se clasifican^{5,13} de acuerdo con su capacidad de producción (plantas pequeñas y grandes), según el tipo de proceso (plantas discontinuas, continuas y de tambor-secador-mezclador) y de acuerdo con la facilidad de traslado (plantas

estacionarias y portátiles o móviles). Estas plantas calientan por separado el asfalto y el agregado y lo dosifican cuidadosamente para mezclarlos hasta que las partículas del agregado queden totalmente cubiertas por una capa de asfalto con alto grado de adherencia^{19-21,26}.

La preparación de mezcla asfáltica en caliente en el departamento de Santander se realiza en plantas tipo tambor-secador-mezclador, de características continuas, capaces de manejar una producción de 50 a 120 Ton/h. Las plantas han sido instaladas recientemente (en el período 1996-1999), tienen la facilidad de transportarse e instalarse en otros lugares, se encuentran ubicadas en zonas no urbanizadas (esto reduce el impacto al ambiente generado por la operación de la planta y la emisión de material particulado o contaminación sonora), disponen de lavadores húmedos de polvos (scrubber) para controlar las emisiones de material particulado (principal factor de contaminación ambiental) y sus productos se rigen según lo establecido en el artículo 450 de la norma de INVIAS para mezcla densa en caliente o concreto asfáltico.

Generalmente, se trabaja con agregados clasificados como gruesos y finos, en proporciones acordes con la "fórmula de trabajo". Las tolvas de agregado, tres por lo general, cuentan con dispositivos de salida que son ajustados exactamente a la graduación requerida, manteniéndolas en esa posición para un determinado tipo de mezcla asfáltica (rodadura, base, sellos). La manipulación y dosificación del agregado en frío depende de la humedad del flujo de agregado al tambor - secador-mezclador.

Las plantas cuentan con sistemas de bandas transportadoras y balanzas integradoras en línea que requieren de un programa de mantenimiento preventivo diario. El tambor -secador -mezclador es de flujo paralelo. Inicialmente el agregado entra al tambor y por un tiempo aproximado de 40 segundos se calienta a una temperatura de 155°C, utilizando A.C.P.M. como combustible. Los gases de combustión son extraídos por un ventilador - extractor y llevados al scrubber. El asfalto se mantiene almacenado a una temperatura de 140°C por medio de serpentines de aceite térmico, en dos tanques; luego se bombea al tambor, dosificado por la

señal de las balanzas integradoras en línea del agregado frío. El contenido de asfalto en las mezclas oscila entre 4-5%, según el diseño Marshall respectivo.

El mezclado dura aproximadamente 30 segundos, garantizando una mezcla homogénea del asfalto con el agregado y evitando que la llama entre en contacto directo con el asfalto, sometiéndolo a temperaturas demasiado elevadas. La mezcla asfáltica es transportada al silo de compensación para almacenamiento temporal, y permanece allí hasta cuatro horas. El silo cuenta con calentamiento en las compuertas de salida, para prevenir taponamientos por enfriamiento de la mezcla. El silo permite aprovisionar mezcla para los trabajos en las vías cuando se presentan paradas de planta.

ENVEJECIMIENTO DEL ASFALTO Y SEGREGACIÓN DURANTE LA PREPARACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE

Tanto el envejecimiento del asfalto³⁵ como la segregación¹⁸ durante la preparación de mezclas asfálticas en caliente, son fenómenos que afectan la calidad del pavimento. El envejecimiento del asfalto consiste en la reducción simultánea de los valores de penetración y el cambio de consistencia del material, lo cual es el resultado de la evaporación de los compuestos livianos complementada con reacciones del asfalto con el oxígeno del aire, fenómeno conocido como termooxidación. Las variables fundamentales que influyen en el envejecimiento del asfalto son:

- Temperaturas elevadas
- Area de la superficie expuesta al aire (oxígeno)
- Tiempo de exposición al aire
- Presencia de humedad
- Sales inorgánicas e impurezas en los agregados.
- Naturaleza química del asfalto original.

Por su impacto en la calidad de la mezcla asfáltica el envejecimiento debe evitarse y las medidas fundamentales^{16,17}, aceptadas en la

práctica industrial, para evitar o disminuir la oxidación son:

- Limitar la exposición del asfalto al oxígeno del aire a temperaturas elevadas
- Reducir el tiempo de almacenamiento y evitar los calentamientos repetidos
- Limitar los niveles máximos de temperatura en las operaciones de la planta.

La industria de producción la mezcla de asfalto en caliente examina la posible oxidación del asfalto bajo los siguientes aspectos:

- La operación del sistema de almacenamiento del asfalto de la planta
- El proceso de mezclado
- Las tolvas de almacenamiento en caliente de la mezcla producida
- La calidad de la superficie del pavimento.

La segregación o separación de los componentes del concreto asfáltico caracterizada por la falta de uniformidad u homogeneidad de una mezcla asfáltica es la concentración de materiales gruesos en algunas áreas del pavimento, mientras que en las demás se concentran los materiales finos. Las mezclas asfálticas segregadas no son uniformes y no se ajustan a la fórmula original del diseño especificado, ocasionando en el pavimento características pobres en su estructura, textura y durabilidad. La segregación es un fenómeno que puede presentarse en cualquiera de las fases de la construcción de una vía. Los procedimientos, normas y técnicas incluyen el control de la segregación como factor importante en la calidad de una vía^{40,45-47}. La segregación es uno de los problemas más graves que surgen en el proceso de preparación de las mezclas y que ocurren con frecuencia; por esta razón la inspección de la mezcla asfáltica se constituye en elemento importante para controlar y eliminar su segregación. Las causas y efectos de la segregación en la industria de mezcla asfáltica en caliente son controlados bajo los siguientes aspectos:

- Diseño de la mezcla
- Formación de pilas de material
- Sistema de alimentación y dosificación de agregado frío

- Tambor secador mezclador
- Tolvas de compensación y almacenamiento
- Camión transportador y máquina pavimentadora^{33,38}.

OBJETIVOS Y METODOLOGÍA

- Identificación, análisis y evaluación de las variables básicas de los procesos empleados para producir mezclas asfálticas en caliente, en las plantas que operan en el departamento de Santander (Pavicol, Esgamo, Municipio de Bucaramanga, Impregilo y Uricoechea Calderón).
- Determinación de las características principales del proceso, que influyen en la calidad de la mezcla y finalmente en la durabilidad y vida útil del pavimento.
- Determinación de los parámetros más importantes de producción y de los equipos, instrumentos, controles del proceso con cuantificación de las condiciones de operación en las plantas de mezcla de asfalto mencionadas, mediante visitas industriales a las plantas.
- Comparación de las características físicoquímicas de la calidad del asfalto inicial y final (densidad relativa y envejecimiento del asfalto en las mezclas preparadas) en todas las plantas con los parámetros de producción (temperaturas y tiempo de mezclado, tipo de mezclador y velocidad de mezclado, naturaleza de materias primas, tiempo de secado del agregado).
- Realización de los ensayos de termoenvejecimiento estándar en película fina (TFOT) a las muestras de asfalto inicial y del asfalto extraído de las mezclas asfálticas.

PARTE EXPERIMENTAL

Las muestras de asfalto y mezcla asfáltica fueron tomadas de las plantas durante la operación. La tabla 1 presenta los ensayos que se realizaron:

TABLA 1. Caracterización realizada a los asfaltos provenientes de las plantas.

MUESTRA	ENSAYOS
Asfalto inicial (asfalto antes de procesarse en la planta)	Densidad por el método ruso de equilibrio o de la gota (GOST 9128-84) Envejecimiento acelerado del asfalto a 163°C, 5 horas en horno película fina (TFOT) ¹³ .
Asfalto termoenvejecido aceleradamente en película fina	Densidad del asfalto envejecido por el método ruso de equilibrio (GOST 9128-84).
Mezcla asfáltica	Densidad del asfalto extraído de la mezcla. Adherencia entre asfalto y agregado de las mezclas por el método estándar ruso GOST 9128-84 (método de ebullición).

CARACTERIZACIÓN DEL PROCESO DE PREPARACIÓN EN CALIENTE DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN SANTANDER

El proceso global para el desarrollo de proyectos de construcción de vías con pavimentos asfálticos consta de cinco etapas: trazado de la vía, diseño de la mezcla asfáltica o del pavimento, producción de la mezcla asfáltica, extendido y compactación de la mezcla sobre la vía (pavimentación), seguimiento y mantenimiento de la vía.

Se realizó un análisis en cada fase correspondiente a la producción de la mezcla asfáltica preparada por la técnica de mezclado en caliente, para determinar las características básicas del proceso, en donde se presentan operaciones como calentamiento, cribado, mezclado, y otras, que influyen en su calidad. Para tal fin, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- La estrecha relación que existe entre las fases de construcción de una vía con la calidad de la mezcla asfáltica, caso de una variación significativa entre la mezcla preparada en la planta y su fórmula de diseño, implica ajustes en la operación de la planta o en el diseño de la mezcla, sin dejar a un lado los requerimientos de la vía.
- Las características básicas del proceso son independientes del tipo de planta usado para preparar la mezcla (discontinua, continua o de tambor mezclador).
- La información técnica, tecnológica, así como investigaciones recientes, y experiencias de campo, de las necesidades y problemas más frecuentes de la industria de la mezcla asfáltica en caliente.

Las características básicas del proceso de preparación en caliente de mezclas asfálticas, que influyen en la calidad del pavimento, se clasificaron así:

- Calidad de materias primas de la mezcla (asfalto y agregado).
- Propiedades básicas del asfalto (composición química, densidad, penetración, punto de ablandamiento, viscosidad cinemática, ductilidad y punto de chispa).
- Propiedades de los agregados (naturaleza, granulometría, forma y textura superficial, estabilidad, absorción o afinidad por el asfalto, durabilidad a las cargas del tráfico).
- Calidad de la mezcla asfáltica.
- Tipo de mezcla asfáltica.
- Propiedades de la mezcla asfáltica (contenido de asfalto, porcentaje de vacíos, estabilidad, durabilidad¹⁰, flexibilidad, resistencia a la fatiga, resistencia al deslizamiento, impermeabilidad, maniobrabilidad y economía).
- Temperaturas de proceso.
- Temperatura de almacenamiento y calentamiento del asfalto.
- Temperatura de secado y calentamiento del agregado³⁹.
- Temperatura de mezclado.
- Temperatura de almacenamiento prolongado de la mezcla asfáltica.
- Temperatura de los gases emitidos.
- Diseño y manejo del proceso de mezclado.
- Capacidad de producción de la planta.
- Tiempo y velocidad de mezclado.
- Controles del proceso^{43,44}.
- Sistemas de calentamiento y combustión.
- Sistema para calentamiento del asfalto.

- Sistema para secado y calentamiento del agregado.
- Sistema para generación de energía eléctrica.
- Control ambiental³⁷. Emisiones atmosféricas. Residuos sólidos. Efluentes (aguas residuales). Contaminación sonora.

RESULTADOS

En las tablas 2, 3 y 4 se presentan los datos de balance de materiales de las tres plantas industriales que sirvieron de base a este trabajo.

TABLA 2. Balance de materiales del proceso en la planta 1

Entradas al Proceso		Salidas del Proceso	
Material	TON / h	Material	TON / h
Agregado	96,8017	Mezcla asfáltica	90,0000
Asfalto (5.5%)	4,9500	Vapor de agua	4,4816
Combustible	0,3150	Material particulado	0,1998
Aire	4,2750	Gases de combustión	4,5000
		Lodos (desecho)	7,1603

TABLA 3. Balance de materiales del proceso en la planta 2

Entradas al Proceso		Salidas del Proceso	
Material	TON / h	Material	TON / h
Agregado	100,8427	Mezcla asfáltica	100,0000
Asfalto (4.3%)	4,3000	Vapor de agua	5,0427
Combustible	0,3500	Material particulado	0,2000
Aire	4,7500	Gases de combustión	5,0000

TABLA 4. Balance de materiales del proceso en la planta 3

Entradas al Proceso		Salidas del Proceso	
Material	TON / h	Material	TON / h
Agregado	40,9794	Mezcla asfáltica	40,0000
Asfalto (5%)	2,0000	Vapor de agua	2,8594
Combustible	0,1400	Material particulado	0,1600
Aire	1,9000	Gases de combustión	2,0000

Balance global de materia en el proceso de fabricación de mezclas asfálticas en caliente

En la Figura 1 se presenta el diagrama de bloques de proceso general para preparación en caliente de mezcla de asfalto con base en un balance de materia para producir una tonelada de mezcla y en las tablas 2, 3 y 4, se muestran los flujos de materiales correspondientes a la capacidad promedio de cada una de las plantas evaluadas. Para realizar el balance de materia general se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se tomó como referencia el proceso de una planta tipo tambor - secador - mezclador, por ser el único tipo de planta disponible en Santander
- Los datos de emisión de material particulado se ajustan a una planta que produce 100 Ton/h de mezcla
- El contenido de asfalto promedio de las mezclas es de 5.2%²⁸
- El combustible usado para los cálculos es ACPM, por ser el más común en las plantas evaluadas²⁹⁻³⁰.

Análisis de los resultados sobre el proceso termoenvejecimiento del asfalto durante la preparación de mezcla asfáltica en caliente en las plantas en el departamento de Santander.

La densidad del asfalto al igual que otras características como penetración, viscosidad, punto de ablandamiento, susceptibilidad térmica, ductilidad y composición química varían con el grado de termooxidación y endurecimiento del asfalto, por lo tanto, sirven como indicador del grado de envejecimiento en un asfalto dado ^{5,8,9}. De acuerdo con las densidades absolutas promedio obtenidas de los ensayos desarrollados, se establece (Figura 2) :

- La densidad del asfalto antes de mezclar (asfalto inicial en las plantas 2 y 3), presenta una variación (hasta 1002 y 1006 kg/m³) comparada con la densidad del asfalto que entrega ECOPETROL en la refinería de Barrancabermeja (995 kg/m³), lo cual indica que el inicio del envejecimiento prematuro del asfalto ocurre durante el transporte refinería – intermediarios – planta, debido a sobrecalentamientos y deficiente manipulación del producto durante el transporte hasta la planta y su almacenamiento.
- Los mejores valores de densidad absoluta del asfalto se presentan en la planta 1 (995 kg/m³), en donde la densidad del asfalto inicial era igual a la de los asfaltos entregados por ECOPETROL - CIB (Figura 2)
- El grado de envejecimiento real calculado como la relación entre la densidad del asfalto envejecido y la densidad del asfalto inicial en cada una de las plantas, debería presentar un comportamiento similar al que ocurre con el envejecimiento estándar en película delgada TFOT, ya que las plantas usan asfalto procedente de ECOPETROL – CIB.

Los resultados de los ensayos permiten establecer que en todas las plantas el envejecimiento real es mayor que el estándar, debido al manejo de las operaciones del proceso en cada planta; es decir, que aunque la planta 1 mantiene los valores más bajos de densidad promedio para el asfalto inicial y envejecido en

el proceso de mezclado, el envejecimiento real muestra que en el proceso de esta planta se causa el mayor grado de termooxidación del asfalto, debido a elevadas temperaturas de mezclado.

Análisis sobre segregación y adhesión en las mezclas asfálticas en caliente preparadas en Santander

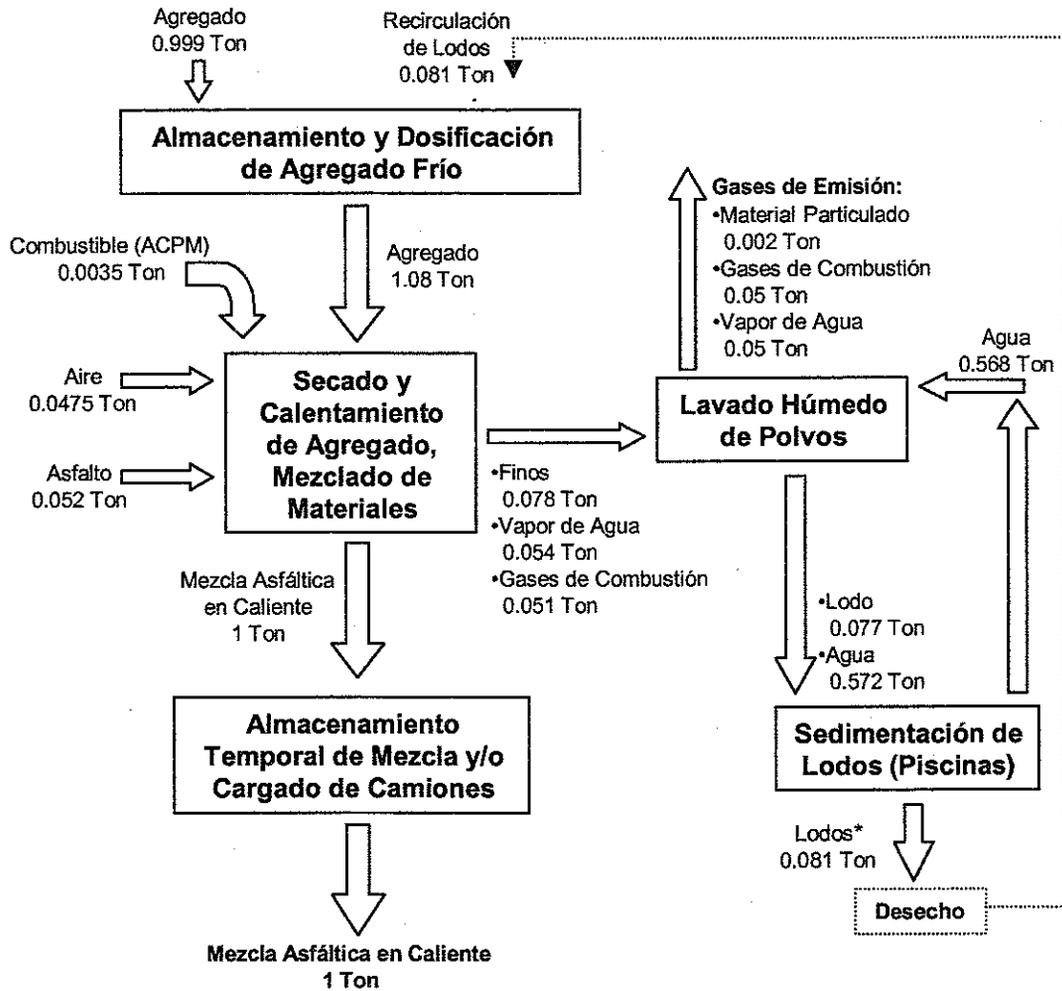
La adhesión es una de las características de la estabilidad de una mezcla asfalto – agregado; la adhesividad del asfalto con el agregado es un fenómeno de superficie relacionado con las propiedades fisicoquímicas de los dos materiales ⁴. El ensayo tradicional para adhesión según la norma (GOST 9128-84), determina la cantidad de asfalto que se desprende de la mezcla, medida como porcentaje en peso de asfalto perdido durante el ensayo, así:

$$\% \text{Asfalto perdido} = \frac{W_{\text{inicial}} - W_{\text{final}}}{W_{\text{inicial}} * (\% \text{Asfalto en la muestra})}$$

Se considerará una baja adhesión, si el porcentaje de asfalto perdido durante el ensayo es de 50% aproximadamente. Según los resultados obtenidos de los ensayos desarrollados en este trabajo, se concluye:

Las plantas evaluadas usan materias primas adecuadas que permiten conformar mezclas asfálticas con un grado de adhesión apropiado, ya que el porcentaje de asfalto perdido es muy inferior al 50% en todas las muestras evaluadas (Figura 3).

- El mejor grado de adhesión corresponde a la mezcla de la planta 2 (3,57% de asfalto perdido), seguido por la planta 1 (11.4%) y finalmente la planta 3 (32.07%); sin embargo, hay que anotar, que las plantas usan diferentes tipos de agregados, lo cual no permite comparar el valor nominal de adhesión entre las mezclas. Además, la planta 3 produce la mezcla con menor grado de adhesión, por lo tanto, es necesario examinar las actividades relacionadas con la calidad de su producto, proceso, manejo de materias primas, tipo de agregado, trituración y temperaturas de operación, con el fin de mejorar el grado de adhesión de sus mezclas.



* Los lodos pueden ser recirculados o desechados. Para el presente balance se recirculan.

FIGURA 1. Diagrama de bloques de una planta de mezcla asfáltica en caliente, tipo tambor - secador - mezclador.

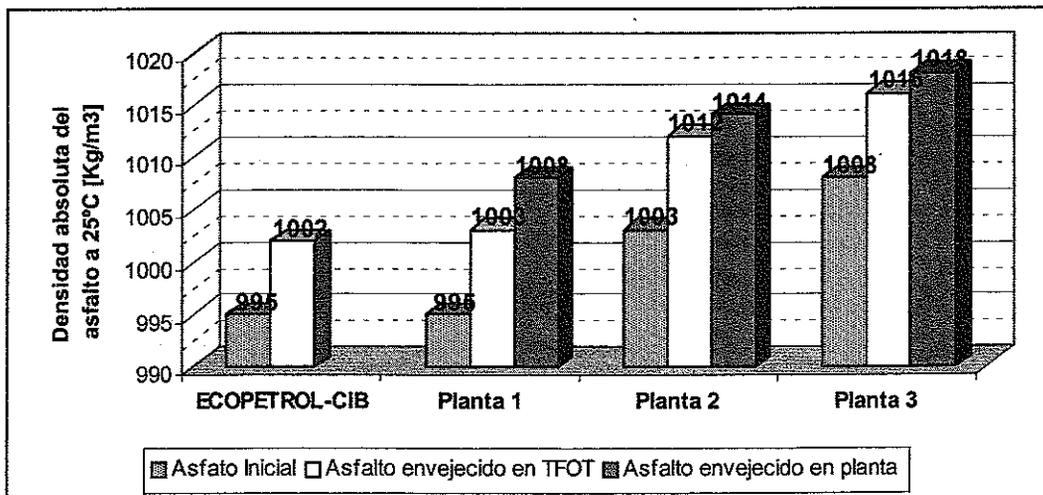


FIGURA 2. Densidades absolutas a 25°C del asfalto inicial, envejecido en TFOT y termooxidado durante el proceso en las plantas evaluadas

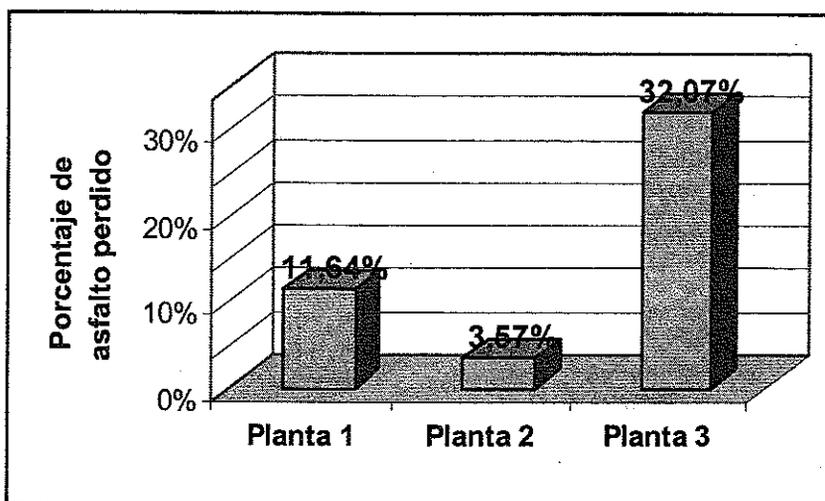


FIGURA 3. Grado de adhesión asfalto – agregado de mezclas asfálticas preparadas en las plantas evaluadas.

- El máximo envejecimiento que presenta la mezcla de la planta 2, coincide con el menor despegamiento del asfalto de las mezclas por un posible aumento de fracción de hidrocarburos polar-aromáticos o resinas a partir de los nafteno-aromáticos, que son los responsables de las propiedades adhesivas del asfalto.

CONCLUSIONES

El proceso de preparación de mezcla asfáltica en caliente involucra varias operaciones unitarias (dosificación, almacenamiento, secado, mezclado, transporte, cribado y pesaje de materiales), variables fisicoquímicas (propiedades de materiales orgánicos e inorgánicos, temperaturas de proceso, reacciones químicas) y diseño de proceso; sin embargo, en Santander su análisis no ha contado con el enfoque de la ingeniería de procesos, desconociendo la importancia de los procesos fisicoquímicos que allí se presentan y la existencia de fenómenos como el envejecimiento o termooxidación del asfalto, asociado a su naturaleza química, temperaturas de proceso y presencia de minerales.

El envejecimiento o termooxidación del asfalto en el proceso de preparación de mezclas asfálticas en caliente depende de la calidad inicial del asfalto que se admite a la planta y del manejo de las operaciones y las variables del proceso.

Los agregados pétreos usados para la preparación de mezclas asfálticas en caliente en el departamento de Santander presentan calidad aceptable, en cuanto a su origen (aluvión), procesamiento (trituration), forma y textura superficial y afinidad por el asfalto.

Las materias primas se tratan adecuadamente durante su extracción (naturaleza de la roca y del asfalto), procesamiento (trituration del agregado) y manejo previo a la preparación de la mezcla (protección contra la humedad del agregado y temperaturas de almacenamiento del asfalto); esto favorece las características fisicoquímicas que intervienen en la adhesión (tensión superficial y viscosidad para el caso del asfalto, y porosidad, rugosidad, resistencia a la desintegración, forma, textura superficial y pureza para el caso de los agregados).

Las plantas utilizan materias primas (asfalto y agregados) que permiten conformar mezclas asfálticas con un grado de adhesión apropiado, debido a que se someten a un adecuado tratamiento durante su extracción, procesamiento y manejo previo a la preparación de la mezcla, favoreciendo las características fisicoquímicas que intervienen en la adhesión.

Las plantas de mezcla asfáltica en caliente de Santander no realizan inspección o comprobación alguna para detectar el fenómeno de segregación en sus mezclas, aunque aplican técnicas de manejo de agregados y mezcla producida para reducirla. Las plantas cuentan

con equipos, accesorios e instrumentos debidamente calibrados que garantizan un comportamiento óptimo contra la segregación de la mezcla.

Entre las técnicas aplicadas en las plantas para controlar la segregación, ²²⁻²⁵ están: uso de agregados con granulometrías continuas, mezclado diario de los agregados con bulldozer antes de alimentarlo a las tolvas frías para garantizar la uniformidad del material alimentado al proceso, llenado de los camiones en tres etapas para formar tres pilas (según lo recomendado), revisión de las tolvas de alimentación en frío y monitoreo continuo durante la operación para detectar al instante cualquier tipo de obstrucción.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio se realizó con el apoyo científico y financiero del Grupo de Investigación en Asfaltos - GIAS de la Universidad Industrial de Santander. Nuestros agradecimientos a las Escuelas de Ingeniería Química y de Ingeniería Civil por el soporte brindado para la realización de algunos ensayos de laboratorio.

ABSTRACT

The employed technologies, operation parameters and main characteristics of hot mix asphalt plant (HMAP) that currently are operating in Santander (Colombia) were established in this work. These plants are Esgamo, Impregilo and Pavicol. Furthermore, a comparison of asphalt thermal oxidation during the operations in each of these plants is presented. The adhesion between asphalt-aggregates and the resulting densities were also determined.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. Alvarez, Investigaciones en energía y minería. Caso colombiano, Rev. Integración, Ciencia y Tecnología, 1: 127-132, 1996.
2. L. Acevedo, E. Castillo, J. Orduz, Sistema de información para la evaluación ambiental de sectores productivos colombianos, Primeras Jornadas Internacionales del asfalto - Corasfaltos - Universidad Industrial
3. N. Afanasieva, M. Alvarez, Análisis de las tendencias de patentabilidad e investigaciones en el área de la modificación química de los asfaltos para pavimentos. X Simposio colombiano sobre ingeniería de pavimentos. 1: 75-84, Cali, 1995.
4. L. Cano, Revaluemos todos los pavimentos, XI Simposio colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos, :1-28, Editorial Escuela Colombiana de ingeniería, Cartagena, Colombia, 1997.
5. N. Afanasieva, Adhesión de los asfaltos, IX Simposio colombiano sobre ingeniería de pavimentos - Universidad Industrial de Santander, 2: 23-39, Bucaramanga, 1993.
6. L. Sanabria, H. Arenas, Caracterización y evaluación de los asfaltos del Complejo Industrial de Barrancabermeja y la Refinería de Cartagena, IX Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos - Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1993.
7. N. Afanasieva, Introducción a los asfaltos, Curso de Especialización en asfaltos para pavimentos, Escuela de Ingeniería civil - Universidad Industrial de Santander, : 1-134, Bucaramanga, 2000.
8. N. Afanasieva, Intensificación de la producción de asfaltos de petróleo, Chemistry and Technology Oil and Gas, 8: 3-6, New York, 1986.
9. N. Afanasieva, M. Alvarez, Oxidación catalítica de asfaltos, Primeras Jornadas Internacionales del asfalto - Corasfaltos - Universidad Industrial de Santander, : 1-14, Piedecuesta, 1998.
10. N. Afanasieva, M. Alvarez, J. Calderón, S. Duarte, Caracterización del proceso de preparación de las mezclas asfálticas, 2^{as} Jornadas Internacionales del asfalto - Corasfaltos, : 1-18, Piedecuesta, 2000.
11. M. Alvarez, G. González, Reciclaje de asfaltos, IX Simposio Colombiano sobre Ingeniería de Pavimentos - Universidad Industrial de Santander, 2: 1-12, Bucaramanga, 1993.
12. A. Alvear, P. Acevedo, J. Salgado, Análisis del comportamiento de mezclas asfálticas en caliente, 3^o Congreso ILA, Cartagena, 1985.
13. Asphalt Plant Manual, Asphalt Institute, Manual series No. 3 (MS - 3), USA, 1983.

14. The asphalt handbook, Asphalt Institute, Manual series No. 4 (Ms-4), USA, 1989.
15. J. Brock, Contenido de asfalto, Boletín técnico T-114S ASTEC, USA, 1996.
16. J. Brock, La evolución del mezclador Double barrel moderno, Boletín técnico ASTEC, USA, 1996.
17. J. Brock, Oxidación de asfalto, Boletín técnico T-103S ASTEC, USA, 1996.
18. J. Brock, Tambor secador mezclador, Boletín técnico T-119S ASTEC, USA, 1997.
19. J. Brock, J. May, G. Renegar, Segregación: causas y soluciones, Boletín técnico T-117S ASTEC, USA, 1996.
20. R. Cedenilla, Mezclas de asfaltos nacionales, 3r Congreso Ibero - Latinoamericano del asfalto, Cartagena, Colombia, 1985.
21. N. Carballo, Utilización del cemento asfáltico con penetración de 150-200mm en aglomerados en caliente para pavimentación, Ponencias 10 Congreso ILA del Asfalto, : 347-361, Sevilla, 1999.
22. R. Collins, D. Watson, Comprobación de mezclas de asfalto en caliente, Mezclas abiertas y mezclas asfálticas con matriz de piedra Constructor de caminos, 2(1), Ivory publications, Missouri, 1997.
23. R. Collins, D. Watson, Diseños de mezclas en caliente con aditivo de adherencia. Constructor de caminos, 2(3), Ivory publications, Missouri, 1997.
24. F. García, Rutinas de operación y mantenimiento de una planta de mezclas, Tesis de grado, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 1985.
25. Interacción de asfalto - agregado, Boletín CIT - ICP, 9(3-4), Piededuesta, Colombia, 1996.
26. E. Horcasitas, Técnicas de construcción de pavimentos en México, 3r Congreso Ibero - Latinoamericano del asfalto (CILA), Cartagena, 1985.
27. HMA/QMS Manual. www.dot.com.
28. Instituto Nacional de vías, Ministerio del Transporte. Artículos 400 y 450, Especificaciones generales de construcción de carreteras, Construcción de carreteras, Tomo 1(1), Santafé de Bogotá, 1998.
29. C. Mansfield, Mantenga los muñones del secador en perfecto equilibrio, Constructor de caminos, 2(1), Ivory publications, Missouri, 1997.
30. C. Mansfield, Mantenimiento preventivo para plantas de asfalto, Constructor de caminos, 2(3), Ivory publications, Missouri, 1997.
31. A. Murgueitio, F. Fernandez, F. Erazo, Estudio bajo condiciones reales del proceso de envejecimiento de los asfaltos colombianos, IX Simposio colombiano sobre ingeniería de pavimentos - Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1993.
32. NAPA (National Asphalt Pavement Association). www.hotmix.org
33. M. Orteysa, Asfaltos - material de construcción de alta tecnología, Visión tecnológica, 1(2), INTEVEP S. A. - PDVSA, Venezuela, 1994.
34. O. Perea, A. Villabona, Inventario nacional de plantas de mezcla de asfáltica en caliente, Tesis de grado, Escuela de Ing.Civil, Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, 1997.
35. Régimen Legal de Medio Ambiente, LEGIS Editores S. A., Santafé de Bogotá, 1998.
36. H. River, Mantenimiento preventivo para plantas de asfalto, Constructor de caminos, 2(4), Ivory publications, USA, 1997.
37. M. Soriano, Agregados pétreos de origen basáltico y su inclusión en mezclas asfálticas para pavimentos, 3r Congreso ILA, Cartagena, 1985.
38. J. Tamayo, Algunos factores asociados con la calidad de los concretos asfálticos producidos en el área de Bogotá, IIIr Congreso IberoLatinoamericano del Asfalto, Cartagena, 1985.
39. The Asphalt Contractor Plant Production, www.asphalt.com/plant.production.html
40. V. Kafarov, N. Afanasieva, L. Sanabria, Strategy of design of asphalt pavements, XI Simposio colombiano sobre ingeniería de pavimentos, : 855-862, Editorial Escuela Colombiana de ingeniería. Santa fe de Bogotá, 1997.