



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

EXPERIENCIA DE MODIFICACIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO CON POLÍMEROS SBS EN OBRA

Carlos Salcedo de la Vega

Lima, Noviembre de 2008

FACULTAD DE INGENIERÍA

Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial

Salcedo, C. (2008). *Experiencia de modificación de cemento asfáltico con polímeros SBS en obra*. Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú.



Esta obra está bajo una licencia
Creative Commons Atribución-
NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA MASTER EN INGENIERIA CIVIL



“Experiencia de Modificación de Cemento Asfáltico con Polímeros SBS en Obra”

Tesis para optar el Grado de Máster en Ingeniería Civil

Carlos Miguel Salcedo de la Vega

Asesor: Ing. Germán Gallardo

Lima, Noviembre del 2008

A mi esposa y a nuestras hijas

Prologo

Esta plenamente comprobado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias, tanto mecánicas como de adhesión, en sus aplicaciones en obras viales, bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, la necesidad de optimizar las inversiones, las cada vez mayores exigencias de volumen y magnitud de cargas del tráfico que experimentan nuestros caminos, así como el incremento en la presión de inflado de los neumáticos, hacen que las propiedades de estos asfaltos convencionales resulten insuficientes y no satisfagan, en muchos casos, las expectativas de cumplir un determinado periodo de servicio.

La utilización de asfaltos cuyas propiedades han sido modificadas por la adición de polímeros evidencia una mejora importante en las propiedades y/o características mecánicas de resistencia a las deformaciones presentadas por factores climatológicos y de tránsito (ahuellamiento y fatiga respectivamente) del asfalto convencional que el presente trabajo pretende de resaltar.

En nuestro país, el costo adicional del m³ de mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con polímeros SBS respecto del preparado con asfalto convencional es del orden de 35-40 % y se estima que la utilización de asfaltos modificados con polímeros SBS en la preparación de mezclas asfálticas para pavimentación, elevan la vida útil del pavimento de 2 a 3 veces.

En este orden de ideas, la presente tesis de grado permite poner a disposición de los interesados, la experiencia adquirida por el autor, en la modificación de cemento asfáltico con polímeros SBS in situ y su utilización en la producción y colocación de mezcla asfáltica en caliente en la ejecución del proyecto “Mantenimiento periódico de la carretera Sullana-Aguas Verdes”, en una longitud de 110 km.

Resumen

1. Planteamiento del problema

El sitio donde se desarrolla el proyecto “Mantenimiento periódico de la carretera Sullana-Aguas Verdes” tiene un clima predominantemente cálido, con temperaturas ambiente promedio y máxima anual del orden de 24 y 32 °C, respectivamente. En estas condiciones, en la hora pico el pavimento alcanza temperaturas del orden de 47-52 °C, en tanto que en su superficie puede medirse conservadoramente 5 °C más que la media del pavimento. Si consideramos que el cemento asfáltico convencional PEN 60/70 comúnmente utilizado en la zona para la preparación de mezclas asfálticas en caliente tiene un punto de ablandamiento de 50 °C aprox., resulta fácil predecir que una mezcla asfáltica confeccionada con este asfalto es altamente susceptible al ahuellamiento, lo cual es uno de los principales problemas que puede verificarse en los pavimentos asfálticos de la zona.

Otro problema adicional que pudo verificarse durante el bacheo superficial ejecutado en obra, fue la clara presencia de fisuramiento por fatiga, identificada como una red de fisuras menores a 1 mm en la cara inferior de la capa de carpeta asfáltica retirada.

2. Objetivos

Modificar el asfalto convencional mediante la adición de polímeros SBS con el fin de mejorar sus características mecánicas de resistencia a las deformaciones presentadas por factores climatológicos y de tránsito (ahuellamiento y fatiga respectivamente).

3. Hipótesis

La modificación de cemento asfáltico con polímeros SBS, permitirá contar con un asfalto más viscoso a las temperaturas a que estará sometido el pavimento: 47 a 52 °C, reduciéndose de esta manera el riesgo a las deformaciones permanentes o ahuellamiento y a la vez con un asfalto más elástico, mejorando notablemente su comportamiento a la fatiga.

4. Breve Referencia del Marco Teórico

Una manera indirecta de medir la mejora de la resistencia a las deformaciones permanentes o ahuellamiento de un asfalto por factores climatológicos es evaluando su punto de ablandamiento (aun cuando el ensayo más adecuado es el denominado wheel tracking test).

De igual manera, la mejora del comportamiento a la fatiga de un asfalto se puede inferir mediante la evaluación de su elasticidad, medida con el ensayo de recuperación elástica por torsión.

5. Conclusiones

La modificación del cemento asfáltico con polímeros SBS fabricado en obra ha permitido contar con un ligante de mejores características de resistencia a las deformaciones permanentes y mejor comportamiento a la fatiga.

Es así que el asfalto modificado producido en obra, presentó valores promedio de punto de ablandamiento de 70 °C y de recuperación elástica torsional de 80%, en tanto que en un asfalto convencional PEN 60/70, que es el comúnmente utilizado en la zona para la preparación de mezcla asfáltica, estos parámetros solo alcanzan valores de 50 °C y 8-13% respectivamente.

6. Bibliografía básica

- Comisión permanente del asfalto de la república Argentina. 28^{ava} reunión del asfalto. Buenos Aires, Argentina, 1995.
- J. Agnusdei, O. Losco. Durabilidad de mezclas asfálticas preparadas con ligante modificado con polímeros. Comisión de investigaciones científicas. Lemit. Buenos Aires, Argentina.
- Curso de Tecnología de Pavimentos, Ing. Gerardo Botasso.

Índice

Introducción

Capítulo 1: Antecedentes

Capítulo 2: Requerimientos de calidad del proyecto

- 2.1. Requerimientos de calidad para el asfalto modificado con polímeros SBS
- 2.2. Requerimientos de calidad para la mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con polímeros SBS

Capítulo 3: Modificación del cemento asfáltico en obra

- 3.1. Objeto de la modificación
- 3.2. Equipo de laboratorio para la selección y dosificación del polímero SBS
- 3.3. Selección y dosificación del polímero SBS en laboratorio
 - 3.3.1. Preparación de muestras en laboratorio
 - 3.3.2. Selección del asfalto base y del polímero SBS
- 3.4. Equipo para la modificación a escala industrial
- 3.5. Proceso de modificación a escala industrial
- 3.6. Control de calidad del asfalto modificado
- 3.7. Ensayos de laboratorio realizados y su normatividad

Capítulo 4: Diseño de mezcla asfáltica en caliente

- 4.1. Temperatura de mezclado y de compactación.
- 4.2. Características de la mezcla asfáltica en caliente
- 4.3. Control de calidad
- 4.4. Costo de producción: Mezcla asfáltica convencional VS Mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS

Capítulo 5: Fabricación y colocación de la mezcla asfáltica en caliente

- 5.1. Fabricación de la mezcla
- 5.2. Transporte de la mezcla
- 5.3. Colocación de la mezcla
- 5.4. Compactación de la mezcla
- 5.5. Control de calidad de la mezcla asfáltica producida
- 5.6. Control de calidad del producto terminado

Conclusiones

Introducción

Esta plenamente comprobado que los asfaltos convencionales poseen propiedades mecánicas satisfactorias en sus aplicaciones en obras viales, bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo en las condiciones climáticas extremas en que se desarrolla el proyecto “Mantenimiento periódico de la carretera Sullana - Aguas Verdes”, donde puede medirse en el pavimento, temperaturas del orden de 47-52 °C en la hora pico, la utilización de cemento asfáltico PEN 60/70 con un punto de ablandamiento de 50 °C aprox., permite predecir una alta susceptibilidad al ahuellamiento o deformaciones permanentes, lo cual es uno de los principales problemas que puede verificarse en los pavimentos asfálticos de la zona.

Otro problema que pudo verificarse en el pavimento del proyecto y puede aun verificarse en los pavimentos asfálticos de la zona, es la clara presencia de fisuramiento por fatiga, identificado como una red de fisuras menores a 1 mm en la superficie del pavimento, así como en la cara inferior de bloques de carpeta asfáltica que se retiren.

La solución planteada por el proyecto de mantenimiento periódico de utilizar asfalto modificado con polímeros SBS para mejorar las características mecánicas de resistencia a las deformaciones permanentes ocasionadas por factores climatológicos y de tránsito (ahuellamiento y fatiga respectivamente), para la producción de mezcla asfáltica en caliente a usarse en la recapa de 4 cm, es el tema que esta tesis describe y analiza.

En el presente trabajo se describen en principio las exigencias de calidad especificadas en el proyecto para el cemento asfáltico modificado con polímeros SBS así como para la mezcla asfáltica en caliente a producirse con este asfalto.

Adicionalmente se describe el proceso de modificación del asfalto base a escala de laboratorio y a escala industrial en obra, poniendo especial énfasis en el equipo de laboratorio requerido, en la metodología de selección y dosificación del polímero SBS, en el equipo requerido para la modificación a escala industrial, detallándose en todos los casos los tiempos y temperaturas a controlarse. Se termina proporcionando a manera de resumen, el valor promedio de las características del asfalto modificado con polímero SBS producido en 103 batchadas de 7,500 galones realizados a escala industrial y su control de calidad, detallándose los ensayos de laboratorio realizados y su normatividad.

En lo relacionado al diseño de mezcla asfáltica en caliente con el asfalto modificado producido en obra, se analizan diferentes criterios para definir las temperaturas óptimas

de mezclado y compactación para el diseño de mezcla en laboratorio y se describe el ajuste y selección de estas temperaturas para la preparación y colocación de mezcla asfáltica a escala industrial. Se analiza también el criterio utilizado para seleccionar el huso granulométrico empleado y se proporciona la fórmula de trabajo establecida para la producción de mezcla en planta. Se termina proporcionando a manera de resumen el valor promedio de las propiedades medidas y calculadas del diseño Marshall de 103 bachadas de 7,500 galones de asfalto modificado con polímeros SBS producidos a escala industrial.

Finalmente se describe el equipo empleado en el proceso de producción y colocación de la mezcla asfáltica en caliente, poniendo especial énfasis en la compactación de la mezcla asfáltica que resulta crítica por la utilización de agregados 100% triturados y por el espesor reducido de la recapa a colocarse. Se describe adicionalmente el proceso de control de calidad de la mezcla asfáltica producida y del producto terminado según lo especificado en el proyecto.

El asfalto modificado producido en obra, tal como puede apreciarse en el resumen de 103 corridas de ensayos reportados, correspondiente a a igual numero de bachadas producidas; presenta valores promedio de punto de ablandamiento de 70 °C y de recuperación elástica torsional de 80%. Si tenemos en cuenta que en un asfalto convencional PEN 60/70, comúnmente utilizado en la zona para la preparación de mezcla asfáltica, estos parámetros solo alcanzan valores de 50 °C y 8-13% respectivamente, podremos concluir que el ligante producido presenta mejores características de resistencia a las deformaciones permanentes y mejor comportamiento a la fatiga.

En síntesis, el presente trabajo tiene por finalidad poner a disposición de los interesados la experiencia adquirida en la modificación de cemento asfáltico con polímeros SBS in situ y su utilización en la producción y colocación de mezcla asfáltica en caliente en la ejecución del proyecto “Mantenimiento periódico de la carretera Sullana-Aguas Verdes”.

Capítulo 1

Antecedentes

Esta plenamente comprobado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias, tanto mecánicas como de adhesión, en sus aplicaciones en obras viales, bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, la necesidad de optimizar las inversiones, las cada vez mayores exigencias de volumen y magnitud de cargas del tráfico que experimentan nuestros caminos, así como el incremento en la presión de inflado de los neumáticos, hacen que las propiedades de estos asfaltos convencionales resulten insuficientes y no satisfagan, en muchos casos, las expectativas de cumplir un determinado periodo de servicio.

La utilización de asfaltos cuyas propiedades han sido modificadas por la adición de polímeros evidencian una mejora en sus características mecánicas de resistencia a las deformaciones presentadas por factores climatológicos y de tránsito (ahuellamiento y fatiga respectivamente), respecto del asfalto convencional que el presente trabajo trata de resaltar.

El costo adicional de un asfalto modificado respecto del convencional es del orden de 30-40 % en nuestro país y los especialistas estiman que su uso en la preparación de mezclas asfálticas para pavimentación, elevan la vida útil del pavimento de 2 a 3 veces.

El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es mejorar la relación viscosidad-temperatura, sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas, permitiendo mejorar el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas. Otras propiedades que en el asfalto modificado mejoran, respecto del convencional son: a) Mayor cohesión, b) Mayor respuesta elástica, c) Mayor resistencia a la acción del agua, d) Mayor resistencia al envejecimiento, e) Mayor intervalo de temperatura de desempeño (diferencia entre el punto de ablandamiento y *Fraass*).

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y la otra por asfalto. En las composiciones con baja concentración de polímeros como la utilizada, existe una matriz

continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero. Esta micro morfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros.

El polímero SBS (estireno-butadieno-estireno) o caucho termoplástico es el elastómero (al estirarlos vuelven a su posición original) más utilizado para la modificación de asfaltos, debido a que presenta el mejor comportamiento durante la vida útil de la mezcla asfáltica.

Capítulo 2

Requerimientos de calidad del proyecto

2.1. Requerimientos de calidad para el asfalto modificado con polímeros SBS

En la siguiente Tabla se indican los requerimientos de calidad del proyecto para el cemento asfáltico modificado con polímeros SBS a utilizarse:

Tabla N° 2.1.1 Características del ligante modificado con polímeros SBS

ENSAYO	UND	NORMA	MIN	MAX
Penetración a 25 °C	0.1 mm	MTC E 304	55	70
Punto de ablandamiento-anillo y bola	°C	MTC E 307	60	-
Punto de inflamación	°C	MTC E 303	230	-
Estabilidad de almacenamiento (*)				
<i>Diferencia del punto de ablandamiento</i>	°C	MTC E 307	-	5
<i>Diferencia de penetración</i>	0.1 mm	MTC E 304	-	10
Ductilidad a 5 °C	cm	MTC E 306	15	-
Recuperación elástica torsional a 25 °C	%	NLT-329/91	60	-
Espuma	-	-	No	No
Residuo después de efecto de calor y aire				
<i>Penetración a 25 °C, 100 g, 5 seg</i>	% pen.orig.	MTC E 304	65	-
<i>Variación del peso</i>	% residual	-	-	1
<i>Ductilidad a 5 °C (5 cm/min)</i>	cm	MTC E 306	8	-
<i>Variación del punto de ablandamiento</i>	°C	MTC E 307	-5	10

(*) No se exigirá este requisito cuando los elementos de transporte y almacenamiento están provistos de un sistema de homogenización adecuado. Debe presentar un aspecto homogéneo, sin espuma ni agua.

2.2. Requerimientos de calidad para la mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con polímeros SBS

En la siguiente tabla se proporcionan los parámetros o criterios de diseño del proyecto, que debe cumplir la mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con polímeros SBS a utilizarse:

Tabla N° 2.2.1 Parámetros o criterios de diseño para la mezcla asfáltica en caliente con polímeros SBS

ENSAYOS	NORMA	UND	LIMITE	
			Min.	Max.
Estabilidad Marshall -75 golpes/cara	MTC E504	kgf	700	-
Fluencia Marshall		mm	2.5	4.5
Porcentaje de vacíos Marshall	MTC E505	%	4	-
Relación bitumen/vacíos		%	65	82
Relación filler/bitumen			0.6	1.2
Desgaste Cantabro	MTC E515	%	-	20
Desgaste Cantabro envejecido (1)		%	-	30
Resistencia a la tracción por compresión diametral	AASHTO-283	kpa	600	-
Estabilidad retenida		%	75	-
Variación teórica de bitumen		%	-	0.2

(1) Envejecimiento de la muestra: 7 días (168 horas) a 60 °C

Adicionalmente el proyecto exige para los agregados a utilizarse en la mezcla asfáltica en caliente que:

- a) La mezcla de agregados tenga un mínimo de “vacíos del agregado mineral” de:

Tabla N° 2.2.2

TAMIZ	VMA mínimo
3/8"	16.2
N° 4	18.3

- b) Los agregados sean triturados y consistan de una mezcla de agregados gruesos (retenidos en malla No 4), agregados finos (pasantes malla No 4) y filler mineral (cemento Pórtland o cal hidratada).
- c) La faja granulométrica que se adopte para el diseño de la mezcla asfáltica cumpla con cualquiera de los husos granulométricos siguientes (utilizando de preferencia las No 2 y 3):

Tabla N° 2.2.3 Huso granulométrico para mezcla asfáltica en caliente

TAMIZ		HUSO 1		HUSO 2		HUSO 3		HUSO DE TRABAJO
ASTM	mm	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
3/8"	9.53	90	100	90	100	90	100	+ 5%
No 4	4.76	60	90	60	90	25	40	+ 5%
No 8	2.36	47	67	31	46	20	35	+ 5%
No 16	1.18	38	57	12	31	16	31	+ 5%
No 30	0.6	28	47	9	23	12	23	+ 4%
No 50	0.3	19	38	6	18	11	18	+ 3%
No 200	0.074	5	10	6	10	7	10	+ 2%
ABRACION LOS ANGELES		40		30		25		

d) Los agregados minerales grueso y fino cumplan con los siguientes requerimientos de calidad:

Tabla N° 2.2.4 Agregado grueso

ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO
Durabilidad (al sulfato de sodio)	MTC E 209	10% max
Durabilidad (al sulfato de magnesio)		15% max
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	Ver cuadro de husos granulométricos
Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 221	10% max
Caras Fracturadas	MTC E 210 (1)	95/90
Absorción	MTC E 206	1% max
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% max
Adherencia	MTC E 519	+ 95% min

(1) Se complementa la norma MTC E210 en el sentido que se consideran caras fracturadas también a aquellos agregados que presenten aristas vivas y angulosas y no hayan sido obtenidas mediante fractura en forma mecánica.

Tabla N° 2.2.5 Agregado fino

ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO
Equivalente de arena	MTC E 114	65% min
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4% min
Índice de plasticidad (malla No 200)	MTC E 111	4% max
Índice de plasticidad (malla No 40)	MTC E 111	NP
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% max
Absorción	MTC E 205	1% max

Tabla N° 2.2.6 Filler Mineral

MALLA	% PASA MINIMO
# 40	100
# 80	95
# 200	65

Capítulo 3

Modificación del cemento asfáltico en obra

El contratista modificó en obra cemento asfáltico convencional PEN 85/100 con polímeros SBS para su utilización en la fabricación de mezcla asfáltica en caliente, para la construcción de una recapa de 3.5 y 4.0 cm de espesor sobre la carpeta existente, en cinco tramos que suman un total de 110 km, de la carretera Sullana-Aguas Verdes- departamentos de Piura y Tumbes, como solución de mantenimiento periódico previsto en el proyecto.

3.1. Objeto de la modificación

- Contar con un asfalto más viscoso para las condiciones de temperaturas a las que estará sometido el pavimento en el proyecto a fin de reducir el riesgo a las deformaciones permanentes o ahuellamiento,
- Mejorar el comportamiento a la fatiga del asfalto. El polímero incrementa la elasticidad del asfalto y por ende su comportamiento resiliente,
- Aumentar la adhesividad árido-ligante,
- Aumentar la cohesión interna de la mezcla asfáltica,
- Aumentar la resistencia al envejecimiento del asfalto

3.2. Equipo de laboratorio utilizado para la selección y dosificación del polímero SBS

- **Molino coloidal modelo LAB CVERM-50-Básico.-** equipo piloto de laboratorio utilizado para la modificación del asfalto base y para la selección y dosificación del polímero SBS a utilizarse. Capacidad del batch: 6 litros, roto-estator con dientes gruesos para betún-polímero, motor eléctrico trifásico de 3hp y 2,850 rpm, regulador de velocidad de 1,000 a 4,000 rpm, dispositivo de recirculación y cañerías con aislamiento térmico.

Gráfico N° 3.2.1



MOLINO COLOIDAL DE LABORATORIO

- **Viscosímetro rotacional Brookfield.-** utilizado para controlar la consistencia del asfalto base y para determinar las viscosidades y temperaturas de mezclado y compactación del asfalto modificado para el diseño de mezcla en laboratorio..

Proporciona la viscosidad aparente del asfalto: relación entre el esfuerzo aplicado y la velocidad de cizallamiento, midiendo la resistencia que opone el fluido al movimiento de un rotor. Se utiliza en un rango de 38 a 260 °C. Modelo DV-II+ PRO.

Gráfico N° 3.2.2



VISCOSIMETRO BROOKFIELD

- **Penetrómetro standard.-** utilizado para determinar la consistencia del asfalto base y modificado. Cuenta con un dial de lectura de 10 cm de diámetro y divisiones de 1/10 mm, un juego de pesas de 50 y 100 gr, agujas, recipientes y cronometro. Modelo ALEIN 0-370.

Gráfico N° 3.2.3

**PENETROMETRO STANDARD**

- **Aparato anillo y esfera.-** utilizado para determinar el punto de ablandamiento del asfalto base y modificado. Cuenta con un vaso de vidrio, 2 bolas de ensayo, 2 moldes de anillos A y B, 2 guías de centrado, soporte bastidor, termómetros y una estufa eléctrica.

Gráfico N° 3.2.4

**APARATO DE ANILLO Y BOLA PARA
ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO**

- **Aparato para ensayo de punto de inflamación.-** utilizado para la determinación del punto de inflamación del asfalto base y modificado. El punto de inflamación es la temperatura a la cual puede calentarse el asfalto

sin que se produzca la inflamación de los vapores liberados en presencia de llama libre.

Gráfico N° 3.2.5



VASO ABIERTO CLEVELAND PARA DETERMINACION DEL PUNTO DE INFLAMACION

- **Ductilómetro.-** utilizado para determinar la ductilidad del asfalto base y modificado a 25 °C y 5 °C respectivamente. Consta de una tina de acero inoxidable provisto de un carro de tracción que se acciona mediante un motor eléctrico y se desliza a través de unas guías dentro del baño. Temperatura de trabajo en un rango de 2 a 30 °C.

Gráfico N° 3.2.6



DUCTILOMETRO

- **Recuperación elástica por torsión.-** utilizado para determinar la recuperación elástica por torsión de los asfaltos modificados, según la norma

española NLT-329-91. Consta de una escala analógica de metal graduada al grado (tipo semicírculo), cubetas de bronce con tuercas de ajuste tipo patas de araña, agujas y émbolos.

Gráfico N° 3.2.7



EQUIPO PARA ENSAYO DE RECUPERACION ELASTICA POR TORSION SEGÚN NORMA ESPAÑOLA NLT-329-91

Gráfico N° 3.2.8



ENSAYO DE RECUPERACION ELASTICA POR TORSION

- **Equipo para baño de calentamiento (baño Maria).**- utilizado para calentar a 25 °C las muestras de asfalto para los ensayos de penetración, ductilidad y recuperación elástica torsional. Es un recipiente de acero inoxidable, con tapa, soporte inferior a 1 cm de altura para las muestras de ensayo de penetración, recuperación elástica torsional, ductilidad, etc; y con un cabezal termostático de inmersión analógico con temperatura de trabajo de hasta 100 °C, potencia de calentamiento de 1.5 kw y controles de temperatura de 0.5 °C.

Gráfico N° 3.2.9



EQUIPO PARA BAÑO DE CALENTAMIENTO O BAÑO MARIA

- **Horno para ensayo de película delgada rotativa (RTFO).**- utilizado para medir el efecto de calor y aire en muestras de asfalto a 163 °C, simulando las condiciones de endurecimiento que ocurre durante las operaciones normales

de una planta de asfalto en caliente. Cuenta con control termostático para mantener la temperatura a $163\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Los efectos de este procedimiento se determinan midiendo ciertas propiedades del asfalto antes y después del ensayo: penetración, punto de ablandamiento, ductilidad, peso.

Gráfico N° 3.2.10



**HORNO ROTATORIO PARA ENSAYO
DEL EFECTO DE CALOR Y AIRE A $163\text{ }^{\circ}\text{C}$**

3.3. Selección y dosificación del polímero SBS en laboratorio

3.3.1. Preparación de muestras

- Las muestras se prepararon en el molino piloto de modificación, utilizando asfalto base PEN 85/100 de tres procedencias diferentes: refinería La Pampilla, refinería Conchan y refinería Talara y polímeros SBS en concentraciones de 3 a 4.5 %. de tres (3) marcas diferentes: LG 501 lineal, Taipol 3201 y KTR 401. Cada muestra fue de un (1) galón, que es la capacidad del equipo piloto de modificación de asfalto.
- El polímero debe incorporarse aproximadamente en 30 minutos, con el molino trabajando a una velocidad de 3,500 rpm y el asfalto base a una temperatura de $180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Durante el proceso de molienda, dispersión y homogenización el asfalto debe mantenerse a 180 a $185\text{ }^{\circ}\text{C}$ de temperatura.
- Se consideró concluida la dispersión después de aprox. 60 minutos, luego de verificar por simple inspección visual a contraluz, que una película estirada de asfalto modificado recién producido aparece homogénea y sin trazas de polímero parcialmente dispersado. Finalmente se corroboró la conclusión de la dispersión mediante ensayos de laboratorio para verificar el cumplimiento de las características especificadas en el proyecto.
Existen métodos disponibles más sofisticados para verificar la dispersión del polímero en el asfalto como el de fluorescencia microscópica, que por cuestiones prácticas y de economía no utilizamos.

Gráfico N° 3.2.11



INSPECCION VISUAL A CONTRA LUZ DE CULMINACION DE LA MODIFICACION

Gráfico N° 3.2.12



MUESTRA HOMOGENEA SIN TRAZAS DE POLIMERO SIN MODIFICAR

- Se tuvo en cuenta como premisa que cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas del asfalto base, de modo que por encima de este tamaño el polímero solo actúa como filler, mientras que por debajo, pasa a estar muy solubilizado y solo aumenta la viscosidad del asfalto base sin mejorar su elasticidad y resistencia.

3.3.2. Selección del asfalto base y del polímero SBS

- Se evaluó cada producción o batch de asfalto modificado de laboratorio con los tres (3) ensayos básicos de caracterización siguientes:
 - Penetración a 25 °C,
 - Punto de Ablandamiento
 - Recuperación elástica torsional a 25 °C,
- La frecuencia con que realizamos estos ensayos y la experiencia adquirida en los mismos, permitió verificar que toda muestra con resultados satisfactorios en estos tres ensayos básicos, tiene alta probabilidad de cumplir las demás exigencias de calidad especificadas.
- En los Gráficos N° 1, N° 2 y N° 3 siguientes, se indican los valores medidos de Penetración, Punto de Ablandamiento y Recuperación Elástica Torsional en muestras de asfalto modificado producidas en laboratorio con concentraciones de polímeros SBS de 3.0%, 3.5%, 4.0% y 4.5% y asfalto base PEN 85/100 de tres refinerías diferentes.
- Finalmente, mediante una sencilla evaluación técnico-económica se seleccionó el asfalto base PEN 85/100 de Talara y el polímero LG 501

linear de Taiwán con una concentración de 3.5 % del peso del asfalto, para la producción a escala industrial de asfalto modificado en la obra.

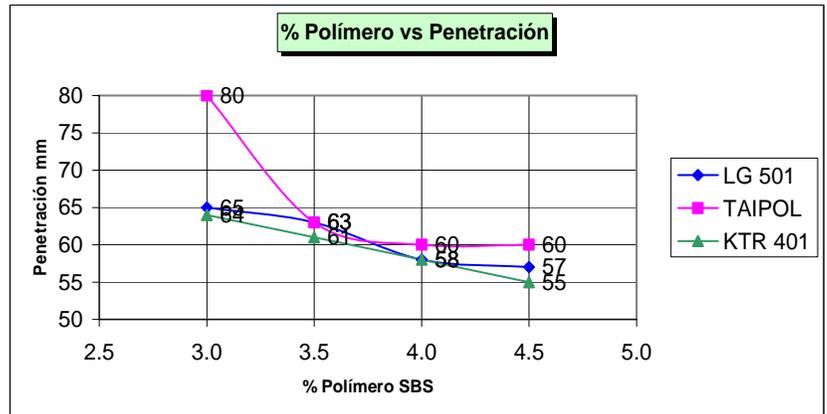
Gráfico N° 3.2.13



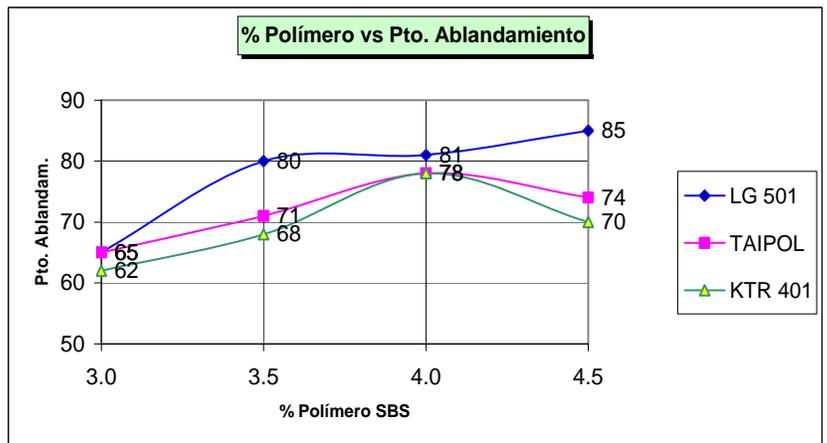
POLIMERO LG 501

CON ASFALTO 85/100 DE TALARA
GRAFICO N° 01

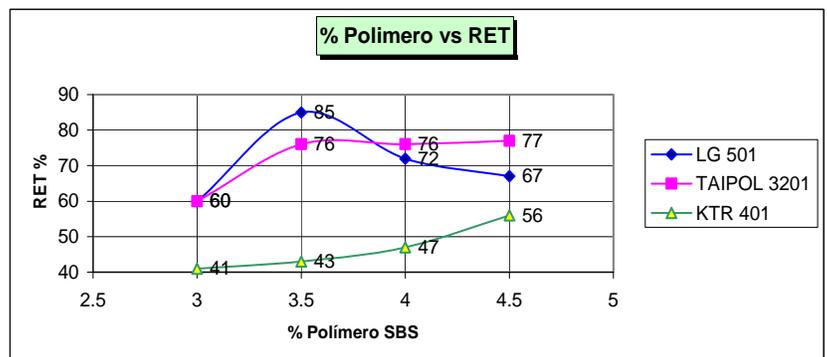
% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3.0	65	80	64
3.5	63	63	61
4.0	58	60	58
4.5	57	60	55



% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3.0	65	65	62
3.5	80	71	68
4.0	81	78	78
4.5	85	74	70

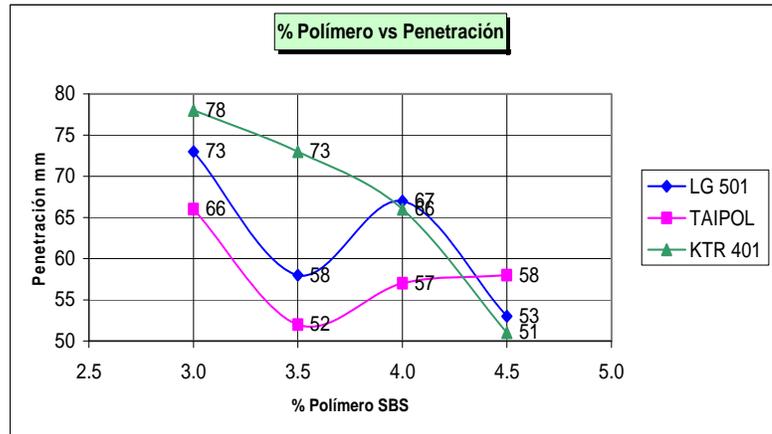


% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3	60	60	41
3.5	85	76	43
4	72	76	47
4.5	67	77	56

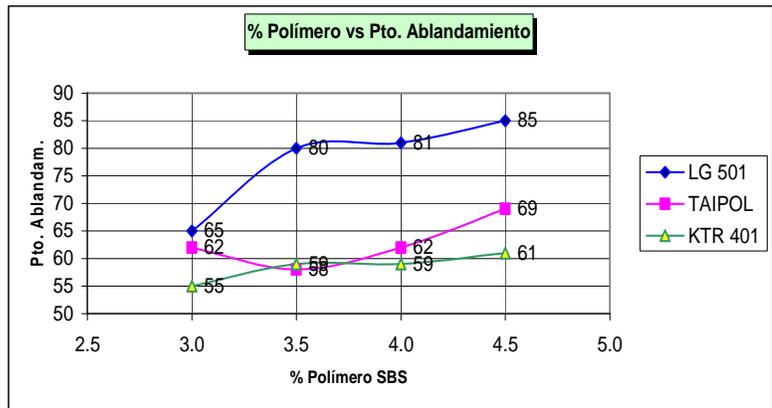


CON ASFALTO 85/100 DE CONCHAN
GRAFICO N° 02

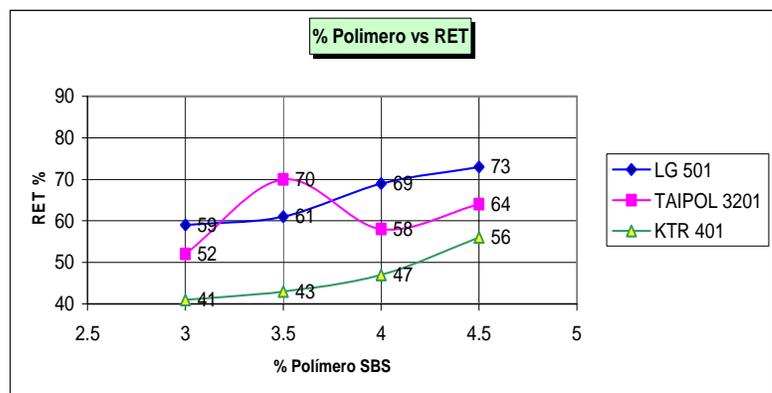
% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3.0	73	66	78
3.5	58	52	73
4.0	67	57	66
4.5	53	58	51



% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3.0	77	62	55
3.5	62	58	59
4.0	71	62	59
4.5	78	69	61

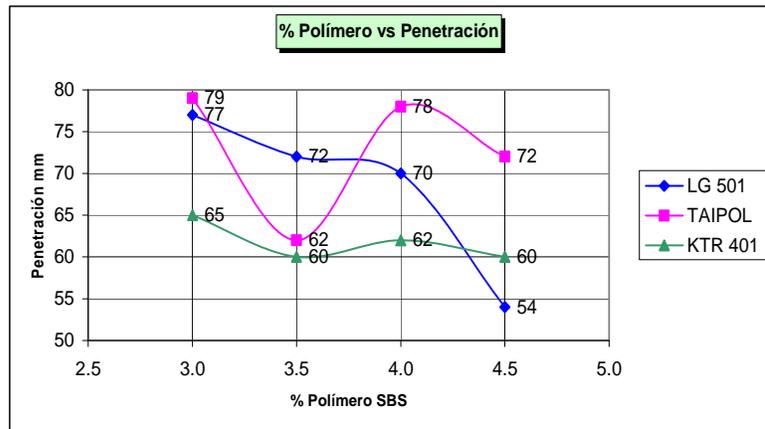


% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3	59	52	60
3.5	61	70	59
4	69	58	63
4.5	73	64	67

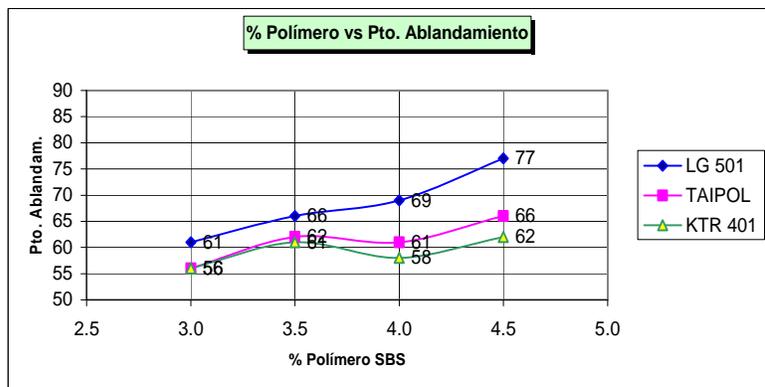


CON ASFALTO 85/100 DE REPSOL
GRAFICO N° 03

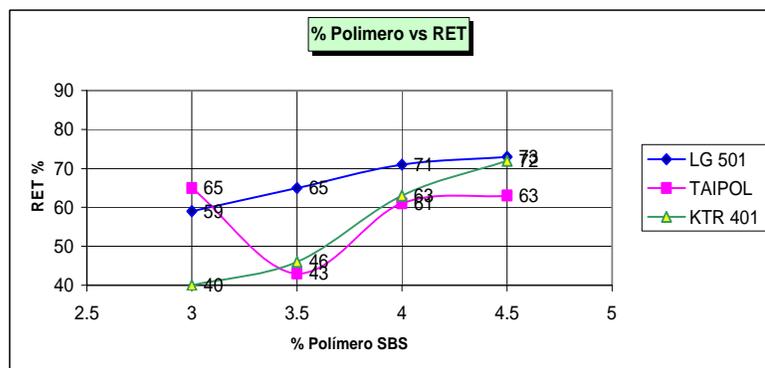
% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3.0	77	79	65
3.5	72	62	60
4.0	70	78	62
4.5	54	72	60



% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3.0	61	56	56
3.5	66	62	61
4.0	69	61	58
4.5	77	66	62



% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3	59	65	40
3.5	65	43	46
4	71	61	63
4.5	73	63	72



- Las características técnicas del asfalto base PEN 85/100 de Talara y del polímero LG 501 linear Taiwanes son las siguientes:
- Las características del asfalto modificado producido en laboratorio, con asfalto base PEN 85/100 de Talara y 3.5 % en peso de polímero LG 501 linear de Taiwán, son las siguientes :

LG 501



SBS

Introduction

LG 501, is produced by solution polymerization using anionic-type initiators. This elastomer can be transformed using techniques such as calendaring, injection molding and extrusion. LG 501 is used in various industry sectors such as footwear and general compounds, asphalt modification, adhesives and plastics modification.

Application

Roofing application, road pavement, compounding, plastic modifications, adhesive

Characteristic

LG 501 is high toluene soluble viscosity and has linear structure.

Properties

Item	Test Method	Test Condition	Unit	Value
PHYSICAL				
Structure		-	-	Linear
SM / BD , %	LG Method	-	%	31 / 69
Oil contents	ASTM D1416	-	phr	-
25% TSV	ASTM D445	-	cps	5.100
Specific Gravity	ISO 2781	-	g/cm ³	0.94
Melt Index	ASTM D1238	200°C/5kg	g/10min	<1
MECHANICAL				
Tensile Strength	ASTM D638	500mm/min	kg/cm ²	240
		500mm/min	Mpa	24
		500mm/min	psi	2,400
Elongation at Break	ASTM D638	500mm/min	%	750
Hardness(shore D)	ASTM D2240	30sec	-	76

*Note : 1)The values of properties in the above table have been obtained by the test pieces(natural color) manufactured under certain of injection.

2)The listed values should be used for referential purposed only.

PETROLÉOS DEL PERÚ - PETROPERÚ S.A.
LABORATORIO DE REFINERÍA TALARA

PETROPERU
Peruanos trabajando por el desarrollo del País

INFORME DE ENSAYO

PRODUCTO: PETROPERU ASFALTO SOLIDO 85/100 PEN

REF LAB 1468-LAB 242-2008

C/T N° YI-2419 ZG -4820		FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 08/04/2008			
TANQUE DE DESPACHO: 208		FECHA DE REPORTE: 02/05/2008			
CLIENTE: EQUIPOS Y LOGISTICA SAC.		DIRECCION CLIENTE : TALARA			
DESCRIPCIÓN MUESTRA:		OTRA INFORMACIÓN DE LA MUESTRA:			
Código de la Muestra : 6211-2008		Los ensayos fueron solicitados por la Unidad Movimiento de Productos			
Cantidad de muestra: 700 ml		Las muestras fueron tomadas por personal de dicha unidad.			
Tipo de Envase : vidrio					
ENSAYO	Unidad	METODO ASTM u OTRO	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES	
				MINIMO	MAXIMO
PENETRACIÓN					
A 25°C, 100 g, 5s	0.1mm	D-5-97	91	85	100
VOLATILIDAD					
Punto de Inflamación Cleveland, copa abierta	°C	D-92-02b	285	232	
Gravedad específica a 15.0/15.6°C		D-70-03	1.0043	REPORTAR	
DUCTILIDAD					
A 25°C, 5 cm/min	cm	D-113-99	<150	100	
SOLUBILIDAD					
En tricloroetileno	%m	D-2042-01	99.8	99	
SUSCEPTIBILIDAD TERMICA		D-1754-02			
Perdida por calentamiento	%m	D-1754-02	0.20		1.0
Penetración retenida, del original	%	D-5-97	67	50	
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min	cm	D-113-99	<150	75	
Índice de penetración (Pfeiffer)	-	Frances RTLAB	-0.16	-1.0	+1.0
FLUIDEZ					
Viscosidad cinemática a 100°C	cSt	D-2170-01a	2080		
Viscosidad cinemática a 135°C	cSt	D-2170-01a	279	170	
ADHERENCIA					
Revestimiento-desprendimiento, mezcla agregado - bitumen,	%	D-1664	+95	MAYOR DE 95	
PRUEBA DE LA MANCHA (OLIENSIS) 30% XILENO		AAASHTO T-102-83(86)	PASA	REPORTAR	
Punto de Ablandamiento	°C	D-36-01	48.0	REPORTAR	
OBSERVACIONES :					
1.- Los resultados corresponden sólo a la muestra analizada					
2.- El producto cumple las especificaciones de PETROPERU S.A					
3.- Gravedad API @15.6°C= 9.4					
PREPARADO POR:		APROBADO POR:			
Nombre:		Nombre:			
Función:		Función:			
Firma: CARLOS ENCALADA L. LABORATORISTA FICHA N° 00468		Firma: MIGUEL TALLEDO G. FICHA N° 00151 LAB. RESP. TURNO			

RTLAB-FT-36, Versión: 00

FIN DE INFORME

Tabla N° 3.3.1 Características del asfalto modificado producido en laboratorio

ENSAYOS	UND	NORMA	MEDIDO	ESPECIFIC	
				Min.	Max.
Penetración (25 °c, 100g, 5s)	0,1 mm	MTC E304	64	55	70
Punto de ablandamiento	°C	MTC E307	78	60	--
Punto de inflamación	°C	MTC E312	340	230	--
Peso específico, 25°C/25°C	gr/cc	MTC E318	1.020	--	--
Estabilidad de almacenamiento(*)					
<i>Diferencia punto de ablandamto.</i>	°C	MTC E307	--	--	5
<i>Diferencia de penetración</i>	mm	MTC E304	--	--	10
Viscosidad a 170 °C (1)	poise	ASTM D4402	2.6	--	--
Ductilidad a 5 °C	cm	MTC E306	70	15	--
Recuperación elástica torsional	%	NLT - 329/91	74	60	--
Espuma	Visual		NO	NO	NO
RESIDUO DESPUES DEL EFECTO DE CALOR Y AIRE					
<i>Penetración (25 °c, 100g, 5s)</i>	% Pen.Orig.	MTC E304	77	65	--
<i>Variación del peso</i>	% Resid.		0.139	--	1
<i>Ductilidad a 5 °C (5cm/min)</i>	cm	MTC E306	9.3	8	--
<i>Variación punto de ablandamto.</i>	°C	MTC E307	+1.5	-5	10

(*) No se exigirá este requisito cuando los elementos de transporte y almacenamiento están provistos de un sistema de homogenización adecuado. Debe presentar un aspecto homogéneo, sin espuma ni agua

3.4. Equipo para la modificación a escala industrial

Se adquirió y monto en un espacio adyacente a la planta de asfalto, una planta para la modificación del asfalto de 1,600 gal/hr de capacidad, como la mostrada en las fotografías siguientes, que consta de:

- a. Un dispersor recirculador, con un molino coloidal de alto esfuerzo de corte con roto/estator de separación regulable y configuración definida (rotor estriado de 1,500 a 5,600 rpm, estator fijo estriado) para reducir el polímero a dimensiones coloidales y dispersarlo en el asfalto base. Modelo CHP-240 con motor eléctrico trifásico de 50 hp, 2,800 rpm, 440 voltios y 60 Hz.
- b. Un tanque de 16,000 galones para modificar el asfalto base, bipartido en dos compartimentos de 8,000 gal cada uno, con caldero de aceite térmico, bomba centrífuga, quemador de 400,000 kcal/hr, cinco alimentadores de polímeros por gravedad, cinco agitadores de paletas de doble nivel accionados por motores eléctricos de 11 kw cada uno, bomba

de asfalto de 3 pul de diámetro, serpentín de calefacción y aislamiento térmico.

- c. Un tanque de 8,000 galones para almacenar el asfalto base, con serpentín de calefacción y aislamiento térmico.
- d. Un tanque master de 10,000 galones para almacenar el asfalto modificado producido, con un caldero de aceite térmico, quemador de 400,000 kcal/hr, bomba centrífuga, serpentín de calefacción y aislamiento térmico.
- e. Cañerías, válvulas y conexiones.

En las siguientes fotografías se muestran las principales instalaciones de la planta utilizada para modificar el asfalto base con polímeros SBS :

Gráfico N° 3.2.14



MOLINO COLOIDAL Y BOMBA DE ASFALTO

Gráfico N° 3.2.16



TANQUES DE MODIFICACION Y ALMACENAMIENTO DE ASFALTO

Gráfico N° 3.2.15



ALIMENTADORES DE POLIMERO POR GRAVEDAD

3.5. Proceso de la modificación a escala industrial

El proceso de modificación del asfalto base pueden resumirse en las siguientes etapas:

ETAPA 1 : Comprobación de la calidad del asfalto base recibido mediante ensayos de viscosidad, penetración y punto de ablandamiento.

ETAPA 2 : Calentamiento del asfalto base hasta 180 °C antes de iniciar la incorporación del polímero.

ETAPA 3 : Incorporación, molienda, dispersión y homogenización del polímero en el asfalto base utilizando el molino coloidal. Proceso realizado a una temperatura de 180-190 °C, durante aprox. 5 horas.

ETAPA 4 : Control de calidad del asfalto modificado producido por inspección visual y verificación de su calidad mediante corrida de ensayos de laboratorio.

Para la modificación del asfalto base a escala industrial en obra se siguieron los siguientes pasos:

1. Comprobación del asfalto base recibido y trasegado al tanque de modificación. El volumen de cada batch fue de 7,500 galones.

Gráfico N° 3.2.17



**TERMO-TANQUE TRASEGANDO
ASFALTO BASE PEN 85-100 A TANQUE DE
MODIFICACION**

2. Calentamiento del asfalto base hasta 180-185 °C (máximo 190 °C).
3. Incorporación del polímero en la cantidad pre-establecida en el diseño, a una velocidad de 20-25 kg/minuto e inicio de agitación.

Gráfico N° 3.2.18**INCORPORACION DEL POLIMERO A
TANQUE MODIFICADOR**

4. Molienda, dispersión y homogenización del polímero por recirculación de la mezcla asfalto-polímero con el molino coloidal durante aprox. 5 horas, manteniendo el asfalto entre 180-185 °C en condiciones de agitación constante.
5. Inspección visual a contraluz de una película de asfalto modificado después de 5 horas de iniciado el proceso de modificación, para verificar su progreso o culminación. No debe observarse trazas de polímeros sin dispersar.

Gráfico N° 3.2.19**INSPECCION VISUAL A
CONTRALUZ**

6. Comprobación de culminación de proceso de modificación mediante ensayos de laboratorio, a fin de verificar cumplimiento de características especificadas.

Gráfico N° 3.2.20



**VERIFICACION DE LA
MODIFICACION MEDIANTE
ENSAYO DE PENETRACION**

Gráfico N° 3.2.20



**VERIFICACION DE LA
MODIFICACION MEDIANTE
MEDICION DE LA VISCOSIDAD**

7. Almacenamiento del asfalto modificado a 175-180 °C hasta su utilización en las próximas 16 horas.

3.6. Control de calidad del asfalto modificado

- Se realizó para cada producción o batch de 7,500 galones mediante los siguientes ensayos de laboratorio al final de cada modificación:
 - 1) Penetración (25 °C, 100 g, 5 sg),
 - 2) Punto de ablandamiento anillo y bola,
 - 3) Punto de inflamación,
 - 4) Ductilidad,
 - 5) Recuperación elástica por torsión a 25°C,
 - 6) Espuma,
 - 7) Estabilidad al almacenamiento (no exigido si el almacenamiento esta provisto de un sistema de homogenización adecuado,
 - 8) Residuo después del efecto de calor y aire

NOTAS:

1.- No fue necesario efectuar el ensayo de estabilidad al almacenamiento, toda vez que el asfalto modificado producido se utilizaba dentro de las 16 horas de culminada su fabricación, además que los tanques de almacenamiento contaban con agitadores que lo mantenían en continuo movimiento.

2.- El ensayo de residuo después del efecto de calor y aire se realizó en dos oportunidades a lo largo de la obra, es decir cada 380,000 galones de asfalto modificado fabricado.

- En la siguiente tabla se indica el promedio de cada parámetro ensayado en las 103 producciones de asfalto modificado realizadas a escala industrial en obra:

Tabla N° 3.3.2

ENSAYOS	UND	NORMA	MEDIDO (1)	ESPECIFIC.	
				Min.	Max.
Penetración (25 °c, 100g, 5s)	0,1 mm	MTC E 304	60	55	70
Punto de ablandamiento	°C	MTC E307	70	60	--
Punto de inflamación	°C	MTC E312	341	230	--
Peso específico, 25°C/25°C	gr/cc	MTC E318	1.020	--	--
Estabilidad de almacenamiento(*)					
<i>Diferencia punto de ablandamiento</i>	°C	MTC E307	--	--	--
<i>Diferencia de penetración</i>	mm	MTC E304	--	--	--
Viscosidad a 170 °C (1)	poise	ASTM D4402	2.8	--	--
Ductilidad a 5 °C	cm	MTC E306	62	15	--
Recuperación elástica torsional	%	NLT - 329/91	80	60	--
Espuma	Visual	--	NO	NO	NO
RESIDUO DESPUES DEL EFECTO DE CALOR Y AIRE					
<i>Penetración (25 °c, 100g, 5s)</i>	% Pen. Or.	MTC E 304	74	65	--
<i>Variación del peso</i>	% Resid.		0.01	--	1
<i>Ductilidad a 5 °C (5cm/min)</i>	cm	MTC E 306	17.2	8	--
<i>Variación punto de ablandamiento</i>	°C	MTC E 307	+ 6.8	-5	10

(1) Promedio de ensayos a 103 batch de asfalto modificado fabricado en obra (7,500 galones cada batch)..

- La penetración promedio del asfalto modificado es de 60 x 0.1 mm, mientras que en el asfalto base PEN 85/100 es de 91 x 0.1 mm, lo que indica que la adición de polímeros incrementa la dureza del asfalto base.
- El punto de ablandamiento promedio del asfalto modificado es de 70 °C, mientras que el del asfalto convencional PEN 60-70 de Talara de 50 °C, es decir es mayor en 40%; lo que indica que una mezcla asfáltica fabricada con asfalto modificado con polímeros SBS tendrá un comportamiento mas rígido y por ende mejor en el rango de 45-52 °C que es el que alcanzará el pavimento durante las horas pico de servicio. En consecuencia con el asfalto modificado con polímeros SBS se tendrá una mayor resistencia a las deformaciones permanentes o ahuellamiento.
- La recuperación elástica torsional promedio del asfalto modificado es de 80%, mientras que la del asfalto convencional PEN 60-70 de Talara de 8-

13%, lo que indica que la elasticidad del asfalto modificado es aproximadamente 800% mayor que la del asfalto convencional y en consecuencia tendrá un mejor comportamiento a la fatiga.

56	04/01/2008	64	70	72	60	340	2.1				
57	04/01/2008	62	70	81	62	342	2.3				
58	05/01/2008	63	73	78	63	344	2.2				
59	05/01/2008	64	70	79	61	338	2.4				
60	06/01/2008	60	70	73	61	346	2.6				
61	06/01/2008	60	69	83	64	340	2.5				
62	08/01/2008	67	70	74	60	342	2.2				
63	08/01/2008	59	66	83	60	348	2.2				
64	09/01/2008	65	65	85	65	350	2.1				
65	10/01/2008	58	70	81	61	348	2.7				
66	10/01/2008	57	68	86	63	348	2.3				
67	12/01/2008	65	70	83	64	350	2.2				
68	12/01/2008	57	76	83	65	338	3.3				
69	14/01/2008	55	77	88	64	340	3.6				
70	15/01/2008	65	70	75	63	342	2.1				
71	15/01/2008	55	68	83	64	344	2.3				
72	15/01/2008	66	70	78	62	350	2.3				
73	16/01/2008	55	71	86	65	336	2.6				
74	18/01/2008	63	70	83	60	348	2.2				
75	18/01/2008	69	66	79	61	340	2.2				
76	19/01/2008	69	67	78	62	336	2.2				
77	19/01/2008	59	67	82	60	344	2.1				
78	20/01/2008	58	68	73	64	342	2.3	0.140	71	6	25
79	21/01/2008	58	67	75	60	336	2.0				
80	21/01/2008	67	67	75	60	352	2.2				
81	22/01/2008	62	65	78	61	340	2.1				
82	22/01/2008	63	68	78	63	338	2.1				
83	23/01/2008	62	66	70	58	336	1.9				
84	27/01/2008	63	71	81	58	336	2.3				
85	27/01/2008	67	67	74	57	334	2.1				
86	28/01/2008	70	65	72	56	336	1.9				
87	22/03/2008	57	70	72	62	330	1.9				
88	23/03/2008	58	68	78	62	330	2.0				
89	23/03/2008	60	76	81	62	330	2.9				
90	25/03/2008	55	72	82	62	330	3.4				
91	27/03/2008	67	72	83	62	330	2.5				
92	27/03/2008	58	76	83	62	330	2.4				
93	29/03/2008	55	66	77	62	330	2.1				
94	29/03/2008	58	76	78	62	330	3.0				
95	30/03/2008	55	72	77	62	330	2.7				
96	31/03/2008	57	74	83	62	335	2.1				
97	01/04/2008	55	71	77	62	335	2.3				
98	02/04/2008	56	68	83	62	330	2.2				
99	02/04/2008	55	68	79	62	330	2.5				
100	03/04/2008	62	70	81	62	330	2.3				
101	03/04/2008	62	71	83	62	330	2.3				
102	04/04/2008	58	74	83	62	330	2.2				
103	05/04/2008	57	70	76	62	330	2.4				
SUMA		6,226	7,237	8,254	6,352	35,088	243	0	148	14	34
MAXIMO		70	77	88	77	355	3.6	0.1	77.0	7.5	25.0
MINIMO		55	65	68	45	330	1.9	0.1	71.0	6.0	9.3
VARIANZA		15.3	7.2	17.7	16.4	44.1	0.1	0.0	18.0	1.1	123.2
PROMEDIO		60	70	80	62	341	2.4	0.1	74.0	6.8	17.2
DESVIACION ESTANDAR		3.9	2.7	4.2	4.1	6.6	0.3	0.0	4.2	1.1	11.1

3.7. Ensayos de laboratorio realizados y su normatividad

a) Penetración a 25 °C (MTC E 304, ASTM D5, AASHTO T49)

Se utiliza para medir la consistencia del asfalto para su clasificación en los grados normalizados.

Se calienta en un baño de agua a temperatura controlada hasta 25°C (77°F), un recipiente con cemento asfáltico. Luego se apoya una aguja normalizada, de 100 g de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos medidos con cronometro. La medida de la penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0,1 mm.

Gráfico N° 3.2.21



ENSAYO DE PENETRACION

b) Punto de ablandamiento-anillo y bola (MTC E 307-2000, ASTM D 36, y AASHTO T 53)

Indica la tendencia a fluir que tiene la mezcla asfáltica cuando es sometida a temperaturas elevadas durante su vida en servicio. En consecuencia está relacionada con su tendencia al ahuellamiento.

El punto de ablandamiento del asfalto se utiliza también para establecer la uniformidad de los embarques o almacenamientos.

Gráfico N° 3.2.22



ESPECIMENES EN ANILLOS DE BRONCE

Gráfico N° 3.2.23



BOLAS CUBIERTAS DE ASFALTO TOCAN FONDO

c) Punto de inflamación (MTC E303, ASTM D92, AASHTO T48)

Indica la temperatura a la que puede calentarse de manera segura un asfalto, sin que se produzca la inflamación instantánea de los vapores liberados en presencia de una llama libre.

Esta temperatura es bastante menor que aquella a la que el asfalto entra en combustión permanente, denominada punto de combustión (fire point). Este ensayo sirve como prueba de seguridad en las operaciones de plantas asfálticas en caliente.

El ensayo más usado para medir el punto de inflamación de un cemento asfáltico es el "vaso abierto Cleveland", que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto y calentarlo con un aumento de temperatura normalizado, pasando una pequeña llama sobre la superficie del asfalto a intervalos de tiempo establecidos. El punto de inflamación es la temperatura a la cual se han desprendido suficientes volátiles como para provocar una inflamación instantánea.

Gráfico N° 3.2.24



ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACION

d) Estabilidad al almacenamiento de asfaltos modificados (MTC E319-2000, NLT 328/91)

Este ensayo es aplicable únicamente a asfaltos modificados con polímeros y su realización toma 6 días: 1 para la preparación y 5 para el ensayo..

Solo en casos de almacenamiento a altas temperaturas se puede producir en el asfalto modificado fenómenos de sedimentación o cremado, concentrándose los polímeros en la parte superior o inferior del tanque en función a sus densidades respectivas, enriqueciendo con polímeros el asfalto en estos sectores.

No existe riesgo de inestabilidad cuando el asfalto modificado se almacena a temperatura ambiente.

La estabilidad al almacenamiento se mide mediante ensayos de penetración y punto de ablandamiento, como la diferencia entre de las sub muestras

superior e inferior del almacenamiento, en el entendido que estos dos ensayos permiten mostrar la posible alteración de la homogeneidad de la muestra.

Gráfico N° 3.2.25



ENSAYO DE ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO

e) Ductilidad (MTC E 306, ASTM D 113, AASHTO T51)

Mide el alargamiento que presenta el asfalto sin romperse.

Se somete una probeta de cemento asfáltico a un ensayo de tracción en condiciones normalizadas de velocidad (5cm por minuto) y temperatura (generalmente 25°C), siendo la ductilidad la distancia máxima en centímetros que se estira la probeta hasta el instante que se rompa el hilo de asfalto que une ambos extremos de la muestra.

Generalmente se considera más significativo la presencia o ausencia de ductilidad que su magnitud o grado real.

La ductilidad se usa también como indicador de la edad del asfalto, puesto que si la muestra se rompe a valores menores que los característicos, nos indica que se trata de un asfalto envejecido, que ha perdido sus propiedades y en consecuencia pueden producirse grietas en la carpeta (cemento asfáltico craqueado).

Gráfico N° 3.2.26



ESPECIMEN EN PROCESO DE ESTIRAMIENTO

Gráfico N° 3.2.27



ESTIRAMIENTO MAXIMO

f) Recuperación Elástica Torsional a 25 °C (NLT-329/91)

Sirve para determinar el grado de elasticidad que presentan los asfaltos modificados con polímeros, toda vez que su incorporación proporciona al asfalto una elasticidad mayor que la que presenta sin polímeros.

Gráfico N° 3.2.28



PREPARACION DE LA MUESTRA



GIRANDO DISPOSITIVO DE TORSION EN SENTIDO HORARIO A 180 °C

g) Efecto de calor y aire en película delgada rotativa (RTFO) - (MTC E316-2000, ASTM D2872 Y AASHTO T240)

Más que un ensayo se trata de un procedimiento de laboratorio destinado a simular las condiciones de envejecimiento del asfalto en un pavimento real.

Se somete una muestra a condiciones de endurecimiento por oxidación similares a aquellas que ocurren durante las operaciones de mezclado en caliente y colocación (envejecimiento a corto plazo).

Esta tendencia al endurecimiento se mide mediante ensayos comparativos de penetración realizados antes y después del tratamiento en el horno o mediante ensayos comparativos de viscosidad si se desea. También pueden efectuarse medidas comparativas de la ductilidad, punto de ablandamiento y pérdida de peso.

Si la temperatura de mezclado difiere apreciablemente de los 150 °C a que se realiza el ensayo, se presentará sobre las propiedades del asfalto un efecto mayor o menor.

Gráfico N° 3.2.29



MUESTRAS EN RECIPIENTES DE VIDRIO

Gráfico N° 3.2.30



MUESTRAS DESPUES DEL ENSAYO

Capítulo 4

Diseño de la mezcla asfáltica en caliente

4.1. Temperaturas de mezclado y compactación

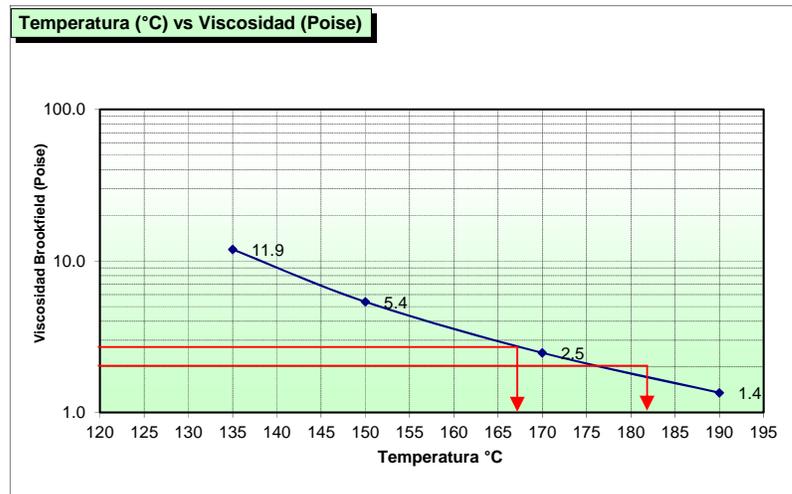
- El comportamiento reológico de un asfalto convencional y otro modificado con polímeros SBS, es diferente.
- Las temperaturas óptimas de mezclado y compactación del asfalto modificado con polímeros SBS fabricado en obra, se determinaron para efectos de su utilización en el diseño de mezclas en laboratorio, de manera inicial utilizando el mismo criterio aplicado para asfaltos convencionales: temperaturas correspondientes a las viscosidades de 0.17 ± 0.02 y 0.28 ± 0.03 Pa s, respectivamente.

Los valores así obtenidos resultaron claramente más altos que los necesarios:

Temperatura de Mezclado = 183 °C

Temperatura de Compactación = 167 °C

Tabla N° 4.1.1

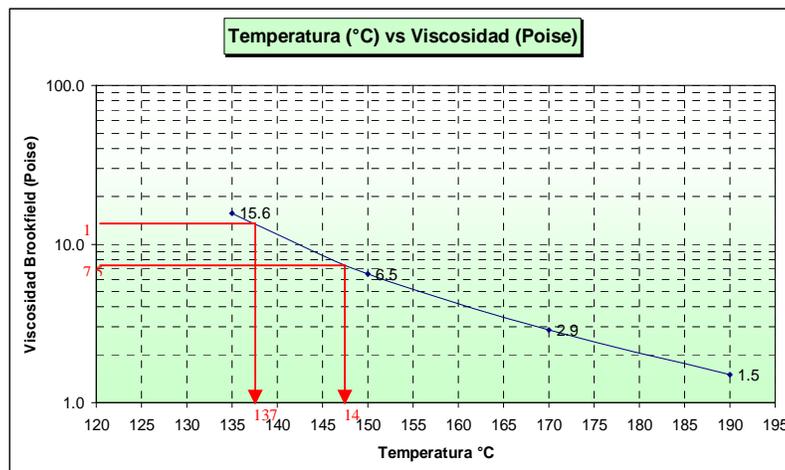


- A modo de comprobación, estas temperaturas se determinaron mediante
- el criterio propuesto por H. Bahia para asfaltos modificados: utilizar las correspondientes a viscosidades de 0.75 y 1.4 Pa.s respectivamente.

Los valores obtenidos son menores que los anteriores en aprox. 30 °C:

Temperatura de Mezclado = 147 °C
 Temperatura de Compactación = 137 °C

Tabla N° 4.1.2



- Estas últimas temperaturas resultan aparentemente mejores que las primeras por ser más bajas y reducirse el riesgo de degradación del polímero por sobre calentamiento. Sin embargo se encuentran muy por debajo de los valores comúnmente utilizados en experiencias satisfactorias de nuestro asesor, quien recomendó realizar el diseño de mezclas de laboratorio con las temperaturas óptimas:

Temperatura de Mezclado = 165 °C
 Temperatura de Compactación = 155 °C

- Estas temperaturas utilizadas para diseños de mezcla en laboratorio, se ajustaron en un tramo de prueba a los siguientes valores, para su utilización en la preparación y colocación de mezcla asfáltica a escala industrial: :

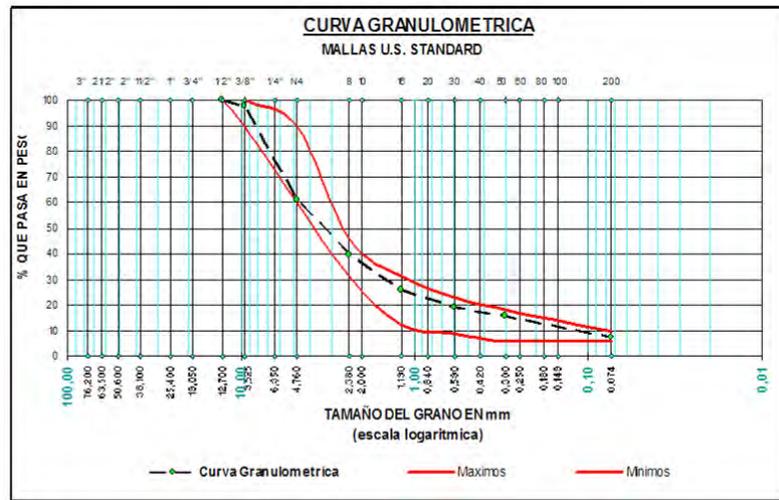
Temperatura de Mezclado = 175 °C
 Temperatura de Compactación = 160 °C

4.2. Diseño de la mezcla asfáltica en caliente

- Se utilizó el método Marshall para el diseño en laboratorio de la mezcla asfáltica con asfalto modificado con polímeros SBS y su control en campo.
- Se seleccionó la faja granulométrica del Huso 2 de las Especificaciones Técnicas del proyecto, con un agregado de tamaño máximo nominal de 1/2", por ser la que mejor se ajustaba en lo económico a nuestra propuesta: requiere solo de 10 a 40% de piedra chancada. Ver numeral 2.2, literal c) anterior:

Tabla N° 4.2.1 Granulometría Empleada

TAMIZ	ESPECIFICACION HUSO 2		GRANULOMETRI A PROCESADA EN CANTERA
1/2"	100		100
3/8"	90	100	97.2
No 4	60	90	61.2
No 8	31	46	39.4
No 16	12	31	25.7
No 30	9	23	19.2
No 50	6	18	15.5
No 200	6	10	7.2



- Se prepararon varias mezclas de prueba y efectuaron los ajustes correspondientes hasta encontrar aquella que cumplió con todos los criterios de diseño especificados (diseño preliminar de laboratorio).

La **Formula de Trabajo** quedó establecida con una producción de mezcla en planta para verificar que los parámetros Marshall del diseño preliminar estaban dentro de los límites o criterios de diseño establecidos.

FORMULA DE TRABAJO

Optimo contenido de asfalto modificado	6,30%
Porcentaje de grava	37,00%
Porcentaje de arena:	
Arena chancada	10,00%
Arena zarandeada	50,20%
Porcentaje de filler	2,80%
TOTAL =	100,00%

- A continuación se muestra las propiedades medidas y calculadas comparadas con los criterios de diseño especificados en el proyecto (numeral 2.2 anterior):

Tabla N° 4.2.2

ENSAYOS	NORMA	UND	PROPIEDADES MEDIDAS Y CALCULADAS	CRITERIOS ESPECIFICADOS	
				Min.	Max.
Peso unitario		--	2.32	--	--
Optimo contenido de asfalto		--	6.30%	--	--
No de golpes-compactación		--	75	--	--
Estabilidad Marshall-75 golpe/cara	MTC E 504	Kgf	1740	700	--
Fluencia Marshall		mm	3.8	2.5	4.5
Porcentaje de vacíos - Marshall	MTC E 505	%	4.7	4%	--
Relación bitumen x vacíos		%	79.3	65%	82%
Relación filler x bitumen		--	1.08	0.6	1.2
Desgaste Cantabro	MTC E 515	%	7.28	--	20%
Desgaste Cantabro envejecido (1)		%	14	--	30%
Estabilidad retenida		%	90	75%	--
Variación teórico de bitumen		%	0.2	--	0.20%
Mínimo vacíos agre. mineral (3/8")		--	17.2	16.2	

4.3. Control de calidad

- El control de calidad de los agregados utilizados y de la mezcla asfáltica producida se realizó mediante los siguientes métodos de ensayo y frecuencias respectivas, que se especificaban en el proyecto:

Tabla N° 4.3.1 Ensayos y frecuencias para el agregado mineral y la mezcla asfáltica en caliente

MAT.	PROPIEDADES O CARACTERISTICAS	NORMA	FRECUENCIA	LUGAR DE MUESTREO
Agregados	Granulometría	MTC E 204	1 cada 200m3	Tolva en frío
	Desgaste Los Ángeles	MTC E 207	1 cada 1,000 m3	Tolva en frío
	Pérdida sulfato de sodio.	MTC E 209	1 cada 1,000 m3	Tolva en frío
	Pérdida sulfato de magnesio.	MTC E 209	1 cada 1,000 m3	Tolva en frío
	Índice plástico del mat. pasa malla No 40 y malla No 200	MTC E 111	1 de cada uno (ambos cada 200 m3)	Tolva en frío
	Equivalente de arena	MTC E 114	1 cada 200 m3	Tolva en frío
	Partículas chatas y alargadas	ASTM D4791	1 cada 500 m3	Tolva en frío
	Absorción agr.fino y agr.grueso	MTC E 206	1 de cada uno (ambos cada 200 m3)	Tolva en frío
	Sales solubles totales	MTC E 219	1 de cada uno	Tolva en frío

	agr. Fino y agr. grueso		(ambos cada 200 m3)	
	Partículas fracturadas	MTC E 210	1 cada 500 m3	Tolva en frío
	Adherencia	MTC E 519	1 cada 1000 m3	Tolva en frío
	Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	1 cada 1000 m3	Tolva en frío
Mezcla asfáltica	Contenido de asfalto	MTC E 502	4 por día	Del camión
	Granulometría		4 por día	Del camión
	Ensayo Marshall	MTC E 504	4 por día	Del camión
	Temperatura		Cada volquete	En pista y planta
	Recuperac. elást. por torsión (asf. modif.-método español)		1 por día	Del camión
	Resistencia al deslizamiento por péndulo británico	MTC E 1004	1 por día	Pista compactada
	Ensayo Cantabro		1 por día	Del camión
	Resist. daño inducido p/hum.	AASHTO-283	1 cada 1,000 m3	Del camión
	Deformación permanente		1 cada 2 días	Del camión
	Densidad	MTC E 509	1 Cada 500m2	Pista compactada
		MTC E 514		
Espesor	MTC E 507	1 Cada 500m2	Pista compactada	

4.4. Costo teórico de producción: Mezcla asfáltica convencional VS Mezcla asfáltica modificada con polímeros SBS

Se consignan los análisis de precios unitarios de la producción de mezcla asfáltica con polímeros SBS y de la mezcla asfáltica convencional, siendo la primera 33 % más costosa.

Tabla N° 4.4.1

COSTO UNITARIO DE PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMEROS SBS

PESO UNIT. DE M.A.C (compac.): 2324 kg RENDIMIENTO: 300 m3/día
FECHA: 29/03/2009

INSUMOS	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	PARCIAL (S/.)	TOTAL (S/.)
MANO DE OBRA						
Operario	hh	2,75	0,0733	11,20	0,82	2,10
Peón	hh	3	0,0800	10,07	0,81	
Oficial	hh	2	0,0533	8,93	0,48	
MATERIALES						
Asfalto modificado	gal	6,30%	38,6822	9,80	379,09	509,70
Cal (filler)	kg	2,80%	65,0720	0,40	26,03	
Piedra chancada	m3	37%	0,6081	50,90	30,95	
Arena	m3	60,20%	0,9156	45,00	41,20	
Aditivo Morlife 500	kg	0,50%	0,7321	10,00	7,32	
Petróleo	gal		3,5820	7,01	25,11	
EQUIPO						

Planta de asfalto	hm	1	0,0267	350,00	9,33	18,13
Cargador frontal	hm	1	0,0267	160,00	4,27	
Quemador	hm	1	0,0267	100,00	2,67	
Generador 400 kw	hm	1	0,0267	70,00	1,87	

COSTO POR METRO CUBICO (S/m3) = 529,93

COSTO UNITARIO DE PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL

PESO UNIT.DE M.A.C (Compac.) : 2320 kg RENIDMIENTO: 340 m3/dia

INSUMOS	UND	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (S/.)	PARCIAL (S/.)	TOTAL (S/.)
MANO DE OBRA						
Operario	hh	2,75	0,0647	11,20	0,72	1,86
Peón	hh	3	0,0706	10,07	0,71	
Oficial	hh	2	0,0471	8,93	0,42	
MATERIALES						
Asfalto PEN 60/70	gal	5,90%	36,1638	7,01	253,47	379,55
Cal (filler)	kg	2,80%	64,9600	0,40	25,98	
Piedra chancada	m3	40%	0,6563	50,90	33,41	
Arena	m3	57,20%	0,8685	40,00	34,74	
Aditivo Morlife 500	kg	0,50%	0,6844	10,00	6,84	
Petróleo	gln		3,582	7,01	25,11	
EQUIPO						
Planta de asfalto	hm	1	0,0235	350,00	8,24	16,00
Cargador frontal	hm	1	0,0235	160,00	3,76	
Quemador	hm	1	0,0235	100,00	2,35	
Generador 400 kw	hm	1	0,0235	70,00	1,65	

COSTO POR METRO CUBICO (S/m3) = 397,41

RELACION DE COSTOS DE PRODUCCION : $\frac{529,93}{397,41} = 133\%$

Capítulo 5

Fabricación y colocación de la mezcla asfáltica en caliente

5.1. Fabricación de la mezcla

- Se utilizó una planta de asfalto continua, de contra flujo, marca CIBER, modelo UACF 17P Adv de 120 ton/hr de capacidad (60 m³/hr).
- Este tipo de planta minimiza el envejecimiento del asfalto por oxidación durante la fabricación de la mezcla. Los agregados discurren en el tambor secador o drum a contra flujo de la llama y la mezcla con el asfalto se desarrolla en un espacio físico diferente denominado batea de dosificación y mezclado, de modo que el cemento asfáltico nunca entra en contacto con la llama.
- El funcionamiento de la planta se encuentra totalmente automatizado y todos los procesos son controlados por un ordenador desde la cabina de mando.
- La dosificación del filler (cal hidratada) se efectúa mediante un alimentador de tornillo sinfín, controlado también por ordenador desde la cabina de mando.
- El aditivo mejorador de adherencia líquido que se utilizó, se agregaba de manera manual directamente en los tanques de almacenamiento de asfalto modificado.
- La mezcla asfáltica producida se descargaba en la tolva de los volquetes a una temperatura de 175 °C, por medio de una faja transportadora que entregaba primeramente a un tolvin de 1 m³ de capacidad, desde donde finalmente se descargaba a la tolva de los volquetes como se muestra en la fotografía adjunta.

- El control de la temperatura de la mezcla asfáltica producida, se realizó de tres maneras diferentes: a) mediante una termocupla ubicada en el tolvin, b) desde el ordenador en la cabina de mando y c) mediante mediciones directas con termómetro en la tolva de los volquetes a medida que se llenaban.

Gráfico N° 5.1.1



MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE CON ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS SBS

Gráfico N° 5.1.2



PLANTA DE ASFALTO A CONTRAFLUJO

5.2. Transporte de la mezcla

- Se realizó con 12 volquetes de 16 m³ de capacidad, con cubierta de mantas de lona para evitar perdida de temperatura en la mezcla.
- Las distancia máximas y mínimas de transporte fueron de 62 km y 6 km respectivamente.
- Durante el transporte mas largo la mezcla asfáltica sufría un enfriamiento de aprox. 5 °C, principalmente en la parte superior y en el contacto con la caja del volquete.
- El tiempo efectivo de vaciado de cada volquete de 16 m³ fue normalmente de 16 minutos aprox.

Gráfico N° 5.2.3



VOLQUETE DE 16 m³ PARA EL TRANSPORTE DE LA MEZCLA ASFALTICA

5.3. Colocación de la mezcla

- Para la colocación de la mezcla asfáltica con asfalto modificado con poliedros SBS se utilizó:
 - 1 pavimentadora sobre orugas marca Terex, modelo VDA 700 (600 ton/hr-150 HP, equipada con dispositivo de pre-compactación denominado tamper.
 - 1 rodillo neumático marca Hamm, modelo GRW 15, de 23 ton de peso,
 - 1 rodillo liso vibratorio autopropulsado de doble rola marca Hamm, modelo HD 110, de 11.68 ton de peso, 131 HP, 3,000 vib/minuto.
- La limpieza de la superficie de rodadura sobre la que se debía colocar la recapa, se realizó previo al riego de liga, primero con una barredora liviana acoplada a un mini cargador y finalmente con aire comprimido suministrado por una compresora móvil de 185 pcm.
- El riego de liga se realizó con emulsión asfáltica de rotura lenta con polímeros SBR al 3%.
- A fin de minimizar la rugosidad en la superficie de rodadura, se evitó en la medida de lo posible detener la pavimentadora, siendo la única razón para hacerlo el cambio del volquete por falta de material en la tolva.
- Se evitó el trabajo manual de rastrillado sobre la mezcla recién tendida.
- Por día se colocaba mezcla en el ancho de un carril: 3.6 ml. Al día siguiente se completaba el carril adyacente.
- El tiempo utilizado para descargar y tender cada volquetada de 16 m³ fue de aproximadamente 16 minutos.
- Se utilizó una solución de *agua-detergente líquido-diesel* para evitar que el asfalto del riego de liga se pegue en los neumáticos de los volquetes y del rodillo neumático respectivamente.

Gráfico N° 5.3.4



RIEGO DE LIGA CON EMULSION ASFALTICA MODIFCADA CON POLIMEROS SBR AL 3%

Gráfico N° 5.3.5



COLOCACION Y COMPACTACION MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLIMEROS SBS

5.4. Compactación de la mezcla

- Se tuvo en consideración:
 - a) Que en mezclas delgadas es más difícil obtener la densidad y porcentaje de vacíos previstos, debido al rápido enfriamiento de la mezcla.
 - b) Que la utilización de agregado 100 % chancado como el utilizado, dificultan la trabajabilidad y compactación de la mezcla.
- Se entrenó al personal involucrado en la compactación:capataz y operadores de rodillos, consientizándolos en lo crítico que resulta esta actividad para la durabilidad del pavimento.

- Se verificó la relación:

$$e / TM_{na} = 40/9.5 = 4.44 > 3$$

donde e = Espesor de la capa a colocar
 TM_{na} = Tamaño máximo nominal del agregado

que recomienda la NTAT (*Nacional Center for Asphalt Technology -USA, ERBrown 2005*) en mezclas delgadas a fin de evitar dificultades para alcanzar el porcentaje de vacíos adecuado.

- Se controló el porcentaje compactación alcanzado y los vacíos de aire de la mezcla asfáltica compactada. El proyecto especifica un porcentaje de compactación mínimo de 98%.

El porcentaje de vacíos de aire se midió utilizando la siguiente formula:

$$\% \text{ Vacíos} = 100(\text{peso especif. teórico máx.} - \text{peso especif. bulk de briqueta}) / \text{peso especif. teórico máx.}$$

donde:

peso especif. teórico máx. = es el peso especifico de la mezcla para la condición de cero vacíos. Se midió por el ensayo ASTM D2041 (método de saturación en vacío Rice)

peso especif. bulk briqueta = Se determinó en el laboratorio a partir de testigo extraído

- El coeficiente volumétrico utilizado para la mezcla asfáltica confeccionada con polímeros SBS, para pasar de su condición de mezcla suelta a mezcla compactada es de 1.25, similar al utilizado en la mezcla asfáltica con asfalto convencional.

- El inicio del proceso de compactación fue considerado un factor crítico. El rodillado se iniciaba con el ingreso del rodillo liso en modo de vibración, a alta frecuencia y alta amplitud, con la mezcla asfáltica en pista a una temperatura de aprox. 170 °C. El rodillo neumático ingresaba inmediatamente detrás del rodillo liso, a la misma temperatura de 170 °C. Las temperaturas se midieron en pista mediante un termómetro blindado de vástago largo con un rango de 0-250 °C .
- La secuencia de compactación, el número y tipo de rodillos utilizados, su velocidad y número de pasadas sobre un área determinada se indican en el “Plan de Rodillado” de la figura adjunta.
- Se registraron en formularios adecuados los datos correspondientes a la longitud de avance de cada volquetada, lado de colocación, temperatura de la mezcla en tolva y en pista y temperatura ambiente.
- La apertura al tránsito de la mezcla asfáltica colocada se realizó por tramos de 1,000 mts, aproximadamente 20 minutos después terminarse la compactación, cuando la mezcla había alcanzado una temperatura aproximada de 60 °C.

Gráfico N° 5.4.1

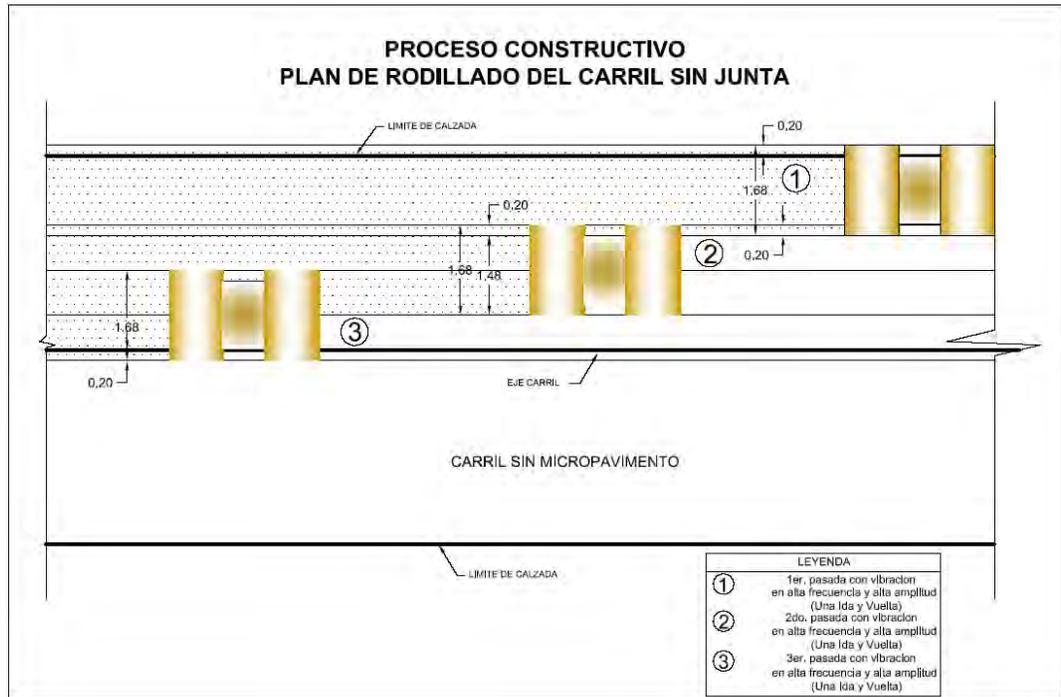
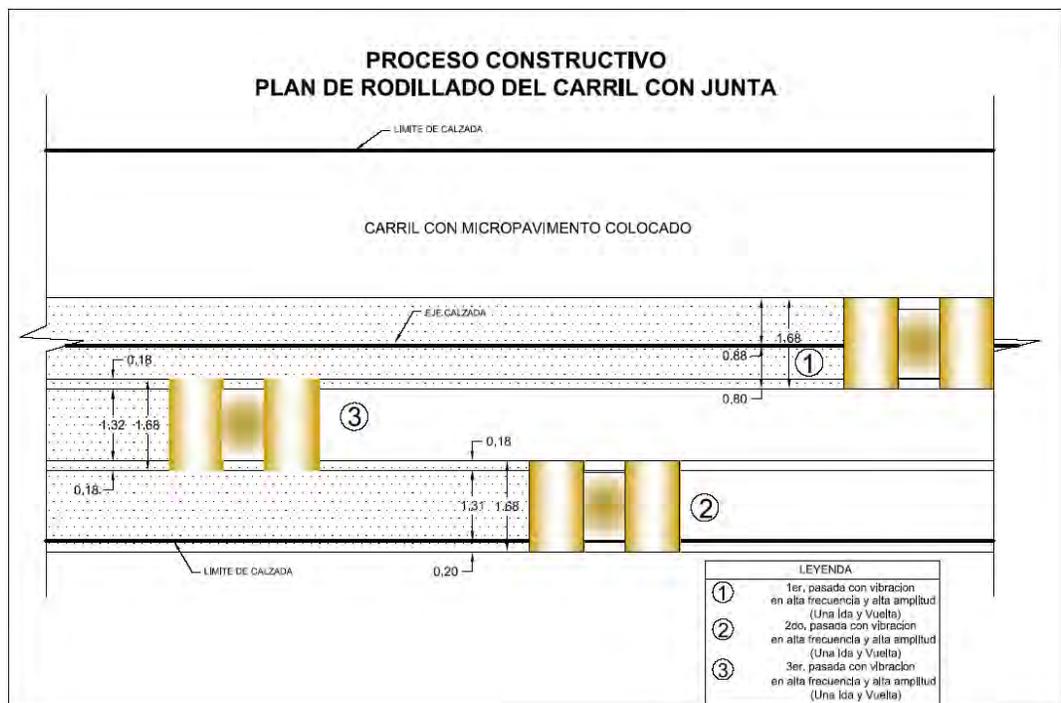


Gráfico N° 5.4.2



5.5. Control de calidad de la mezcla asfáltica producida

- La calidad de la mezcla asfáltica producida se controló mediante los siguientes ensayos, también indicados en las especificaciones técnicas del proyecto:

Contenido de asfalto: Se tomaron cuatro (4) muestras, indistintamente en pista y/o en planta por cada jornada de trabajo para determinar el contenido de asfalto residual (ARI %), el cual debe tener de acuerdo a lo previsto en la especificación, una tolerancia de \pm tres por mil ($\pm 0.3\%$), del valor establecido en la fórmula de trabajo (ARF).

Gráfico N° 5.5.1



**CENTRIFUGA PARA LOS
LAVADOS ASFALTICOS**

Granulometría de los agregados: Con las muestras utilizadas para determinar el contenido de asfalto se determinó también la composición granulométrica de los agregados. La curva granulométrica de los agregados debe encontrarse dentro de los límites especificados y ajustarse a la fórmula de trabajo con las tolerancias indicadas en el numeral 2.2 literal c).

Gráfico N° 5.5.2



ENSAYO DE GRANULOMETRIA

Resistencia: Se tomaron cuatro (4) muestras de mezcla asfáltica producida por jornada de trabajo para determinar en laboratorio la estabilidad o resistencia Marshall, cuyo valor debe ser igual o superior a la estabilidad mínima establecida en la Tabla “Parámetros o Criterios de Diseño para la Mezcla Asfáltica en Caliente con Polímeros SBS” del numeral 2.2 anterior.

Gráfico N° 5.5.3



**MEDICION DE LA ESTABILIDAD
O RESISTENCIA MARSHALL**

Flujo: Con las probetas confeccionadas para el ensayo de estabilidad Marshall se determina el flujo de la mezcla asfáltica, cuyo valor debe encontrarse entre 2.5 a 4.5 mm, según lo establecido en la Tabla “Parámetros o Criterios de Diseño para la Mezcla Asfáltica en Caliente con Polímeros SBS” del numeral 2.2 anterior.

Gráfico N° 5.5.4



Medición del flujo Marshall

En la siguiente tabla se indica el valor promedio de contenido de asfalto, estabilidad y flujo, correspondientes a 103 jornadas de trabajo en que se colocó 46,500 m³ sueltos de mezcla asfáltica en caliente fabricada con asfalto modificado con polímeros SBS.

Tabla N° 5.5.1

CARACTERISTICA	UND	PROMEDIOS					PROMEDIO TOTAL
		Tramo No 1	Tramo No 2	Tramo No 3	Tramo No 4	Tramo No 5	
Contenido de Asfalto	%	6.41	6.42	6.22	6.4	6.42	6.37
Estabilidad	Kg f	1,541	1,588	1,687	151	1,671	1,612
Flujo	mm	3.7	3.5	3.8	3.6	3.8	3.68

5.6. Control de calidad del producto terminado

La calidad de la capa asfáltica terminada se controló mediante los siguientes ensayos especificados en el proyecto:

Compactación: Las especificaciones del proyecto precisan que la densidad media de cada tramo construido debe ser cuanto menos, el 98% de la media obtenida al compactar en laboratorio con técnica Marshall seis (6) probetas por jornada de trabajo.

Para el control de la compactación se obtuvo un núcleo diamantino por cada 250 m² de recapa colocada, determinando la densidad de la mezcla asfáltica con un mínimo de seis (6) determinaciones de densidad por jornada de trabajo o tramo por aprobar. La toma de muestras se efectuó según lo indicado en la norma MTC E 509 y la densidad según lo indicado en la norma MTC E 506.

Gráfico N° 5.6.1



**EXTRACCION DE NUCLEO
DIAMANTINO PARA
DETERMINACION DE LAS
DENSIDADES**

Espesor: Las especificaciones del proyecto precisan que el espesor medido cada determinación debe ser cuanto menos igual al 95% del espesor de diseño.

Con los mismos núcleos diamantinos del control de compactación se determinó el espesor de la recapa colocada.

Gráfico N° 5.6.2



**MEDICION DEL ESPESOR DE LA
RECAPA COLOCADA EN NUCLEO
DIAMANTINO EXTRAIDO**

Lisura: Las especificaciones del proyecto precisan que la superficie acabada no debe presentar irregularidades mayores a 10 mm.

Estas irregularidades se comprobaron con una regla de aluminio de 3 metros de longitud, colocada paralela y perpendicularmente al eje de la vía.

Gráfico N° 5.6.3



**MEDICION DE LA LISURA CON
REGLA DE ALUMINIO DE 3
METROS**

Coefficiente de Fricción: Las especificaciones del proyecto precisan que el coeficiente de fricción no debe ser menor de 0.45 en cada ensayo individual.

El coeficiente de resistencia al deslizamiento se determinó según la norma MTC E 1004, mediante dos pruebas por jornada de trabajo.

Gráfico N° 5.6.4



MEDICION DEL COEFICIENTE DE RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO O MICROTEXTURA CON PENDULO BRITANICO

Textura superficial: Las especificaciones del proyecto precisan que el valor obtenido debe encontrarse entre 0.3 mm y 0.6 mm.

La evaluación superficial del pavimento se realizó cada 250 m en carriles alternados, mediante el ensayo de “determinación de altura de arena equivalente”, según la norma MTC E 1005.

Gráfico N° 5.6.5



Medición de la textura superficial o macrotextura mediante el método del círculo de arena

Regularidad Superficial o Rugosidad: Las especificaciones del proyecto precisan que la rugosidad en términos IRI característico (IRI_c) debe tener un valor máximo de 2.5 m/km.

La rugosidad superficial de la recapa colocada, en unidades IRI, se determinó de manera interdiaria mediante el empleo del MERLIN (rugosímetro tipo I). La medición se efectuó en cada carril en forma continua, en las huellas, cada 300 mts.

Gráfico N° 5.6.6



MEDICION DE LA RUGOSIDAD

Deflexiones sobre la carpeta asfáltica: La capacidad estructural del pavimento se evaluó con el empleo de la Viga Benkelman, con una frecuencia de mediciones de 50 mts alternados en cada sentido y carril en todo el tramo.

Con esta información se obtuvo la deflexión máxima, característica y admisible.

Gráfico N° 5.6.7



DEFLECTOMETRIA CON VIGA BENKELMAN

En la siguiente tabla se indica el valor promedio de los ensayos de control de calidad del producto terminado, correspondiente a 103 jornadas de trabajo en

que se colocó 46,500 m³ sueltos de mezcla asfáltica en caliente fabricada con asfalto modificado con polímeros SBS.

Tabla N° 5.6.1

CARACTERISTICA	UND	PROMEDIOS					TOTAL
		Tramo No 1	Tramo No 2	Tramo No 3	Tramo No 4	Tramo No 5	
Compactación	%	98.24	98.2	98.2	98.06	98.06	98.15
Espesor	cm	4.00	4.04	4.11	4.03	4.03	4.04
Lisura	Longitudinal	mm	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
	Transversal	mm	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
Coefficiente de Fricción	`-	0.57	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
Textura Superficial	mm	0.49	0.49	0.52	0.50	0.50	0.50
IRI característico	Derecha	m/km	1.13	1.56	1.56	1.49	1.31
	Izquierda	m/km	1.14	1.61	1.47	1.60	1.45
Deflexiones	Derecha	mm/100	23.50	21.40	38.80	60.80	94.10
	Izquierda	mm/100	21.90	21.60	36.40	57.40	40.20

Conclusiones

Luego de efectuado el trabajo y de haber verificado la validez de la hipótesis propuesta, podemos concluir lo siguiente:

1. El punto de ablandamiento promedio del asfalto modificado producido fue de 70 °C, en tanto que el del asfalto convencional PEN 60-70 comúnmente utilizado en la zona solo es de 50 °C.
Esta diferencia de 20 oC que representa un incremento del punto de ablandamiento de mas del 40% nos indica que una mezcla asfáltica con asfalto modificado con polímeros SBS tendrá una mayor resistencia a las deformaciones permanentes o ahuellamiento que una mezcla con asfalto convencional .
2. La recuperación elástica torsional promedio del asfalto modificado producido fue de 80%, en tanto que la del asfalto convencional PEN 60-70 comúnmente utilizado en la zona es de 8-13%,
Esta diferencia de elasticidad del asfalto modificado respecto del convencional, de aproximadamente 800% nos indica que una mezcla asfáltica con asfalto modificado con polímeros SBS tendrá un mejor comportamiento a la fatiga que una mezcla con asfalto convencional.
3. El costo adicional del m³ de mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado con polímeros SBS respecto del preparado con asfalto convencional es del orden de 30-40 % y los especialistas estiman que su uso en la preparación de mezclas asfálticas para pavimentación, elevan la vida útil del pavimento de 2 a 3 veces.

Finalmente, con el objeto de asegurar el éxito de la fabricación de asfalto modificado con polímeros SBS en obra, así como de la producción y colocación de mezcla asfáltica con este tipo de asfalto, se proporcionan las siguientes recomendaciones:

- 1) Es necesario contar con el equipo de laboratorio requerido para realizar en obra todos los ensayos especificados en el proyecto para asfaltos y mezclas asfálticas convencionales y con polímeros SBS.

- 2) Es imprescindible contar con asesoría profesional especializada y personal técnico en obra suficientemente entrenado en la técnica de modificación de asfaltos.
- 3) Es muy importante coordinar antes del inicio de las operaciones con el proveedor de asfalto base la necesidad de un suministro homogéneo y de la calidad requerida para asegurar que el proceso de modificación se cumpla sin interferencias.
- 4) Es suficiente comprobar, antes de descargar el asfalto base del termotanque, su calidad mediante los ensayos de viscosidad, penetración y punto de ablandamiento.
- 5) Es suficiente evaluar la culminación de cada proceso de modificación, con los siguientes tres ensayos básicos: penetración, punto de ablandamiento y recuperación elástica torsional. Si estos resultados son satisfactorios es muy altamente probable que los demás parámetros de calidad del asfalto modificado también se cumplan.
- 6) Si el asfalto modificado producido no se va a utilizar en las próximas 48 horas, será más conveniente dejarlo enfriar a temperatura ambiente en los tanques de almacenamiento, que mantenerlo almacenado caliente; no solo por economía sino para evitar que se produzcan fenómenos de sedimentación o cremado del polímero.
- 7) Conseguir compactar una mezcla asfáltica en caliente delgada y con agregados 100 % triturados hasta un valor mínimo de 98% de la densidad Marshall de laboratorio, es una tarea complicada que requiere poner énfasis en el planeamiento, organización y seguimiento de las tareas inherentes al proceso de compactación, el mismo que debe ser flexible e iterativo de manera de ir produciendo mejoras desde el primer día de trabajo hasta establecer un programa de tareas bien coordinadas que produzcan los resultados esperados.
- 8) Los rodillos liso y neumático deben ingresar a compactar lo antes posible y trabajar lo más junto posible a la pavimentadora para alcanzar la compactación deseada.
- 9) En la mezcla asfáltica con polímeros SBS, el coeficiente volumétrico utilizado para pasar de su condición compacta a suelta es de 1.25, similar al utilizado para mezclas asfálticas con asfalto convencional.