

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**“COMPORTAMIENTO DEL ASFALTO PEN 85/100 MODIFICADO CON POLÍMEROS
SBS APLICADO EN EL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS COSTERAS-
APLICACIÓN SULLANA – AGUAS VERDES”**

INFORME DE COMPETENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JULIO CESAR CONDOR VILLEGAS

Lima- Perú

2014

Dedicatoria

*A mis padres, por sus enseñanzas
que guían mi camino.*

INDICE

RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES	10
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	10
1.2.1. Objetivo general	10
1.2.2. Objetivos específicos.....	10
1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS	10
1.4. METODOLOGÍA.....	11
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	12
2.1. CEMENTO ASFÁLTICO.....	12
2.1.1. Definición del Cemento Asfáltico	12
2.1.2. Proceso de obtención del asfalto.....	12
2.1.3. Tipo de asfaltos	15
2.1.4. Composición química del asfalto	16
2.1.5. Clasificación de los cementos asfálticos.....	23
2.1.6. Ensayos.....	25
2.2. LOS POLIMEROS SBS.....	26
2.2.1. Definición.....	26
2.2.2. Características físico mecánicas del polímero SBS	27
2.2.3. Deterioro de los polímeros.....	28
2.3. ASFALTO MODIFICADO	31
2.3.1. Generalidades	31
2.3.2. Clasificación de los modificadores.....	31
2.3.3. Los asfaltos modificados con polímeros.....	33
2.3.4. Compatibilidad polímero asfalto	34
2.3.5. Parámetros que influyen en el proceso de modificación	36
2.3.6. Cambios en las Propiedades del asfalto.....	38
2.3.7. Influencias en las mezclas asfálticas.....	41
2.3.8. Formas de modificación del cemento asfáltico con polímeros SBS.	41

2.3.9. Temperatura de mezclado y compactación en mezclas bituminosas con la utilización del cemento asfáltico modificado.....	42
CAPÍTULO III: APLICACIÓN EN LA CARRETERA SULLANA – AGUAS VERDES	45
3.1. EXIGENCIAS DE CALIDAD	45
3.1.1. Cemento asfáltico modificado.....	45
3.1.2. Mezcla asfáltica en caliente con cemento asfáltico modificado con polímero SBS.....	48
3.2. Modificación de cemento Asfáltico PEN 85/100 con Polímeros SBS	52
3.3. MEZCLA CON ASFALTO CONVENCIONAL.....	56
3.3.1. Caracterización del material granular	56
3.3.2. Caracterización del asfalto base.....	63
3.3.3. Caracterización de la mezcla asfáltica convencional - diseño Marshall	64
3.4. MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO.....	65
3.4.1. Caracterización del material granular	65
3.4.2. Caracterización del asfalto modificado	65
3.4.3. Caracterización de la mezcla con asfalto modificado - diseño Marshall	68
CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE RESULTADOS IN SITU.....	70
4.1. MODIFICACION DEL CEMENTO ASFALTICO CON POLIMERO SBS	70
4.1.1. Evaluación técnica - económica de los polímeros	77
4.2. DISEÑO DE MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO	82
4.3. DISEÑO DE MEZCLA CON ASFALTO CONVENCIONAL	84
4.4. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEZCLAS.....	85
CAPÍTULO V: PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE ASFALTO MODIFICADO A ESCALA INDUSTRIAL.....	88
5.1. MODIFICACIÓN DEL ASFALTO A ESCALA INDUSTRIAL.....	88
5.1.1. Equipo Utilizado.....	88
5.1.2. Metodología usada para la modificación a escala Industrial.....	89
5.1.3. Procedimiento para la caracterización de la mezcla asfalto - polímero.....	90
5.1.4. Análisis de los datos	94
5.1.5. Resultados.....	95
5.2. PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA A ESCALA INDUSTRIAL ELABORADA CON ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO SBS	96

5.3. COLOCACIÓN Y COMPACTACION DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA	97
5.3.1. Elección de los equipos de conformación y compactación.....	98
5.3.2. Tramo de prueba	99
5.3.3. Proceso de colocación y compactación de la mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado	102
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	106
6.1. CONCLUSIONES.....	106
6.2 RECOMENDACIONES	109
BIBLIOGRAFÍA	110
ANEXOS	112

RESUMEN

La geomorfología peruana, su diversidad de los climas y las mayores cargas de tránsito pesado exigen que las carpetas de rodadura de las carreteras tengan un mejor desempeño ante la deformación y resistencia a la fatiga dándoles por ende una duración mayor.

Estas exigencias en las características físicas y mecánicas de los pavimentos y en especial de la carpeta de rodadura, requiere tener conocimiento sobre los materiales y técnicas usadas con resultados favorables, aprovechando para ello la experiencia ganada en nuestro país.

Existe experiencia en la utilización de modificadores del cemento asfáltico para la preparación de mezclas asfálticas en países como: Argentina, Bolivia, Ecuador, Brasil, México, etc., con resultados aceptables como alternativa viable.

El tramo de la Carretera Panamericana Norte entre las ciudades de Sullana – Aguas Verdes ha sido objeto de diversos estudios de rehabilitación y mantenimiento que datan desde el año de 1956 hasta el 2003 (año en que se terminó la elaboración del estudio definitivo). Estos estudios concluyeron que para sectores identificados en el proyecto, es necesario mejorar la superficie de rodadura con un revestimiento de micro pavimento elaborado con asfalto modificado con polímero SBS. Dado que los polímeros SBS mejoran la susceptibilidad térmica del ligante, propiedad necesaria en mezclas asfálticas colocadas en zonas con altas temperaturas ambientales, hacen de esta la alternativa técnicamente favorable para la zona de la obra.

Las plantas Industriales que realizan la modificación de los cemento asfálticos se encuentran ubicadas en la ciudad de Lima, en tanto que el tramo de carretera antes mencionada se ubica entre las ciudades de Sullana y Aguas Verdes, este hecho hace que el costo del cemento asfáltico modificado se incremente debido a la mayor distancia de transporte. En ese contexto, la empresa que se encargó de la construcción de este tramo de carretera vió por conveniente realizar la modificación del cemento asfáltico con polímeros SBS in situ de la obra, para luego elaborar mezcla asfáltica en caliente con este ligante y su posterior colocación en pista, con resultados aceptables para la normatividad vigente.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°1 Estructura química de los cementos asfálticos.....	18
Cuadro N°2 Selección del tipo de asfalto	24
Cuadro N°3 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración	24
Cuadro N°4 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad	25
Cuadro N°5 Modificadores de los cementos asfálticos	32
Cuadro N°7 Selección del tipo de asfalto	45
Cuadro N°8 Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros	46
Cuadro N°9 Características del ligante modificado con polímeros.....	47
Cuadro N°10 Características de la mezcla asfáltica Modificada	48
Cuadro N°11 Características granulométricas del relleno mineral	49
Cuadro N°12 Huso granulométrico para micropavimento en caliente	49
Cuadro N°13 Requerimiento para los agregados gruesos.....	50
Cuadro N°14 Requerimiento para los agregados finos	50
Cuadro N°15 Requerimiento para filler mineral	51
Cuadro N°16 Metodología para modificación de asfalto base con polímero SBS.....	53
Cuadro N°17 Características del agregado grueso - cantera Devora	57
Cuadro N°18 Granulometría agregado grueso - Cantera Devora	58
Cuadro N°19 Requerimientos para los agregados finos - cantera Devora.....	59
Cuadro N°20 Granulometría agregado fino - cantera Devora	60
Cuadro N°21 Granulometría del filler mineral – cal hidratada	61
Cuadro N°22 Característica del relleno mineral (Filler)	61
Cuadro N°23 Porcentaje en peso de agregados	62
Cuadro N°24 Huso granulométrico de diseño.....	62
Cuadro N°25 Criterios del diseño Marsall	64
Cuadro N°26 Características de los asfaltos bases	70
Cuadro N°27 Características de los polímeros	71
Cuadro N°28 Resultados de modificación del CAP PEN 85/100 –Refinería de Talara.....	74
Cuadro N°29 Resultados de modificación del CAP PEN 85/100 –Refinería de Conchan.....	75

Cuadro N°30 Resultados de modificación del CAP PEN 85/100 –Refinería Repsol.....	76
Cuadro N°31 Costos de importación de polímeros SBS.....	78
Cuadro N°32 Costos de transporte de los polímeros SBS.....	79
Cuadro N°33 Costos Total puesto en Obra de los Polímeros	79
Cuadro N°34 Parámetros de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS.....	82
Cuadro N°35 Valores de diseño del micropavimento Devora	83
Cuadro N°36 Parámetros de la mezcla asfáltica convencional con asfalto PEN 60/70.....	84
Cuadro N°37 Valores de diseño de mezcla asfáltica con cemento asfáltico CAP PEN 60/70	84
Cuadro N°38 Parámetros de la mezcla asfáltica convencional con asfalto CAP PEN 60/70.	85
Cuadro N°39 Parámetro de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS.....	85
Cuadro N°40 Valores de diseño de mezcla asfáltica con cemento asfáltico CAP PEN 60/70 Vs. asfalto modificado.....	86
Cuadro N°41 Costo de producción de un 1m3 de mezcla asfáltica modificada (Compactada)	87
Cuadro N°42 Costo de producción de un 1m3 de mezcla asfáltica convencional (Compactada).....	87
Cuadro N°43 Metodología para modificación de asfalto base con polímero SBS – escala industrial	89
Cuadro N°44 Cuadro comparativo de resultados de ensayos en asfalto modificado.....	95

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1 Rendimiento del cemento asfáltico residual y otras fracciones destilables	13
Figura N°2 Obtención del asfalto.....	14
Figura N°3 Composición química del asfalto	17
Figura N°4 Estructura química del cemento asfáltico	19
Figura N°5 Estructura química de los alifáticos.....	19
Figura N°6 Estructura química de las Resinas.....	21
Figura N°7 Estructura química de los Aromáticos.....	22
Figura N°8 Estructura química de los Saturados.....	23
Figura N°9 Vistas a través de Fluorescencia.....	34
Figura N°10 Comportamiento Reológicos de los asfaltos modificados con polímeros SBS.....	40
Figura N°11 Curva del huso granulométrico de diseño	63
Figura N°12 Carta de viscosidad – asfalto modificado.....	66
Figura N°13 Carta de viscosidad (Temp. para viscosidades de 0.75 Pa.s y 1.4Pa.s) – asfalto modificado.....	67
Figura N°14. Observación a contraluz de la dispersión del polímero SBS en el CAP PEN 85/100	72
Figura N°15 Bolsa de Polímero SBS-LG 501	80
Figura N°16 Procesos de rodillado efectuados en tramo de prueba.....	100
Figura N°17 Ticket de carga de mezcla asfáltica.....	102
Figura N°18 Control de temperatura de inicio de proceso de rodillado (rodillo Tamden).....	103
Figura N°19 Sistema de rodillado del carril sin junta.....	104

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

AASHTO	Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte
API	American Petroleum Institute
CAP PEN	Cemento asfáltico de petróleo de penetración
ETP	Elastómero termoplástico
EVA	Etil-Vinil-Acetato
p.	Paginas
psi.	Pounds per squareinch (Libra-fuerza por pulgada cuadrada)
PVC	Cloruro de Polivinilo
SBS	Estireno-Butadieno-Estireno
SBR	Caucho Estireno Butadieno
ZSV	Viscosidad a corte cero

INTRODUCCIÓN

En los últimos cinco años el uso en el Perú de Polímeros para mejorar las características Reológicas y Mecánicas de los cementos Asfálticos de Petróleo se ha intensificado, obteniéndose experiencias en climas diversos. Estas experiencias obtenidas, en muchos casos, no han sido plasmadas en documentos técnicos que permitan transmitir estos procedimientos para luego ser mejoradas.

El objetivo de este trabajo es determinar las mejoras en las propiedades reológicas y mecánicas del CAP PEN 85/100 producida en la refinería de Talara modificados con polímeros SBS, tanto en el ligante asfáltico como en la mezcla asfáltica en caliente, aplicados en las carreteras costeras.

Según la estructura del informe, en el capítulo I, se presenta los antecedentes y los objetivos esperados y la metodología llevada para la elaboración de este documento.

En el capítulo II se desarrolla el marco teórico necesario para el conocimiento de los materiales que intervienen en la modificación del cemento asfáltico y el conocimiento que se tiene de las virtudes de los cementos asfálticos modificados con polímeros SBS.

Los requerimientos de calidad del cemento asfáltico modificado y de la mezcla asfáltica elaborada con el ligante en mención se tratan en el capítulo III.

En el capítulo IV, se analizan los datos obtenidos de la modificación del cemento asfáltico CAP PEN 85/100, además, se hace un análisis de la mezcla asfáltica Modificada comparando con la mezcla asfáltica elaborada con cemento Asfáltico convencional de CAP PEN 60/70.

En el capítulo V se detalla el proceso de modificación del CAP PEN 85/100 con polímeros SBS de manera industrial y la producción de mezcla en una planta de asfalto, para luego describir el proceso de colocación de esta en pista.

Las conclusiones y recomendaciones se presentan en el capítulo VI.

CAPÍTULO I: ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el país, las experiencias en modificación de cementos asfálticos de petróleo de penetración 85/100 con polímeros SBS son incipientes, aunado a las condiciones desfavorables que muestra la química de los asfaltos producidos en las refinerías del Perú para una adecuada compatibilidad con polímero SBS, hace que la elección de estos dos insumos principales se hagan con el cuidado necesario para cumplir con las características esperadas tanto del ligante asfáltico modificado como en la mezcla asfáltica que con esta se elabore.

De acuerdo con lo mencionado se plantea el problema siguiente:

Los cementos asfálticos CAP PEN 85/100 producidos en la refinería de Talara, modificados con polímeros SBS mejorarán sus propiedades reológicas y mecánicas como ligante asfáltico en la mezcla asfáltica en caliente.

1.2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

1.2.1. Objetivo general

- Establecer las mejoras en las propiedades reológicas y mecánicas del CAP PEN 85/100 de la refinería de Talara modificado con polímero SBS, tanto en el ligante asfáltico como en la mezcla asfáltica en caliente, aplicados en la carretera de la costa.

1.2.2. Objetivos específicos

Mostrar las experiencias adquiridas en la producción de cemento asfáltico modificado con Polímero SBS y las mejoras en sus características reológicas y mecánicas del ligante.

Conocer las mejoras comparativas entre las mezclas en caliente elaboradas con cementos asfálticos convencionales y las mezclas asfálticas en caliente elaboradas con cementos asfálticos modificado con polímeros SBS.

1.3. FORMULACIÓN DE LA HIPÓTESIS

Existe una mejora considerable de las características reológicas y mecánicas del cemento asfalto base y de la mezcla asfáltica en caliente cuando se usa en la mezcla asfáltica el CAP PEN 85/100 modificado con polímeros SBS.

1.4. METODOLOGÍA

- Dado que se cuenta con estudios sobre la modificación del cemento asfáltico con polímeros SBS, los cuales se elaboraron bajo otro contexto (en otros países, con diferentes características químicas de sus asfaltos a los producidos en las refinerías del Perú), el tratamiento de la investigación sobre este tema se realizó mediante los procedimientos seguidos para los estudios tipo exploratorio. Este proceso de modificación del cemento asfáltico base se realizó para diferentes cantidades de polímeros y para diferentes marcas, llegando a la elección de una mezcla adecuada que satisface las exigencias esperadas.
- En la etapa del diseño de mezclas asfálticas en caliente con ligantes convencionales y modificados se utilizó el método Marshall para mezclas asfálticas. Dado que los procedimientos son conocidos el tratamiento de estos se realizarán mediante estudios del tipo descriptivo.
- Para la determinación de las mejoras de las características mecánicas y reológicas del ligante asfáltico modificado se realizaron los ensayos de laboratorio necesarios, centrando el estudio dentro del tipo correlacional.
- En cuanto a la etapa de la descripción del proceso de colocación de la carpeta de mezcla asfáltica en caliente preparada con el CAP PEN 85/100, modificado con polímeros SBS, al inicio no se contó con un proceso definido, el estudio se ubica dentro del tipo exploratorio, para luego obtenido el proceso de colocación se procedió a tratar esta actividad mediante estudios explicativos.
- El resultado del informe se visualizará en cuadros y gráficos, los cuales se presentan de forma didáctica y detallada.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. CEMENTO ASFÁLTICO

2.1.1. Definición del Cemento Asfáltico

El asfalto se define como un material de color oscuro, que puede tener consistencia líquida, semisólida o sólida, compuesto principalmente por hidrocarburos. Puede encontrarse en yacimientos naturales o como un producto de la refinación del petróleo; sus cualidades aglutinantes y propiedades fisicoquímicas lo hacen apto para un sinnúmero de aplicaciones. El 80 % de la producción mundial del asfalto de refinería se utiliza para la construcción de vías.

Adicionalmente, es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas permanentes. Es más, a pesar de que el asfalto fluctúa tan solo entre el 4.5 y el 7.5% de la composición del pavimento, ningún otro material garantiza en mayor grado la satisfacción simultánea y económica de estas funciones, al mismo tiempo que proporciona una estructura de pavimentos con características flexibles que permiten cierto grado de acomodo, sin fisurarse en eventuales movimientos de las capas subyacentes. En base a las características fisicoquímicas y coloidales, este tipo de ligante aporta a la vía propiedades viscosas a altas temperaturas y elásticas a bajas temperaturas, en suma, el asfalto es el encargado de unir el agregado mineral de diferentes tamaños, que hace las veces del esqueleto, dando confort al usuario (Garson & Jara & Gironza, 2005, p. 2).

2.1.2. Proceso de obtención del asfalto

El crudo de petróleo varía su composición dependiendo de la fuente, produciendo diferentes tipos y cantidades de cemento asfáltico residual y otras fracciones destilables (Minaya & Ordoñez, 2001, p.63). El crudo de petróleo puede clasificarse arbitrariamente de acuerdo con su gravedad API (American Petroleum Institute). La gravedad API está en función de la densidad del material a 60°F y se obtiene de la siguiente expresión:

La gravedad API del agua es 10. El asfalto, material más pesado, tiene una gravedad API entre 5 y 10, mientras que el API más liviano de la gasolina es alrededor de 55.

Los procesos de refinación para la obtención de asfaltos dependen de las características del crudo y el rendimiento del asfalto que presentan. Los crudos de petróleo pesados con API menor a 25 resultan en mayores porcentajes de cementos asfálticos, mientras que los petróleos livianos con API mayor a 25 arrojan menores porcentajes de asfaltos. La siguiente ilustración presenta los porcentajes de asfalto resultante de crudos típicos (Minaya& Ordoñez, 2001, p.64).

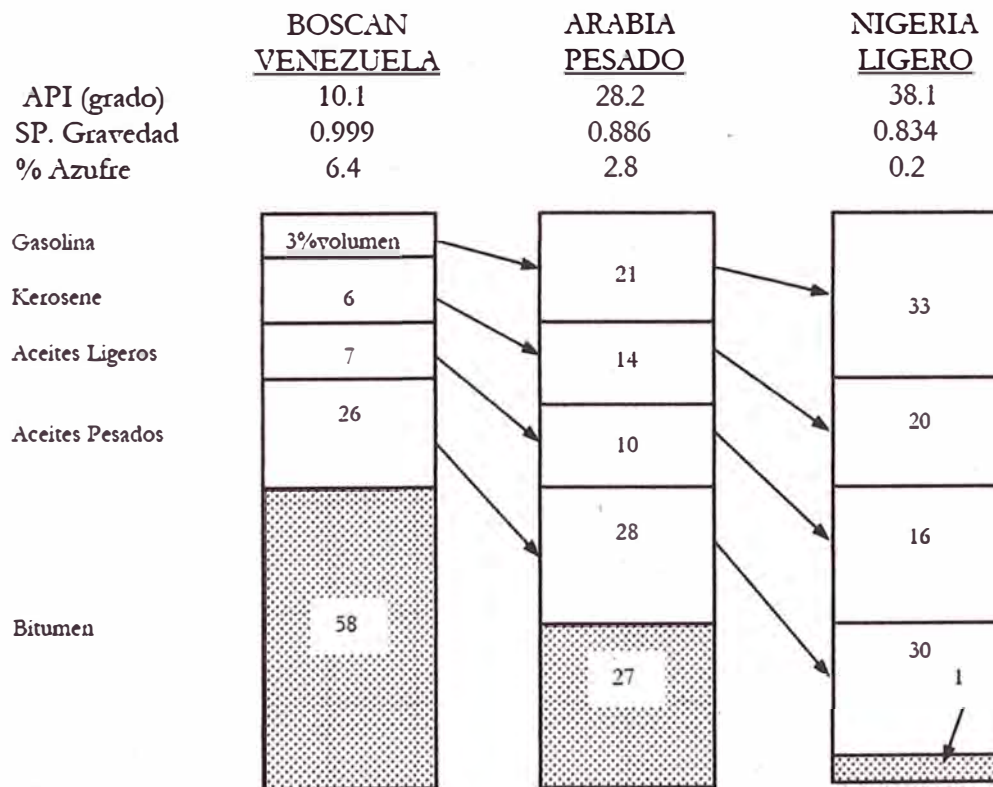


Figura N°1 Rendimiento del cemento asfáltico residual y otras fracciones destilables

Fuente: Manual de laboratorio – Ensayos para pavimentos-Volumen I

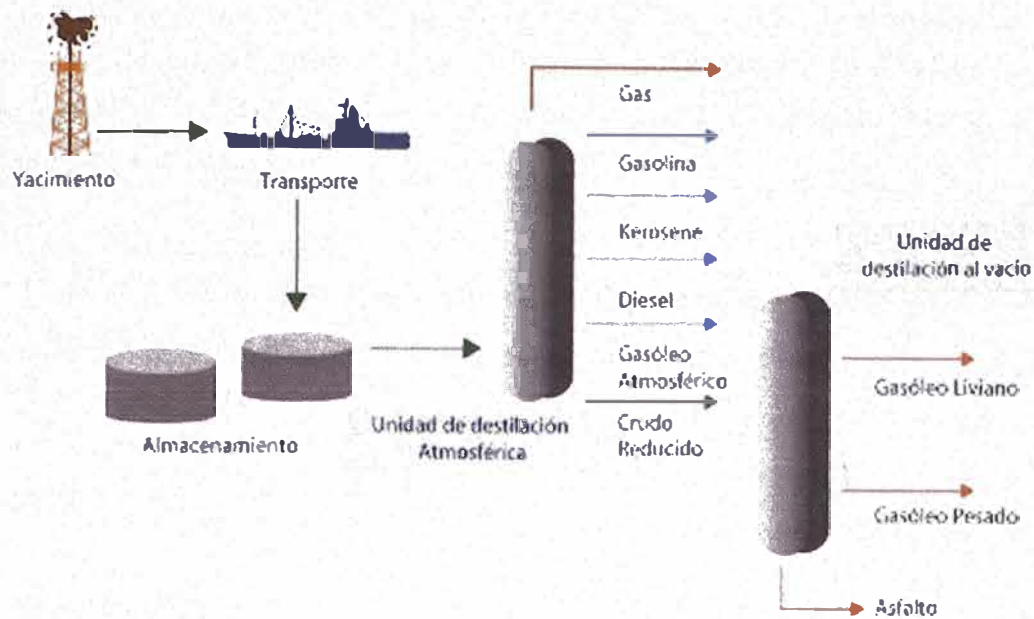


Figura N°2 Obtención del asfalto

Fuente: Pagina Web Repsol Perú

Para crudos muy pesados de altos rendimientos de asfalto, basta una etapa de destilación al vacío. Para crudos de rendimientos intermedios de asfalto serán necesarios dos etapas de destilación: una a presión atmosférica y otra al vacío. Para crudos muy livianos y de bajo rendimiento de asfalto se requiere una etapa adicional a las dos anteriores, que es la etapa de extracción.

La destilación del crudo de petróleo consiste en el calentamiento a más o menos 343°C, vaporizándose parcialmente sus componentes. Luego, el material remanente es transferido a una torre de destilación donde los componentes ligeros se vaporizan, ascendiendo hasta lo más alto, luego de enfriarse y condensarse son sacados fuera. A diferentes alturas en la torre, las fracciones logran su punto de ebullición y luego, con la disminución de la temperatura, se condensa en recipientes dentro de la torre. El componente intermedio de la torre se saca y trata para producir kerosene y diésel. El residuo de esta destilación es usualmente colocado dentro de una unidad de destilación al vacío donde se producen los aceites pesados. La presión reducida (típicamente 55 mmHg, 1.0 psi) en la torre de vacío ayuda a inflamar estos aceites a temperaturas inferiores para prevenir el rompimiento térmico del cemento asfáltico. En el rompimiento, las moléculas grandes de asfalto son químicamente rotas. Con frecuencia el vapor es incorporado a la base de la torre para más adelante reducir la presión de 50 mmHg a alrededor de 12 mmHg, 0.24 psi. El residuo de la base de esta

unidad se llama cemento asfáltico. El grado de este cemento asfáltico, se mide por penetración o viscosidad, y es controlado por la cantidad de aceites pesados sacados del petróleo.

2.1.3. Tipo de asfaltos

Los asfaltos comúnmente usados en la construcción de pavimentos flexibles pueden dividirse en tres tipos:

Cemento asfáltico

Asfalto emulsificado

Asfalto cutback

Cemento asfáltico

A temperatura ambiente el cemento asfáltico es negro, pegajoso, semisólido y altamente viscoso. Es un cemento fuerte y durable con excelentes características adhesivas e impermeables. También es muy resistente a la acción de muchos ácidos, álcalis y sales.

Para clasificar o definir la gradación del cemento asfáltico se usan tres métodos basados en la penetración, viscosidad y performance. En este informe el cemento asfáltico se clasifica por penetración (este solo nos indica la consistencia a temperatura media, 25°C) y por Viscosidad (siendo este un indicador fundamental del flujo, solo suministra información sobre el comportamiento viscoso a alta temperatura y no sobre el comportamiento elástico a baja temperatura). En cuanto a la clasificación por performance térmica usado por el sistema SUPERPAVE, consiste en que los asfaltos son graduados por su grado de desempeño (PG) en función de la temperatura ambiente más alta y la más baja a la cual el pavimento se mantendrá sin fallas.

Asfalto Emulsificado

El asfalto emulsificado es una mezcla de cemento asfáltico con agua y un agente emulsificador. El cemento asfáltico no se disuelve en agua. El cemento asfáltico caliente y el agua con contenido de agente emulsificador son sometidos a presión a través de un molino coloidal para producir glóbulos o gotas de cemento asfáltico extremadamente pequeños (menos que 5-10 micrones) que son suspendidas en agua. El agente emulsificante reparte una carga eléctrica en la superficie de la gota que causa su repulsión uno a otro, y así los glóbulos son

impedidos de cohesionarse. Una vez mezclado la emulsión con el agregado se produce el rompimiento de la emulsión, así se cohesionan las partículas de asfalto liberando agua. Los asfaltos emulsificados se categorizan como asfaltos líquidos porque, a diferencia de los cementos asfálticos, ellos son líquidos a temperatura ambiente.

Asfalto cutback

Los cutbacks son asfaltos líquidos a temperatura ambiente que se preparan incorporando (*cutting back*) solventes de petróleo (*cutter stock* o diluentes) al cemento asfáltico. Esto se hace para reducir la viscosidad del asfalto para aplicaciones a inferiores temperaturas. Una vez mezclado con el agregado se produce la evaporación del solvente, abandonando el residuo de cemento asfáltico. En función de la rapidez de la evaporación del solvente (proceso de curado), los asfaltos cutback se dividen en tres tipos: de curado rápido, curado medio y curado lento.

2.1.4. Composición química del asfalto

Debido a la complejidad de la composición del asfalto, no es fácil clasificarlo con gran exactitud en componentes individuales. En base a lo anterior el asfalto se clasifica en tres grupos básicos: asfáltenos, resinas y aceites (aromáticos + saturados). Los asfaltos sometidos a temperaturas típicas de trabajo son un sistema disperso, ya que las partículas de la fase dispersa son las miscelas, en las cuales el núcleo o el agregado es el asfálteno (Garzón & Pareja & Guiza, 2005, pg. 04).

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ASFALTO

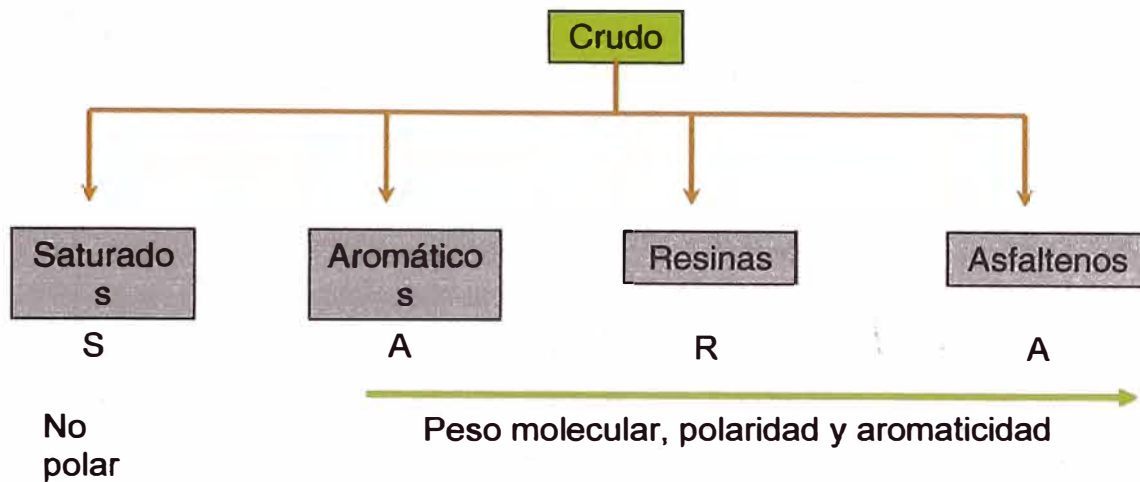


Figura N°3 Composición química del asfalto

Fuente: Ecopetrol – Importancia de la Química del Asfalto

Existen técnicas normalizadas para determinar las partes fundamentales del asfalto

(Subiada&Cuatticchio, 2005, p. 10-11), las cuales son:

- Técnica de extracción: ASTM D-2006 basada en el método de Rostler y Stemberg (hoy discontinuada).
- Técnica de absorción: ASTM D-4124 basada en el método de Corbett y Swarbrick.

Este método consiste en la precipitación de los asfaltenos mediante n-heptano: solvente parafínico que como su nombre lo indica de poca afinidad, de la familia de los alifáticos. La fracción soluble se eluye a través de la columna cromatográfica rellena con una alumina de características especiales con el fin de separar mediante solventes de polaridad creciente las diferentes fracciones que componen a la fase malténica de la siguiente forma:

-Parafinas o saturados: la fracción que primero eluye de la columna cromatografía con n-heptano es incolora.

-Nafténico aromáticos: esta fracción eluye a través de la precolación con un solvente de mayor polaridad como el tolueno, presenta un color entre amarillo y ámbar.

-Polar aromáticos (resinas): Esta fracción eluye a través de columna por elusión con un solvente de mayor polaridad, el tricloroetileno es de color oscuro casi negra y viscosa.

Estas cuatro partes fundamentales del asfalto, cada una con sus propiedades, constituyen el asfalto formando un sistema coloidal. Nellensteyn (1924) sugiere este modelo aún vigente, basado en que la presencia de los asfaltenos o hidrocarburos de mayor peso molecular se encuentran rodeados de los compuestos de hidrocarburos de mayor peso molecular de la fase malténica denominando a este complejo de compuestos miscelas; en tanto la fase continua está formada por los compuestos de menor peso molecular de la fase malténica denominándola fase intermiscelar.

Si las miscelas se encuentran bien peptizadas, el betún asfáltico tendrá un comportamiento tipo sol, esto es, las miscelas están separadas; en tanto que si se encuentran interactuando entre ellas formando una estructura más o menos rígida el comportamiento del betún asfáltico será de tipo gel. Esta condición depende de la concentración y carácter químico de las dos fases.

La estructura química de las cuatro fracciones obtenidas y sus propiedades, la podemos esquematizar en el siguiente gráfico:

Cuadro N°1 Estructura química de los cementos asfálticos

FRACCIÓN	DESCRIPCIÓN	REACTIV.QCA	FUNCIÓN PRINCIPAL
ASFALTENOS	HC de mayor peso molecular	Baja	Centro o cuerpo de la miscela
SATURADOS	HC saturados	Baja	Fase dispersante
NAFT.AROM	HC Nafténico Aromáticos	Media	Contribuye a lapeptización / Fase dispersante.
POLARES (resinas)	HC aromáticos de bases nitrogenada	Alta	Peptizante.

Fuente: Ecopetrol – Importancia de la química del asfalto

Estructura del cemento asfáltico

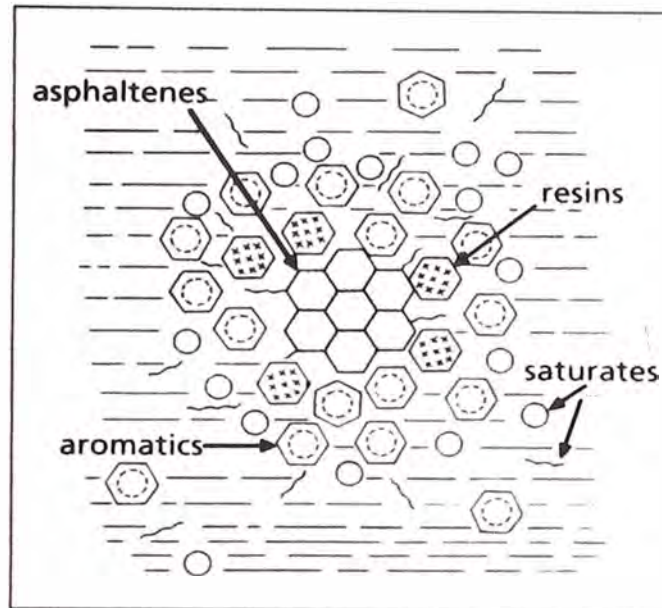


Figura N°4 Estructura química del cemento asfáltico

Fuente: Ecopetrol – Importancia de la química del asfalto

- Asfaltenos

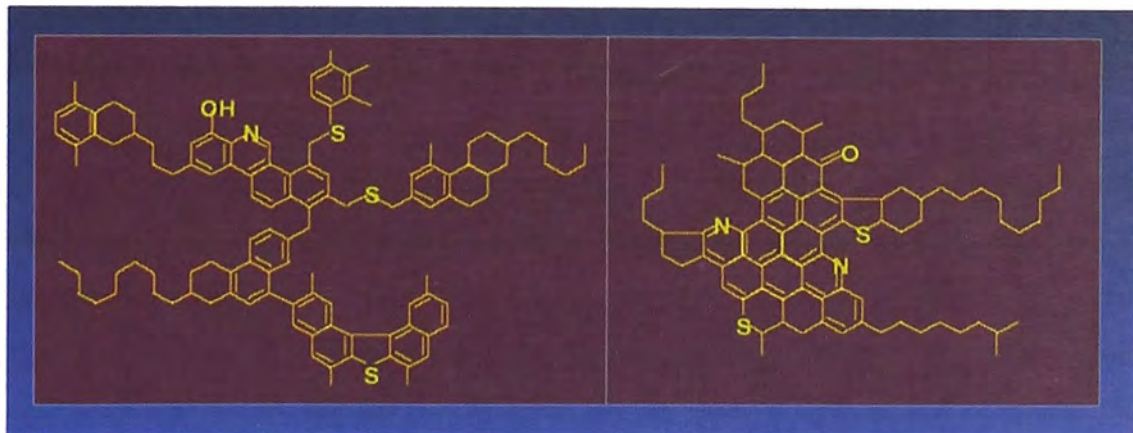


Figura N°5 Estructura química de los asfaltenos.

Fuente: Ecopetrol – Importancia de la química del asfalto

Las moléculas de los **asfaltenos** poseen grupos funcionales y radicales, que condicionan la formación de las miscelas cuando se tienen concentraciones determinadas de asfaltenos en el hidrocarburo. Los grupos funcionales más representativos son carbonilos (-CO-); carboxílicos (-COO-); fenólicos (Ar-OH) e hidróxidos (-OH); los cuales se encuentran en la parte interna de la miscela y la molécula del hidrocarburo en la parte externa.

En los asfaltenos se concentran todos los metales contenidos en el crudo: Ni, V, Fe, Co, Mn, en una concentración apreciable el oxígeno, el azufre y el nitrógeno. El 80-85% de los asfaltenos son átomos de carbono. La relación C:H se encuentra entre 0,8 y 0,87. El contenido de los heteroátomos puede estar entre un 5 y hasta 11-14%. Los asfaltenos son el producto de la condensación de las resinas (Garzón & Pareja & Guiza, 2005, p. 03).

Propiedades químicas, físicas y mecánicas de los asfaltenos:

Características químicas : Alto peso molecular, compuestos polares

Características físicas : determinan la dureza de los asfaltos, alta viscosidad

Características mecánicas : proveen elasticidad, resistencia y adhesión 5 - 20 %

- Resinas

Las **resinas** sirven de materia prima para la formación de asfaltenos y desde otro punto de vista, ellas plastifican las moléculas de los asfaltenos. Adicionalmente las resinas tienen muy buena solubilidad en los hidrocarburos del crudo y del asfalto, favoreciendo la formación de un sistema estable asfaleno-resina-asfaleno. Como resultado de la reacción de las resinas, tenemos procesos de deshidrogenación y condensación con la eliminación de moléculas de agua, hidrógeno, ácido sulfhídrico y amoníaco con la consecuente formación de asfaltenos. Las resinas tienen más ramificaciones que los asfaltenos (son menos compactas y más desordenadas). El contenido de grupos polares (hidroxílicos, carboxílicos) y unos cuantos grupos funcionales garantizan a las resinas su poder emulsificante (peptizante). En dependencia de la concentración de asfaltenos y de la temperatura, las resinas en los asfaltos pueden encontrarse, tanto en la fase dispersa como en el medio dispersante del sistema (Garzón & Pareja & Guiza, 2005, p. 04).

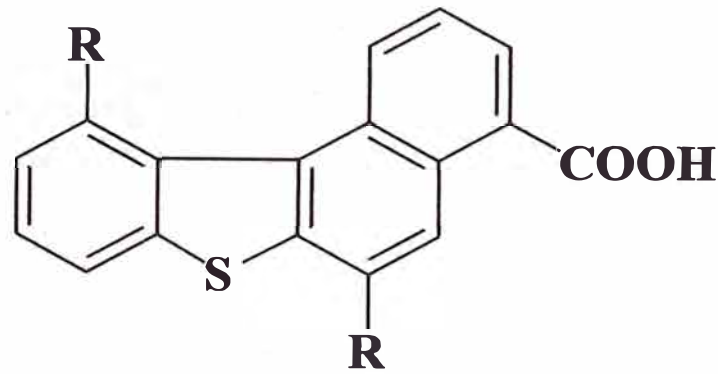


Figura N°6 Estructura química de las Resinas.

Fuente: Ecopetrol – Importancia de la química del asfalto

Propiedades químicas, físicas y mecánicas de las Resinas:

Características químicas: Alto peso molecular, compuestos polares

Características físicas : Fluidas cuando se calientan, frágiles cuando se enfrían
(Visco elasticidad)

Características Mecánicas : Determinan las propiedades de adhesión, Proveen ductilidad

- Aceites (aromáticos, saturados)

Los **aceites** son el medio dispersante del asfalto y su capacidad de solubilidad se determina por medio de su composición química, con frecuencia, por medio de la relación de los hidrocarburos parafino-nafténicos y aromáticos y en cierto grado con su peso molecular. Generalmente los hidrocarburos parafino-nafténicos, aromáticos y nafténicos de cadena lateral parafínica forman una fase dispersa en los aceites bajo determinadas temperaturas.

Se determinó que los componentes promotores de cristales en el asfalto no son solamente las parafinas, sino también los hidrocarburos nafténicos, el calor de fusión de estos últimos es dos veces menor que el calor de fusión de las parafinas. La cristalización de las parafinas en el asfalto puede continuar en un transcurso de 2 a 3 días con un aumento mínimo del calor de fusión. La influencia de la fase cristalina en las propiedades de los asfaltos se expresa en el empeoramiento de las propiedades de resistencia al fisuramiento térmico a bajas temperaturas y a la humedad. Generalmente los asfaltos parafínicos son menos longevos. Sin embargo, en los asfaltos de diferentes tipos reológicos la

acción de las parafinas no es igual. La temperatura de fusión de los hidrocarburos sólidos depende de la estructura de su molécula y posición del sustituyente. De todas maneras, el impacto de las parafinas, como de cualquier componente, depende de la composición y de la estructura de los asfaltos y la solución del interrogante sobre las cantidades permisibles de parafinas en el asfalto se puede determinar con el cálculo de su estructura y composición (Garzon& Pareja & Guiza, 2005, pg. 05).

- Aromáticos

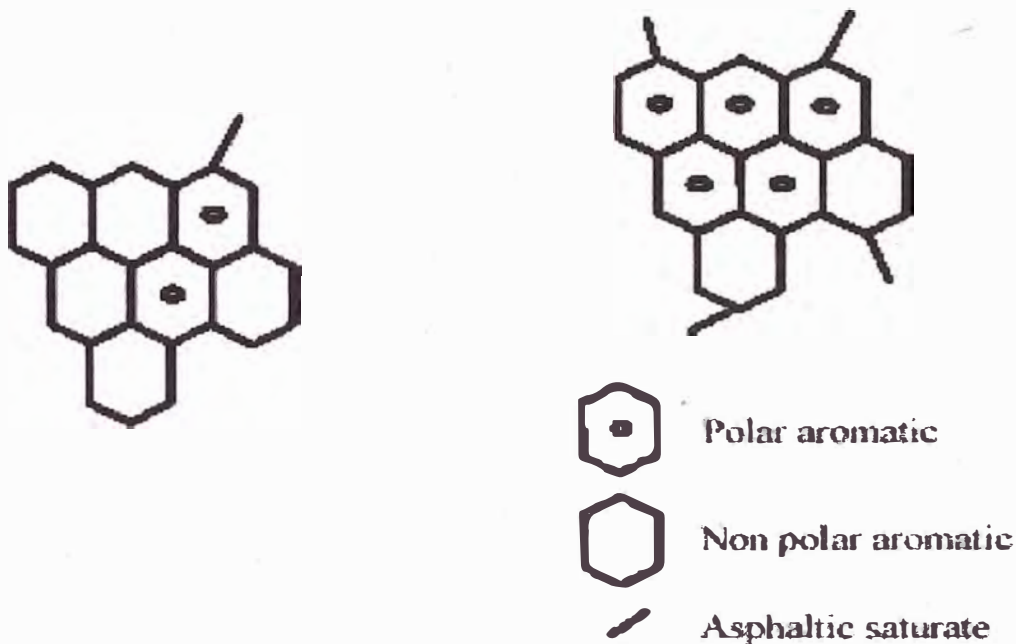


Figura N°7 Estructura química de los Aromáticos.

Fuente: *Ecopetrol – Importancia de la química del asfalto*

Propiedades químicas, físicas de los aromáticos:

Características químicas : masa molecular media, compuestos no polares

Características físicas : mayor componente en los asfaltos

- **Saturados**

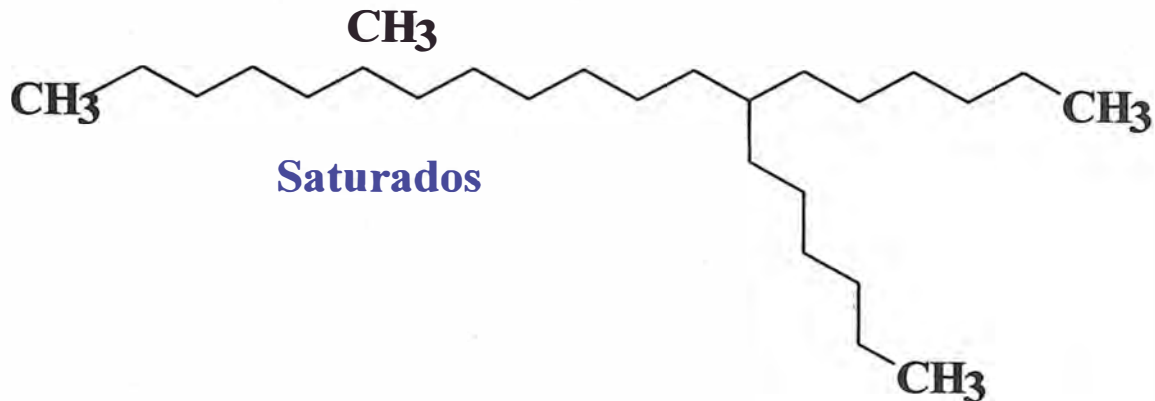


Figura N°8 Estructura química de los Saturados.

Fuente: Ecopetrol – Importancia de la química del asfalto

Propiedades químicas, físicas de los saturados:

Características químicas : masa molecular media, compuestos no polares

Características físicas : aumentan la fluidez (plasticidad) pueden contener ceras que se transforman en fase con el oxígeno

Es necesario mencionar que la estructura de sistemas dispersos pasa a un sistema de solución verdadera cuando alcanza una concentración determinada, llamada concentración máxima de formación de miscelas.

2.1.5. Clasificación de los cementos asfálticos.

Según las especificaciones técnicas peruanas EG-2000, expone lo siguiente:

“El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la Tabla N° 415-01, según lo establecido en Proyecto y aprobado por el Supervisor” (Especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras EG-2013, 2013, sección 415 p. 470).

Cuadro N°2 Selección del tipo de asfalto
Tabla N° 415-01
Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C – 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40 – 50 ó 60-70 Modificado	ó 60-70	85 – 100 120 – 150	Asfalto Modificado

Fuente: EG-2013

Los requisitos de calidad del cemento asfáltico son los que establecen las Tablas N° 415-02y N° 415-03.

Cuadro N°3 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Tabla N° 415-02 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración											
Características	Ensayo	Grado de Penetración									
		40 – 50		60 – 70		85 – 100		120 – 150		200 – 300	
		Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Prueba sobre el Material Bituminoso											
Penetración 25°C, 100 g, 5s, 0.1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación COC, °C	MTC E 312	232	-	232	-	232	-	218	-	177	-
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min, cm	MTC E 308	100	-	100	-	100	-	100	-	100	-
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	MTC E 302	99	-	99	-	99	-	99	-	99	-
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensias) ⁽²⁾											
Solvente Nafta-Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta - Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano - Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Prueba sobre la Pellicula Delgada a 163°C, 3, 2mm, 5 h											
Perdida de masa, %	AASHTO D-1754	-	0.8	-	0.8	-	1	-	1.3	-	1.5
Penetración retenida despues del ensayo del pellicula fina, %	MTC E 304	55	-	52	-	47	-	42	-	37	-
Ductilidad del residuo, 25°C, 5cm/min, cm ⁽³⁾	MTC E 308	-	-	50	-	75	-	100	-	100	-
(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geologico en el material bituminoso indicado.											
(3) Si la ductilidad es menor a 100cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15.5°C es mínimo 100cm a la velocidad de 5cm/min.											

Fuente: EG-2013

Cuadro N°4 Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad

Tabla N° 415-03						
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad						
Característica	Ensayo	Grado de Viscosidad				
		AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta 60°C, Pa.s (Poises)	MTC E 308	25±5 (250±50)	50±5 (500±100)	100±20 (1000±200)	200±40 (2000±400)	400±80 (4000±800)
Viscosidad Cinemática, 135°C mm ² /s, mínimo	MTC E 301	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100 gr. 5s mínimo	MTC E 304	200	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C, mínimo	MTC E 303	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno % masa, mínimo	MTC E 302	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina						
Ø Viscosidad Absoluta, 60°C, Pa.s(Poises) máximo	MTC E 304	125 (1,250)	250 (2,500)	500 (5,000)	1,000 (10,000)	2,000 (20,000)
Ø Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm. Mínimo	MTC E 306	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽¹⁾						
Solvente Nafta-Estándar	AASHTO M 20	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta - Xileno, %Xileno		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano - Xileno, %Xileno		Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

(1) Porcentajes de solvente a usar, se determinara si el resultado del ensayo indica positivo.

Fuente: ASTM D 3381, NTP

Fuente: EG-2013

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a temperatura de 175°C.

2.1.6. Ensayos

- Solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno (MTC E 302)
- Punto de inflamación y llama (copa abierta Cleveland) (MTC E 303)
- Penetración de los materiales asfálticos(MTC E 304)
- Ductilidad de materiales bituminosos(MTC E 306)
- Punto de ablandamiento de materiales bituminosos(MTC E 307)
- Viscosidad cinemática(MTC E 311)
- Punto de fragilidad Fraass(MTC E 311)
- Ensayo de mancha (OLIENSIS) de materiales asfálticos(MTC E 314)
- Asfalto en película delgada (TFOT) (MTC E 315)
- Efecto de calor y aire sobre materiales bituminosos en película fina rotativa (MTC E 316)

2.2. LOS POLIMEROS SBS

2.2.1. Definición

Los polímeros SBS, es un copolímero en bloque de estireno y butadieno, cuyo proceso de polimerización es del tipo aniónico, debido a que los monómeros estirenos presentan una estructura en la que la densidad electrónica del doble enlace se mueve con facilidad estando está parcialmente polarizada.

En cuanto a su cadena polimérica, las macromoléculas del SBS presentan cadenas ramificadas.

Los polímeros SBS, denominados cauchos termoplásticos, presentan bloques finales de poliestireno asociados en dominios incorporados a una matriz de caucho de butadieno. Cuando el polímero es dispersado en el asfalto en caliente, los dominios de poliestireno se disuelven completamente, asumiendo características termoplásticas que facilitan la mezcla y la compactación de la mezcla asfáltica.

Por enfriamiento, los bloques de poliestireno se reasocian, y promueven un entrelazamiento entre las cadenas de polibutano, de ese modo forman una red tridimensional (crosslinking físico), que confiere al asfalto propiedades de resistencia y elasticidad semejantes a los del caucho vulcanizado (Ipiranga Asfaltos, 1990, p. 07).

Además de estas propiedades, los copolímeros de SBS presentan propiedades de fluidez superiores cuando se mezclan con asfalto, lo que es altamente favorable por no haber un aumento significativo de la viscosidad. El SBS posee un comportamiento elastómero, pues los microdominios estirenicos actúan como puntos de reticulación. Cuando el SBS es disuelto en un cemento asfáltico apropiado, una proporción estirénica será solvatada por los compuestos aromáticos de los asfaltos, así se forma un gel estabilizado, cuya secuencia butadiénica mantiene la estructura en cierta formación espacial. De allí que proporcione las propiedades reológicas mejoradas de este material en relación con el cemento asfáltico no modificado.

"Elastómero termoplástico ETP (TPE en inglés) es un termoplástico que se comporta como elastómero. ... Los elastómeros termoplásticos no derivan sus propiedades elastómeras del encadenamiento transversal químico, sino de las conexiones físicas entre las fases suaves y duras que componen el material" (Mikell P. Groover, 1997, pg. 216).

Existen diferentes tipos de polímeros en bloque de estireno y butadieno, siendo los más significativos los lineales y los ramificados. Para los pesos moleculares iguales, los copolímeros tienen viscosidades bastante inferiores a la de los lineales. Considerando que la viscosidad es un factor limitante para el drenaje de las mezclas asfalto - polímero cuando se utiliza el polímero ramificado, se puede trabajar a una adecuada viscosidad con polímeros de peso molecular más alto o que garanticen propiedades físicas más interesantes.

Los polímeros estírenos y butadieno dan ciertas características al copolímero SBS. A continuación las mencionamos:

Butadieno:

- Ductilidad a baja temperatura
- Resistencia al impacto
- Resistencia a la fusión

Estireno:

- Facilidad de procesado (fluidez)
- Brillo
- Dureza y rigidez

2.2.2. Características físico mecánicas del polímero SBS

Dado que los polímeros SBS son polímeros elastómeros termoplásticos, estos polímeros “poseen propiedades elastómeras que resultan de la mezcla de dos fases, ambas termoplásticas, una fase está arriba de la temperatura de transición vitria (T_g) a temperatura ambiente mientras que la otra esta debajo de la temperatura T_g . Tenemos entonces un polímero que incluye regiones ahuladas blandas intermezcladas con partículas duras que actúan como cadenas transversales. El material compuesto es elástico en su comportamiento mecánico, aunque no es tan extensibles como la mayoría de los elastómeros, Como ambas fases son termoplásticas, el material en su conjunto puede ser calentado arriba de su T_m para formarse, con procesos que son generalmente más económicos que los utilizados para el Huleⁿⁱ”.

Esta condición hace que su participación en el mercado, medidos en tonelajes sea del 12% a nivel mundial.

Las características mecánicas mostradas en su fase elastomérica hace que a temperatura ambiente esta aporte elasticidad al ligante asfáltico.

Estas características mostradas térmicamente se ajustan a los procesos empleados para la producción de mezclas asfálticas dado que su fase termoplástica hace que al ser recalentados no muestre una degradación apreciable.

Estas son las razones más favorables para su desempeño como modificador de los cementos asfáltico.

Propiedades térmicas

El rango de temperatura dentro del cual las propiedades de los polímeros SBS permanecen más o menos inalteradas es el siguiente (Mikell P. Groover, 1997, pg. 216):

Límite de alta temperatura: 150 °F(65 °C)

Límite de baja temperatura: -60 °F(-50 °C)

Propiedades mecánicas

"Las propiedades mecánicas de los polímeros se especifican con los mismos parámetros utilizados en los metales: módulo de elástico y resistencia a la tracción, al impacto y a la fatiga" (Mikell P. Groover, 1997, pg. 216), teniéndose los siguientes parámetros:

Gravedad específica : 1.00

Elongación : 400%

Resistencia a la tensión : 2000 Psi

2.2.3. Deterioro de los polímeros

La deformación y fractura de un plástico se origina a causa de fuentes externas de esfuerzos. Sin embargo, la integridad de un polímero puede también desaparecer por reacciones que son básicamente de carácter químico, esto es, de ruptura de enlaces. Se usa el término degradación para describir una amplia categoría de cambios indeseables, desde una escisión hasta una hinchazón.

Los polímeros se degradan por varios mecanismos. El más severo es el de separación, en la que las uniones intermoleculares se rompen por efecto de una alta energía local. Sin embargo, esta energía está disponible en la luz ultravioleta y en los neutrones, por lo que no es sorprendente la presencia de estos en el medio ambiente, afectando significativamente a los polímeros. (Botasso G, 2007, Pág. 30, 31). Un segundo tipo de deterioro es la hinchazón, en la que pequeñas moléculas de soluto penetran entre las macromoléculas. Se pueden seleccionar

polímeros que resulten resistentes a la hinchazón, a través de enlaces cruzados, su composición o su cristalinidad (Botasso G, 2007, Pág. 31).

- Separación

Los plásticos que contienen moléculas grandes tienen mayor resistencia a la deformación que los que contienen pequeñas moléculas. La reacción puede ser reversible y entonces ocurre la despolimerización. Esto requiere un consumo considerable de energía, debido a que 6.25×10^{-19} joules son necesarios para romper un enlace tipo C – C. Este valor puede parecer pequeño, pero si se compara con las 3.1×10^{-22} joules necesaria para aumentar la temperatura de un polietileno de 5° a 35°C, se ve que requiere 2000 veces más energía para romper la unión promedio C – C de un mero que para elevar la temperatura de aquellos átomos en 30°C.

Las fuentes locales de alta energía necesarias para romper enlaces dentro de una cadena polimérica, pueden ser fotones luminosos u otras radiaciones similares. La luz ultravioleta tiene fotones con energía de 6.6×10^{-19} joules, un poco más de lo necesario para poder romper los enlaces C – C. Existe todavía una probabilidad de que el enlace se rompa debido a que los 6.25×10^{-19} joules antes citados son únicamente una energía promedio. En cualquier instante, pocos enlaces pueden poseer más energía que el promedio, por lo tanto, se requiere menos del promedio de energía por enlace para la separación. Por supuesto, un momento después, dicho enlace puede requerir apreciablemente más de esta energía promedio por enlace para la ruptura.

- Hinchazón

Los procesos de separación descritos anteriormente, rompen los enlaces intermoleculares. Un segundo método de deterioro involucra micromoléculas que entran como solutos entre las macromoléculas para hacer imposible un contacto de polímero a polímero. En efecto, esto es una ruptura de los enlaces intermoleculares, aunque se debe admitir que estos enlaces de por sí son relativamente débiles.

De manera intencional se agregan micromoléculas a los materiales poliméricos para hacerlos más flexibles, sin embargo, esto no es siempre deseable. Considérese un alcohol polivinilo, $(C_2H_3R)_n$, siendo el radical R un –OH. Las moléculas de agua pueden quedar absorbidas entre las cadenas de vinilo. Esto

llevara a un debilitamiento y a una hinchazón del polímero. De igual manera, y a menos que se hagan las adaptaciones estructurales necesarias, las moléculas de petróleo pueden quedar absorbidas dentro de una manguera de gasolina, lo que produce una hinchazón reduciendo la utilidad de la manguera.

Por supuesto, estas hinchazones no son compatibles con las especificaciones de ingeniería, ya que las moléculas quedan unidas entre sí. También, los plásticos cristalizados están menos sujetos que los polímeros amorfos a la hinchazón, debido a que los plásticos cristalizados tienen más cerradas sus estructuras intermoleculares. Afortunadamente, el ingeniero puede escoger entre un gran número de polímeros para evitar la hinchazón. Las moléculas pequeñas se distribuyen, ellas mismas, más fácilmente, entre las macromoléculas cuando los dos tipos son químicamente similares. Por ejemplo, el alcohol polivinilo, $C_2H_3 - OH$, y el agua, $H-OH$, descritos anteriormente, están muy relacionados y por lo tanto el agua es absorbida entre estas moléculas de vinilo. De manera parecida, los fluidos de hidrocarburos petrolíferos son absorbidos por los cauchos de origen hidrocarburo.

Donde la hinchazón es crítica, dichas similitudes se deben evitar a través de una selección cuidadosa de los polímeros.

- Degradación microbiana y polímero biodegradable

El ataque de una diversidad de insectos microbianos es una forma de corrosión de los polímeros. Los relativamente simples como el polietileno, el polipropileno, los de alto peso molecular, los cristalinos y los termoestables son relativamente inmunes al ataque.

Sin embargo, hay algunos como el poliéster, los poliuretanos, los celulósicos y el cloruro de polivinilo plastificado que contienen algunos aditivos que reducen el grado de polimerización, que son particularmente vulnerables a la degradación microbiana. Estos polímeros pueden descomponerse por radiación o ataque químico en las moléculas de bajo peso molecular hasta que son lo suficientemente pequeños para ser ingeridos por los microbios.

Se aprovecha el ataque microbiano para producir polímeros biodegradables, ayudando así a eliminar materiales de la corriente de desperdicios. La biodegradación requiere la conversión completa del polímero en bióxido de carbono, aguas, sales inorgánicas y otros subproductos producidos por la ingestión del material por las bacterias (Botasso G, 2007, P. 31).

2.3. ASFALTO MODIFICADO

2.3.1. Generalidades

Un asfalto modificado es un asfalto común al cual se le adicionan productos tales como látex, polietileno, cal, cemento, azufre, asfaltenos naturales, hule molido de neumáticos, aceites, resinas, fibra de acero, vidrio o asbesto entre otros, con el fin de modificar y mejorar algunas de sus características mecánicas y reológicas (Rondon&Rodriguez& Mojica, 2006, pg. 03).

Son los ligantes bituminosos cuyas propiedades han sido modificadas por la adición de un agente químico.

A temperatura ambiente, los cementos asfálticos para pavimentación se caracterizan por tener la consistencia de un sólido o semisólido y poseer las propiedades de los materiales termoplásticos en razón de que su consistencia varía con los cambios de temperatura. Así a bajas temperaturas pueden alcanzar la consistencia de un sólido frágil y quebradizo mientras que a temperaturas elevadas se comportan como líquidos viscosos. Esta variación de consistencia puede ser más o menos variable, dependiendo del tipo de asfalto y del proceso de fabricación empleado para su obtención y es lo que se conoce como "susceptibilidad térmica".

La susceptibilidad térmica debería ser lo más baja posible, de modo que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de las cargas de los vehículos, sean lo suficientemente flexibles para evitar su fisuramiento, mientras que a elevados tiempos de carga sean resistentes a las deformaciones. Por otro lado, a temperaturas elevadas no deben ser demasiados viscosos de modo que se les pueda procesar durante la fabricación de la mezcla a temperaturas no muy elevadas.

Con la adición de estos modificadores se busca llegar a la condición de un asfalto ideal, el cual sería aquel cuya consistencia se mantiene más o menos constante en un amplio rango de temperaturas de servicio y luego reduzca drásticamente su consistencia, convirtiéndola en un fluido de baja viscosidad que facilite las operaciones de fabricación y compactación de las mezclas (Agnusdei, 1995, p. 01).

2.3.2. Clasificación de los modificadores

Se puede clasificar los modificadores en rellenos, polímeros e hidrocarburos. En el caso de los rellenos, los distintos tipos de filler-betun incrementan su viscosidad frente al asfalto puro, pero no producen cambios en su composición

química. En cuanto al negro de humo, además de incrementar la viscosidad del sistema filler-betún, también actúa químicamente absorbiendo radicales libres que se generen durante el proceso de oxidación de los asfaltos durante el proceso de mezclado de la planta Asfáltica y posteriormente durante su vida útil en servicio.

El incremento de consistencia del sistema filler-betún conduce a una mejora de las mezclas asfálticas, en su capacidad para reducir las deformaciones plásticas o ahuellamientos, influenciadas por las altas temperaturas del camino. En cuanto a las fibras, sin producir cambios en la composición de los asfaltos, actúan en forma especial, mejorando la estabilidad de las mezclas y, por consiguiente, en la reducción de las deformaciones.

En cuanto a las asfaltitas por su alta compatibilidad con los asfaltos le confieren aumento de la consistencia de los ligantes a altas temperaturas (aumento en la estabilidad de las mezclas), mejora de la susceptibilidad térmica y la adherencia entre el ligante y los agregados pétreos.

El principal objetivo que se persigue con la modificación de los asfaltos es lograr ligantes con propiedades reológicas que no se tienen en los cementos asfálticos convencionales de refinación.

Cuadro N°5 Modificadores de los cementos asfálticos

MODIFICADORES

TIPO		EJEMPLO	
RELLENOS	Filler mineral	Calcáreo, cemento, cenizas volantes	
	Negro de humo		
	Fibras	Asbesto, Polipropileno, Vidrio.	
POLIMEROS	CAUCHO	Látex Natural	Caucho Natural
		Látex Sintético	Estireno-butadieno(SBR)
		Copolimeros en Block	Estireno-Butadieno-Estireno (SBS)
		Caucho regenerado	Peladura de Neumáticos
	PLASTICOS		Polietileno
			Polipropileno
			Etil-Vinil-Acetato (EVA)
		Cloruro de Polivinilo(PVC)	
HIDROCARBUROS	Asfaltos Naturales	Asfáltitas	

Fuente: *Asfaltos Modificados – Jorge Agnus Dei*

2.3.3. Los asfaltos modificados con polímeros

El asfalto es considerado una mezcla compleja de moléculas de variada polaridad y peso molecular que se ordena entre sí en un sistema miscelar más o menos organizado cuya arquitectura está estabilizada mediante uniones débiles que dependen de las interacciones entre todos sus componentes. En los asfaltos modificados con polímeros, los cuatro componentes del asfalto interactúan con el Polímero, pero preferencialmente los máltenos, lo que conduce a una extracción del solvente local, alterando el equilibrio coloidal original. Además, durante el proceso de la elaboración de la mezcla, el sistema es sometido a altas temperaturas y esfuerzo de corte que pueden alterar la estructura química de los distintos componentes debido a efectos de oxidación o degradación (Larsen&Cortizo&Alessandrini, 2007, p. 06)

La primera etapa de solubilización de un material polimérico por un buen solvente es el hinchamiento. De acuerdo con los conceptos de Hildebrand, el polímero se disuelve si los valores δ (parámetro de solubilidad) del polímero y del solvente son semejantes.

La disolución de un polímero en un líquido de bajo peso molecular hace que la hélice desordenada se expanda y ocupe un volumen mayor del que ocuparía cuando no está en solvente y en el estado amorfo.

Si el polímero está compuesto de cadenas individuales, puede haber flujo viscoso y la viscosidad aumentaría a medida que el polímero se expanda. Si el polímero tiene una red entrelazada, no se obtendrá solución, pero las partes individuales de las cadenas del polímero, por ejemplo segmentos del polímero, pueden solvatare para dar un gel hinchado.

La composición de los asfaltos tienen una importancia decisiva en las propiedades de los asfaltos modificados, en forma muy especial en lo que concierne a la aromaticidad de los máltenos y al contenido de asfaltenos. Cuanto menor sea el contenido de los asfaltenos de un asfalto, tanto más compatible será dicho asfalto con el polímero.

Dependiendo de todos los parámetros involucrados, la mezcla final puede tener diferentes morfologías. Una morfología bifásica es la deseada, en la cual una fase rica en polímeros y una rica en asfaltenos coexisten en un equilibrio metaestable a nivel de microescala. Desde el punto de vista termodinámico estas dos fases siempre tienden a separarse, que esto ocurra o no, depende de

las consideraciones cinéticas determinadas fundamentalmente por el tiempo de almacenamiento y la temperatura. A altas temperaturas, la disminución en la viscosidad del sistema favorece la separación de las fases, debido a las diferencias en densidad de sus componentes. En la figura N°8 la microscopia de fluorescencia revela la aparición de esta morfología bifásica. La fase rica en polímero, hinchada por la parte aromática del asfalto, se presentan de color amarillo brillante; mientras que la fase rica en asfaltenos es la más oscura (Larsen&Cortizo&Alessandrini, 2007, p. 06).

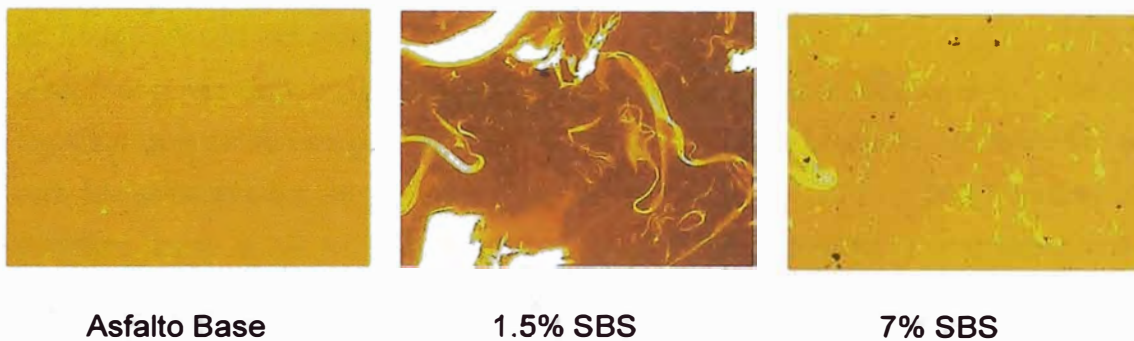


Figura N°9 Vistas a través de Fluorescencia

Fuente: *El perfeccionamiento de los cementos asfálticos-Ing. Ivan*

2.3.4. Compatibilidad polímero asfalto

Un polímero y un asfalto son compatibles cuando puedan mezclarse sin que exista una separación de fases y no lleguen a una rotura del equilibrio coloidal del asfalto. La compatibilidad depende del polímero empleado, de la composición química del asfalto y del proceso utilizado para su preparación.

Los polímeros idóneos para mejorar las propiedades de los asfaltos para uso vial son aquellos que cumplen con las siguientes características:

- Cadena general suficientemente larga.
- Baja polaridad, para facilitar su compatibilidad con el asfalto.
- Peso molecular elevado pero no excesivamente alto, para disminuir riesgos por excesiva viscosidad y problemas de dispersión.
- Baja temperatura vítrea, para permitir mejorar los problemas de deformación a bajas temperaturas.

Muchas veces se confunde la compatibilidad ligante/polímero con la estabilidad al almacenamiento, Estos dos conceptos son completamente diferentes aunque

en algunos casos pueden estar relacionados. Existen asfaltos modificados compatibles y estables al almacenamiento; asfalto modificado compatible e inestable al almacenamiento y asfalto modificado incompatible (Chávez Roldan, I., 2008, p. 12). Por el contrario, un asfalto modificado estable al almacenamiento supone un sistema compatible.

Desde el punto de vista termodinámico, un ligante y un polímero son compatibles cuando son miscibles, es decir, pueden mezclarse de tal forma que constituyen una sola fase. Esta capacidad de mezclado depende tanto de la composición química del betún como la del polímero, así como de las condiciones en las que se haya realizado el mezclado.

Desde el punto de vista práctico, la compatibilidad entre un ligante y un polímero significa que ambos se pueden mezclar para formar un producto homogéneo, en que las propiedades se encuentran mejoradas con respecto a las del cemento asfáltico base y en el que la mezcla se pueda manipular sin precauciones excesivas.

Normalmente, los cementos asfálticos y los polímeros son incompatibles, y al mezclar un polímero y un ligante existe una separación de fases. Para evitar dicha separación de fases es necesario utilizar compatibilizantes para cambiar la naturaleza química del ligante y sistemas especiales de fabricación.

La compatibilidad asfalto-polímero puede medirse más apropiadamente por calorimetría diferencial de barrido, ya que la existencia de compatibilidad se determina por la aproximación de los valores de las temperaturas de transición vítrea (T_g) de ambos.

Si se estudian las propiedades de los polímeros amorfos en función de la temperatura, se observa que existe una temperatura, más bien, una región relativamente estrecha de temperaturas, en la que se manifiesta un fuerte cambio de propiedades físicas y mecánicas. Por encima de esta región de temperaturas, el polímero es blando; se comporta como un líquido más o menos viscoso con propiedades semejantes a las de los cauchos, mientras que por debajo de ella el polímero es duro, rígido y quebradizo con propiedades análogas a las de los vidrios. La temperatura que separa estos dos comportamientos es la temperatura de transición vítrea. (...) Así, por ejemplo, copolímeros de estireno-butadieno con $T_g \approx 70^\circ\text{C}$ (...) a temperatura ambiente tienen una elasticidad semejante a la del caucho (Areizaga & Cortazar & Elorza & Erwin, 2002, pg 247)

También algunos estudios afirman que los polímeros cuyos parámetros de solubilidad de Hildebrand se encuentran entre 7.6 y 8.6 son más compatibles con el asfalto. Algunos ejemplos son:

Copolímero de etileno y acetato de vinilo, EVA : 7.6

Copolímero de etileno, propileno y un dieno, EPDM: 8.0

Copolímero de butadieno estireno, SBR: 8.3

Poliolefinas: 7.8

Polisopreno IR: 8.3

Polibutadieno, BR: 8.6

Los polímeros con parámetros de solubilidad de aproximadamente 7.6 mezclan bien con los asfaltos ricos en saturados, en tanto que los que se encuentran alrededor de 8.6 requieren asfaltos con elevado nivel de aromáticos.

Sin lugar a duda, la necesidad de la existencia de compatibilidad entre el polímero y el asfalto es uno de los factores principales objetos de estudio para obtener la mezcla ideal, sin embargo la compatibilidad puede ser mejorada al incorporar aditivos compatibilizantes aromáticos y nafténicos, como también manteniendo agitación continua.

2.3.5. Parámetros que influyen en el proceso de modificación

Como regla general, materiales de similar polaridad serán miscibles, pero al mismo tiempo, cuanto mayor es el peso molecular del modificador, mayores son los requerimientos de solubilidad. Consideremos los parámetros de solubilidad de los cuatro componentes del asfalto, saturados, aromáticos, resinas y asfaltenos, estos últimos son los menos propensos a mezclarse con copolímeros del tipo SBR y SBS.

La optimización en la obtención del asfalto modificado con polímeros no solo depende de la composición del asfalto, de la naturaleza química y macromolecular del polímero sino también de las condiciones experimentales de preparación de la mezcla (temperatura, tiempo y velocidad de cizalla). Durante el proceso de mezclado y como consecuencia de las altas temperaturas y esfuerzos de corte a que son sometidos ambos componentes, pueden producirse diferentes cambios químicos y físicos que afectarán la compatibilidad de la mezcla y su estabilidad (Larsen & Cortizo & Alessandrini, 2007, p. 2).

Grandes volúmenes de mezclas de polímero-asfalto son usados en aplicaciones como techados, superficies de pavimentos e impermeabilizantes, y los procesos

de mezcla empleados pueden tener un significativo efecto en las propiedades técnicas de la mezcla resultante y en la economía de la operación completa.

Existen varios factores que influyen en el proceso de mezclado. Dichos factores pueden ser definidos como sigue:

- a. Naturaleza del polímero
- b. Forma física del polímero
- c. Naturaleza y grado del asfalto
- d. Tipo de equipo
- e. Tiempo y temperatura durante el mezclado

a. Naturaleza del polímero

La homogeneidad de la mezcla del polímero con el asfalto puede variar con el peso molecular del polímero, la cual refleja una viscosidad final del polímero y en el contenido del estireno. Ambos, un alto peso molecular o viscosidad y un alto contenido de estireno, pueden dar largos tiempos de mezcla y viceversa.

b. Forma física del polímero

La forma física del polímero influye en el proceso de mezclado. Un pequeño tamaño de partícula del polímero requiere un menor tiempo en la etapa de desintegración en el proceso. En adición, pequeños tamaños de partícula tienen una mayor área superficial por unidad de masa del polímero, la penetración en el asfalto y el hinchamiento del polímero es facilitado y, por lo tanto, la disolución es lograda más rápidamente.

Los polímeros en polvo son dispersados y disueltos más rápidamente que los polímeros en pellets. En efecto, esto podría ser posible si para la mezcla del asfalto con polímero en polvo se emplea solo equipos de bajo cizallamiento y sin ninguna etapa de desintegración.

c. Naturaleza y grado del asfalto

El asfalto juega un rol importante en el proceso de mezclado, donde su composición y su viscosidad afectan a la mezcla.

Los asfaltos de alto contenido de maltenos o alto contenido de aromáticos hinchan el polímero más rápidamente que aquel bitumen que tenga un alto contenido de asfaltenos.

Los maltenos además de mantener en dispersión a los asfaltenos en el asfalto, también son requeridos para actuar como solventes para un polímero cuando es introducido en el asfalto. Insuficiente solvencia y/o un exceso de asfaltenos podría resultar tarde o temprano, durante el mezclado o durante el servicio, en la segregación de los asfaltenos y/o el polímero.

Por otra parte, una baja viscosidad en el asfalto es útil en el incremento de la velocidad de penetración e hinchamiento de las partículas del polímero.

Sin embargo, es arriesgado que la selección del asfalto sea hecha únicamente sobre la base de su curva de viscosidad/temperatura o su velocidad de penetración en el polímero; los aspectos de la performance de la mezcla final son factores dominantes en la elección de bitumen y el proceso de mezcla y son considerados en la formulación.

d. Tipo de equipo

El proceso productivo de modificación de asfaltos con polímeros consiste en disolver el polímero en el asfalto base mediante agitación mecánica y recirculación.

En el mercado existe una amplia variedad de mezcladores y dispersores, en la típica forma de paletas o tipo hélice. Estos, en términos generales, están divididos en equipos de bajo cizallamiento con velocidad de agitación menores a 1500 rpm, y los equipos de alto cizallamiento con velocidad de agitación entre 1500 a 10000 rpm.

e. Tiempo/temperatura de mezclado

El proceso ideal de mezclado tiene la menor temperatura de mezcla para el menor tiempo posible, ambos desde el punto de vista económico, y debe minimizar los cambios en el asfalto o en el polímero como resultado de los efectos térmicos. El tiempo requerido es resultado de la eficiencia de mezclado y solución, la temperatura puede ser incrementada por el tipo de asfalto y es requerimiento para lograr movilidad y un inicial hinchamiento del polímero. Sin embargo, empíricamente se ha encontrado para la combinación de polímeros con asfaltos, temperaturas óptimas de mezcla que resultan ser satisfactorias.

2.3.6. Cambios en las Propiedades del asfalto.

La modificación del asfalto proporciona las siguientes ventajas en las propiedades reológicas de los asfaltos:

- Disminuir la susceptibilidad térmica a temperaturas elevadas.
- Mejorar la cohesión interna de los asfaltos modificados.
- Menor susceptibilidad a la oxidación.
- Aumento del punto de ablandamiento y de la viscosidad.
- Reducción de la penetración.
- Aumento del comportamiento elástico y reducción del flujo viscoso.
- Aumento de la ductilidad y del punto de ruptura FRAAS a bajas temperaturas.

Disminuir la susceptibilidad térmica a temperaturas elevadas

Haciendo uso de un diagrama BTDC (Bitumen Date Test Chart) desarrollado por Heukelom, veremos como son los cambios en la susceptibilidad térmica de los asfaltos convencionales cuando son modificados con polímeros tipo SBS.

En la figura, puede apreciarse que un asfalto convencional empleado en pavimentación, presenta una variación lineal de su consistencia con la temperatura. Por el contrario, el mismo asfalto modificado SBS muestra un comportamiento no lineal. Esta diferenciación en el comportamiento de estos materiales justifica las ventajas de utilización de este tipo de productos.

Tal como se aprecia, en las zonas de bajas temperaturas, el asfalto modificado presenta mejores características de flexibilidad que el asfalto convencional, como lo indican los valores más bajos de consistencia. En el rango de temperaturas de servicio, 60 – 70°C, el asfalto modificado presenta menor susceptibilidad térmica, con consistencias elevadas, lo que asegura una buena resistencia de las mezclas asfálticas a las deformaciones permanentes.

Finalmente, en las zonas de las temperaturas de mezclado en la planta asfáltica, el asfalto modificado presenta una viscosidad algo mayor que la del asfalto convencional, pero de ninguna manera dificulta las operaciones de preparación de las mezclas.

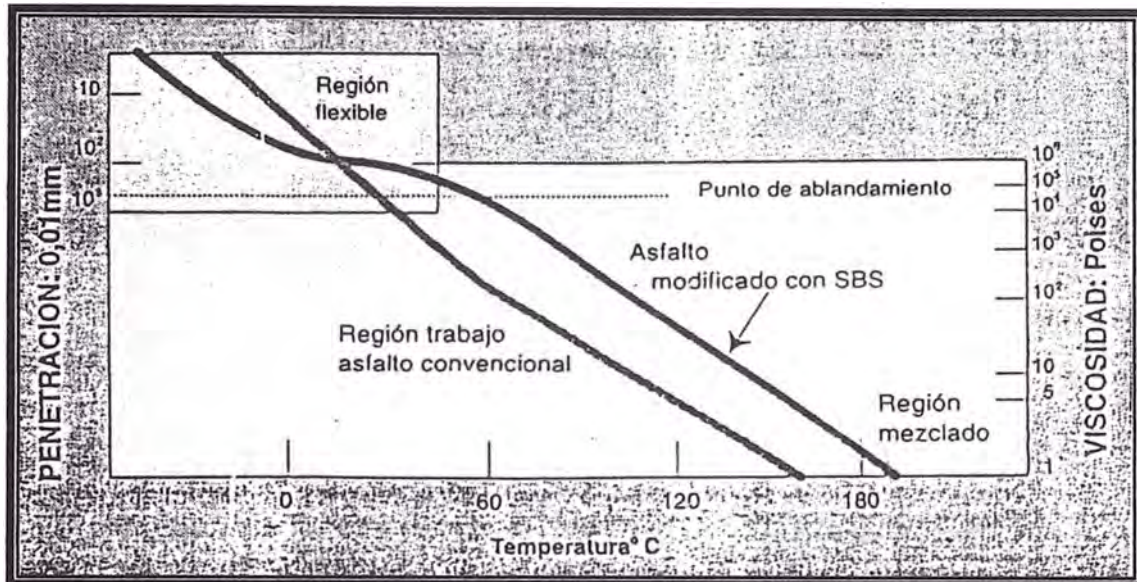


Figura N°10 Comportamiento Reológicos de los asfaltos modificados con polímeros SBS.

Fuente: Asfaltos modificados – Jorge Agnus Dei

Mejorar la cohesión interna de los asfaltos modificados

Una de las propiedades más importantes que le imparten los polímeros a los asfaltos es un aumento en su cohesión. Un ensayo que pone de manifiesto este efecto por parte de los polímeros del tipo SBS, es el desarrollado por Benson, denominado Resistencia – Tenacidad (Toughness - Tenacity).

El método consiste en medir el trabajo requerido para separar una semiesfera de acero, sumergida dentro de un recipiente con el asfalto modificado.

El dispositivo que se emplea consiste en una semiesfera de acero de 1.9 cm de diámetro, unida a un eje. La misma es introducida dentro de un recipiente con 50 cm³ del ligante modificado, previamente fundido. La muestra es dejada estacionar por 12 horas a 25°C. Al cabo de este tiempo, manteniendo el recipiente fijo, la semiesfera es separada a una velocidad de 30 cm / min., mediante un aparato de tensión Instron o similar, registrando automáticamente la curva tensión – deformación. Dado que el ensayo involucra la medida de una distancia y una fuerza, el resultado se expresa en términos de un trabajo en kg x cm.

Menor susceptibilidad a la oxidación

Dado que el proceso de envejecimiento va acompañado por un incremento de la fracción de asfaltenos. Esto implica que el envejecimiento va asociado a un

proceso de oxidación que provoca el aumento en la polaridad de la mezcla y una disminución en la fracción de aromáticos ocasionada por el rompimiento de los anillos durante la oxidación (Reyes & Daza & Rondón, 2012, pg. 55).

2.3.7. Influencias en las mezclas asfálticas.

Las características incorporadas por la modificación del cemento asfáltico CAP PEN 85/100 con polímeros SBS, implican beneficios directos a las mezclas asfálticas elaboradas con este ligante, tales como:

- Reducción de la susceptibilidad térmica de las mezclas bituminosas.
- Aumento de la flexibilidad y elasticidad a bajas temperaturas permitiendo a la mezcla una mayor resistencia al agrietamiento térmico.
- Mejora en la resistencia a la fluencia, a grietas y deformaciones permanentes en temperaturas altas.
- Aumento del módulo de rigidez a altas temperaturas reduciendo el ahuellamiento.
- Aumento de la resistencia a la tracción y a la elongación mitigando el agrietamiento por fatiga a temperaturas intermedias de servicio
- Aumento de las fuerzas de adhesión y cohesión del sistema agregado ligante.
- Mayor resistencia del desgaste y al envejecimiento de la mezcla.

2.3.8. Formas de modificación del cemento asfáltico con polímeros SBS.

La incorporación del polímero puede darse de tres formas:

Producción del asfalto modificado en una planta Industrializada fuera de la zona del proyecto con transporte del producto final a una planta de asfalto en obra.

Preparación del asfalto modificado en un mezclador auxiliar (planta de modificación) ubicado en una planta de asfalto en Obra.

Incorporación del polímero directamente en la mezcla asfáltica durante el proceso de mezcla del asfalto con los agregados.

La producción en fábrica separada del lugar de operación significa un mejor control de calidad y mejor dispersión del polímero en el asfalto, la segunda alternativa garantiza una mejor incorporación del polímero en el CAP que la tercera alternativa.

2.3.9. Temperatura de mezclado y compactación en mezclas bituminosas con la utilización del cemento asfáltico modificado

La consistencia del asfalto decrece a medida que aumenta la temperatura, por lo cual deben ser estudiados como materiales termoplásticos. A muy bajas temperaturas, se comporta como un sólido rígido; a temperaturas medias, tiene un comportamiento viscoelástico; y a altas temperaturas es un líquido viscoso.

En el caso de los asfaltos modificados con polímeros SBS, aún a temperaturas elevadas, se comportan como fluidos no newtonianos con dependencia entre la viscosidad y la velocidad de corte (Agnusdei y Jair, 2004, pg. 1). Este comportamiento de fluido no newtoniano de los asfaltos modificados puede deberse a los polímeros del tipo SBS los cuales al ser fundidos presentan características de fluido viscoelástico. Este tipo de sustancias tienen la particularidad de recuperar parcialmente su estado inicial, presentando entonces características de los cuerpos elásticos.

La temperatura de mezclado de concretos asfálticos es función de los requerimientos para lograr un agregado seco, obtener un buen recubrimiento de la partícula para una adecuada distribución y compactación.

Durante muchos años los procedimientos para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente han utilizado el **concepto de temperatura de equiviscosidad** para seleccionar en laboratorio las temperaturas óptimas de mezclado y compactación.

El propósito de utilizar las **temperaturas de equiviscosidad** para el mezclado y compactación en los procedimientos de diseño de mezclas, es normalizar el efecto de la viscosidad del asfalto sobre las propiedades volumétricas de la mezcla. En el caso de una planta asfáltica, la producción de mezcla asfáltica con un asfalto duro se efectúa incrementando la temperatura de mezclado hasta alcanzar el mismo grado de cobertura de los áridos que la que se obtiene con un asfalto más blando. Las temperaturas de mezclado y compactación pueden ser obtenidas mediante el viscosímetro Brookfield de acuerdo a lo indicado por la especificación ASTM D 4402 (Agnusdei y Jair, 2004, p. 3).

De acuerdo con los criterios antes mencionados para el diseño de las mezclas asfálticas, tanto por el método Marshall como el indicado por el Superpave, las temperaturas óptimas de mezclado y compactación son las correspondientes a las viscosidades de $0,17 \pm 0,02$ Pa.s (170 ± 20 Centistokes) y $0,28 \pm 0,02$ Pa.s (280 ± 30 centistokes) respectivamente. Estas condiciones funcionan bien para los asfaltos convencionales, partiendo de la base que los mismos se comportan a temperaturas elevadas como fluidos newtonianos con independencia entre la viscosidad y la velocidad de corte (Agnusdei y Jair, 2004, p. 1).

Siguiendo el concepto de equiviscosidad en los cementos asfálticos modificados al igual que en los asfaltos convencionales, se considera temperatura de mezclado la que se obtiene para una viscosidad de $0,17 \pm 0,02$ Pa s y la temperatura de compactación para una viscosidad de $0,28 \pm 0,02$ Pa s. (García, 2009, p. 130).

Para la obtención de temperaturas óptimas de mezclado y compactación en mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos modificados y dado que estos ligantes modificados presentan comportamientos de fluidos no newtonianos, se realizaron estudios diversos, siendo la metodología basada en el concepto de viscosidad a corte cero (ZSV) una alternativa aceptable.

En el informe NCHRP 459 "Characterization of Modified Asphalt Binder in Superpave Mix Design" llevado a cabo por el National Cooperative Highway Research Program, liderado por el Dr. H. Bahía, se informan los resultados obtenidos de una investigación para evaluar la aplicabilidad de la especificación AASHTO MP1 "Standard Graded Asphalt Binder" a los asfaltos modificados.

Basado en estudios de correlación entre el contenido de vacíos de mezclas asfálticas y medidas de viscosidad a diferentes velocidades de fluir, mostraron que la correlación mejoraba cuando la viscosidad se determinaba a bajos valores de velocidad de fluir. Bahía propone una metodología para el cálculo de las temperaturas de mezclado y compactación de mezclas con asfaltos modificados, mediante la aplicación del **concepto de viscosidad a corte cero (ZSV)**, ya que según él, este es el factor más importante que controla el proceso de compactación. De esta manera se logran disminuciones considerables de

las temperaturas, preservando considerablemente de esta manera, las propiedades de los polímeros.

Bahía en su propuesta, fija como hipótesis de trabajo que las temperaturas de compactación no deben ser superiores a los 150 °C y las de mezclado 160 °C. De acuerdo a resultados por él obtenidos para estas temperaturas, las viscosidades a corte cero para el mezclado y para la compactación las fija en 3,0 Pa.s y 6,0 Pa.s respectivamente.

Para evitar la complejidad de las mediciones de viscosidad a corte cero (ZSV), Bahía simplifica el procedimiento sin tener en cuenta el efecto de la velocidad de fluir, realizando las medidas de viscosidad a una velocidad de fluir igual a 6,8 s⁻¹ que corresponde a una velocidad de giro igual a 20 rpm con el rotor 27 del viscosímetro Brookfield, tal como lo establece el procedimiento Superpave para el cálculo de la viscosidad a 135 °C. De acuerdo a su experiencia, Bahía establece nuevas condiciones de referencia de viscosidad para esta alternativa que son 0.75 Pa.s y 1.4 Pa.s respectivamente para las viscosidades óptimas de mezclado y compactación (Agnusdei y Jair, 2004, pg. 5,7).

Para determinar las temperaturas de mezclado y compactación de las mezclas asfálticas se realiza la viscosidad a 135° C, 150° C, 170° C y 190° C. Se grafica la curva de calentamiento entre las viscosidades obtenidas a las temperaturas dadas.

CAPÍTULO III: APLICACIÓN EN LA CARRETERA SULLANA – AGUAS VERDES

En el presente capítulo se dan a conocer las exigencias de calidad de los cementos asfálticos modificados y de las mezclas asfálticas elaboradas con estos ligantes. También se exponen los procesos y técnicas empleadas para la obtención de cemento asfáltico modificado con polímeros SBS y los procesos seguidos para la elaboración de mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico convencional y cemento asfáltico modificado con polímero SBS para su posterior análisis comparativo.

3.1. EXIGENCIAS DE CALIDAD

3.1.1. Cemento asfáltico modificado.

En las especificaciones técnicas peruanas se expone lo siguiente:

“El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la Tabla N° 400-1, las consideraciones del Proyecto y las indicaciones del Supervisor” (EG-2000, pg. 400/2).

Cuadro N°7 Selección del tipo de asfalto

Tabla N°400-1 Mezclas en Caliente

Tipo de Cemento Asfáltico Clasificado según Penetración

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C – 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40 – 50 o 60-70 o Modificado	60-70	85 – 100 120 – 150	Asfalto Modificado

Fuente: EG-2000

“El cemento asfáltico podrá modificarse mediante la adición de activantes, rejuvenecedores, polímeros, asfaltos naturales o cualquier otro producto

garantizado por los productos correspondientes. En tales casos, las especificaciones particulares establecerán el tipo de adición y las especificaciones que deberán cumplir tanto el ligante modificado como las mezclas asfálticas resultantes. La dosificación y dispersión homogénea del producto de adición deberán tener la aprobación del supervisor”(EG-2000, pg 400/3).

En el presente año se publicó las EG-2013, en las cuales se establece los requisitos de calidad establecidos en la tabla 431-01, donde se observa lo siguiente:

Cuadro N°8 Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros

Tabla 431-01

Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros

CARACTERÍSTICAS		TIPO I (*)							
		I-A		I-B		I-C		I-D	
		min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.
Pruebas sobre el producto original									
Penetración, 25°C. 100g. 5s, dmm	MTC E-304	100	150	75	100	50	75	40	75
Viscosidad absoluta 60°C, poise	MTC E-308	1.25		2.5		5			5
Viscosidad. 135°C, cSt	MTCE-310		3		3		3		3
Punto de inflamación. COC. °C	MTC E 303	232		232		232			232
Solubilidad en tricloroetileno; % (**)	MTC E 302	99		99		99			99
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior: °C	MTC E 307	2,2		2,2		2,2			2,2
	MTC E 319								
Recuperación elástica, 25°C; %	ASTM D 6084	60		60		60			60
Recuperación elástica. 5°C; %	ASTM D 6084	50							
Punto de Ablandamiento (anillo y bola). %	MTC E 307	45		50		60			60
Pruebas en el residuo de película fina y									
Recuperación elástica 25°C, 10 cm de elongación; %	ASTM D 6084	60		60		60			60
Penetración. 4°C. 200g. 60s; dmm	MTC E-304	20		15		13			10
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior: °C	MTC E 307	≤10		≤10		≤10			≤10

Fuente: EG-2013

Las especificaciones Técnicas del expediente técnico de la obra Mantenimiento periódico de la Carretera Sullana - Aguas Verdes dice lo siguiente:

“El ligante bituminoso será el cemento Asfáltico de Petróleo modificado con polímero tipo SBS en proporción para obtener las características especificadas en el cuadro de asfalto modificado”.

Todo cargamento de ligante bituminoso que llega a obra debe tener un certificado de control de calidad, uno como mínimo, con los resultados de ensayos especificados, además de traer la indicación clara del origen, tipo y cantidad del contenido. El proveedor debe indicar, en su certificado, el intervalo de la temperatura de mezcla y el mínimo de la descarga en la esparcidora. La tabla 01 indica los requisitos de calidad mínimos a solicitar y cumplir.

Cuadro N°9 Características del ligante modificado con polímeros.

Tabla N° 01

CARACTERÍSTICAS DEL LIGANTE MODIFICADO CON POLIMEROS				
Ensayo	Unid.	Ensayo	Mínimo	Máximo
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 312	230	
Estabilidad de almacenamiento(*)				
Diferencia del punto de ablandamiento	°C	MTC E 307		5
Diferencia de penetración	°C	MTC E 304		10
Ductilidad a 5 °C	Cm	MTC E 306	15	
Recuperación elástica a 25 °C	%	NLT-329/91	60	
Espuma			No	No
RESIDUO DESPUÉS DEL EFECTO DE CALOR Y DE AIRE				
Penetración 25 °C; 100g; 5seg	% Pen. Or.	MTC E 304	65	
Variación del peso	% residual			1
Ductilidad a 5 °C (5 cm/min)	Cm	MTC E 306	8	
Variación del Punto de ablandamiento	°C	MTC E 307	-5	+10

Fuente: Especificaciones técnicas generales y especiales de la obra

(*) No se exigirá este requisito cuando los elementos de transporte y almacenamiento estén provistos de un sistema de homogenización adecuado, aprobado por el supervisor. El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a temperatura de 175°C. (Expediente Técnico "Mantenimiento periódico de la carretera Panamericana Norte tramo Sullana – Aguas

Verdes 1ra Etapa, Volumen 2, Especificaciones técnicas generales y especiales, Sección 2.20-Asfalto Modificado con Polímeros-Materiales Bituminosos, p. 106).

3.1.2. Mezcla asfáltica en caliente con cemento asfáltico modificado con polímero SBS.

Según el Expediente Técnico "Mantenimiento Periódico de la carretera Panamericana Norte tramo Sullana – Aguas Verdes 1ra Etapa". Volumen N°2.Especificaciones Técnicas Generales y Especiales. Pag. 97, muestra la Tabla siguientedonde se indican los parámetros que debe cumplir el diseño de mezcla:

Cuadro N°10 Características de la mezcla asfáltica Modificada
REQUISITOS PARA MICROPAVIMENTO EN CALIENTE

ENSAYOS	NORMA	UNIDAD	LIMITE	
			MINIMO	MAXIMO
Estabilidad Marshall- 75 golpes por cara	MTC E 504	kgf	700	-
Fluencia Marshall		mm	2.5	4.5
Porcentaje de Vacíos Marshall	MTC E 505	%	4	-
Relación Bitumen/Vacíos		%	65	82
Relación Filler/Bitumen			0.6	1.2
Desgaste Cántabro	MTC E 515	%	-	20
Desgaste Cántabro 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 hrs) a 60 °C

Fuente: Especificaciones técnicas generales y especiales de la obra

Adicionalmente la mezcla debe tener un mínimo de vacíos del agregado mineral según la siguiente tabla:

Cuadro N°11 Características granulométricas del relleno mineral

TAMIZ	VMA mínimo
3/8"	16.2
Nº 4	18.3

Fuente: Especificaciones técnicas generales y especiales de la obra

Los agregados deben ser provenientes del triturado y consistirán de una mezcla de agregados gruesos (retenidos en la malla No 4), agregados finos (pasantes la malla No 4) y filler mineral que podrá ser cemento Pórtland o cal hidratada.

Según el Expediente Técnico "Mantenimiento Periódico de la carretera Panamericana Norte tramo Sullana – Aguas Verdes 1ra Etapa". Volumen N°2. Especificaciones Técnicas Generales y Especiales. Pag. 94, la faja granulométrica que se adopte para el diseño de mezclas para micropavimento en caliente deberá cumplir cualquiera de los husos granulométricos siguientes (utilizar de preferencia las fajas 2 y 3).

Cuadro N°12 Huso granulométrico para micropavimento en caliente

HUSO GRANULOMETRICO PARA MICROPAVIMENTO EN CALIENTE

TAMIZ		HUSO 1		HUSO 2		HUSO 3		HUSO DE TRABAJO
ASTM	mm	MINIM O	MAXIM O	MINIM O	MAXIM O	MINIM O	MAXIM O	
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	0.075	5	10	6	10	7	10	+ 2%
ABRASION LOS ANGELES		40		30		25		

Fuente: Especificaciones técnicas generales y especiales de la obra

Los agregados minerales deberán cumplir con los siguientes requerimientos:

Cuadro N°13 Requerimiento para los agregados gruesos
REQUERIMIENTOS PARA LOS AGREGADOS GRUESOS

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

(1) Se complementa la norma MTC E 210 en el sentido que se consideran caras fracturadas también a aquellos agregados que presenten aristas vivas y angulosas y no hayan sido obtenidos mediante fractura en forma mecánica.

Fuente: Especificaciones técnicas generales y especiales de la obra

Cuadro N°14 Requerimiento para los agregados finos

REQUERIMIENTOS PARA LOS AGREGADOS FINOS

ENSAYO	NORMA	REQUERIMIENTO
Equivalente de arena	MTC E 114	65% mín.
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4% mín.

Índice de Plasticidad (malla No 200)	MTC E 111	4% máx.
Índice de plasticidad (malla No 40)	MTC E 111	NP
Sales solubles totales	MTC E 219	0.5% máx.
Absorción	MTC E 205	1% máx.

Fuente: Especificaciones técnicas generales y especiales de la obra

Cuadro N°15 Requerimiento para filler mineral

REQUERIMIENTO PARA FILLER MINERAL

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

Fuente: Especificaciones técnicas generales y especiales de la obra

3.2. Modificación de cemento Asfáltico PEN 85/100 con Polímeros SBS

3.2.1. Metodología usada para la modificación del asfalto base con polímeros SBS en laboratorio.

La metodología seguida para la obtención del asfalto modificado a partir del cemento asfáltico 85/100 con distintos tipos de polímeros es la siguiente:

- a) Caracterización del asfalto base.
- b) Caracterización de los polímeros.
- c) Puesta a punto del equipo dispersor.
- d) Aditivaciones con distintos tipos de polímeros SBS.
- e) Caracterización de las mezclas asfalto-polímero.

a) Caracterización del asfalto base

Para la caracterización del asfalto base, se analizaron dos de las variables que se modifican con las adiciones de polímero, penetración a 25°C y punto de ablandamiento. Registrando las variaciones en estas propiedades, se arribará a una dosificación primaria sobre la cual se realizará una caracterización completa según los requerimientos esperados.

b) Caracterización de los polímeros

Para caracterizar el tipo de polímero se considera su composición química, estructura del compuesto, gravedad específica, viscosidad y el aspecto físico.

c) Puesta a punto del equipo dispersor.

Según Larsen&Cortizo&Alessandrini (2007, p. 9, 10). En los gráficos de viscosidad vs. tiempo de mezclado, la viscosidad aumenta hasta un valor máximo y posteriormente empieza a decrecer (...), Probablemente este comportamiento es consecuencia de que luego de una óptima dispersión comienza a observarse un cambio en las propiedades del asfalto modificado con una marcada degradación del polímero y su consecuente disminución de la viscosidad(...).

Es de destacar que los máximos valores de las viscosidades no se producen para el mismo tiempo de mezclado.

Por lo expuesto anteriormente, la determinación del tiempo de mezclado para el equipo de modificación en el laboratorio pasará por una adecuada elección de la velocidad de cizalla y la temperatura adecuada que sea tolerable por el cemento asfáltico base, sin sufrir variaciones en sus características físico-mecánicas (en su equilibrio coloidal) y químicas (oxidación del cemento asfáltico base) y el polímero (degradación prematura del polímero debido a incisión de las cadenas del bloque butadieno)

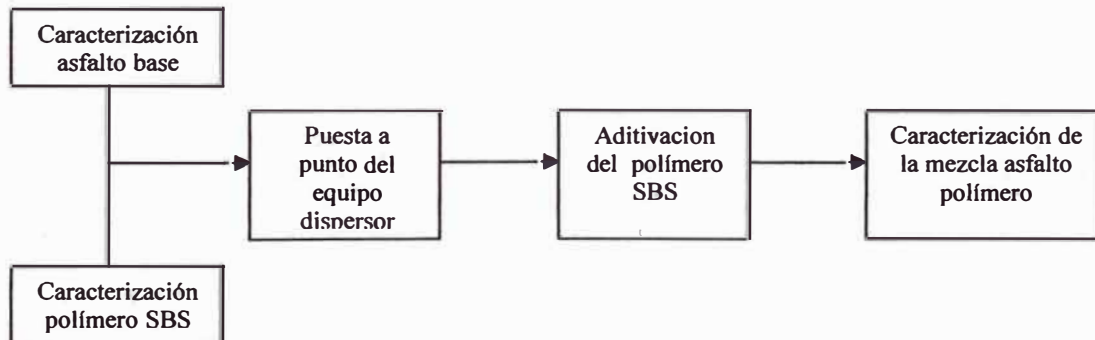
d) Aditivaciones con distintos tipos de polímeros

La adición de distintos tipos de polímeros al cemento asfáltico, tiene por objeto obtener un asfalto modificado que cumpla con las especificaciones del expediente técnico.

e) Caracterización de las mezclas Asfalto - Polímero.

Se determina las características Reológicas y mecánicas de cada una de las mezclas realizadas identificando sus características.

Cuadro N°16 Metodología para modificación de asfalto base con polímero SBS.



Fuente: Elaboración propia

3.2.2. Equipos de laboratorio para modificación de asfaltos con polímeros SBS

- **Molino coloidal modelo LAB CVERM-50 básico.-** Equipo piloto para modificación de asfalto con polímeros SBS en laboratorio. Capacidad de batch: 6 litros, rotor estator con dientes gruesos para betún-polímero, dispositivo de recirculación, motor eléctrico 3hp trifásico de 2,850 rpm, regulador de velocidad de 1,000 a 4,000 rpm, cañerías con aislamiento térmico (ver anexos 1, fotos 01, 02 y 03).
- **Viscosímetro rotacional Brookfield.-** Utilizado para el control de la consistencia del asfalto base y para la determinación de las viscosidades y temperaturas de mezclado y compactación del asfalto modificado.
Determina 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(ver anexos 1, fotos 04).
- **Penetrómetro Standard.-** para determinar la consistencia del asfalto base y modificado según ASTM D5. Con dial de lectura de 10 cm de diámetro y divisiones de 1/10 mm, juego de pesas de 50 y 100 gr, agujas, recipientes y cronómetro. Modelo ALEIN 0-370 (ver anexos 1, fotos 05).
- **Aparato anillo y esfera.-**Para determinación del punto de ablandamiento del asfalto base y modificado según ASTM D36. Con 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(ver anexos 1, fotos 06).
- **Aparato para ensayo de punto de inflamación.-** Para la determinación del punto de inflamación según ASTM D92 del asfalto base y modificado. El punto de inflamación es la temperatura mínima al que se debe calentar un líquido inflamable para que despidiera suficiente vapor de modo que generare un fognazo en todo su superficie cuando se aplica una chispa (ver anexos 1, fotos 07).
- **Ductilómetro.-** Para la determinación de la ductilidad del asfalto base y modificado a 25 °C y 5 °C respectivamente según ASTM D113. Consta de un baño de acero inoxidable provisto de un carro de tracción que se desliza a través de unas guías dentro del baño, accionado mediante un

motor eléctrico. Temperatura en un rango de 2 a 30 °C(ver anexos 1, fotos 08).

- **Recuperación elástica por torsión.-** para la determinación de la recuperación elástica por torsión en asfaltos modificados según la norma española NLT-329-91. Consta de una escala analógica de metal espaciada al grado (tipo semicírculo), cubetas de bronce con tuercas de ajuste tipo patas de araña, agujas y émbolos ver anexos 1, fotos 09).
- **Equipo de baño de calentamiento de muestras de asfalto (baño María).-** Para el calentamiento a 25°C de las muestras de asfalto para ensayos de penetración, ductilidad y recuperación elástica torsional. Presenta los siguiente elementos ver anexos 1, fotos 10):

Recipiente de acero inoxidable de 55 cm de largo por 45cm de ancho y por 20 cm de altura, con tapa y soporte inferior a 1 cm de altura para colocar muestras para penetración, recuperación elástica torsional, ductilidad, etc.

Cabezal termostático de inmersión analógico, con una temperatura de trabajo de hasta 100 °C, potencia de calentamiento de 1.5 kw y controles de temperatura de 0.5 °C.

- **Horno para ensayo de película delgada rotativa (RTFO).-** Para medir el efecto de calor y aire sobre muestras de asfalto en horno a 163 °C, es decir, en condiciones de endurecimiento que se aproximan a aquellas que ocurren durante las operaciones normales de una planta de asfalto en caliente, con control termostático para mantener la temperatura a 163 °C +/- 0.5 °C(ver anexos 1, fotos 11)

Los efectos de este procedimiento se determinan a partir de la medición de ciertas propiedades del asfalto antes y después del ensayo (penetración, punto de ablandamiento, ductilidad, peso).

- **Recipiente para el ensayo de Estabilidad al Almacenamiento.-** Este equipo determina la estabilidad al almacenamiento que presentan los asfaltos modificados. El procedimiento consiste en someter una muestra del ligante modificado a la acción de la temperatura elevada durante 5 días determinándose al final de este tiempo, el punto de ablandamiento u otras características, en partes de muestras tomadas en la zona superior e inferior del recipiente(ver anexos 1, fotos 12).

3.3. MEZCLA CON ASFALTO CONVENCIONAL

3.3.1. Caracterización del material granular

Sobre la base del peso, el agregado es el componente más importante de una mezcla de concreto asfáltico para pavimentación, constituyendo usualmente alrededor del 93 al 96% del peso de la mezcla.

Algunas de las características más importantes de los agregados minerales para el concreto asfáltico son:

- Resistencia, dureza y solides
- Limpieza
- Forma de partícula y textura superficial
- Porosidad interna de las partículas del agregado
- Propiedades hidrofobicas e hidrofilitas
- Gradación y tamaño máximo de la partícula
- Densidad

Con fines comparativos se ha diseñado mezcla asfáltica con el uso granulométrico elegido especificado para micropavimento, tomando como agregados los áridos de la cantera Débora ubicada en el km 1067+200 de la carretera Sullana – Aguas Verdes, provincia de Talara – Región Piura; cuyos resultados a los ensayos físicos, mecánicos y químicos en los agregados son los siguientes:

Agregado grueso

El agregado grueso se ha obtenido mediante el chancado. La calidad de un agregado se refleja principalmente en los valores resultantes del ensayo de abrasión en la máquina de los Ángeles y de durabilidad con $Mg SO_4$.

Otro indicador importante es la adhesividad con el cemento asfáltico, para lo cual se efectuó ensayos de revestimiento y desprendimiento, este ensayo nos indica la afinidad del agregado con el cemento asfáltico.

La forma y textura superficial de las partículas del agregado influyen sobre la estabilidad y propiedades de vacíos por lo que necesariamente serán partículas angulosas y de texturas rugosas.

De acuerdo con las especificaciones indicadas en la tabla No 02 – Requerimientos para los agregados gruesos contenidas en el Volumen N° 2 de las Especificaciones Técnicas Generales y Especiales del Expediente Técnico

de Obra (Cuadro 13), el agregado propuesto cumple las especificaciones solicitadas, tal como se puede ver en el siguiente cuadro comparativo.

Cuadro N°17 Características del agregado grueso - cantera Devora

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (m.s.n.m.) < 3000	Resultado Obra
Durabilidad (al Sulfato de	MTC F 209	15% máx	7.327 %
Abrasión Máquina de Los	MTC E 207	30% máx.	20.6 %
Partículas chatas y alargadas	MTC E 221	10% máx.	2.4 %
Caras Fracturadas	MTC E 210	95 / 90	99.9 /
Absorción	MTC E 206	1.0% máx.	1.32 %
Sales Solubles	MTC E 219	0.5% máx.	0.05 %
Adherencia **	MTC E 519	+ 95 %	+ 97%

* De acuerdo al Huso granulométrico N°2.

** Con 0.50% de Aditivo Morlife 2200

Fuente: Diseño de obra micropavimento Devora

Cuadro N°18 Granulometría agregado grueso - Cantera Devora

CARACTERISTICAS AGREGADO GRUESO				
CANTERA DEBORA				
ENSAYOS	NORMA	MALLAS	ESPECIFICACION TECNICA	CANTERA DEBORA
GRANULOMETRIA DE AGREGADO GRUESO		1/2		100
		3/8		88.5
		N°04		3.5
		N°08		0.3
		N°16		0
PESO ESPECIFICO BULK(BASE SECA)				2.606
PESO ESPECIFICO BULK(BASE SATURADA)				2.641
PESO ESPECIFICO APARENTE(BASE SECA)				2.699
% DE ABSORCION	MTC-E 206		1% max	1.32
DURABILIDAD MgSO4	MTC-E 209		15% max	2.8%
ABRASION LOS ANGELES	MTC-E 207		30% max	24.0%
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS	MTC-E 221		10% max	2.0%
CARAS FRACTURADAS	MTC-E 210		95/90	98.3/93.3
SALES SOLUBLES	MTC-E 219		0.50% max	0.35%
ADHERENCIA	MTC-E 519		+95% min.	95%

Fuente: Elaboración propia

A excepción de la absorción, el agregado cumple con los parámetros físicos mecánicos requeridos para este, expuestos en las especificaciones técnicas.

Agregado fino (arena chancada y zarandeada)

El agregado fino, que se utilizó para preparar la mezcla asfáltica, es un material procesado que proviene del chancado y zarandeo de los agregados de la cantera Débora.

El equivalente de arena y el índice de plasticidad son parámetros que aseguran la calidad del agregado fino y para asegurar la afinidad del par arido-ligante se practica el ensayo de adherencia Riedel Weber.

De acuerdo con las especificaciones indicadas para estos agregados, se debe satisfacer los parámetros físicos, mecánicos y químicos que se dan en el cuadro comparativo el cual se detalla a continuación:

Cuadro N°19 Requerimientos para los agregados finos - cantera Devora

Ensayos	Norma	Requerimiento MTC Altitud (m.s.n.m.) < 3000	Resultado Obra
Equivalente de Arena	MTC E 114	65% mín	70.9 %
Adhesividad (Riedel Weber) *	MTC E 220	4 mín.	4
Indice de Plasticidad N° 200	MTC E 111	4 % máx	2.52 %
Indice de Plasticidad N° 40	MTC E 111	NP	NP
Sales Solubles	MTC E 219	0.5% máx.	0.08 %
Absorción	MTC E 205	0.5% máx.	0.850%

* Con 0.50% de Aditivo Morlife 2200

Fuente: Diseño de obra micropavimento Devora

Como se observa en el cuadro anterior, el agregado fino supera el porcentaje máximo permitido para este árido, según especifica la EM-2000.

Cuadro N°20 Granulometría agregado fino - cantera Devora

CARACTERISTICAS AGREGADOS MINERALES FINOS				
CANTERA CHARAN Y CANTERA DEBORA				
ENSAYOS	NORMA	MALLA	ESPECIFICACION TECNICA	CANTERA DEBORA
GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO - ARENA CHANCADA		3/8		100
		N°4		95.9
		N°8		
		N°10		54.9
		N°30		
		N°40		20.9
		N°50		
		N°80		12.8
GRANULOMETRIA DE AGREGADO FINO - ARENA ZARANDEADA		3/8		100
		N°4		97.6
		N°8		
		N°10		73.3
		N°16		
		N°30		
		N°40		45.6
		N°50		
	N°80		23.6	
	N°200		6	
PESO ESPECIFICO BULK(BASE SECA)				2.63
PESO ESPECIFICO BULK(BASE SATURADA)				2.653
PESO ESPECIFICO APARENTE(BASE SECA)				2.69
% DE ABSORCION	MTC-E 205		0.5% max	0.85
EQUIVALENTE ARENA	MTC-E 114		65% max	70.9%
ADHESIVIDAD (RIEDEL WEBER)	MTC-E 220		4% max	4.0%
INDICE DE PLASTICIDAD(MALLA N°200)	MTC-E 111		4% max	2.52%
INDICE DE PLASTICIDAD(MALLA N°40)	MTC-E 111		NP	NP
SALES SOLUBLES TOTALES	MTC-E 206		0.50% max	0.08%

Fuente: Elaboración propia

Relleno mineral filler (cal hidratada)

El filler o relleno mineral se utiliza como relleno de vacíos y espesante de la mezcla asfáltica; en este caso, el filler utilizado fue cal hidratada el cual cumple los requisitos de la norma AASHTO – M303.

Cuadro N°23 Porcentaje en peso de agregados

AGREGADO GRUESO	DEBORA
Grava <3/8"	37.00%
AGREGADO FINO	
Arena chancada	50.20%
Arena zarandeada	10.00%
% DE FILLER	2.80%

Fuente: Diseño de obra micropavimento Devora

Cuadro N°24 Huso granulométrico de diseño

ENSAYOS	MALLAS	HUSO 2	CANTERA DEBORA
GRANULOMETRIA EN MEZCLA ASFALTICA	1/2	100.00	100.00
	3/8	90 - 100	97.60
	N°4	60 - 90	61.20
	N°8	31 - 46	39.40
	N°16	12 - 31	25.70
	N°30	9 - 23	19.20
	N°50	6 - 18	15.50
	N°200	6 - 10	7.20

Fuente: Diseño de obra micropavimento Devora

De acuerdo con las características de los agregados que se obtuvieron en las canteras, se eligió el huso 2 como faja granulométrica para el diseño y elaboración de la mezcla asfáltica adecuada para las características de la carretera desde la ciudad de Sullana hasta Aguas Verdes.

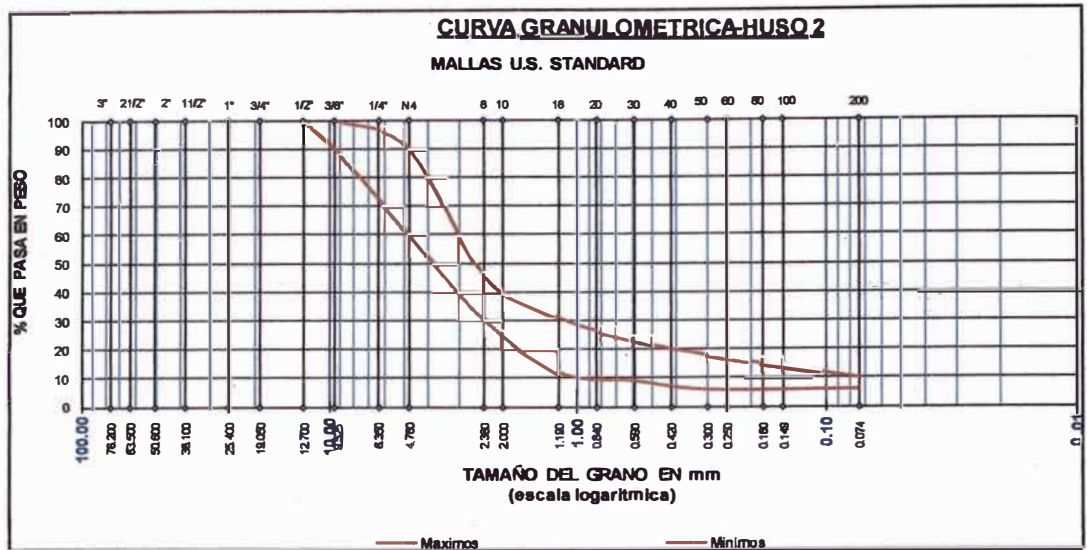


Figura N°11 Curva del huso granulométrico de diseño
Fuente: Diseño de obra micropavimento Devora

Como se puede observar este huso 2 muestra discontinuidad entre las mallas N°4 y la N°8, las cuales son necesarias para lograr una macrotextura ideal para este tipo de carpetas de rodadura. Este tipo de Huso discontinuo de consistencia densa presenta un porcentaje alto de arena gruesa (malla N°04 al N°08). Esta granulometría discontinua otorga mayor rugosidad por presentar una macrotextura ideal, y la consistencia densa, una impermeabilidad adecuada de la mezcla necesaria para este tipo de carpeta de rodadura.

3.3.2. Caracterización del asfalto base

Dada las características climáticas y de tránsito de la zona, el tipo de asfalto a usar es el asfalto PEN 60/70, que presenta características reológicas adecuadas para climas cálidos. Los parámetros reológicos mecánicos de este tipo de asfalto se pueden observar en los anexos 2, gráficas 01 y 02.

Las temperaturas óptimas de mezclado y compactación según la carta de viscosidad temperatura (temperaturas correspondientes a las viscosidades de 0.17±0.02 y 0.28±0.03 Pa.s, respectivamente), para el asfalto convencional 60/70 son las siguientes:

Temperatura de mezclado = 146°C

Temperatura de compactación = 135°C

3.3.3. Caracterización de la mezcla asfáltica convencional - diseño Marshall

Una mezcla asfáltica en caliente consiste en una combinación de agregados uniformemente mezclados recubiertos por cemento asfáltico. El diseño adecuado de una mezcla asfáltica de pavimentación para un uso específico debe considerar las siguientes propiedades deseables de la mezcla:

1. Estabilidad
2. Durabilidad
3. Flexibilidad
4. Resistencia a la fatiga
5. Resistencia al deslizamiento
6. Impermeabilidad
7. Trabajabilidad

Dada las características la zona (lluviosa, con temperaturas altas) y el grado de fisuramiento de la calzada existente antes de la intervención, las características del tipo de tránsito, de los materiales del pavimento y la infraestructura actual con que cuenta la vía, la elección de una mezcla con un porcentaje bajo de vacíos, peso unitario alto, estabilidad alta con un flujo adecuado garantiza un comportamiento adecuado de esta en el sitio.

El método de diseño usado para la preparación de esta mezcla asfáltica fue el método Marshall, para lo cual se han tomado los criterios siguientes:

Cuadro N°25 Criterios del diseño Marsall

criterio de diseño marshall	Transito liviano ²		Transito medio ²		Transito pesado ²	
	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Compactacion N° de golpes por cara	35		50		75	
estabilidad N	2224		3336		6672	
(lb.)	(500)		(750)		(1500)	
Fluencia, 0.25mm(0.01")	8	20	8	18	8	16
Vacios(%)	3	5	3	5	3	5
Vacios de agregado mineral						
VAM (%)	(Ver fig. 11)					

Fuente: (Comisión permanente del Asfalto, 1985, pg. D42)

Por las características de la vía el criterio del N° de golpes para la compactación del diseño Marshall realizado fue para tránsito pesado (75 golpes por cara).

Como se puede observar, los aspectos principales del método Marshall a tomar en cuenta son el análisis de densidad – vacíos y el análisis de estabilidad – fluencia, en muestras de mezclas asfálticas compactadas.

Este diseño de mezcla del tipo convencional elaborado con CAP PEN 60/70 se realizó con fines comparativos, lo cual permitió observar las mejoras en las características mecánicas y físicas que experimenta una mezcla asfáltica elaborada con cemento asfáltico modificado con polímero SBS. Por las razones expuestas, esta mezcla convencional se procesó con los mismos porcentajes de agregados obtenidos para la mezcla asfáltica elaborados con el ligante asfáltico modificado con polímero SBS (ver anexo 2, grafica 13 y 14).

3.4. MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO

3.4.1. Caracterización del material granular

Habiendo sido utilizados los mismos agregados para la elaboración de mezcla asfáltica con cemento asfáltico convencional CAP PEN 60/70 y en la elaboración de la mezcla asfáltica con cemento asfáltico modificado con polímero SBS, las características del material granular ya han sido expuestas en los ítems anteriores.

3.4.2. Caracterización del asfalto modificado

Previo a la dosificación que se realiza para el diseño de la mezcla asfáltica con asfalto modificado se observan los parámetros físicos, mecánicos y reológicos del ligante. Para la muestra se tienen los siguientes parámetros (ver certificado de control de calidad en el Anexo R).

- Las temperaturas óptimas de mezclado y compactación se calcularon inicialmente con el mismo criterio utilizado para asfaltos convencionales (temperaturas correspondientes a las viscosidades de 0.17+-0.02 y 0.28+-0.02Pa.s, respectivamente), resultando para el diseño de mezclas en laboratorio los siguientes valores que claramente resultan más elevados que los necesarios:

Temperatura de mezclado = 183 °C

Temperatura de compactación = 167 °C

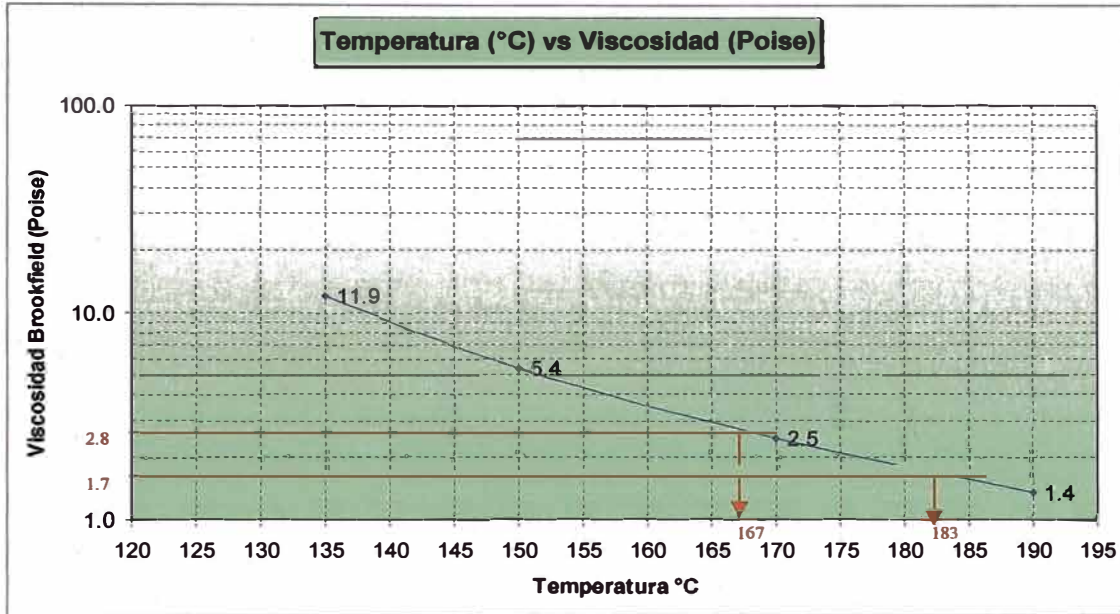


Figura N°12 Carta de viscosidad – asfalto modificado.

Fuente: Laboratorio de Equipos y Logística

Adicionalmente, aplicando el concepto de viscosidad a corte cero (ZSV) y la simplificación a este concepto propuesta por H. Bahía donde recomienda viscosidades obtenidas a una velocidad de flujo igual a 6.8 s^{-1} que corresponde a una velocidad de giro igual a 20 RPM con el rotor 27 del viscosímetro Brookfield, y que establecen las condiciones de referencia de viscosidad de 0.75 Pa.s y 1.4 Pa.s respectivamente para viscosidades óptimas de mezclado y compactación, se obtuvo como resultado una disminución del orden de 30 °C:

Temperatura de mezclado = 147 °C

Temperatura de compactación = 137 °C

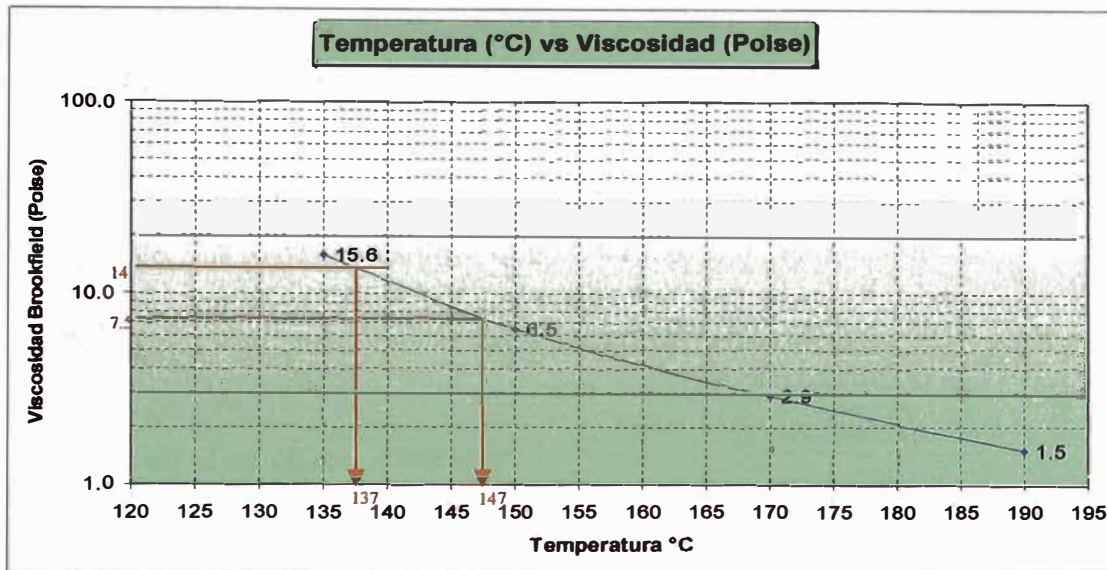


Figura N°13 Carta de viscosidad (Temp. para viscosidades de 0.75 Pa.s y 1.4Pa.s) – asfalto modificado

Fuente: Laboratorio de Equipos y Logística

Como se puede observar, la viscosidad del asfalto modificado es mayor que el asfalto convencional, del cual cuando se realizaron las briquetas a estas temperaturas no se obtuvieron mezclas apropiadas dificultando su trabajabilidad.

Otra de las causas que se presentaron para la no utilización de estas viscosidades era la caída rápida de la temperatura de la mezcla elaborada con asfalto modificado en la colocación en el tramo de prueba.

Si bien el beneficio de trabajar con temperaturas más bajas permiten preservar las propiedades de los polímeros y del asfalto base al disminuir el riesgo de su alteración por exceso de temperatura (degradación). Por experiencias satisfactorias, el Doctor Agnus Dei, recomendó realizar el diseño de mezcla en laboratorio con temperaturas óptimas de mezclado y compactación:

Temperatura de mezclado = 165 °C

Temperatura de compactación = 155 °C

Es necesario mencionar que se obtuvieron mezclas adecuadas con estas temperaturas para las pruebas en laboratorio.

3.4.3. Caracterización de la mezcla con asfalto modificado - diseño Marshall

Tomando en consideración las especificaciones generales y especiales para el este tipo de diseño de Mezcla Asfáltica Modificada, se realizaron los siguientes procedimientos especificados en el método de Diseño Marshall. En toda mezcla asfáltica las cuatro características que definen su comportamiento son:

- a) Densidad;
- b) Vacíos de aire;
- c) Vacíos en el agregado mineral; y
- d) Contenido de asfalto

Considerando estas características se fabricaron probetas con contenido de asfalto entre 5.5%, 6%, 6.5% y 7%, tomando el procedimiento comúnmente utilizado que es el siguiente:

1. Determinación del número de muestras
2. Preparación de los agregados
3. Determinación de la temperatura de mezcla y compactación
4. Preparación del molde y del pisón de compactación
5. Preparación de la mezcla
6. Compactación de las probetas con 75 golpes por cara
7. Enfriamiento y extracción de las mismas
8. Determinación de la temperatura de mezcla y compactación

Cada una de estas probetas fueron sometidas a ensayos y análisis en el orden siguiente:

1. Determinación del peso específico Bulk
2. Ensayo de estabilidad flujo
3. Análisis de densidad y de vacíos.

Luego de terminados los ensayos de estabilidad flujo, se hizo un análisis de la densidad y vacíos para cada serie de muestras. Se promedió los valores del flujo y corrigió los valores de estabilidad para todas las muestras con un mismo contenido de asfalto, después se procedió a preparar los siguientes gráficos:

Estabilidad contra contenido de asfalto

Flujo contra contenido de asfalto

Peso unitario de la mezcla total contra contenido de asfalto

Porcentaje de vacíos con aire contra contenido de asfalto

Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) contra contenido de asfaltos.

Es necesario mencionar que para la determinación de la temperatura de mezcla, esta depende de la viscosidad del ligante, trabajabilidad de la mezcla. En la elaboración de la mezcla asfáltica el ahorro de energía es una variable sensible, razón por la cual su determinación se realizó tomando en consideración la optimización de todo el proceso.

La temperatura de compactación está en función del clima, del equipo con el que se cuenta y de la técnica usada para su compactación; con estos parámetros tomados en cuenta en el tramo de prueba se determinó de manera razonable esta temperatura compactación (ver capítulo IV y anexo 2, grafica 11 y 12).

CAPÍTULO IV: EVALUACIÓN DE RESULTADOS IN SITU**4.1. MODIFICACION DEL CEMENTO ASFALTICO CON POLIMERO SBS**

Para la modificación del cemento asfáltico 85/100 con polímeros SBS, se siguió el proceso metodológico expuesto en el capítulo anterior, y se obtuvieron los siguientes datos:

a. Caracterización del asfalto base

Para la preparación de asfalto modificado se utilizaron asfaltos base de tres refinерías, los cuales mostraron en promedio los siguientes parámetros:

Cuadro N°26 Características de los asfaltos bases

ENSAYO	Normatividad		Asfalto PEN 85/100 – Refinería		
	Peruana	Extranjera	Talara	Conchan	Pampilla
Penetración	MTC E 304 – 2000	ASTM D 5 y AASHTO T 49	88	102	90
Punto de ablandamiento	MTC E 307 – 2000	ASTM D 36 y AASHTO T 53	47.1	39	39

Fuente: Elaboración propia

b. Caracterización de los polímeros

Para encontrar el polímero adecuado, se realizaron los ensayos con los siguientes polímeros:

- KRATON D-1101BT(linear - granular).
- KRATON D-1101BM (linear - Polvo).
- KRATON D-1186 (radial - granular).
- KTR 401(radial de aspecto granular).
- KTR 401(radial de aspecto granular).
- KRATON 1101 D-1101BT (lineal en pellets).
- SBS TAIPOLE 3201 (linear en pellets).
- LG 501 (linear en pellets).

De estos se lograron buenos resultados con los polímeros siguientes:

Cuadro N°27 Características de los polímeros

	LG-501	TAIPOL TPE 3201	KTR – 401
Butadieno/Estireno	69/31	69/31	69/31
Gravedad especifica	0.94	0.94	0.94
Dureza	76	72	86
Estructura	Lineal	Lineal	Radial

Fuente: Elaboración propia

c. Puesta a punto del dispersor

Se fijaron los siguientes parámetros:

- Velocidad de cizalla de 3500 rpm.
- Volumen de asfalto a recircular de 1 galón.
- Elevar la temperatura del sistema hasta 180°C, para el equipo de obra este tiempo fue de 90min en promedio, usándose para ello aceite quemado de motor.
- Tiempo de modificación: 30, 40, 50, 60 y 90 min.

Para las modificaciones realizadas con los polímeros SBS LG-501, Taipol TPE 3201 y KTR 401, los tiempos de modificación no superaron los 30 min.

d. Aditivaciones con distintos tipos de polímeros.

Después de la caracterización del asfalto base y el polímero, el procedimiento de aditivación del polímero es como sigue:

1. Se prepara la muestra de asfalto base en volumen de 1 galón
2. Se eleva la temperatura del asfalto base a 180°C.
3. Se vierte el cemento asfáltico elevado a una temperatura de 180°C, dentro del recipiente de 6 litros (batch), el cual cuenta con un

dispositivo de resistencias que mantiene la temperatura al de mezclado.

4. Se adiciona el polímero SBS gradualmente (concentraciones de 3 a 4.5%) manteniendo la temperatura de mezclado entre 180 y 185°C.
5. Todo el proceso no debe exceder de 40 minutos para no alterar las propiedades básicas del cemento asfáltico.

Se consideró concluida la dispersión después de aprox. 30 min., cuando por inspección visual a contraluz de una fina película del producto final (mezcla asfalto base-polímero), se mostrara homogéneo y sin trazas de polímero parcialmente dispersado o sin dispersar (ver figura N°13). Adicionalmente, este resultado debe ser corroborado con ensayos de laboratorio que verifiquen el cumplimiento de las características especificadas por el proyecto. Otros métodos disponibles más sofisticados como **fluorescencia microscópica** y **viscosímetro rotacional** no fueron utilizados.

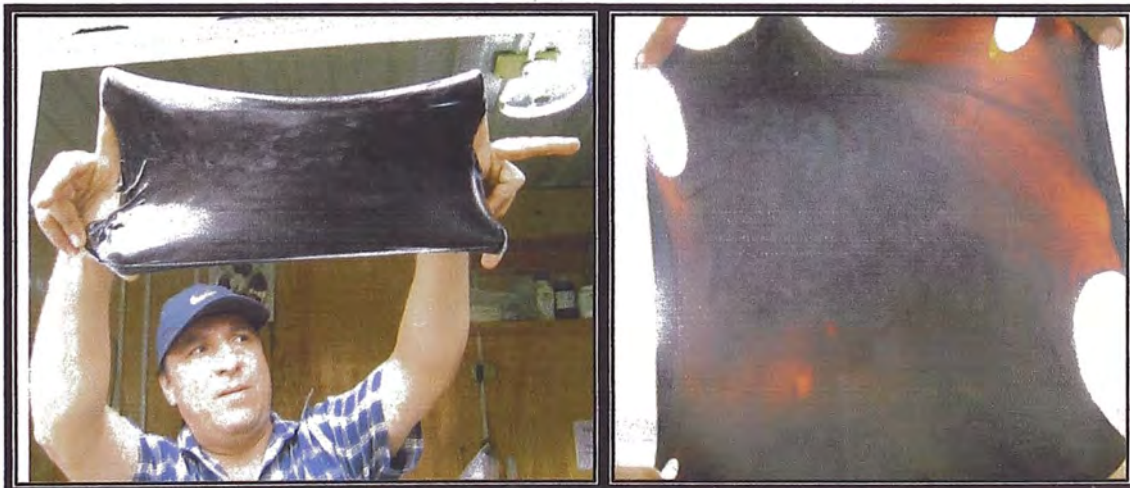


Figura N°14. Observación a contraluz de la dispersión del polímero SBS en el CAP PEN 85/100

Fuente: Elaboración propia

Es necesario mencionar que se tuvo siempre presente como premisa, que cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptimo que mejora las propiedades reológicas del asfalto base, de manera que por encima de este tamaño el polímero solo actúa como filler.

Es necesario mencionar que los resultados obtenidos con los polímeros KRATON D1101BT - lineal KRATON D1101BM – lineal, KRATON D1186BT – radial no llegaron a compatibilizar con los asfaltos bases, aun cuando el tiempo de mezcla se prolongó hasta casi 90 min.

e. Caracterización de la mezcla asfalto polímero.

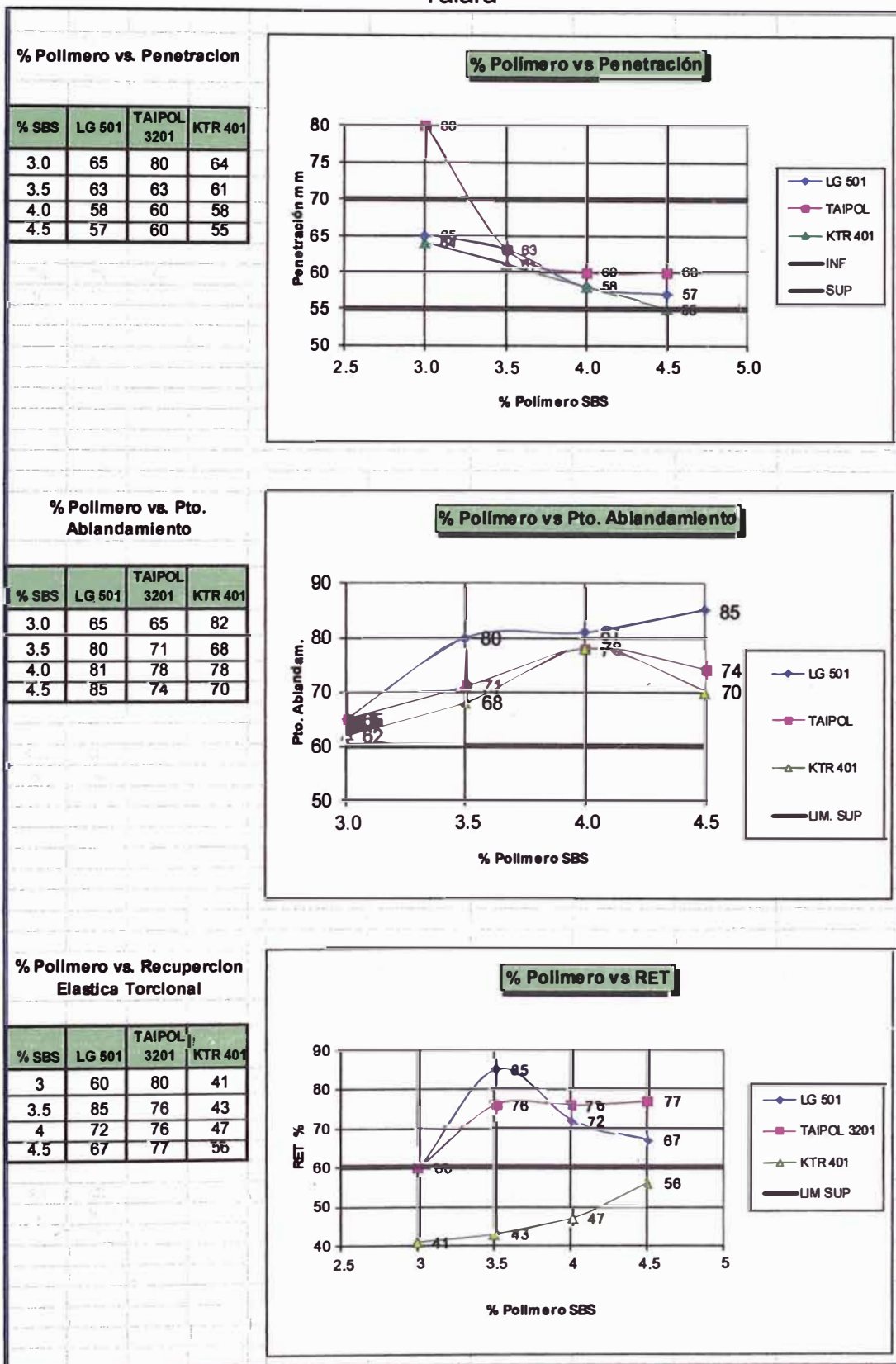
Teniendo como asfalto base los CAP PEN 85/100 de las refinerías de Talara, Conchan y la Pampilla, a cada muestra de asfalto modificado producido en laboratorio se le realizó, inicialmente, tres (3) ensayos básicos de caracterización:

- Penetración a 25 °C
- Punto de Ablandamiento
- Recuperación elástica torsional a 25 °C

Se pudo comprobar que las muestras que cumplían con las exigencias de calidad especificadas para estos tres parámetros básicos, tienen una alta probabilidad que cumplir los demás parámetros de calidad especificadas en el expediente técnico de la obra.

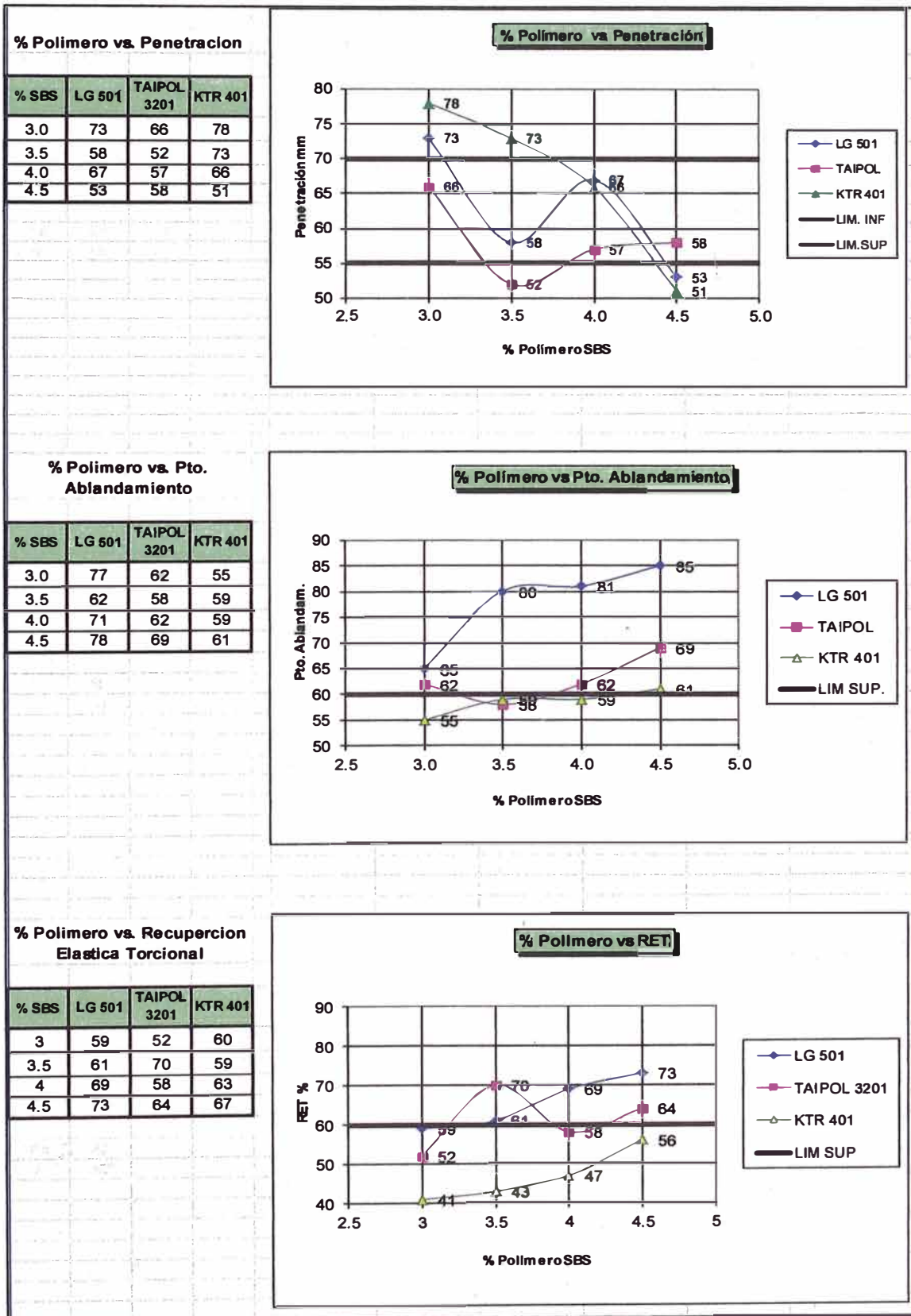
Se muestra en los Gráficos N°28, N° 29 y N° 30, los valores de penetración, punto de ablandamiento y recuperación elástica torsional en función de las concentraciones de polímeros, para cada uno de los tres tipos de asfalto base ensayados.

Cuadro N°28 Resultados de modificación del CAP PEN 85/100 –Refinería de Talara



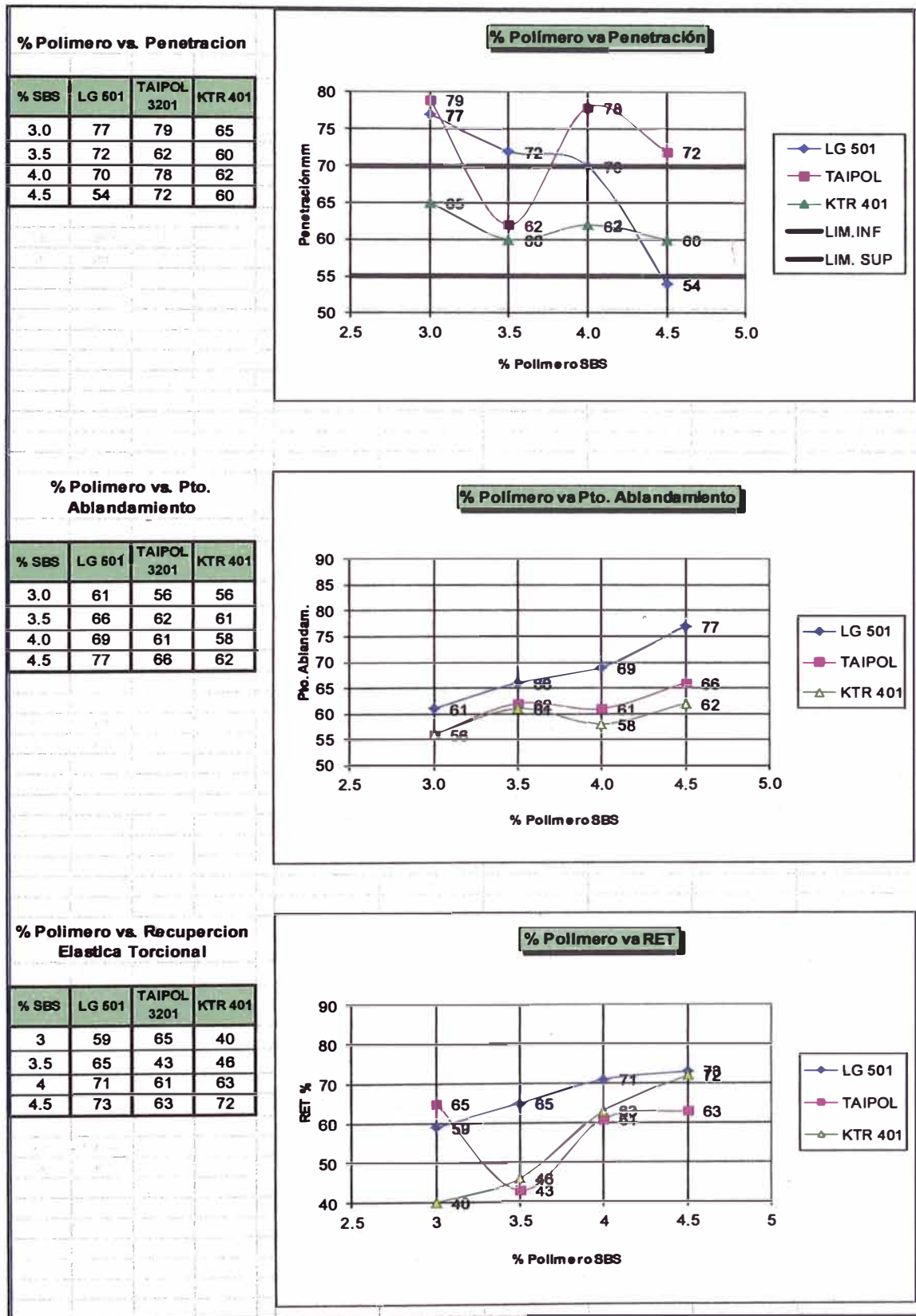
Fuente: Laboratorio de Control de Calidad – Equipos v Logística

Cuadro N°29 Resultados de modificación del CAP PEN 85/100 –Refinería de Conchan



Fuente: Laboratorio de Control de Calidad – Equipos y Logística

Cuadro N°30 Resultados de modificación del CAP PEN 85/100 –Refinería Repsol



Fuente: Laboratorio de Control de Calidad – Equipos y Logística

4.1.1. Evaluación técnica - económica de los polímeros

4.2.1.1 Evaluación técnica

Realizada la identificación de las características físico-químicas de los insumos y los parámetros físico-mecánicos deseados del cemento asfáltico modificado, se realizó la comparación de las mezclas modificadas con polímeros SBS(ver cuadro N°28, 29 y 30) donde se puede apreciar los siguientes resultados:

- Debido a que los parámetros de penetración, punto de ablandamiento y ductilidad son, por lo general, parámetros que determinan la diferencia de las características físico mecánicas de los cementos asfálticos, los ensayos realizados de modificación fueron sometidos a la determinación de estos parámetros, optando por el ensayo de recuperación elástica torsional a cambio de la ductilidad, dado que este ensayo ha demostrado ser más riguroso que el realizado en la ductilidad.
- Los ensayos realizados en las diferentes mezclas de cemento asfáltico PEN 85/100 muestran que el cemento asfáltico modificado obtenido con las muestras de la refinería de Talara presenta una mejor estabilidad en los datos.
- El polímero LG-501 ha demostrado resultados aceptables en la mezcla con todos los cementos asfálticos CAP PEN 85/100, pues se encontró los resultados de los ensayos más estables en comparación con los demás polímeros ensayados.
- El tiempo de mezclado en todos los casos fue de 40 min, en el caso del polímero LG-501 se mostró una mezcla más uniforme, en comparación a los demás polímeros.
- Cabe señalar que la modificación realizada con el cemento asfáltico PEN 85/100 obtenido de la refinería de Talara y el polímero TAIPOL 3201 presenta resultados aceptables, dada la ventaja del polímero LG-501 en la obtención de una mezcla más homogénea.

Dada las observaciones anteriores, se concluye que la mezcla obtenida con la muestra del cemento asfáltico PEN 85/100 de la

refinería de Talara y el polímero de marca LG-501 ofrecen mejores características técnicas para el proceso de modificación empleada.

4.2.1.2 Evaluación económica

Realizado la identificación de los costos de los insumos para la modificación de los cementos asfálticos y su respectivo traslado a obra, se tiene los siguientes resultados:

- Ya que el cemento asfáltico elegido en la evaluación técnica es el de la refinería de Talara y, estando el ámbito del tramo a asfaltar desde el km 1061+100 (Talara) hasta el km 1294+000(Aguas Verdes), y estando las demás refinerías en el departamento de Lima se concluye que a abastecimiento el insumo asfáltico más rentable debido a los costos menores de transporte de la refinería al sitio de la obra es el cemento asfáltico PEN 85/100 de la refinería de Talara.
- Puesto que tanto el polímero SBS de marca LG-501 y el TAIPOL 3201 han demostrado resultados aceptables en la modificación del cemento asfáltico PEN 85/100 de la refinería de Talara, se realizaron las cotizaciones de estos insumos y se obtuvo los costos siguientes:

Cuadro N°31 Costos de importación de polímeros SBS

POLIMERO	PAIS DE ORIGEN	VENDEDOR	costo desaduanado (\$)/kg
TAIPOL - 3201	Taiwan	A.Z.CHAITAS S.A.C.I.F.	2.51
LG-501	Korea	QUIMICA SUIZA	2.85

Fuente: Elaboración propia

- Es necesario mencionar que las presentaciones de estos polímeros para un mismo volumen es de 15 kg en el polímero Taipol 3201 y de 20 kg en el LG-501. Se reduce así el costo de transporte en este último desde el puerto del Callao hacia el sitio de la planta de modificación.

**Cuadro N°32 Costos de transporte de los polímeros SBS
COSTO DE TRANSPORTE X KG**

POLÍMERO	PAÍS DE ORIGEN	VENDEDOR	(\$)/kg
TAIPOL - 3201	Taiwán	A.Z.CHAITAS S.A.C.I.F.	0.13
LG-501	Korea	QUÍMICA SUIZA	0.12

Fuente: Elaboración propia

- El costo total por kg de polímero puesto en el sitio de la modificación es como sigue:

**Cuadro N°33 Costos Total puesto en Obra de los Polímeros
COSTO XKG DE POLIMERO TOTAL (EN EL SITIO DE MODIFICACION)**

POLIMERO	PAIS DE ORIGEN	VENDEDOR	(\$)/kg
TAIPOL - 3201	Taiwán	A.Z.CHAITAS S.A.C.I.F.	2.64
LG-501	Korea	QUÍMICA SUIZA	2.97

Fuente: Elaboración propia

- Este ahorro del polímero Taipol 3201 de 0.33 dólares/kg, siendo el pedido total de polímero de 178 toneladas, asciende en total a 58,740 dólares.
- Este ahorro obtenido por el uso del polímero SBS Taipol 3201 en situaciones donde el porcentaje de dosificación es menor al 3.5% puede acarrear problemas dado que los en estos porcentajes no cumple con las parámetros esperados de la dosificación, y esto acarrea mayores costos de operación y más gastos generales.
- Por las razones expuestas líneas arriba, se concluye que la utilización del polímero LG-501, tomando en cuenta su confiabilidad en la modificación, resulta ser la alternativa económicamente más rentable.
- Finalmente, luego de una evaluación técnico-económica, se definió para la producción a escala industrial en obra de asfalto modificado con polímeros SBS, el uso del cemento asfáltico PEN

85/100 de Talara como asfalto base y el polímero LG 501 lineal en forma de pellets, en una concentración entre 3 y 4.5%.

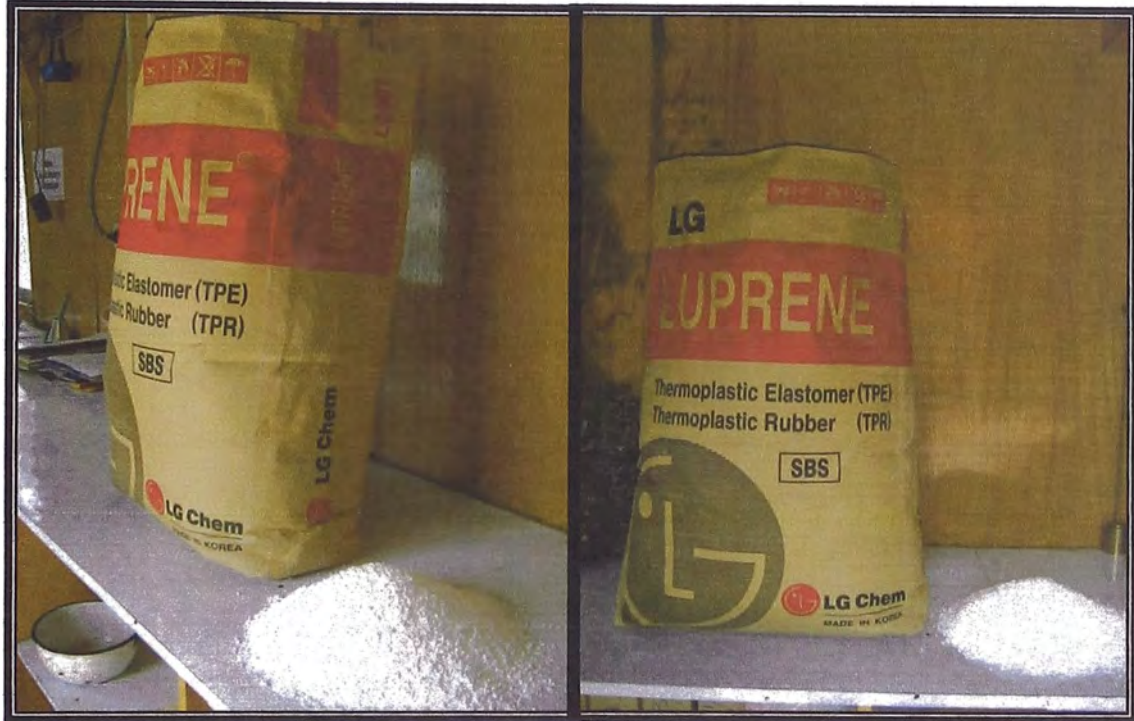


Figura N°15 Bolsa de Polímero SBS-LG 501

Fuente: Elaboración propia

Compatibilidad y Estabilidad al almacenamiento

Los conceptos de compatibilidad ligante/polímero y estabilidad al almacenamiento son completamente diferentes, aunque en algunos casos pueden ser relacionados. Existen asfaltos modificados compatibles y estables al almacenamiento; asfaltos modificados compatibles e inestables al almacenamiento; y asfaltos modificados incompatibles.

Para el caso nuestro, nos encontramos ante un asfalto compatible e inestable al almacenamiento.

Compatibilidad ligante polímeros

Desde un punto de vista termodinámico, un ligante y un polímero son compatibles cuando son miscibles, es decir, pueden mezclarse de tal forma que formen una sola fase.

La compatibilidad de la mezcla ligante polímero puede medirse por calorimetría diferencial de Barrido, ya que termodinámicamente la existencia de compatibilidad entre materiales puede determinarse por la aproximación de los valores de las temperaturas de transición vítrea (T_g) de ambos.

Dado que en nuestra experiencia no se realizó estos ensayos, optándose por el ensayo RTFOT como indicador de compatibilidad, pues en este ensayo los asfaltos modificados incompatibles presentan una penetración retenida menor, una mayor variación en los resultados del ensayo de anillo bola y una ductilidad a 5°C, menor que los betúmenes compatibles (ver anexo 2, gráfica 06 y 07).

Estabilidad al almacenamiento

La estabilidad al almacenamiento es la tendencia de la mezcla ligante polímero a permanecer estable en su estado coloidal cuando se encuentra almacenada. Cuando un polímero está perfectamente disperso en los aceites del ligante, al contrario que en los sistemas incompatibles, se mantiene la estructura de la dispersión. El resultado es que mediante sistemas mecánicos se puede volver a homogenizar la mezcla del ligante/polímero de tal forma que la parte superior del tanque presente la misma concentración

En la experiencia de la modificación del CAP PEN 85/100 en la obra Mantenimiento periódico de la carretera Panamericana Norte en el tramo de Sullana Aguas Verdes con polímero SBS, resultó inestable al almacenamiento, siendo abordado en su momento con la decisión de no almacenar esta mezcla, dando un uso continuo del producto ya modificado. Siguiendo este procedimiento se realizaron los ensayos del ligante Asfáltico modificado observando permanencia de las características reológicas del ligante base.

Ver anexo 1, fotos 13, 14, 15, 16, 17 y 18 se observa la separación del polímero.

Temperatura de mezclado y compactación

Considerando los criterios corrientes para el diseño de las mezclas asfálticas, tanto por el método Marshall como el indicado por el Superpave, las temperaturas óptimas de mezclado y compactación son las correspondientes a las viscosidades de 0,17 y 0,28 Pa.s, respectivamente. Estas condiciones funcionan bien para los asfaltos convencionales, partiendo de la base que los mismos se comportan a temperaturas elevadas como fluidos newtonianos con independencia entre la viscosidad y la velocidad de corte.

En el caso de los asfaltos modificados, aun a temperaturas elevadas, se comportan como fluidos no newtonianos con dependencia entre la viscosidad y la velocidad de corte. (Agnusdei& Jair, 2004, p. 01).

Las temperaturas de mezclado y compactación pueden ser obtenidas mediante el viscosímetro Brookfield de acuerdo con lo indicado por la especificación ASTM D 4402.

Medidas de viscosidad a dos o más temperaturas (por ej. 135 y 160 °C) son volcadas en un gráfico log-log de la viscosidad en centistokes, frente a la temperatura en °C.

4.2. DISEÑO DE MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO

El diseño de la mezcla asfáltica modificada se realizó con los procedimientos especificados en el método Marshall. Este método es el comúnmente utilizado en nuestro medio por su aplicabilidad tanto a la mezcla como al control en campo. Siguiendo los procedimientos especificados por el método Marshall se obtuvo los siguientes resultados:

Cuadro N°34 Parámetros de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS

PARAMETROS DE LA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBS

% CÁP.	Dens. Aparente	V. V.	V.A.M.	R.B.V.	Estabilidad	Fluencia	Estab./Fluencia
6.00	2.281	6.7	19.31	59.06	1276	2.96	4308
6.50	2.300	5.5	19.07	66.35	1430	3.47	4120
6.00	2.319	4.5	18.85	73.83	1519	4.06	3737
6.50	2.333	3.6	18.79	80.71	1394	4.74	2941
7.00	2.338	2.7	19.05	85.94	1313	5.50	2387

Fuente: Diseño de Micropavimento Devora

Análisis de densidad – vacío y el análisis de estabilidad – fluencia, (ver capítulo III), se determinaron los siguientes valores de diseño:

Cuadro N°35 Valores de diseño del micropavimento Devora

Descripción	Valores de Diseño	Especificación	Observación
Optimo contenido de Cemento Asfáltico	6.30		
Compactacion, Numero de golpes	75	75	Cumple
Estabilidad Marshall	1445 Kg	700 Kg min.	Cumple
Flujo	4.4 mm	2.5 - 4.5 mm	Cumple
% Vacios de Aire - Marshall	4.2 %	4 % min	Cumple
Relacion Bitumen x Vacios	77.0 %	65% - 82%	Cumple
Relacion Filler x Bitumen	1.14	0.6 - 1.2	Cumple
Desgaste Cantabro	—	20% max	Cumple
Desgaste Cantabro envejecido ⁽¹⁾	—	30 % max	Cumple
Resistencia Retenida	—	75 % min	Cumple
Variacion teórica de Bitumen	—	0.2% max	
V.M.A (%)	18.8 %	16.2 min.	Cumple
Peso Unitario (g/cc)	2.328 g/cc		

Fuente: Diseño de micropavimento Devora

Como se puede observar, el parámetro de fluencia se encuentra en el umbral permitido por la especificación, haciendo que el diseño se ajuste para este requerimiento.

En el cuadro líneas arriba, se aprecia que el contenido óptimo de asfalto modificada para la mezcla asfáltica modificada es el 6.3%.

La temperatura de mezclado se encuentra entre los 180° y 185°C dado que (como se tratara en el capítulo V) esta temperatura de mezcla garantiza una temperatura adecuada para la colocación de mezcla asfáltica modificada en el campo.

4.3. DISEÑO DE MEZCLA CON ASFALTO CONVENCIONAL

Cuadro N°36 Parámetros de la mezcla asfáltica convencional con asfalto PEN 60/70

PARAMETROS DE LA MEZCLA ASFALTICA CONVECCIONAL CON ASFALTO PEN 60/70

% CÁP.	Dens. Aparente	V. V.	V.A.M.	R.B.V.	Estabilidad	Fluencia	Estab./Fluencia
5.00	2.28	6.93	19.32	59.06	1,104.67	2.29	4,832.31
5.50	2.31	5.14	18.60	68.42	1,222.23	2.71	4,511.19
6.00	2.32	4.33	18.73	74.39	1,273.95	3.13	4,066.65
6.50	2.32	4.02	19.10	79.08	1,262.72	3.64	3,468.38
7.00	2.32	3.76	19.71	82.36	1,227.92	4.23	2,900.60

Fuente: Diseño de micropavimento Devora

Del Capítulo III se extraen los siguientes valores de Diseño:

Cuadro N°37 Valores de diseño de mezcla asfáltica con cemento asfáltico CAP PEN 60/70

Descripción	Valores de Diseño	Especificación	Observación
Optimo contenido de Cemento Asfáltico	6.40		
Compactacion, Numero de golpes	75	75	Cumple
Estabilidad Marshall	1270	700 min.	Cumple
Flujo	4	2.5 - 4.5	Cumple
% Vaclos de Aire - Marshall	4.1	4 % min	Cumple
Relacion Bitumen x Vaclos	79.0	65% - 82%	Cumple
Relacion Filler x Bitumen	1.14	0.6 - 1.2	Cumple
Desgaste Cantabro	—	20% max	Cumple
Desgaste Cantabro envejecido ⁽¹⁾	—	30 % max	Cumple
Resistencia Retenida	—	75 % min	Cumple
Variacion teórica de Bitumen	—	0.2% max	
V.M.A (%)	18.9	16.2 min.	Cumple
Peso Unitario (gr./cc.)	2.324		

Fuente: Diseño de Micropavimento Devora

Según el cuadro líneas arriba, el contenido óptimo de asfalto modificada para la mezcla asfáltica modificada es el 6.4%.

4.4. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE MEZCLAS.

Obtenidos los parámetros de diseño para los dos tipos de mezclas asfálticas y analizando las características de los parámetros del diseño Marshall de cada mezcla, se infiere lo siguiente (ver cuadro 38 y 39):

Cuadro N°38 Parámetros de la mezcla asfáltica convencional con asfalto CAP PEN 60/70.

PARAMETROS DE LA MEZCLA ASFALTICA CONVECIONAL CON ASFALTO PEN 60/70

% CÁP.	Dens.	V. V.	V.A.M.	R.B.V.	Estabilidad	Fluencia	Estab./Fluencia
	Aparente						
5.00	2.28	6.93	19.32	59.06	1,104.67	2.29	4,832.31
5.50	2.31	5.14	18.60	68.42	1,222.23	2.71	4,511.19
6.00	2.32	4.33	18.73	74.39	1,273.95	3.13	4,066.65
6.50	2.32	4.02	19.10	79.08	1,262.72	3.64	3,468.38
7.00	2.32	3.76	19.71	82.36	1,227.92	4.23	2,900.60

Fuente: Diseño de micropavimento Devora

Cuadro N°39 Parámetro de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBS

PARAMETROS DE LA MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBS

% CÁP.	Dens. Aparente	V. V.	V.A.M.	R.B.V.	Estabilidad	Fluencia	Estab./Fluencia
5.00	2.281	6.7	19.31	59.06	1276	2.96	4308
5.50	2.300	5.5	19.07	66.35	1430	3.47	4120
6.00	2.319	4.5	18.85	73.83	1519	4.06	3737
6.50	2.333	3.6	18.79	80.71	1394	4.74	2941
7.00	2.338	2.7	19.05	85.94	1313	5.50	2387

Fuente: Diseño de micropavimento Devora

- El porcentaje de asfalto en la mezcla asfáltica convencional es 6.4%, mientras que en el de asfalto modificado es el 6.3%(ver cuadro N°40).
- Las briquetas de mezcla asfáltica elaborada con mezcla asfáltica modificada presentan mayor estabilidad que las obtenidas en las briquetas elaboradas con asfalto convencional.

- En cuanto el flujo, la mezcla asfáltica modificada presenta una mayor capacidad de deformación que la mezcla asfáltica convencional.
- Los vacíos en las briquetas elaboradas con mezcla asfáltica modificada presente mayor porcentaje que las elaboradas con mezcla asfáltica convencional.
- En cuanto al peso unitario, las briquetas con asfalto convencional presentan menor densidad que las elaboradas con mezcla asfáltica modificada.

Cuadro N°40 Valores de diseño de mezcla asfáltica con cemento asfáltico CAP PEN 60/70 Vs. asfalto modificado

Descripción	Valores de Diseño Asfalto Convencional	Verificación del Diseño del Asf/ Modificado	Especificación	Observación
Optimo contenido de Cemento Asfáltico	6.40	6.30		
Compactacion, Numero de golpes	75.00	75	76	Cumple
Estabilidad Marshall	1,270.00	1445	700 mín.	Cumple
Flujo	3.55	4.40	2.6 - 4.6	Cumple
% Vacíos de Aire - Marshall	4.10	4.20	4 % mín	Cumple
Relacion Bitumen x Vacíos	79.00	77.00	65% - 82%	Cumple
Relacion Filler x Bitumen	1.14	1.14	0.6 - 1.2	Cumple
Desgaste Cantabro	—	—	20% max	Cumple
Desgaste Cantabro envejecido ⁽¹⁾	—	—	30 % max	Cumple
Resistencia Retenida	—	—	75 % mín	Cumple
Variacion teórica de Bitumen	—	—	0.2% max	
V.M.A (%)	18.90	18.8	16.2 mín.	Cumple
Peso Unitario (gr./cc.)	2.324	2.328		

Fuente: Elaboración Propia

Es claro que las tres (03) características más saltantes en el diseño del asfalto han mejorado con respecto a los parámetros mostrados en el diseño de asfalto convencional.

Realizando el análisis de costo de producción por m³ de mezcla asfáltica compactada con ligante asfáltico convencional y con ligante asfáltico modificado con Polímeros SBS (ver cuadro 41 y 42), se ha obtenido costo de producción de S/. 494.92 y de S/. 621.71 respectivamente, estando estas en la relación de 1.256. El cálculo de costos se realizó con rendimientos promedios.

Cuadro N°41 Costo de producción de un 1m³ de mezcla asfáltica modificada (Compactada)

COSTO DE PRODUCCION DE 1m³ DE MEZCLA ASFALTICA MODIFICADA (COMP.)						
PESO DE 1m ³ DE M.A.C (COMPACTADO)		2328 kg				
RENDIMIENTO EQUIPO		340 M ³ /DIA				
RENDIMIENTO MANO DE OBRA:						
INSUMOS	UND	CANT	P/U(S/.)	PARCIAL	IGV (19%)	COSTO CON IGV(S/.)
MATERIALES						
PEN 85/100 MODIFICADO	gal	38.7487	9.80	379.74	72.15	451.89
CAL(FILLER)	kg	61.0774	0.40	24.43	4.64	29.07
PIEDRA CHANCADA	M ³	0.5708	50.90	29.05	5.52	34.57
ARENA CHANCADA	M ³	0.7166	50.90	36.48	6.93	43.41
ARENA ZARANDEADA	M ³	0.1418	17.30	2.45	0.47	2.92
ADITIVO MORLIFE 5000	Kg	0.7333	10.00	7.33	1.39	8.73
PETROLEO	GLN	3.5820	7.01	25.11	4.77	29.88
MANO DE OBRA						
OPERARIO	2.75	0.0647	11.20	0.72	0.14	0.86
PEON	3	0.0706	10.07	0.71	0.14	0.85
OFICIAL	2	0.0471	8.93	0.42	0.08	0.50
EQUIPO						
PLANTA DE ASFALTO		0.0235	350.00	8.24	1.56	9.80
CARGADOR FRONTAL		0.0235	160.00	3.76	0.72	4.48
QUEMADOR		0.0235	100.00	2.35	0.45	2.80
GENERADOR		0.0235	70.00	1.65	0.31	1.96
COSTO DE MEZCLA MODIFICADA POR M³ (S/.) =						621.71

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N°42 Costo de producción de un 1m³ de mezcla asfáltica convencional (Compactada)

COSTO DE PRODUCCION DE 1m³ DE MEZCLA ASFALTICA CONVENCIONAL (COMPACTADO)						
PESO DE 1m ³ DE M.A.C (COMPACTADO)		2324 kg				
RENDIMIENTO EQUIPO		340 M ³ /DIA				
RENDIMIENTO MANO DE OBRA:						
INSUMOS	UND	CANTIDAD	P/U(S/.)	PARCIAL	IGV(19%)	COSTO CON IGV(S/.)
MATERIALES						
CAP PEN 60/70	gal	39.2962	7.01	275.43	52.33	327.76
CAL(FILLER)	kg	60.9074	0.40	24.36	4.63	28.99
PIEDRA CHANCADA	M ³	0.5692	50.90	28.97	5.50	34.48
ARENA CHANCADA	M ³	0.7146	50.90	36.38	6.91	43.29
ARENA ZARANDEADA	M ³	0.0208	17.30	0.36	0.07	0.43
ADITIVO MORLIFE 5000	Kg	0.7437	10.00	7.44	1.41	8.85
PETROLEO	GLN	3.5820	7.01	25.11	4.77	29.88
MANO DE OBRA						
OPERARIO	2.75	0.0647	11.20	0.72	0.14	0.86
PEON	3	0.0706	10.07	0.71	0.14	0.85
OFICIAL	2	0.0471	8.93	0.42	0.08	0.50
EQUIPO						
PLANTA DE ASFALTO		0.0235	350.00	8.24	1.56	9.80
CARGADOR FRONTAL		0.0235	160.00	3.76	0.72	4.48
QUEMADOR		0.0235	100.00	2.35	0.45	2.80
GENERADOR		0.0235	70.00	1.65	0.31	1.96
COSTO DE MEZCLA CONVENCIONAL POR M³ (S/.) =						494.92

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V: PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DE ASFALTO MODIFICADO A ESCALA INDUSTRIAL

5.1. MODIFICACIÓN DEL ASFALTO A ESCALA INDUSTRIAL

5.1.1. Equipo Utilizado.

Para la fabricación de asfalto modificado con polímeros SBS se utilizó una planta de modificación de asfalto, cuya capacidad es de 6m³/hr (1,600 gal/hr), adyacente a la planta de asfalto y equipado con los siguientes equipos:

Un (1) dispersor recirculador, compuesto por un molino coloidal de alto esfuerzo de corte, el cual reduce el tamaño de las partículas de polímero al pasar la mezcla asfalto-polímero por un roto/estator de separación regulable y configuración definida (rotor estriado que gira a 1,500 a 5,600 rpm y un estator fijo estriado). El dispersor usado fue de modelo CHP-240 con motor eléctrico trifásico de 50 hp, 440 voltios y 60 Hz y la velocidad de giro elegida fue de 3,600 rpm (anexo 1, foto 19).

Un (1) tanque de modificación bipartido con aislamiento térmico y serpentín (2 compartimentos de 8,000 gal cada uno), que incluye un caldero de aceite térmico, cuatro (04) alimentadores de polímeros de gravedad, cuatro (04) agitadores de paletas de doble nivel accionados por motores eléctricos, una (1) bomba de aceite térmico y una (1) bomba de asfalto. A este tanque se le denomina el Termo tanque Modificador (anexo 1, foto 20).

Un (1) tanque de almacenamiento de asfalto base de 8,000 gal. con aislamiento térmico y serpentín de calefacción.

Un (1) tanque de almacenamiento de asfalto modificado de 10,000 gal. con aislamiento térmico y serpentín de calefacción. Al que se le denomina tanque máster.

Cañerías, válvulas y conexiones.

En el anexo 1, foto 21 se pueden observar los principales equipos de la planta de modificación de asfalto.

5.1.2. Metodología usada para la modificación a escala Industrial

Para la obtención del asfalto modificado a partir del cemento asfáltico 85/100 se siguió el siguiente procedimiento:

- a) Caracterización del asfalto base
- b) Modificación del asfalto base con polímeros SBS
- c) Caracterización del cemento asfáltico modificado

a) Caracterización del asfalto base

Cada ingreso a planta de cemento asfáltico 85/100 ha sido controlado mediante el reconocimiento de los valores especificados de los parámetros físicos expuestos en los certificados emitidos por la refinería de Talara. Dado que el requerimiento diario de cemento asfáltico modificado fue de 16,000 gl/día, la necesidad de contar con la caracterización del asfalto base (CAP PEN 85/100) en el más breve tiempo y con la suficiente confiabilidad se hizo imperativa. Por la certeza del ensayo, el menor tiempo requerido para la verificación de las características reológicas, la verificación de la viscosidad fue el parámetro de control de los CAP PEN 85/100 para su aceptación.

b) Modificación del asfalto base con polímero SBS.

Se aditiva el polímero SBS al cemento asfáltico base, teniendo presente su adecuada dosificación (3 a 4.5% del peso del cemento asfáltico)

c) Caracterización del cemento asfáltico modificado

Se determina las características Reológicas y mecánicas de la mezcla obtenida para luego realizar la verificación de calidad requerida en la especificación del expediente técnico.

Cuadro N°43 Metodología para modificación de asfalto base con polímero SBS – escala industrial



Fuente: Elaboración propia

5.1.3. Procedimiento para la caracterización de la mezcla asfalto - polímero

Como la producción de asfalto modificado fue de forma continua, es necesario un proceso de producción eficiente, con el menor consumo de equipos, materiales y mano de obra. Dado que la producción de asfalto modificado fue continua y su utilización en mezcla asfáltica en caliente casi inmediata, los ensayos de verificación y caracterización realizados por el laboratorio de asfaltos tuvieron la capacidad tanto en equipos y personal para responder las solicitudes de un adecuado control de calidad que requería la producción. Para este cumplimiento siguieron los siguientes procedimientos:

a) Caracterización del asfalto base

El procedimiento de caracterización del asfalto base, en la planta de modificación de asfalto es como sigue:

1. El asfalto PEN 85/100 procedente de la refinería Talara, Petróleos del Perú – Petroperu, es recibido en cisternas de 7500 a 7800 gal de capacidad aproximadamente, los cuales presentan su respectivo certificado de control de calidad emitido por la misma refinería
2. Se toma una muestra representativa para su evaluación en el laboratorio, tomando nota de la temperatura de llegada del asfalto PEN 85/100 necesario para la determinación del tiempo de requerido para elevar la temperatura a la necesaria para su modificación.
3. Dada la necesidad de la aceptación o no del cemento asfáltico PEN 85/100, es necesaria la determinación de parámetros confiables en el menor tiempo posible. Dado que el laboratorio de asfalto contaba con el Viscosímetro **Brookfield** el cual determina Viscosidad Absoluta (ASTM D 4402), solo en el caso de asfaltos, debido a la relación entre la viscosidad absoluta y cinemática, se consideran ambas viscosidades similares, por lo cual la viscosidad absoluta reportada en el laboratorio se asumió como viscosidad cinemática (resultado presentado por la refinería de origen). El asfalto PEN 85/100 es aceptado y almacenado cuando la viscosidad obtenida difiere en $\pm 10\%$ del valor reportado en el certificado, según recomendación del Dr. Jorge O. Agnusdei. Como complemento adicional a la evaluación del Asfalto PEN 85/100, se ejecutan los ensayos de penetración (ASTM D 5), punto de Ablandamiento (ASTM D 36) y ductilidad (ASTM D 113).

b) Modificación del asfalto base con polímero SBS.

1. Aceptado el cemento asfáltico y tomada la temperatura de llegada, se procede a levantar la temperatura la cual debe encontrarse entre los 180°C y 190°C (temperatura de modificación) a la que se llega en promedio en 05 horas.
2. Previo a alcanzar la temperatura en la cual se inicia la modificación del asfalto PEN 85/100 (5 a 7°C debajo), son encendidos los agitadores del compartimiento donde se encuentra el líquido viscoso para homogenizar temperaturas.
3. Una vez alcanzada la temperatura de modificación 185°C, es encendida la bomba de asfalto y el molino, a una frecuencia y potencia determinadas de tal manera que el caudal del flujo del líquido sea de 3m³/seg aproximadamente.
4. Antes de la verificación del correcto funcionamiento del motor del molino, la bomba del asfalto y la turbulencia generada por los agitadores encendidos, el polímero es incorporado al asfalto PEN 85/100 a través de las tolvas de almacenamiento ubicadas en la parte superior del tanque máster 2 (tanque modificador). Esta tolva está dotada de una compuerta, de tal manera que el tiempo de descarga del polímero sea lo más rápido posible y evite la formación de grumos que obstruyan la abertura del molino coloidal. El tiempo de descarga es de 40 a 45 minutos en cualquiera de los compartimientos, el ratio promedio es de 90 segundos por bolsa.
5. El tiempo para la óptima dispersión del polímero y para que cumpla con la especificación técnica del proyecto fue determinado en función a diferentes evaluaciones realizadas cada hora, de esta forma se garantiza una dispersión adecuada a las 5 horas de incorporado el polímero.

c) Caracterización del cemento asfáltico modificado

Al término del proceso de modificación se procede a sacar muestras del tanque de modificación, las cuales se llevan al laboratorio para el desarrollo de los ensayos. Previamente se realiza una verificación visual del asfalto modificado como control de calidad. Preliminarmente al muestreo se han preparado los equipos de asfalto modificado para ser utilizados de inmediato y así evitar el enfriamiento del mismo, de esta manera no recalentar el asfalto evitando degradación.

En las tres etapas de la modificación se optimizaron los procesos, lo cual tuvo como objetivo la menor utilización de energía, la pérdida de temperatura y tiempos muertos desde la salida de los termotanques de la refinería de Talara hasta la colocación de la mezcla asfáltica modificada en pista.

Una caracterización cabal del asfalto modificado considera el cumplimiento de los requerimientos de calidad exigido en el expediente técnico, siendo necesario realizar los siguientes ensayos:

1. Penetración

Después de verter el asfalto modificado se dejan enfriar a temperatura ambiente por 90 minutos, luego se coloca en baño maría a 25 °C por espacio de 90 minutos, seguidamente se ensaya con el penetrómetro mediante la penetración de una aguja con un peso de 50gr. por un espacio de 5 segundos, en un baño Maria a 25°C. (ver anexo 1, foto 22).

Tiempo de ensayo: 195 minutos

2. Anillo y bola

Se vierte asfalto modificado fluido en los anillos correspondientes y se deja enfriar hasta temperatura ambiente al menos 10 minutos, luego de esto se enfría hasta 5 °C. en agua, los anillos con el asfalto y el bastidor por espacio de 30 minutos, finalmente se da inicio al desarrollo del ensayo, que dura aproximadamente 15 minutos(ver anexo 1, foto 23).

Tiempo de ensayo: 1 hora aproximadamente

3. Viscosidad

Todos los instrumentos que se van a utilizar para este ensayo se calientan hasta 135 °C., para lograr homogeneizar la muestra, lo mismo se hace para las temperaturas de 150 °C., 170°C. y 190 °C.

Para cada temperatura se calienta por un tiempo de 30 minutos. Luego se enciende el motor del brookfieldthermosel y se deja estabilizar por 5 minutos.

Pasado los 5 minutos se toman tres mediciones con intervalos de 1 minuto y se promedian(ver anexo 1, foto 24).

4. Recuperación elástica torsional

De la muestra obtenida y aún fluida, se deposita el asfalto modificado en los 3 equipos de recuperación elástica, dejándose enfriar por espacio de 60 minutos.

Pasado este tiempo se introduce en baño María a 25 °C por espacio de 90 minutos(ver anexo 1, foto 25).

Ensayar una a una en intervalos de 30 minutos.

Tiempo de duración: 240 minutos

5. Ductilidad

Se deja enfriar a temperatura ambiente la muestra en su bastidor por espacio de 30 minutos, luego se la coloca en la tina que se encuentra a 5 °C por espacio de 30 minutos.

Pasado esto se retira la muestra y se enrasa con una espátula caliente y se coloca nuevamente en la tina por espacio de 90 minutos.

Transcurrido todo este tiempo, se procede con el ensayo que abarca aproximadamente 15 minutos (ver anexo 1, fotos 26 y 27).

Tiempo de duración: 150 minutos

6. Punto de inflamación

Este método consiste en colocar la muestra de asfalto modificado en la copa (TAG) y se calienta a una velocidad lenta y constante. Una pequeña llama de ensayo se hace pasar a una distancia adecuada en un plano horizontal, a través de la copa, con una velocidad uniforme a intervalos determinados. El ensayo culmina cuando en la copa se observa un destello característico y luego se toma la temperatura a la cual esta se produjo(ver anexo 1, fotos 28).

Tiempo de duración: 150 minutos.

7. Horno para ensayo de película delgada rotativa (RTFO)

Para medir el efecto de calor y aire sobre muestras de asfalto en horno a 163 °C., se realiza este ensayo. El procedimiento consiste en llevar la muestra a condiciones de endurecimiento que se aproximan a aquellas que ocurren durante las operaciones normales de una planta de asfalto en caliente, con control termostático para mantener la temperatura a 163 °C +/- 0.5 °C(ver anexo 1, fotos 29).

Los efectos de este procedimiento se determinan a partir de la medición de ciertas propiedades del asfalto antes y después del ensayo (penetración, punto de ablandamiento, ductilidad, peso).

Todo este proceso se realiza para el control de calidad del asfalto modificado, cuyos resultados se plasman en los **certificados de control de calidad**(ver anexo 2, gráfica 03).

5.1.4. Análisis de los datos

Del análisis de la data obtenida de las modificaciones del cemento asfáltico CAP PEN 85/100 se concluye lo siguiente:

La verificación de la calidad del cemento asfáltico base CAP PEN 85/100 recibida en la planta de asfalto se realizó metódicamente. En obra se optó por la verificación de la viscosidad a 100 y 135°C del ligante asfáltico CAP PEN 85/100, pues este ensayo es el que menor tiempo requiere.

La verificación de la homogeneidad del asfalto modificado es una manera de controlar la dispersión del polímero.

A efectos de verificar la permanencia de propiedades del asfalto modificado en la primera preparación efectuada el día 21 de octubre del 2007, la cual permaneció varios días en el tanque de almacenaje y fue procesado después de 10 días en los tramos de prueba, se realizaron ensayos de laboratorio para comparar los resultados al finalizar el tanque preparado con los obtenidos al inicio de la modificación. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Cuadro N°44 Cuadro comparativo de resultados de ensayos en asfalto modificado.

Resultados	Inicial 21/10	Final 03/11
Penetración a 25°C	60	53
Punto de Ablandam. 60°C	72	72
Viscosidad a 170°C,cP	300	300
Recup. Elastica %	77	82
Ductilidad, cm	68	67

Fuente: Laboratorio de Equipos y Logística

- Tal como se aprecia en el cuadro anterior, no se notan mayores diferencias en los resultados obtenidos, lo que pone de manifiesto que el polímero ha permanecido estable en la dispersión. Este periodo de almacenamiento se efectuó a temperatura ambiente, luego se elevó a 185°C. para su posterior utilización en los tramos de prueba.
- Dada la utilización continua del asfalto modificado con polímeros SBS, la estabilidad al almacenamiento no fue un parámetro que dificultó la preparación de mezcla asfáltica modificada en obra.

5.1.5. Resultados

-De las verificaciones realizadas en los termotanques de transporte del cemento asfáltico se desprende la determinación de la viscosidad absoluta mediante el Viscosímetro Brotfiel, de esta manera se garantiza con una buena certeza el tipo de asfalto que llega a planta.

- El proceso líneas arriba descrito responde al escenario donde la producción es continua, donde el producto obtenido es inmediatamente utilizado en la elaboración de mezclas asfálticas, por esta razón no se tuvo problemas con la estabilidad al almacenamiento.

- Para un sistema continuo de producción y su posterior utilización, la obtención de un asfalto base (CAP PEN 85/100) de buena calidad es imperativo, siendo necesario lograr que esta llegue a obra con la temperatura más elevada posible.

- En cuanto a la estabilidad, la utilización inmediata del cemento asfáltico modificado en la mezcla asfáltica a eliminado cualquier problema al respecto. El almacenamiento de cemento asfáltico modificado a temperatura ambiente también a garantizado la preservación de las características físico-mecánicas de la mezcla asfáltica.

5.2. PRODUCCIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA A ESCALA INDUSTRIAL

ELABORADA CON ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO SBS

Con los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio y con el conocimiento de que este tipo de mezcla presenta una caída de temperatura acelerada, se fue calibrando la temperatura de mezcla, la cual garantice una trabajabilidad adecuada, cuyos resultados de este proceso de prueba y error son los siguientes valores:

Control en dosificación de agregados:

Homogenización de los agregados (evitando la segregación que nos inducirán a granulometrías no adecuadas)

Control en la alimentación de los agregados evitando contaminación entre ellos, dado que es imprescindible a efectos de lograr una adecuada granulometría final de la mezcla.

Control de la granulometría en faja.

La temperatura de calentamiento de agregados es de 180 a 190°C

Control de dosificación de cemento asfáltico CAP PEN 85/100 modificado con polímero SBS:

Temperatura del ligante asfáltico modificado entre los 180° y 185°C.

Control de la homogeneidad en temperatura del ligante; este hecho se controló con tres dispositivos incorporados en tanque máster 01

Control en mezcla asfáltica:

– La temperatura de mezcla agregados-ligante es de 175° a 180 °C

Temperatura de salida de planta de asfalto (en tolva de Volquete) de 175°C como mínimo.

Controles de parámetros Marshall cada 500 Tn de mezcla asfáltica producida.

Estos controles realizados se pueden observar en los anexo 1, fotos 30, 31, 32 y 33.

5.3. COLOCACIÓN Y COMPACTACION DE MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA.

La colocación y la compactación de la mezcla asfáltica son las operaciones hacia las cuales están dirigidos todos los otros procesos previos. Un proceso adecuado y aceptable de estas actividades garantizará una adecuada durabilidad de la carpeta asfáltica colocada.

El factor principal que afecta la compactación es la temperatura. Esta es solamente efectiva mientras el asfalto modificado esté suficientemente fluido para actuar como lubricante. La temperatura crítica de toda mezcla asfáltica modificada o no es la temperatura en el momento de la compactación, siendo este un factor más para la determinación de la temperatura en la cual la planta asfáltica debe producir la mezcla. Cabe mencionar que la temperatura de la mezcla que es colocada debe ser la mínima necesaria para obtener la mejor trabajabilidad y compactación.

Para un adecuado proceso de colocación y compactación de la mezcla asfáltica se tienen en consideración las características climatológicas de la zona y las características geométricas de la carretera, los cuales afectan directamente en la temperatura de la mezcla asfáltica y en la colocación y compactación de la mezcla asfáltica, respectivamente. En obra se tuvo las siguientes consideraciones que a continuación se describen:

La temperatura de la mezcla asfáltica con cemento asfáltico modificado cae rápidamente (aproximadamente 10 grados en 3 minutos).

Las carpetas de bajo espesor sufren proceso de enfriamiento en poco tiempo

Siendo esta una mezcla asfáltica densa con presencia de áridos chancados del 90% , la energía de compactación requerida es mayor que la mezcla asfáltica convencional.

Temperatura ambiental benigna (18°C a 35°C)

Vientos fuertes en la mayor parte del tramo.

Condiciones geométricas de la vía.

5.3.1. Elección de los equipos de conformación y compactación.

Tomando como premisa las consideraciones iniciales, el proceso de conformación y compactación debe realizarse en el menor tiempo posible, para lo cual se debe estimar lo siguiente:

La etapa de esparcido de la mezcla debe de realizarse en el menor tiempo posible, dando una superficie pareja con el bombeo y con una pendiente y espesor especificado.

La mezcla ya conformada debe tener la mayor compactación posible.

La energía de compactación del primer rodillo debe ser la mayor posible, sin deformar la superficie de la carpeta, y en el menor tiempo posible.

El tiempo de rodillado está determinado por el tiempo disponible antes de que la mezcla asfáltica llegue a una temperatura en la cual cualquier energía de compactación no aporte significativamente a elevar la densidad de la mezcla.

Tomando en consideración estos aspectos, el equipo mínimo necesario contó con los siguientes equipos de esparcido, conformación y compactación siguientes:

1. Esparcidora Terex VDA700 (600 TN/HORA – 150 HP)

- Capacidad de esparcido de 600 tn/hora.
- Dispositivo de precompactación (Tamper) que otorga cerca del 80% de la compactación.
- Equipo montado sobre orugas, el cual absorbe de mejor manera las irregularidades de la carpeta existente.

2. Rodillo Tándem HAMM HD 110 11680 KG. 131HP, 3000 VPM

- Rodillo liso Tándem, con un peso de operación de 10540kg
- Carga estática lineal rola delantera /rola trasera (31.5 /31.2 Kg/cm.).
- Frecuencia de vibración de 42/50 hz, con amplitudes de 0.81/0.47 mm (en alta y baja respectivamente)
- Velocidad de compactación 4km/h

3. Rodillo Neumático HAMM GRW15

- Rodillo neumático HAMM GRW15, de 11680 kg, con un peso luego del lastrado de 24 toneladas.
- Carga axial por rola (frontal/trasera) de 5220/6460 kg – sin lastre.
- Carga por neumático en eje delantero y trasero 1305/1615 kg – sin lastre.
- Presión en llantas de 70 a 75 psi y área de contacto de 0.3 x 0.2 en todas las llantas.
- Velocidad aproximada de 8 km/h

5.3.2. Tramo de prueba

Se realizó el tramo de prueba en un área de la carretera de aproximadamente 1 Km., en la cual se calibró el proceso de elaboración de mezcla asfáltica, transporte, uniformidad y dotación del riego de liga, conformación y compactación de la mezcla asfáltica, adoptando para ello las medidas de seguridad y señalización necesarias.

Luego de varias pruebas y errores en el esparcido, conformación y compactación con distintos planes de rodillado. Se controlaron la temperatura de la mezcla, velocidad de rodillado y deformación de la carpeta recientemente colocada. Así se llegó a dos sistemas de trabajo preliminares:

1. Pruebas de compactación utilizando solamente el rodillo tándem (dos pasadas por sector) con vibración con amplitudes altas y bajas, con resultados no aceptables entre los Km 204+560 al Km 205+000 (muestras diamantinas de D1, D2, D3 y D4 con porcentajes de compactación de 93.4% a 97.1%).
2. En el sector de tramo de prueba ubicado entre los Km 204+430 al Km 204+560 se ha incluido en el proceso de compactación un rodillo neumático (04 pasadas por sector), para alcanzar porcentajes de compactación mayores al 98.4%.

PROCESO DE RODILLADO 04/11/07

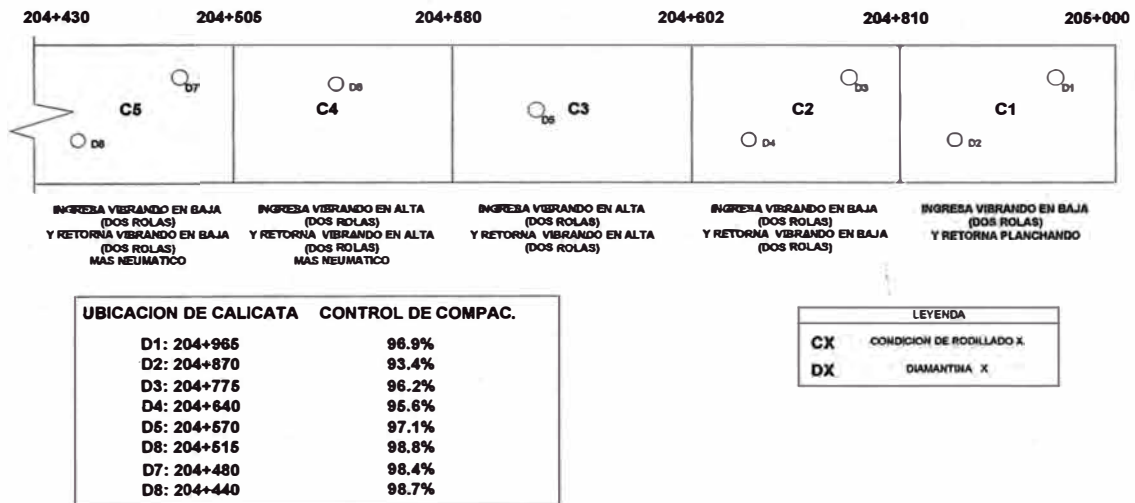


Figura N°16 Procesos de rodillado efectuados en tramo de prueba.

Fuente: Elaboración propia

- Entre los Km 204+505 al Km 204+560 el rodillo tándem ha realizado la compactación inicial con dos pasadas con vibración en amplitud alta, para luego seguir con el proceso de compactación con el rodillo neumático con cuatro (04) pasadas por sector.

Culminado el tramo de prueba se llegó a la siguiente conclusión:

a. Transporte

El cuidado que se tiene en el transporte de estas mezclas, bajo el escenario en el cual se enmarcó la obra, es el siguiente:

- Evitar la adherencia a las tolvas metálicas para lo cual estas se lubricaron con agua y jabón, evitando usar productos susceptibles de disolver el ligante asfáltico (aceite diesel, gasolina u otros).
- El camión cargado se cubrió con su toldera de lona, con el tamaño suficiente para proteger la mezcla por encima de la tolva en los laterales y parte posterior. Se fijó bien la toldera en la parte delantera para impedir la entrada de aire entre la cubierta y la mezcla asfáltica.

b. Características mecánicas necesarias de los equipos de compactación

Esparcidora Terex VDA700 (600 TN/HORA – 150 HP)

- Esparcido y conformación de mezcla asfáltica con una taza de 108 tn/hora.
- Uso del dispositivo de pre compactación (Tamper). que otorga cerca del 80% de la compactación.

Rodillo Tandem Hamm HD 110 11680 kg. 131hp, 3000 vpm

- Frecuencia de vibración de 42 hz, con amplitudes de 0.81 mm (vibración en alta).
- Velocidad de operación de 2 km/h.
- Peso del rodillo tándem 12 Tn.

Rodillo neumático HAMM GRW15

- Peso requerido de rodillo de 23000 kg (lastrado)
- Presión en llantas de 70 a 75 psi
- Velocidad de operación de 5 km/h.

c. Control de temperaturas en el proceso de colocación y compactación de mezcla asfáltica modificada

La temperatura de llegada de la mezcla asfáltica modificada de planta hacia la pista de 170 a 175°C como mínimo (en volquete)

La temperatura de la mezcla asfáltica luego del esparcido y conformado debe encontrarse entre los 160 a 165°C

La temperatura de rodillado con el rodillo tamden entre los 160 a 165°C

La temperatura de rodillado con el rodillo neumático entre los 150 a 155°C.

Antes de comenzar la colocación y compactación de la mezcla asfáltica modificada, se realizó las inspecciones y preparativos siguientes:

1. Superficie de carpeta asfáltica existente con riego de liga con emulsión asfáltica modificada con polímero.
2. Planificación de todos los procesos constructivos necesarios para la colocación y compactación de mezcla asfáltica modificada

3. Coordinación adecuada de la producción, distribución y rodillado de la mezcla.
4. Verificación de la implementación adecuada del área de control de calidad para garantizar la calidad de los trabajos realizados.

Para la recepción de la mezcla asfáltica se sigue los siguientes procedimientos:

1. Recepción de los tickets de carga, en donde la información más relevante sobre la mezcla asfáltica se encuentra expuesta.
2. Inspección de la mezcla asfáltica modificada, en donde son necesarios la constatación de la temperatura de llegada de la mezcla, la observación visual del exceso o deficiencia de asfalto, la uniformidad de la mezcla y el exceso de humedad.

Consortio Sullana

Mantenimiento Periódico carretera Sullana Aguas Verdes – I etapa

TICKET DE CARGA MEZCLA ASFALTICA 0001

Fecha:..... Planta	
Propietario Unidad:.....	Placa de unidad:
Hora de Salida Planta: Hora Llegada Pista:	
Tipo de Material:	
<input type="checkbox"/> MAC Convencional.	Volumen:m3.
<input type="checkbox"/> Micropavimento	Temperatura Salida:.....°C
	Temperatura Llegada:.....°C
Observaciones:	
.....	
.....	
.....	
_____ Jefe de Planta	_____ Controlador Pista

Figura N°17 Ticket de carga de mezcla asfáltica.

Fuente: Elaboración propia

5.3.3. Proceso de colocación y compactación de la mezcla asfáltica en caliente con asfalto modificado

- El esparcido y conformación se realiza en un tiempo de 20 minutos por cada 36 m3, con una velocidad de operación de 0.25 km/h a 0.30Km/h.

En caso de deformaciones en carpeta de dimensiones apreciables, (mayor a 1 cm) se procederá a la colocación de una capa nivelante, para luego esparcir y conformar la carpeta asfáltica final.

En algunos casos se observó irregularidades en la superficie colocada, estas fueron corregidas mediante adición manual siendo el esparcido efectuado con rastrillos metálicos.

El rodillo tándem entra inmediatamente (distancia no mayor a 20 metros) después del inicio del esparcido siguiendo la secuencia expuesta en el gráfico (temperatura de la misma en pista entre 160 a 165°C).



Figura N°18 Control de temperatura de inicio de proceso de rodillado (rodillo Tamden).

Fuente: Elaboración propia

Inmediatamente de haber pasado el rodillo tandem, entra el rodillo neumático, realizando 4 pasadas sobre la superficie de rodadura (temperatura de la mezcla en pista entre 150° a 155°C). Es necesario mencionar que con el rodillo neumático el humedecimiento adecuado de las llantas fue realizado cuidadosamente de modo que se evita la adherencia de la mezcla con estas.

- La compactación se inicia longitudinalmente en los bordes y se continúa en dirección al eje de la pista. En las curvas, la compactación debe comenzar siempre desde el punto más bajo hacia el punto más alto.
- Durante el rodillado no se permitió cambios de dirección e inversiones bruscas de marcha, tampoco estacionamiento del equipo sobre el revestimiento recién rodillado.
- El tiempo total de colocación desde el cuadrado de los volquetes con la esparcidora hasta la compactación final ha variado desde los 12min hasta 35min. Cabe señalar que para que este proceso tenga éxito los operadores de los equipos, rastrilleros y ayudantes seguían disciplinadamente el proceso, reconociendo la labor que ellos ejecutan dado que la colocación y conformación no solo es un proceso mecánico sino un proceso de buen criterio y arte.

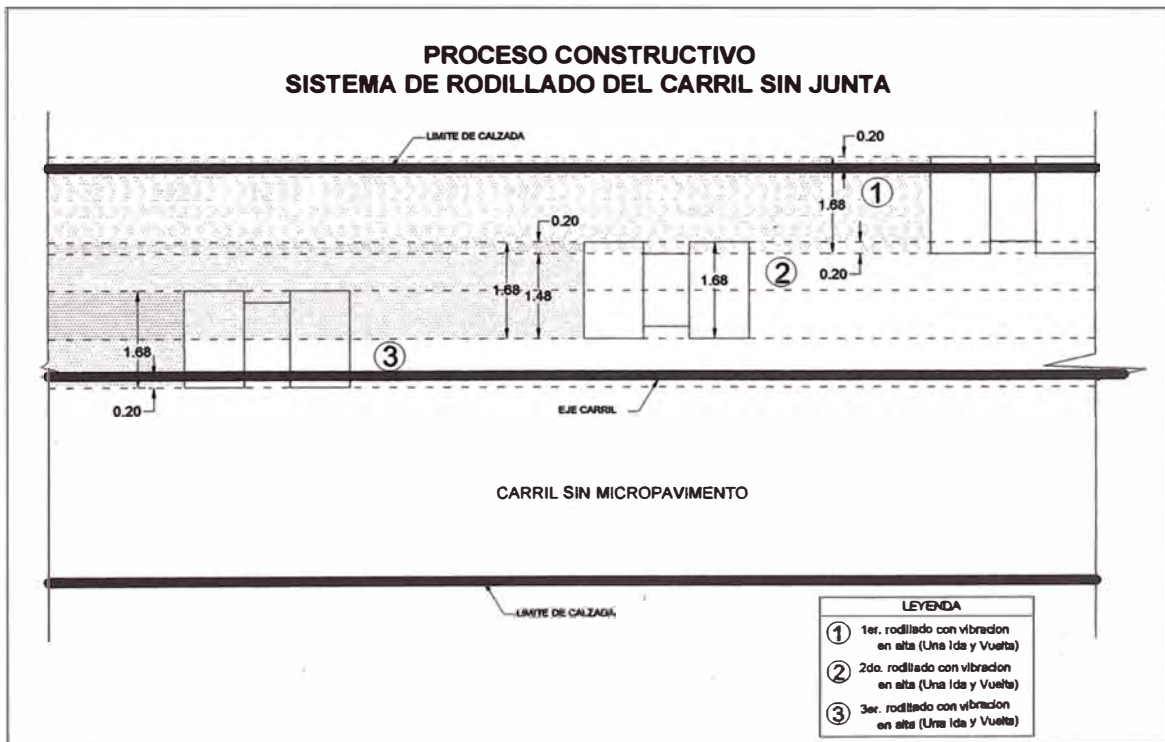


Figura N°19 Sistema de rodillado del carril sin junta.

Fuente: Elaboración propia

- Dado la inmediatez de los resultados, se verificará lo siguiente:
 - $e/tmna = 40/9.5 = 4.44 > 3$ donde e = Espesor de la capa a colocar
 $tmna$ = Tamaño máximo nominal del agregado

Recomendada por 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 de compactación alcanzado así como los vacíos de aire de la mezcla asfáltica compactada (se especificó un porcentaje de compactación mínimo de 98%).

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

$$\% \text{Vacíos} = 100 \times \frac{(\text{peso específico teórico máximo} - \text{peso específico bulk de la briqueta})}{\text{peso específico teórico máximo}}$$

donde:

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

Peso específico bulk de briqueta = se determinó en el laboratorio a partir del testigo extraído.

- La apertura al tránsito se daba por tramos de 500 mts., aproximadamente 2 horas después de haberse terminado la compactación, cuando la mezcla ha alcanzado una temperatura aproximada de 60 °C.

Como consecuencia de los adecuados procesos que van desde la elaboración de las mezclas asfálticas, la elección y control de los materiales siguiendo las especificaciones técnicas, hasta el cumplimiento del proceso adecuado de colocación y compactación, se puede considerar asegurado un comportamiento en servicio satisfactorio para las condiciones del proyecto desde la habilitación al tránsito hasta el final del periodo de vida útil estimada en 5 años (resistencia a fatiga, a deformaciones permanentes, al agua, al envejecimiento y al desprendimiento).

Toda la secuencia de trabajo desde el carguío, transporte, colocación y compactación se observa en el anexo 01, fotos del 30 al 37.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La elección del tipo de cemento asfáltico mediante la temperatura media anual y la consistencia del asfalto es un método antiguo y empírico, en la práctica se demostró que continua siendo indispensable para una elección adecuada del tipo de cemento asfáltico, tanto para asfaltos convencionales y asfaltos modificados con los polímeros SBS.
- La determinación del tiempo de mezclado del asfalto base con el polímero mediante el equipo de modificación en el laboratorio, pasa por la elección de la velocidad de cizalla, la temperatura que sea tolerable por el cemento asfáltico base y el polímero; así se evita que estos sufran cambios físico-mecánicos debido a la variación en su equilibrio coloidal del cemento asfáltico base, y cambios químicos por la oxidación del cemento asfáltico base y degradación prematura del polímero debido a la incisión de las cadenas del bloque butadieno.
- En la experiencia de modificación en laboratorio del cemento asfáltico CAP PEN 85/100 de la obra de Sullana – Aguas Verdes se determinó una velocidad de cizalla de 3500 rpm, tiempo de mezclado promedio de 40 minutos y considerando la temperatura de modificación mínima de 180 °C se garantiza una adecuada modificación con el menor uso de energía.
- La determinación de la **compatibilidad** de la mezcla del cemento asfáltico base y el polímero SBS, se realizó mediante la exposición a contra luz de una fina película del producto final, buscando que esta no presente trazas de polímero parcialmente dispersado.
- Se ha comprobado que cuando el cemento asfáltico base no compatibiliza con el polímero no presenta mejora alguna de las propiedades físico-mecánicas del producto final, en este caso el polímero solo actúa como filler en la mezcla.
- Los parámetros de consistencia del ligante, punto de ablandamiento y recuperación elástica torsional, son los que determinan la calidad del cemento asfáltico modificado, por lo que los ensayos preliminares para la aceptación del ligante modificado tienen que satisfacer las exigencias de los ensayos mencionados.

- Los polímeros KRATON D1101BT-LINEAL, KRATON D1101BM-LINEAL, KRATON D1186BT-RADIAL **no** fueron compatibles con los cementos asfálticos 85/100 producidos en el Perú en la fecha de ejecución de la obra.
- Los Polímeros LG 501-Lineal, TAIPOL 3201- LINEAL y KTR 401-LINEAL, **son compatibles** con los cementos asfálticos 85/100 producidos en el Perú en la fecha de ejecución de la obra.
- El cemento asfáltico modificado obtenido con la mezcla del CAP PEN 85/100 procedente de las refinerías de Talara-Conchán, los polímeros SBS LG 501-Lineal y TAIPOL 3201- LINEAL satisface los requerimientos de calidad mínimos solicitados en las especificaciones técnicas de la obra Mantenimiento Periódico de la Carretera Sullana – Aguas Verdes.
- Los cementos asfálticos producidos en las refinerías de Talara y Conchán presentan un mayor porcentaje de máltenosque resultan suficientes para humectar el polímero seleccionado, en comparación con los máltenosque presentan los cementos asfálticos producidos por la refinería de Repsol.
- Luego del análisis técnico–económico, el cemento asfáltico modificado obtenido de mezcla del CAP PEN 85/100 con el polímero SBS LG-501 es el más adecuado, para las condiciones geográficas de la obra, siendo la concentración del polímero de 3 a 4.5%.
- Luego de los ensayos de estabilidad al almacenamiento se concluye que el cemento asfáltico modificado con el polímero SBS LG-501- LINEAL es **inestable al almacenamiento**.
- Observando las cartas de viscosidad de los asfaltos convencionales CAP PEN 85/100 procedentes de la refinería de Talara, y del cemento asfáltico modificado con polímeros SBS, se concluye que para una misma temperatura los cementos asfálticos modificados presentan una mayor viscosidad. Esta característica física indica que la temperatura de mezclado y compactación cuando se elabora una mezcla asfáltica en caliente necesariamente tiene que ser mayor a las mezclas elaboradas con cemento asfáltico convencional.
- Para la determinación de la temperatura de mezclado y compactación del asfalto modificado con polímero SBS se tomaron los mismos criterios usados en los asfaltos convencionales, los cuales consideran que las temperaturas de mezclado y compactación corresponden a viscosidades de 0.17 ± 0.02 y 0.28 ± 0.02 Pa.s., y se obtienen para estas viscosidades las temperaturas de 183°C y 167°C respectivamente.

- Considerando el concepto de viscosidad de corte cero (ZSV) el cual representa en forma eficiente el aporte del asfalto en el control de las deformaciones permanentes, propuesto por H. Bahia, las temperaturas de mezclado y compactación son las que obedecen a las viscosidades de 0.75 Pa.s y 1.4 Pa.s obteniéndose para estas viscosidades las temperaturas de 147°C y 137°C., respectivamente. Por lo expuesto en el capítulo V, no es posible realizar una adecuada compactación en campo con estas temperaturas.
- La temperatura óptima de modificación del cemento asfáltico es de 185°C, esta temperatura elevada reduce el tiempo de vida útil del cemento asfáltico base. Bajo ese contexto se concluye que la vida útil del par ligante- polímero es el del polímero, por presentar menor variación en sus propiedades mecánicas y reológicas a temperaturas altas.
- Con temperaturas de rodillado menor a 150°C. para las condiciones de mezcla asfáltica y del medio presente, no se ha podido alcanzar densidades especificadas en el expediente técnico.
- En la experiencia obtenida de las modificaciones realizadas en la carretera Sullana – Aguas Verdes, se presentó las circunstancias en las cuales era necesario almacenar por un periodo el asfalto modificado, optando por reducir la temperatura, y de esta manera evitar la separación del polímero del cemento asfáltico base; dado que ocurrido este hecho, se realizaron las pruebas respectivas de calidad en el asfalto modificado almacenado de la manera anteriormente descrita, sin obtener mayores variaciones en los parámetros físico-mecánicos.
- Se realizaron procesos de compactación con el rodillo tándem, del cual se consiguió una adecuada compactación de las mezclas, sin embargo, estas mostraron sensibilidad a la variación de la temperatura, por tanto, no es garantía para alcanzar la compactación deseada.
- Es preciso mencionar que en el caso experimentado en la carretera Sullana - Aguas Verdes, para mezclas densa y de bajo espesor, para alcanzar la densidad del diseño Marshall, se requiere el uso de un rodillo neumático, el cual dada la capacidad de amasado ayuda a la mezcla a alcanzar la compactación esperada.
- En mezclas delgadas de 40mm a menos, es más dificultoso obtener la densidad y porcentaje de vacíos adecuados debido al más rápido enfriamiento,

por lo que se consideró importante que los rodillos trabajen próximos a la pavimentadora.

- Para el proceso de compactación inicial de mezclas asfálticas en caliente, la norma EG-2013 especifica como amplitud alta una frecuencia de 50-53.33 Hz(3000 – 3200 VPM). En obra se usó un rodillo tándem con una frecuencia de vibración en alta de 50 Hz (3000 VPM), con una amplitud máxima de 0.81mm, obteniendo la compactación inicial necesaria para alcanzar la densidad de la mezcla asfáltica sin deformar la superficie de esta.
- Para la compactación intermedia, la EG-2013 señala un rodillo neumático de 20 a 22Tn, que ejerce una presión de contacto por llanta entre 520 KPa y 550 KPa. En la experiencia de la obra, se tuvo un rodillo neumático Hamm de 23Tn con una presión de contacto por llanta entre 480 y 520KPa con la que se obtuvo una superficie de rodadura sin deformaciones.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para la elección del equipo necesario para la colocación y compactación de mezclas asfálticas es necesario tener en cuenta las características mecánicas de la mezcla determinadas mediante la estabilidad- fluencia, el espesor de la carpeta, la temperatura de compactación y de las condiciones ambientales preponderantes en la zona.
- En vista de que la utilización de agregados chancados al 90% produce una mezcla menos trabajable que las convencionales, se ha optimizado las técnicas de compactación tradicionales.
- Debido a la caída de temperatura de la mezcla asfáltica, el trabajo en las juntas por la cuadrilla de rastrilleros es importante, dado que corrigen las irregularidades dejadas por los equipos mecánicos.
- Para obtener una carpeta asfáltica consistente y de calidad, se debe evitar crear juntas constructivas mediante la aplicación de la técnica de colocación continua.
- Es necesario mencionar que la capacitación permanente del personal, el seguimiento constante del proceso por parte de los responsables capataces, ingenieros y la constante mejora del proceso garantiza buenos resultados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agnusdei, J.(1995). *Caracterización de Asfalto Modificado con Polímeros*. Vigésima Octava Reunión del Asfalto, Buenos Aires-Argentina.
2. Agnusdei, J.(2000).*Asfaltos Modificados con Polímeros*, Publicaciones LEMIT, Buenos Aires-Argentina.
3. Agnesdei, J. y Jair, M.(2004). *Optimización de las Temperaturas de Mezclado y Compactación en Laboratorio y plantas de mezclas bituminosas con la utilización de ligantes Modificados*. 4as. Jornadas Internacionales del Asfalto, Cartagena-Colombia.
4. Areizaga, J. y Cortazar, M. y Elorza, J. y Iruin, J.(2002). *Polímeros*. España. Editorial Sintesis S.A.
5. Arenas Lozano, H. y Fernández Gómez, L.(2002).*La Modificación de los Asfaltos Colombianos: una respuesta al deterioro prematuro de los Pavimentos*.Universidad de Cauca Popayán-Colombia.
6. Botasso, G.(2007). *Apuntes de clase "Tecnología de los Polímeros"*. Post Grado de la Universidad de Piura-Piura.
7. Comisión permanente de Asfalto de la República Argentina.(1985).*Tecnología del Asfalto y Prácticas de Construcción*.Buenos Aires- República de Argentina. Artes Gráficas Corín Luna.
8. Del Águila Rodríguez, P. (2002).*Experiencias en el Uso de Asfaltos Modificados con Polímero para Carpeta Asfáltica, en la carretera Guayaquil Desaguadero (Bolivia)*. 11ºvo Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto.
9. GarciaEiler, L.E.(2009). *Reología de Ligantes Asfálticos mediante el Viscosímetro Brookfield*.LEMaC-Centro de Investigaciones Viales- La Plata-Argentina.
10. Garzón Marengo, L.G. (ECOPETROL-ICP) y Alberto pareja, C. y Guiza, J.C.(ECOPETROL GRC).(2005); *La Importancia de la Química del Asfalto en la Normalización en los Pavimentos Flexibles*. XIII Cila - San José - Costa Rica.
11. Garzón Marengo, L.G. (ECOPETROL-ICP)yJara, D.(ECOPETROL-Apiay) y Gironza, E. (ECOPETROL Comercialización).(2005); *Asfalto Ecopetrol de Calidad Internacional*. XIII Cila - San José - Costa Rica.

12. Huamán Guerrero, N.(1999). *Polímeros para Pavimentos Flexibles, ¿Paraque y Cuando Utilizarlo?*. Tercer Congreso Nacional del Asfalto, Lima-Perú.
13. Huamán Guerrero, N.(2001).*Utilización de Polímeros para Modificación de Mezclas Asfálticas en el Perú y otros Países de América*. 11^{vo} Congreso Ibero –Latinoamericano del Asfalto. Lima – Perú.
14. Huamán Guerrero, N.(2002).*Utilización de Mezclas Asfálticas Modificadas con Polímeros, Experiencias Peruana*. V Congreso Nacional del Asfalto.
15. Chávez Roldan, I. (2008).Perfeccionamiento de los Cementos Asfálticos. *Ingeniería & Construcción*. 12. 12-13.
16. Larsen, D y Cortizo, M y Alessandrini, J.(2007). *Análisis de Mezclas Asfalto- Copolímeros SBS*. XIV Congreso Ibero- Latinoamericano del Asfalto. LaHabana- Cuba.
17. Ministerio de Transportes Comunicación Vivienda y Construcción-Oficina de Control de Calidad.(2000): *Manual de Ensayo de Materiales para Carreteras EM-2000*. Perú.
18. Ministerio de Transportes Comunicación Vivienda y Construcción-Oficina de Control de Calidad.(2000):*Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG-2000*. Perú.
19. Mikell P. Groover,(1997). *Fundamentos de Manufactura Moderna*. Mexico. Prentice-Hall Hispanoamericana S.A.
20. Provias Nacional, (2003).*Expediente Técnico “Mantenimiento Periódico de la carretera Panamericana Norte tramo Sullana – Aguas Verdes 1ra Etapa”*. Perú.
21. Rondón Quitana, H. y Rodríguez Rincón, E. Andrés Mojica, A. (2006):*“Análisis del comportamiento de una mezcla densa en caliente modificando el asfalto con desecho de Polietileno”*.5as. Jornadas Internacionales del Asfalto Cartagena de India. Colombia.
22. Subiada, A. y Cuattocchio, A.(2005). *Partes Fundamentales y Reología del Asfalto para uso Vial*. XIII Cila San José-Costa Rica.

ANEXOS

ANEXO 1

PANEL FOTOGRAFICO



Foto 01: Molino coloidal para pruebas en Laboratorio
Fuente: Elaboración propia



Foto 02: Instalación del molino coloidal
Fuente: Elaboración propia



Foto 03: Capacitación del uso del molino coloidal-asesoría del Ing. Gustavo Bachetta
Fuente: Elaboración propia



Foto 04: Viscosímetro rotacional Brookfield usado en obra
Fuente: Elaboración propia

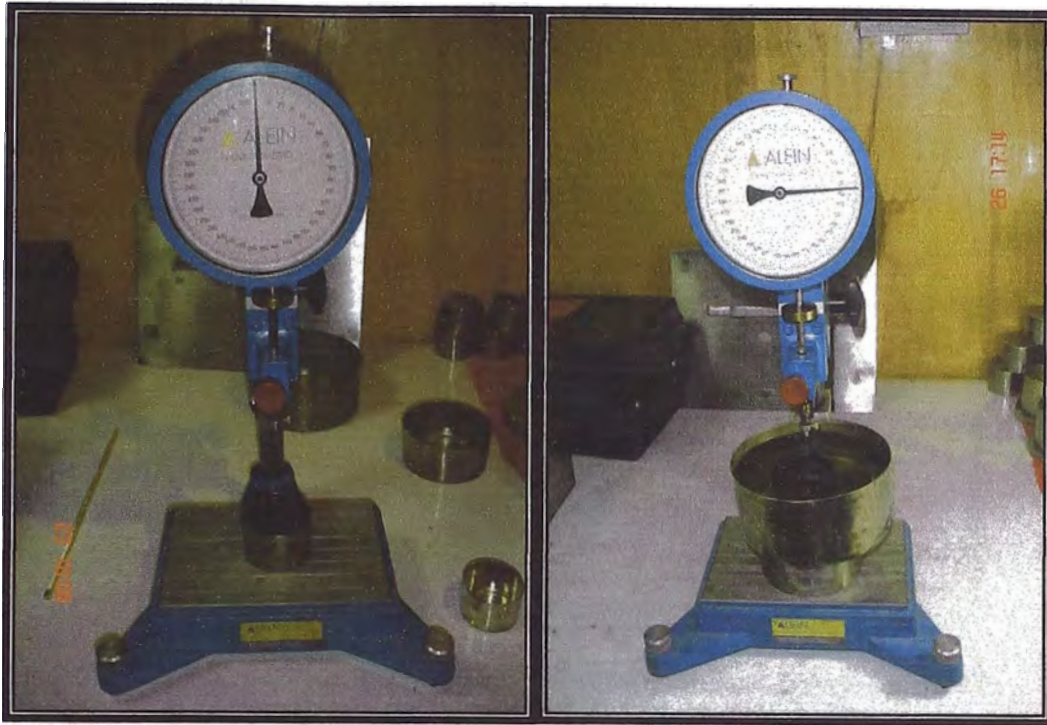


Foto 05: Penetrometro Standard usado en obra
Fuente: Elaboración propia



Foto 06: Aparato anillo y esfera usado en obra
Fuente: Elaboración propia

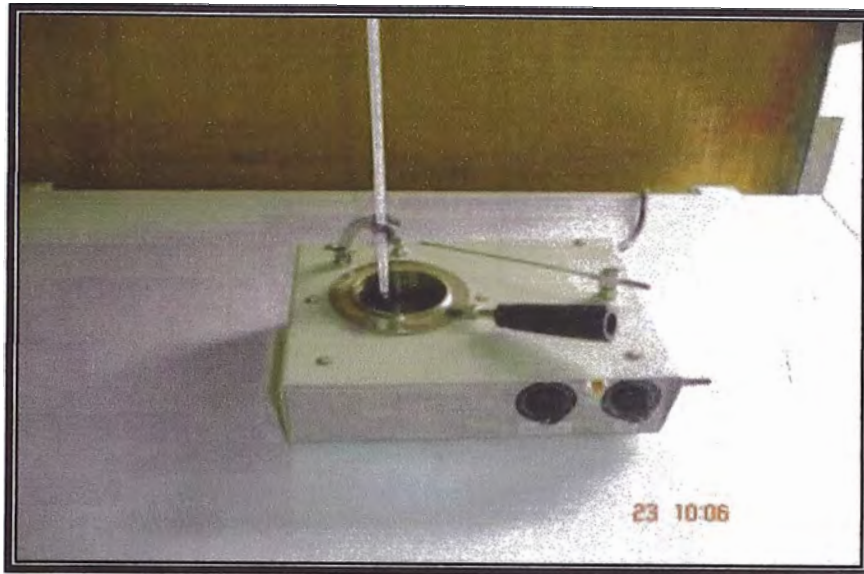


Foto 07: Aparato para ensayo de punto de inflamación usado en obra
Fuente: Elaboración propia

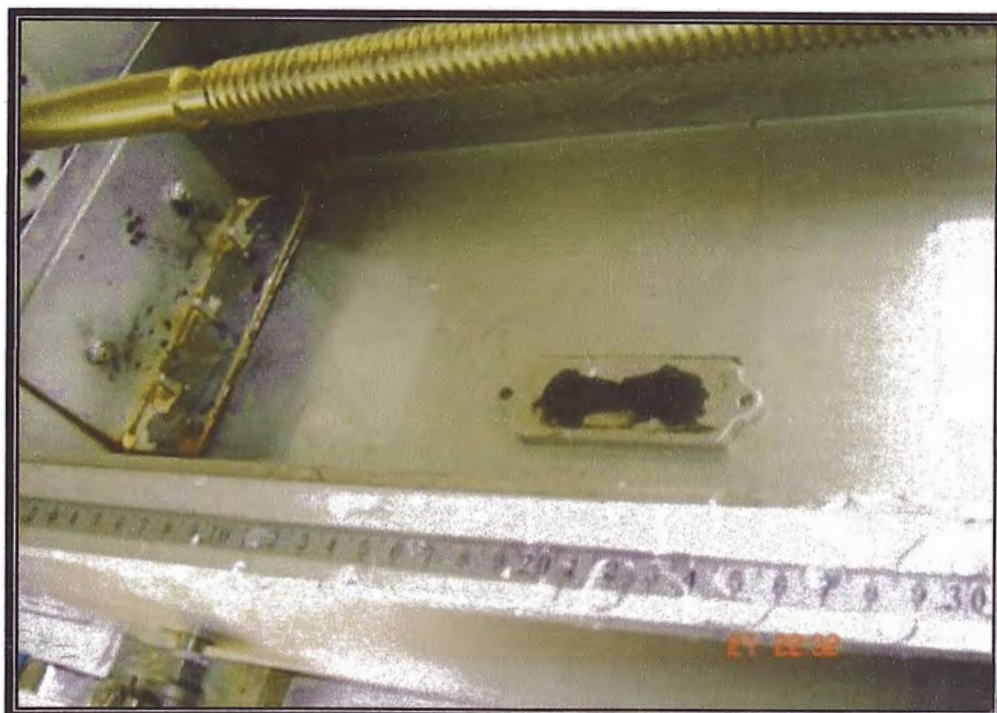


Foto 08: Ductilómetro usado en obra
Fuente: Elaboración propia



Foto 09: Equipo para recuperación elástica torsional
Fuente: Elaboración propia

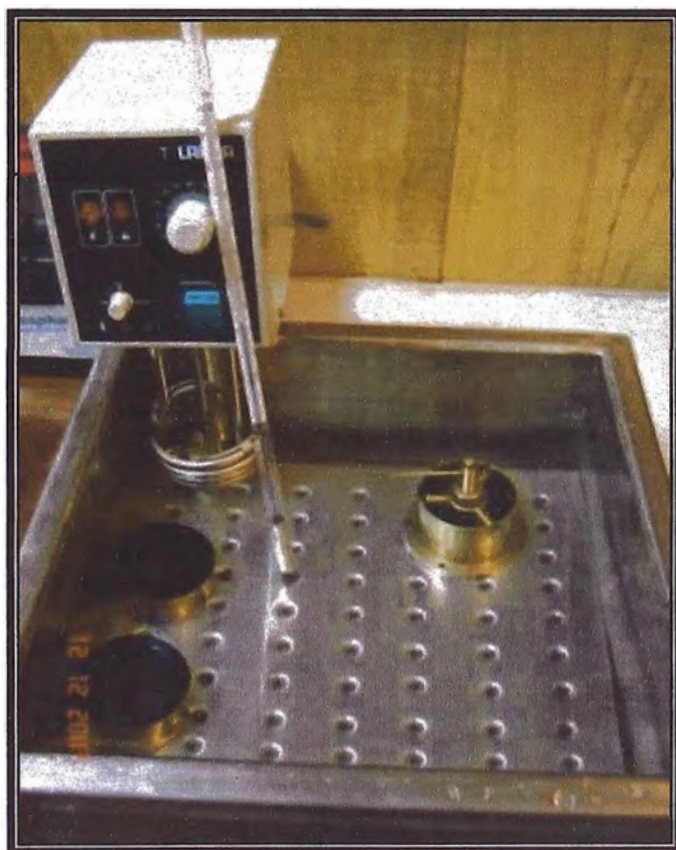


Foto 10: Equipo de baño de calentamiento de muestras de asfalto usado
en obra
Fuente: Elaboración propia



Foto 11: Horno para ensayo de película delgada rotativa (RTFO) – Laboratorio de Petroperú Talara

Fuente: Elaboración propia



Foto 12: Recipiente para el ensayo de estabilidad al almacenamiento
Fuente: Elaboración propia



Foto 13: Toma de muestras de la parte central del recipiente de estabilidad al almacenamiento-*vista lat.*

Fuente: Elaboración propia



Foto 14: Toma de muestras de la parte central del recipiente para estabilidad al almacenamiento-*vista frontal*

Fuente: Elaboración propia



Foto 15: Toma de muestras de la parte Inferior del recipiente
Para estabilidad al almacenamiento-vista frontal
Fuente: Elaboración propia



Foto 16: Toma de muestras de la parte Inferior del recipiente
Para estabilidad al almacenamiento-vista lat.
Fuente: Elaboración propia



Foto 17: Vista de la separación polímero-asfalto base

Fuente: Elaboración propia



Foto 18: Vista de la separación polímero-asfalto base planta

Fuente: Elaboración Propia



Foto 19: Equipos de planta de modificación de asfalto

Fuente: Elaboración propia



Vaciado del polímero SBS LG 501

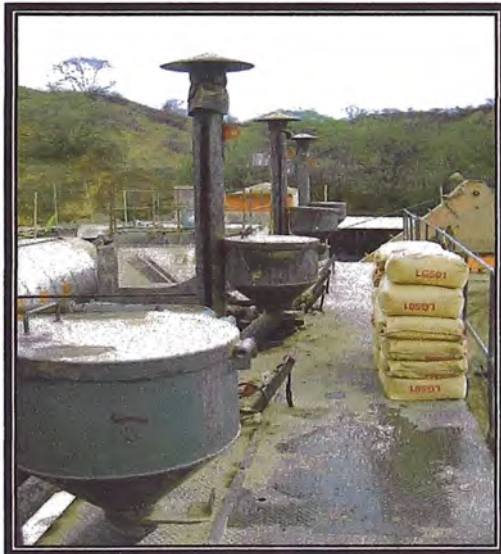


Foto 20: Termotanque de modificación de asfalto

Fuente: Elaboración propia



Foto 21: Vista del sistema de funcionamiento de la planta de modificación de cemento Asfáltico

Fuente: Elaboración propia

En esta fotografía se puede apreciar las principales partes e instalaciones de la planta para la fabricación de asfalto modificado con polímeros SBS describiéndose de la siguiente manera:

En el lado derecho el termodtanque modificador de dos compartimientos con 8000 glns. cada uno, al centro un tanque de almacenamiento de asfalto CAP PEN 85/100 de 8000 glns, al lado izquierdo el tanque máster de 10,000 glns.



Foto 22: Ensayo de penetración en asfalto modificado
Fuente: Elaboración propia



Foto 23: Ensayo de anillo y bola en asfalto modificado
Fuente: Elaboración propia

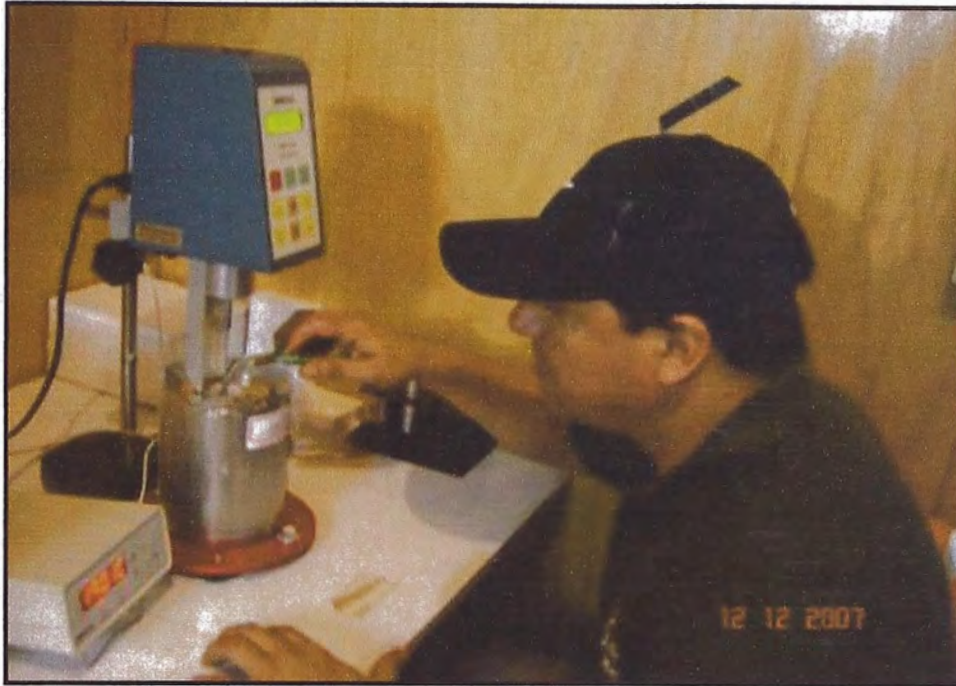


Foto 24: Ensayo de viscosidad con el rehometro Brookfield Thermosel
Fuente: Elaboración propia



Foto 25: Ensayo de recuperación elástica torsional, el dial debe recuperar mínimo 60grados, para verificar que el asfalto ha sido modificado

Fuente: Elaboración propia



Foto 26: Inicio ensayo de ductilidad en muestras de asfalto modificado
En un tina de acero inoxidable a 5°C según norma MTC E 306
Fuente: Elaboración propia



Foto 27: Final ensayo de ductilidad en muestras de asfalto modificado
En un tina de acero inoxidable a 5°C según norma MTC E 306
Fuente: Elaboración propia

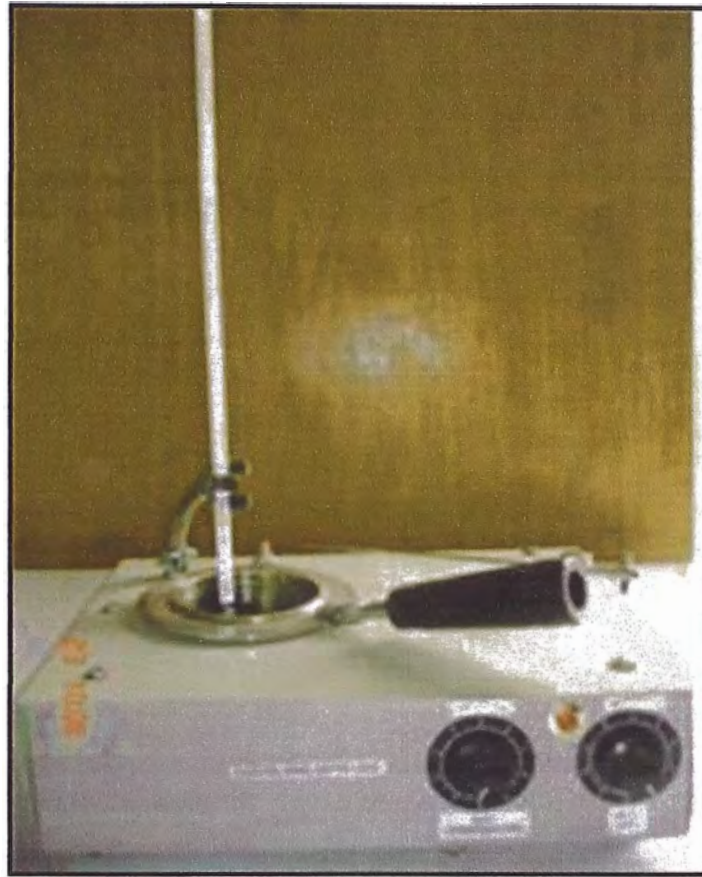


Foto 28: Ensayo de punto de inflamación
Fuente: Elaboración propia



Foto 29: Horno para ensayo de película delgada rotativa (RTFO)
Fuente: Elaboración propia



Foto 30: Carguío de volquete con mezcla asfáltica modificada
Fuente: Elaboración propia



Foto 31: Abastecimiento de agregados para mezcla asfáltica modificada
Fuente: Elaboración propia



Foto 32: Forma de carguío con mezcla asfáltica modificada a los volquetes
Fuente: Elaboración propia



Foto 33: Vista frontal de la planta de asfalto en carguío de volquete
Fuente: Elaboración propia



Foto 34: Tren de colocación de mezclas asfáltica modificada
Fuente: Elaboración propia



Foto 35: Descarga de mezcla asfáltica modificada sobre esparcidora
Fuente: Elaboración propia



Foto 36: Vista de rodillo tándem cercano a la esparcidora
Fuente: Elaboración propia



Foto 37: Vista lateral, cercanía entre los tres equipos del tren de asfalto
Fuente: Elaboración propia

ANEXO 2

CERTIFICADOS DE CALIDAD

PETROLEOS DEL PERU - PETROPERU S.A.
LABORATORIO DE REFINERIA TALARA



INFORME DE ENSAYO

PRODUCTO: PETROPERU ASFALTO SOLIDO 85/100 PEN

REF T LAJ 1468-LAJ 242-2008

C/T N° YI-2419 ZG-4820		FECHA RECEPCIÓN MUESTRA: 09/04/2008			
TANQUE DE DESPACHO 208		FECHA DE REPORTE: 02/05/2008			
CLIENTE LOQUPOS Y FAMILICA SAC		DIRECCIÓN CLIENTE TALARA			
DESCRIPCIÓN MUESTRA Codigo de la Muestra: 6013-2008 Cantidad de muestra: 200 ml Tipo de muestra: asfalto		OTRA INFORMACIÓN DE LA MUESTRA: Los ensayos fueron solicitados por la Unidad Mantenimiento de Producción Los ensayos fueron tomados por personal de dicha unidad			
	Unidad	METODO ASTM u OTRO	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES MINIMO MAXIMO	
PENETRACIÓN					
A 25°C 150 g 1/8"	1/8"	D-5-07	91	85	100
VOLATILIDAD					
Método de información: Clensford, copa alcohólica					
Residuo recuperado a 16 5/16 60°C	%	U-37-02b	285	232	
DUCTILIDAD					
A 25°C 5 centímetros	cm	D-113-00	>150	150	
SOLUBILIDAD					
	%	D-2042-01	89.8	92	
SUSCEPTIBILIDAD TERMICA					
	%	D-1754-02			
Prueba por enfriamiento	%	D-1754-02	0.20		1.0
Prueba por calentamiento	%	D-5-07	57	50	
Prueba a 25°C 5 centímetros	cm	D-113-00	>150	150	
FLUIDEZ					
Velocidad de penetración a 100°C	mm	D-2170-01a	2060		
Velocidad de penetración a 135°C	mm	D-2170-01a	270	175	
ABETINENCIA					
Residuo insoluble desmenuado en benceno, más de agregado	%	D-1074	>95	MAYOR DE 95	
Prueba de la mancha (Método) 30% benceno		ASTM D-1074-02b	PASA	REFLECTAR	
Punto de Ablandamiento	°C	D-36-01	48.0	REPORTAR	
OBSERVACIONES					
1 - Los resultados corresponden solo a la muestra analizada					
2 - El producto cumple las especificaciones de PETROPERU S.A.					
3 - Gravedad API 61 (15.0°C) = 9.4					
PREPARADO POR Nombre: Cargo: Firma:		APROBADO POR Nombre: Cargo: Firma:			
CARLOS ENCALADA L. LABORATORISTA FICHA N° 00468		MIGUEL VALLEJO G. FICHA 00151 LAB. RESP. TURNO			

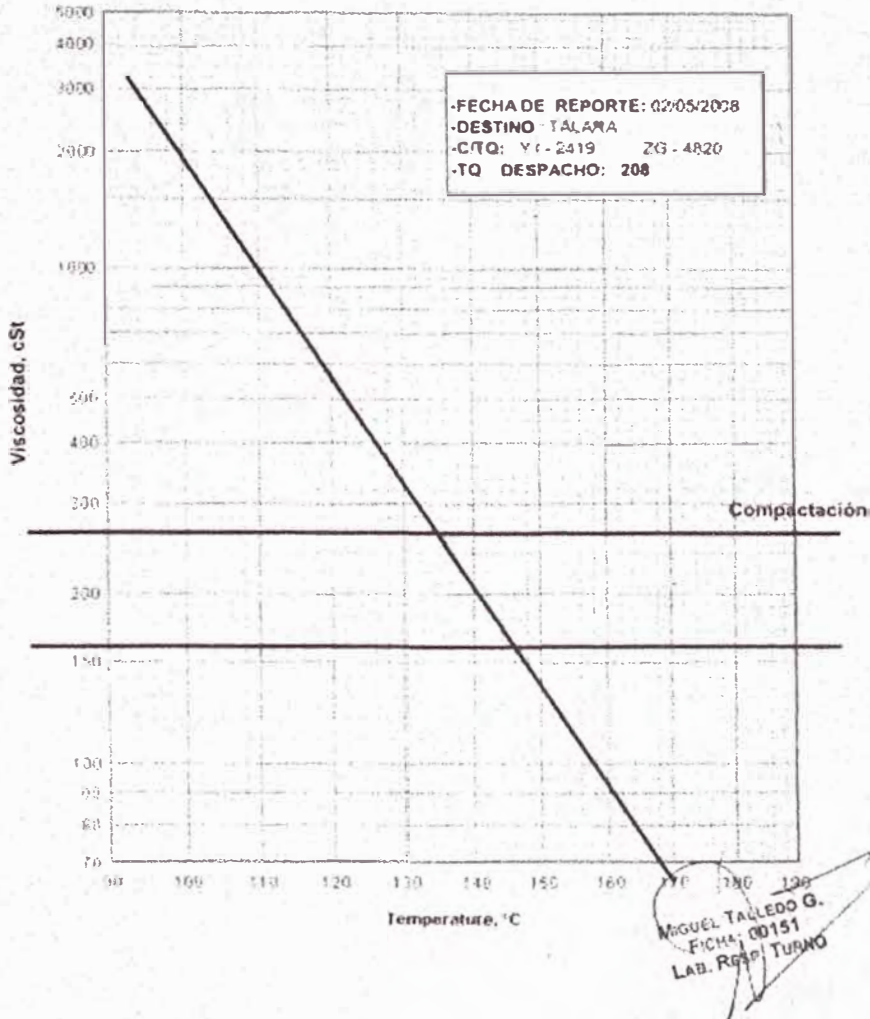
Av. Grau sin - Pórtico N° 1, Talara - Piura - Peru
Telfs. (01) 73 - 284200 Anexo : 23310
Fax. (01) 73 - 284245
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN DE PETROPERU S.A.

Gráfica 01: Informe de Ensayos CAP PEN 85/100
Fuente: Petroperú – Refinería Talara

PETROLEOS DEL PERU - PETROPERU S.A.
LABORATORIO DE REFINERIA TALARA



PETROLEOS DEL PERU – PETROPERU S.A.
Laboratorio de Refinería Talara
Carta Viscosidad-Temperatura Cemento Asfáltico 85/100PEN



Av. Grau s/n - Portón N° 1, Talara - Piura - Perú
Telfs. (51) 71 - 284200 Anexo: 23310
Fax: (51) 71 - 284269

PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACION DE PETROPERU S.A.

Gráfica 02: Carta de viscosidad - temperatura CAP PEN 85/100
Fuente: Petroperú – Refinería Talara



Oficina de Nivel Superior N° 6977 01 202
La Molina - Lima
Teléfono 94 (1) 886.9774

CERTIFICADO DE CONTROL DE CALIDAD

ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS SBS			
CLIENTE:	CONSORCIO SULLANA	FECHA DE PRODUCCIÓN:	07/10/2007
CANTERA:	QUEBRADA CHARAN - LA CRUZ - TUMBES	HORA:	13:00:00
PROFUNDIDAD DE ASFALTO SOLIDO 85/100	REFINERIA DE TALARA	TANQUE DE DESPACHO R T	
Nº DE LOTE DEL PRODUCTO		TEMPERATURA DE LLEGADA	

CARACTERISTICAS DEL LIGANTE MODIFICADO CON POLIMERO SBS					
ENSAYOS	UNIDAD	NORMA	VALOR	VALORES LÍMITE	
				MÍN.	MÁX.
Penetración (25 °C, 100g, 5s)	0.1 mm	MTG E 104	64	66	75
Punto de ablandamiento	°C	MTG E 107	78	80	-
Punto de viscosidad	°C	MTG E 112	240	275	-
Peso específico 25 °C/25 °C	g/cm³	MTG E 115	1.030	1.00	1.04
Estabilidad de almacenamiento					
Diferencia del punto de ablandamiento	°C	MTG E 107	-	-	5
Diferencia de consistencia	mm	MTG E 104	-	-	10
Viscosidad a 130 °C (1%)	poise	ASTM D4802	2.8	-	-
Dureza a 0 °C	cm	MTG E 109	70	75	-
Recuperación elasticidad termal	%	NLT - 10291	74	90	-
Fogeo	Visual		NO	NO	NO
ESPUELO DESPUES DEL EFECTO DE CALOR Y AIRE					
Penetración (25 °C, 100g, 5s)	% Pen. Cr.	MTG E 104	77	65	-
Variación del peso	% Humedad		4.130	-	1
Dureza a 0 °C (5mm/min)	cm	MTG E 109	9.3	8	-
Incremento del punto de ablandamiento	°C	MTG E 107	79.9	5	10

(*) VALOR DE REFERENCIA CON EQUIPO LABORATORIO MICHLE O FODT, o - PRO (MICHLE) PER

RANGOS DE TEMPERATURA RECOMENDADAS

- Extracción de la Mezcla: 165 °C
- Aplicación y Compactación: 150 °C
- Temperatura mínima de calentamiento en planta: 185 °C y en ningún caso la llama del quemador deberá incidir directamente sobre el ligante asfáltico

OBSERVACIONES:

- 1 - Los resultados de laboratorio se consignaron solo al lote producido
- 2 - El producto cumple las especificaciones del MTG
- 3 - Durante el almacenamiento por un período de cinco días, se conservará el producto a una temperatura más baja que la usual (100 °C a 120 °C), siendo la mínima recomendada para permitir curtos de almacenamiento: 105 °C. Se recomendará a temperatura ambiente si el producto quedara almacenado por períodos largos (20 días)

CONSORCIO SULLANA

Aprobado por:

EQUIPOS Y LOGISTICA SAC

Ing. Karla Plascencia Morales

Área de Talares de Asfalto Modificado

CONSORCIO SULLANA

Ing. Julio Cesar Villegas Bach

Gráfica 03: Certificado de control de calidad del Asfalto modificado con polímero SBS
Fuente: Laboratorio de Equipos y Logística

PETROLEOS DEL PERU - PETROPERU S.A.
LABORATORIO DE REFINERIA TALARA



INFORME DE ENSAYO

PRODUCTO: ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO

RFTL-LAB-1162-2008

PROCEDENCIA: TANQUE MODIFICADOR		FECHA RECEPCION MUESTRA: 10/04/08			
CLIENTE: CONSORCIO SULLAMA		FECHA DE REPORTE: 10/04/08			
		DIRECCION CLIENTE: TALARA			
DESCRIPCION MUESTRA: Codigo de la Muestra: 6321-08 Cantidad de muestra: 500 g Tipo de Envase: Metalico		OTRA INFORMACION DE LA MUESTRA: Los ensayos fueron solicitados por el Depto. Comercial			
ENSAYO	Unidad	METODO ASTM u OTRO	RESULTADOS	ESPECIFICACIONES MINIMO MAXIMO	
DUCTILIDAD (Prueba 1) A 5°C 5 cm/min	cm	D-113-99	53	15	
DUCTILIDAD (Prueba 2) A 5°C 5 cm/min	cm	D-113-99	65	15	
OBSERVACIONES: 1 - Los resultados corresponden solo a la muestra analizada.					
PREPARADO POR: Nombre: Funcion: Firma:		APROBADO POR: Nombre: Funcion: Firma:			

RFTL-AB-FI-30 Versión: 00

FIN DE INFORME

Av. Grau s/n - Portón N° 1, Talara - Peru
Telfs (01) 73 - 284290 Anexo: 23316
Fax (01) 73 - 284265

PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACION DE PETROPERU S.A

Gráfica 04: Informe de ensayo – Asfalto modificado con polímero
Fuente: Petroperú – Refinería Talara

PETROLEOS DEL PERU - PETROPERU S.A.
LABORATORIO DE REFINERIA TALARA



INFORME DE ENSAYO
PRODUCTO : ASFALTO MODIFICADO

RFTL - LAB-0281-2008

Producto: Asf. Modificado	Fecha Muestreo: 21-01-08	Fecha Ensayo: 22-01-08
Procedencia: EQUIPOS Y LOGISTICA S.A.C	SUPERPAVE™ Grado PG: No denominado	
Código: 0077-08	Lugar de Muestreo: Cantara Charán - Tumbes	
Dirección: Calle Pura N° 100, La Cruz - Tumbes		

PROPIEDAD	MÉTODO	RESULTADOS	ESPECIFICACIÓN
LIGANTE ORIGINAL			
Ortenidad Especifica a 15.0-15.6 °C	ASTM D-70-03	1.008	
Viscosidad, cp	135 °C 70 °C	1.018 0.08	3.000 máx.
Mód. De corte Dinámico (G' a 10 rad./sec.), Kpa	70 °C 64 °C 58 °C	1.87 3.04 8.21	1.0 mín
DESPUES DE RFTOT (Pedicula deforme)			
Pérdida de Masa, %	AASHTO T 240	0.14	1.0 máx.
Mód. De corte Dinámico (G' a 10 rad./sec.), Kpa	76 °C 70 °C 64 °C 58 °C	- - - -	2.2 mín
RESIDUO ENVEJECIDO POR PRESION (100 °C, 2.10 MPa, 20hr)			
Mód. De corte Dinámico (G' a 10 rad./sec.), Kpa	19 °C 18 °C 13 °C	- - -	5.000 máx
Rigidez al Desplazamiento, MPa (60 sec)	-8.0 °C	-	300 máx
Valor m			0.300 mín
Rigidez al Desplazamiento, MPa (60 sec)	-12 °C	-	300 máx.
Valor m			0.300 mín
Rigidez al Desplazamiento, MPa (60 sec)	-16 °C	-	300 máx
Valor m			0.300 mín
Rigidez al Desplazamiento, MPa (60 sec)	-24 °C	-	300 máx
Valor m			0.300 mín
SUPERPAVE™ Grado PG:		AASHTO M 320	-
REALIZADO POR:		APROBADO POR:	
Nombre: Jaime A. Dávila Reyes Función: Firma:		Nombre: Gregorio Quiroz Beltrader Función: Firma:	

Av. Grau s/n - Portón N° 1, Talara - Piura - Peru
Telf. (51) 73 - 264200 Anexo : 23310
Fax. (51) 73 - 264265

PROHIBIDA SU REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACION DE PETROPERU S.A.

Gráfica 05: Informe de ensayo RFTOT – Asfalto modificado con polímero
Fuente: Petroperú – Refinería Talara

C/EXPEDIENTE: 55.145/08.-

Interesado:	EQUIPOS Y LOGISTICA S.A. Av. Raúl Ferrero 1077 - Of. 201 - La Molina - Lima, Perú Tel. 385-9772
Muestra de Identificación de la muestra del interesado del LEMIT	Ligante Asfáltico y Testigos de Carpeta Asfáltica, Ligante asfáltico modificado, testigos de carpeta asfáltica y probetas Marshall N° de Lab. 368/08
Fecha de recepción	28/01/08
Factura	N° 0000-00001737 Fecha de la factura: 28/01/08

INFORME TÉCNICO

1. LIGANTE ASFÁLTICO.

N° de Laboratorio - Año 2008	368
Muestra	Ligante Asfáltico Modificado
Penetración a 25°C (100g-5s) (ASTM D-5), 0.1mm	58
Punto de Ablandamiento (A y E) (ASTM D-36), °C	68.5
Ductilidad a 5°C (5cm/min) (ASTM D-113), cm	50
Punto de inflamación (Cleveland vaso abierto) (ASTM-D-97), °C	262
Recuperación elástica torsional a 25°C (NLT-329), %	81
Estabilidad al almacenaje (8 días a 185°C) (NLT-328) (*)	
Diferencia de Punto de Ablandamiento, (°C)	34
Diferencia de Penetración, (0.1mm)	71

(*): No se exigirá este requisito cuando los elementos de transporte y almacenamiento estén provistos de un sistema de homogeneización adecuado, aprobado por el supervisor.

Hoja 1 de 2 hojas

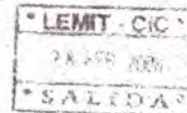
Gráfica 06: Informe técnico - ligante asfáltico modificado
Fuente: LEMIT

C/EXPEDIENTE: 55.148/08.-

N° de Laboratorio – Año 2008	366
Muestra	Ligante Asfáltico Modificado
Ensayos sobre residuo de ensayo en película fina rotativa (RTFOT) (ASTM D-2872)	
Variación de masa, %	-0.14
Penetración a 25°C (100g-5s) (ASTM D-5), 0.1mm	44
Punto de Ablandamiento (A y E) (ASTM D-36), °C	68.5
Ductilidad a 25°C (5cm/min) (ASTM D-113), cm	22


 Téc. OMAR A. IOSCO
 Área Tecnología Vial
 LEMIT



 Ing. LUIS R. TIERRERA
 Director LEMIT



Hoja 2 de 2 hojas

NOTA: Queda prohibida la reproducción total o parcial de este informe. Los resultados obtenidos solo se refieren a las muestras y a las condiciones de ensayo mencionadas en el informe.

Gráfica 07: Informe técnico - ligante asfáltico modificado
Fuente: LEMIT

	LG 501	File No.	
		Revised Data	
		Page	2/ 3

3) Emergency first aid procedures

1. Inhalation : Move person to the area of fresh air
2. Skin contact & Absorption : For burns, get medical attention immediately.
Immediately flush with copious amount of clean water.
3. Ingestion : Wash out mouth with water provided person is conscious first secure the respiratory path if the person vomits. Get medical attention.

4) Chronic effects of overexposure

: White oil dermatitis, lung irritation, chemical pneumonitis

- 5) Other information : Excessive exposures to the product itself should be prevented by the appropriate clothing, gloves and respirators.


SECTION 6. REACTIVITY DATA

- 1) Stability : stable
- 2) Incompatibility(material to avoid) : Strong oxidizing agent
- 3) Hazardous decomposition products : N.A.P
- 4) Hazardous polymerization : N.A.P
- 5) Conditions to avoid : Excessive heat and flame

SECTION 7. SPILL AND DISPOSAL PROCEDURES

- 1) Steps to be taken in case material is released or spilled
: Wear respiratory, chemical safety goggles, rubber boots and heavy rubber gloves. Sweep up, place in a bag hold for waste disposal . Avoid raising dust. Ventilate area and wash spill area after material pick up is complete.
- 2) Waste disposal method
: Dissolve or mix the material with a combustible solvent and burn in a chemical incinerator with an afterburner and scrubber. Observe all environmental regulations.

Gráfica 09: Certificado de calidad de polímero LG-501
Fuente: QUIMICA SUIZA

	LG 501	File No.	
		Revised Data	
		Page	3/3

SECTION 8. SPECIAL PROTECTION EQUIPMENTS

- 1) Chemical safety goggles
- 2) Compatible chemical-resistant gloves
- 3) Approved respirator
- 4) Safety shower and eye bath
- 5) Mechanical exhaust required
- 6) Do not inhale dust
- 7) Avoid contact with eyes, skin and clothing.
- 8) Wash thoroughly after handling.

SECTION 9. HANDLING AND STORAGE PRECAUTIONS

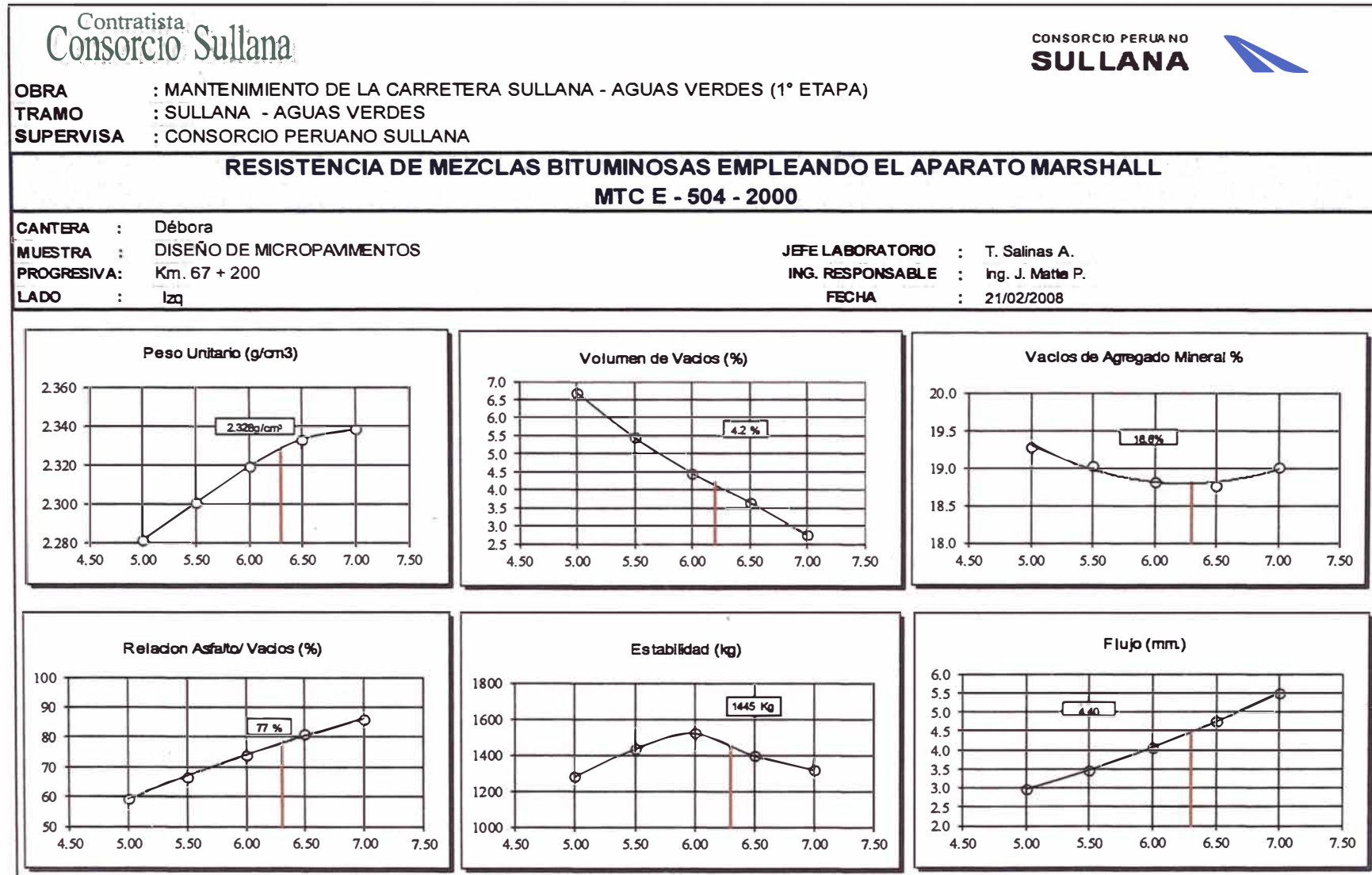
- 1) Precautions to be taken in handling and storage
 1. Keep container closed
 2. Storage in a cool and dry place

Gráfica 10: Certificado de calidad de polímero LG-501
Fuente: QUIMICA SUIZA

ANEXO 2



RESUMEN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS ASFALTICAS

Gráfica 11: Gráficos del Diseño Marshall - Mezcla con Asfalto Modificado



Fuente: Diseño de Micropavimento Devora

Gráfica 12: Composición de la mezcla asfáltica modificado

																																																											
OBRA	: MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA SULLANA - AGUAS VERDES (1° ETAPA)																																																										
TRAMO	: SULLANA - AGUAS VERDES																																																										
SUPERVISA	: CONSORCIO PERUANO SULLANA																																																										
RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL																																																											
MTC E - 504 - 2000																																																											
CANTERA	: Dóbora	JEFE LABORATORIO	: T. Salinas A.																																																								
MUESTRA	: DISEÑO DE MICROPAVIMENTO	ING. RESPONSABLE	: Ing. J. Matta P.																																																								
PROGRESIVA	: Km. 67 + 200	FECHA	: 21-feb-08																																																								
LADO	: Izq																																																										
1.- Agregados en la Mezcla																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">% Grava</td> <td style="width: 5%; text-align: center;">:</td> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 5%; text-align: right;">37.0%</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Grava</td> <td></td> <td style="text-align: right;">37.0%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% Arena</td> <td></td> <td></td> <td style="text-align: right;">60.2%</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Arena Zarandeada</td> <td style="text-align: center;">:</td> <td style="text-align: right;">10.0%</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Arena Chancada</td> <td></td> <td style="text-align: right;">50.2%</td> <td></td> </tr> <tr> <td>% de Filler</td> <td style="text-align: center;">:</td> <td></td> <td style="text-align: right;">2.8%</td> </tr> <tr> <td style="padding-left: 20px;">Cal hidratada</td> <td></td> <td style="text-align: right;">2.8%</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">TOTAL:</td> <td style="text-align: right;">100%</td> </tr> </table>				% Grava	:		37.0%	Grava		37.0%		% Arena			60.2%	Arena Zarandeada	:	10.0%		Arena Chancada		50.2%		% de Filler	:		2.8%	Cal hidratada		2.8%		TOTAL:			100%																								
% Grava	:		37.0%																																																								
Grava		37.0%																																																									
% Arena			60.2%																																																								
Arena Zarandeada	:	10.0%																																																									
Arena Chancada		50.2%																																																									
% de Filler	:		2.8%																																																								
Cal hidratada		2.8%																																																									
TOTAL:			100%																																																								
2.- Composición de la Mezcla Final																																																											
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 45%;">Descripción</th> <th style="width: 15%;">Valores de Diseño</th> <th style="width: 20%;">Especificación</th> <th style="width: 20%;">Observación</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Optimo contenido de Cemento Asfáltico</td> <td style="text-align: center;">6.30</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Compactacion, Numero de golpes</td> <td style="text-align: center;">75</td> <td style="text-align: center;">75</td> <td style="text-align: center;">Cumple</td> </tr> <tr> <td>Estabilidad Marshall</td> <td style="text-align: center;">1445 Kg</td> <td style="text-align: center;">700 Kg min.</td> <td style="text-align: center;">Cumple</td> </tr> <tr> <td>Flujo</td> <td style="text-align: center;">4.4 mm</td> <td style="text-align: center;">2.5 - 4.5 mm</td> <td style="text-align: center;">Cumple</td> </tr> <tr> <td>% Vacios de Aire - Marshall</td> <td style="text-align: center;">4.2 %</td> <td style="text-align: center;">4 % min</td> <td style="text-align: center;">Cumple</td> </tr> <tr> <td>Relacion Bitumen x Vacios</td> <td style="text-align: center;">77.0 %</td> <td style="text-align: center;">65% - 82%</td> <td style="text-align: center;">Cumple</td> </tr> <tr> <td>Relacion Filler x Bitumen</td> <td style="text-align: center;">1.14</td> <td style="text-align: center;">0.6 - 1.2</td> <td style="text-align: center;">Cumple</td> </tr> <tr> <td>Desgaste Cantabro</td> <td style="text-align: center;">—</td> <td style="text-align: center;">20% max</td> <td style="text-align: center;">Cumple</td> </tr> <tr> <td>Desgaste Cantabro envejecido ⁽¹⁾</td> <td style="text-align: center;">—</td> <td style="text-align: center;">30 % max</td> <td style="text-align: center;">Cumple</td> </tr> <tr> <td>Resistencia Retenida</td> <td style="text-align: center;">—</td> <td style="text-align: center;">75 % min</td> <td style="text-align: center;">Cumple</td> </tr> <tr> <td>Variacion teórica de Bitumen</td> <td style="text-align: center;">—</td> <td style="text-align: center;">0.2% max</td> <td></td> </tr> <tr> <td>V.M.A (%)</td> <td style="text-align: center;">18.8 %</td> <td style="text-align: center;">16.2 min.</td> <td style="text-align: center;">Cumple</td> </tr> <tr> <td>Peso Unitario (g/cc)</td> <td style="text-align: center;">2.328 g/cc</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				Descripción	Valores de Diseño	Especificación	Observación	Optimo contenido de Cemento Asfáltico	6.30			Compactacion, Numero de golpes	75	75	Cumple	Estabilidad Marshall	1445 Kg	700 Kg min.	Cumple	Flujo	4.4 mm	2.5 - 4.5 mm	Cumple	% Vacios de Aire - Marshall	4.2 %	4 % min	Cumple	Relacion Bitumen x Vacios	77.0 %	65% - 82%	Cumple	Relacion Filler x Bitumen	1.14	0.6 - 1.2	Cumple	Desgaste Cantabro	—	20% max	Cumple	Desgaste Cantabro envejecido ⁽¹⁾	—	30 % max	Cumple	Resistencia Retenida	—	75 % min	Cumple	Variacion teórica de Bitumen	—	0.2% max		V.M.A (%)	18.8 %	16.2 min.	Cumple	Peso Unitario (g/cc)	2.328 g/cc		
Descripción	Valores de Diseño	Especificación	Observación																																																								
Optimo contenido de Cemento Asfáltico	6.30																																																										
Compactacion, Numero de golpes	75	75	Cumple																																																								
Estabilidad Marshall	1445 Kg	700 Kg min.	Cumple																																																								
Flujo	4.4 mm	2.5 - 4.5 mm	Cumple																																																								
% Vacios de Aire - Marshall	4.2 %	4 % min	Cumple																																																								
Relacion Bitumen x Vacios	77.0 %	65% - 82%	Cumple																																																								
Relacion Filler x Bitumen	1.14	0.6 - 1.2	Cumple																																																								
Desgaste Cantabro	—	20% max	Cumple																																																								
Desgaste Cantabro envejecido ⁽¹⁾	—	30 % max	Cumple																																																								
Resistencia Retenida	—	75 % min	Cumple																																																								
Variacion teórica de Bitumen	—	0.2% max																																																									
V.M.A (%)	18.8 %	16.2 min.	Cumple																																																								
Peso Unitario (g/cc)	2.328 g/cc																																																										

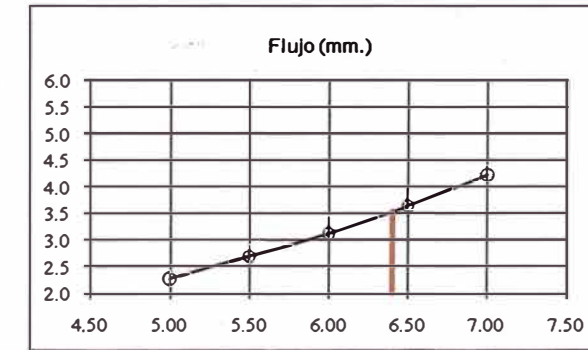
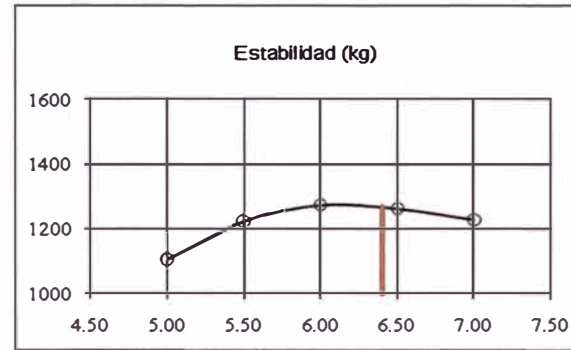
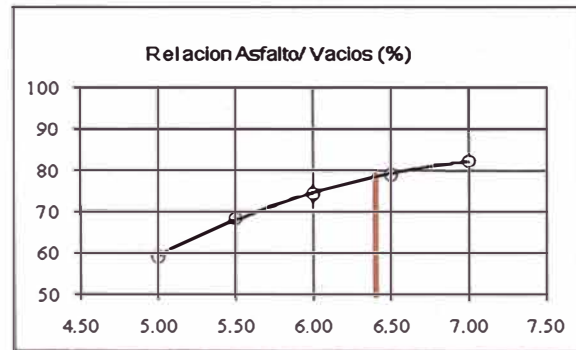
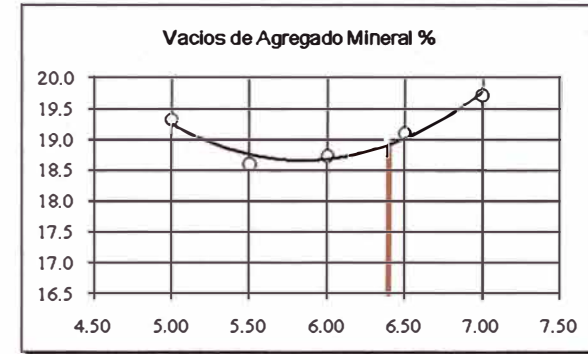
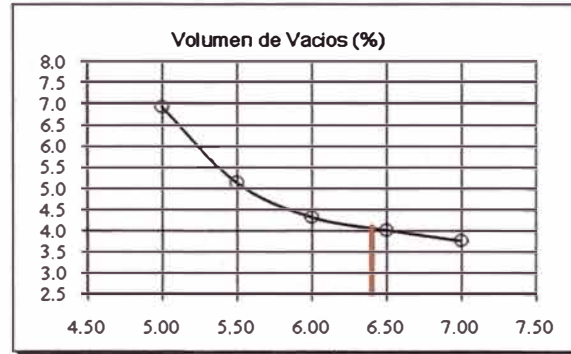
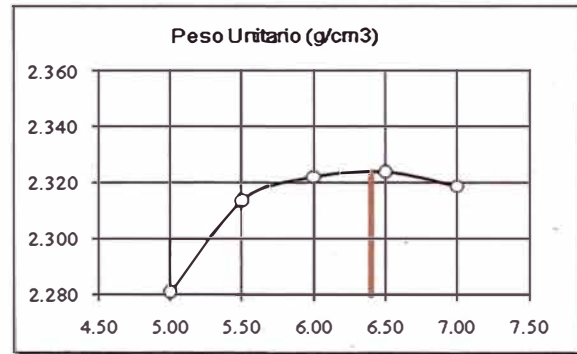
Fuente: Diseño de Micropavimento Devora

OBRA : MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA SULLANA - AGUAS VERDES (1° ETAPA)
TRAMO : SULLANA - AGUAS VERDES
SUPERVISA : CONSORCIO PERUANO SULLANA

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL
MTC E - 504 - 2000

CANTERA : Devora
MUESTRA : DISEÑO DE MEZCLA CON ASFALTO PEN 60/70-CANTERA DEVORA
PROGRESIVA: Km. 67 + 200
LADO : Izq

SOLICITANTE : Bach. Ing. Julio C. Condor V.
JEFE LABORATORIO : T. Salinas A.
ING. RESPONSABLE : Ing. J. Matta P.
FECHA : 21/04/2008



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 14: Composición de la Mezcla Asfáltica con CAP PEN 60/70

Consorcio Sullana

CONSORCIO PERUANO
SULLANA



OBRA : MANTENIMIENTO DE LA CARRETERA SULLANA - AGUAS VERDES (1° ETAPA)
TRAMO : SULLANA - AGUAS VERDES
SUPERVISA : CONSORCIO PERUANO SULLANA

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL			
MTC E - 504 - 2000			
CANTERA :	Débora	SOLICITANTE :	Bach. Ing. Julio C. Condor V.
MUESTRA :	DISEÑO DE MEZCLA CON ASFALTO PEN 60/70-CANTERA DEVORA	JEFE LABORATORIO :	T. Salinas A.
PROGRESIVA :	Km. 67 + 200	ING. RESPONSABLE :	Ing. J. Matta P.
LADO :	Izq	FECHA :	21-abr-08

1.- Agregados en la Mezcla

% Grava	:		37.0%
Grava		37.0%	
% Arena	:		60.2%
Arena Zarandeada	:	10.0%	
Arena Chancada		50.2%	
% de Filler	:		2.8%
Cal hidratada		2.8%	
TOTAL:			100%

2.- Composición de la Mezcla Final

Descripción	Valores de Diseño	Especificación	Observación
Optimo contenido de Cemento Asfáltico	6.40		
Compactacion, Numero de golpes	75	75	Cumple
Estabilidad Marshall	1270	700 mín.	Cumple
Flujo	4	2.5 - 4.5	Cumple
% Vacios de Aire - Marshall	4.1	4 % mín	Cumple
Relacion Bitumen x Vacios	79.0	65% - 82%	Cumple
Relacion Filler x Bitumen	1.14	0.6 - 1.2	Cumple
Desgaste Cantabro	—	20% max	Cumple
Desgaste Cantabro envejecido ⁽¹⁾	—	30 % max	Cumple
Resistencia Retenida	—	75 % mín	Cumple
Variacion teórica de Bitumen	—	0.2% max	
V.M.A (%)	18.9	16.2 mín.	Cumple
Peso Unitario (gr./cc.)	2.324		

Fuente: Elaboración propia

ANEXO 3

INFORME TECNICO DE INSPECCION DE CAMPO



MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
Telefax 4827287 - 3814308
E-Mail: mmadrid@slcdeingenieria.com

Co 075.MMS.12

Lima, 22 Noviembre 2012

Señores
CYM CONTRATISTAS GENERALES SAC
Presente.

Atención : Ing. DANIEL MARTINEZ
Asunto : INFORME TECNICO DE INSPECCION DE CAMPO
Referencia : Proyecto de Mantenimiento Periódico Carretera La Raya-Pucara

De mi consideración,

De acuerdo a las coordinaciones efectuadas tengo el agrado de hacer llegar a Ud. el Informe Técnico N° 015.MMS-2012 sobre expresión de opinión con relación al proyecto mencionado.

Sin otro particular por el momento me suscribo de Ustedes,

Atentamente,

Ing. Manuel Madrid Sosa
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos



MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
Telefax 4827287 - 3814308
E-Mail: mmadrid@slcdeingenieria.com

INFORME TECNICO N° 015.MMS-2012

Proyecto de Mantenimiento Periódico La Raya-Pucara, km 1148+000 – km 1220+000

1 INTRODUCCION

Como parte del programa de Mantenimiento Periódico que viene llevando a cabo Provias Nacional la carretera existente en el Tramo La Raya – Pucara fue sometida a un proceso de rehabilitación de daños existente previos a la colocación de una capa Mezcla Asfáltica como nueva superficie de rodadura. En el mencionado tramo se efectuaron recuperación del pavimento existente y la aplicación de Mezcla Asfáltica con asfalto modificado. El empleo de MAC modificado con polímeros SBS se debió a las condiciones climáticas especiales del proyecto y en atención a los requerimientos de Especificación Técnica del proyecto. Reciente inspección de campo permite apreciar la aparición prematura de fisuras longitudinales y transversales que afectan a la superficie de rodadura.

2 OBJETIVOS

Es objetivo del presente Informe Técnico es examinar la condición superficial del fisuramiento aparecido y evaluar las posibles causales y recomendar posibles medidas mantenimiento rutinario de manera de restaurar las condiciones de impermeabilidad originales.

3 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

La documentación considerada en el presente Informe es la siguiente:

- a. Manual de Identificación de Daños SHRP
- b. Daños Típicos en Pavimento Flexible AASHTO-93
- c. Especificaciones Técnicas Generales para Conservación de Carreteras MTC
- d. Informe de Control de Calidad del Supervisor de Obra-Liquidación de Obra, Marzo 2012.
- e. Método Diseño Asphalt Institute.
- f. Low-Temperature Mechanical Properties of Asphalt Concrete

4 ANALISIS DEL CONTROL DE CALIDAD INFORME SEGÚN LIQUIDACION DE OBRA DEL SUPERVISOR

4.1 DEFLEXIONES EN PAVIMENTO TERMINADO (DERECHO E IZQUIERDO)

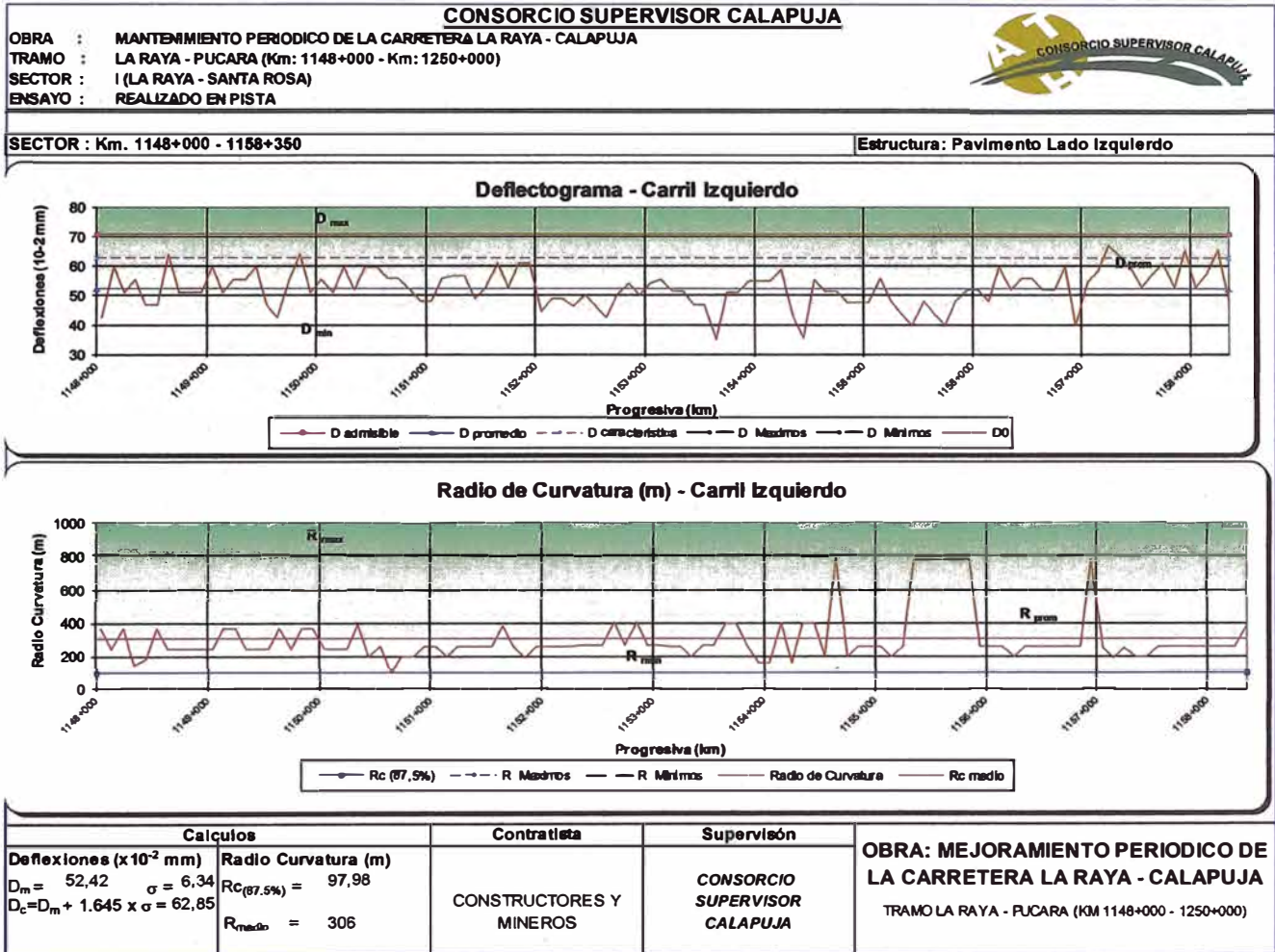
De acuerdo a la referencia 3.d en folios 942-971 se presentan resultados a nivel de microaglomerado observándose que la D_c (Deflexión característica) es igual o menor que la Deflexión Admisible cumpliendo con el requerimiento de la EG 2000.

De informe parcial de control de calidad del Supervisor se muestra el siguiente deflectograma con resultados aceptables de valores de deflexión.



MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
 Telefax 4827287 - 3814308
 E-Mail: mmadrid@slcdeingenieria.com



4.3 ENSAYOS MARSHALL CARPETA RODADURA CAC CON POLÍMERO SBS

De acuerdo a la referencia 3.d en folios 868-884 se observan resultados de contenido de asfalto que se encuentran dentro de las tolerancias admisibles según Diseño Marshall. Cabe mencionar que los valores de Estabilidad/Flujo son \geq de 5000 kg/cm. a la temperatura de 60°C.

4.6 CONTROL BASE RECICLADA

De acuerdo a la referencia 3.d en folios 733-741 se observan resultados a nivel de Base Reciclada que superan el requerimiento mínimo exigido de 10 kg/cm² de resistencia a compresión a 7 días de edad.

De informe parcial de control de calidad del Supervisor se muestra el siguiente cuadro con resultados aceptables de valores de resistencia a la compresion.



MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
 Telefax 4827287 - 3814308
 E-Mail: mmadrid@slcdeingenieria.com

5 ASPECTOS ESPECIFICOS

5.1 TRAMOS CONSTRUIDOS SEGÚN PROYECTO

De acuerdo a la información recibida se tienen los siguientes Tramos en el proyecto:

Tramo	Progresivas Desde el Km Hasta el Km	Trabajo realizado antes de la capa de rodadura	Capa de Rodadura	Tipo de Mezcla Asfáltica
I	1,148+000 al 1,176+417	Parches en zonas donde fue necesario y luego la Capa Nivelante Eprom=5.5cm	E=3.5cm	Con Polímeros SBS
II	1,176+417 al 1,220+600	Reciclado RAP Eprom=18cm	E=6.6cm	Con Polímeros SBS
III	1,220+600 al 1,250+000	Reciclado RAP Eprom=18cm	E=6.6cm	Con Polímeros SBS

5.2 DETERIOROS TIPICOS IDENTIFICADOS

Los deterioros reportados luego de la Inspección de Campo reportan predominantemente a los siguientes tipos:

- i. Fisuramientos Longitudinal



Fisura Longitudinal de Severidad Baja menor de 3mm



MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
Telefax 4827287 - 3814308
E-Mail: mmadrid@sicdeingenieria.com



Fisura Longitudinal de Severidad Baja menor de 3mm



Fisura Longitudinal de Severidad Media de 3mm a 13mm



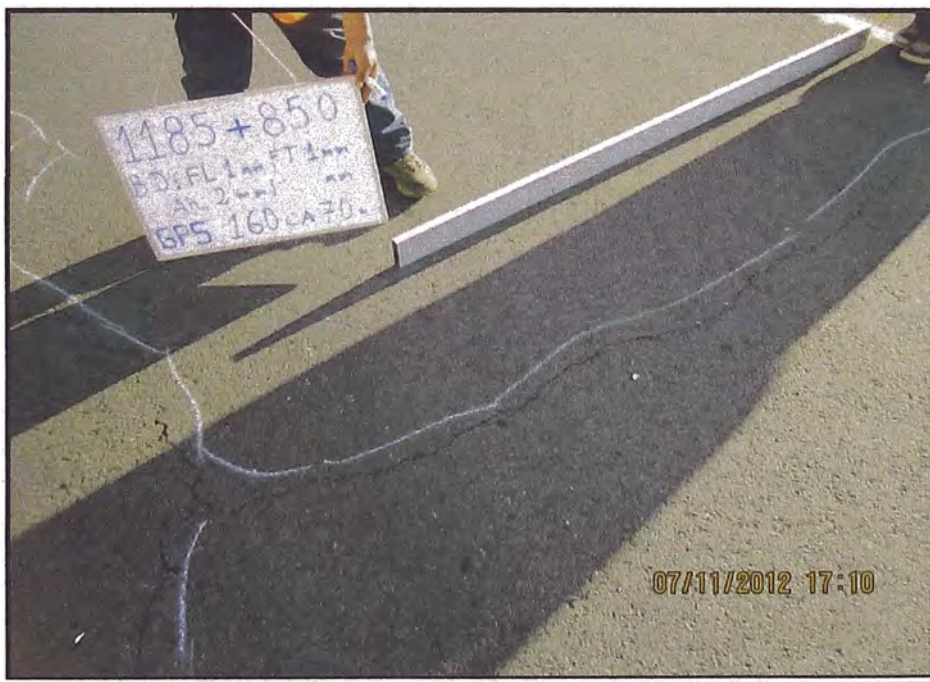
MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
Telefax 4827287 - 3814308
E-Mail: mmadrid@sicdeingenieria.com

ii. Fisuramientos Transversales



Fisura Transversal de Severidad Baja menor de 3mm



Fisura Transversal de Severidad Baja menor de 3mm



MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
Telefax 4827287 - 3814308
E-Mail: mmadrid@slcdeingenieria.com



Fisura Transversal de Severidad Media de 3mm a 13mm

iii. Fisuramiento Ramificado

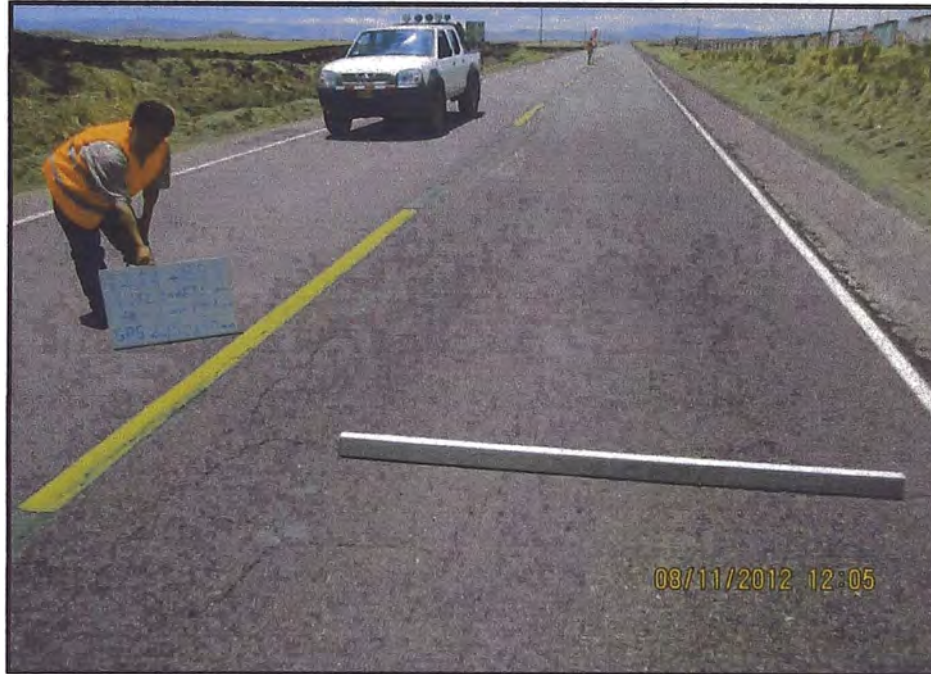


Fisura Ramificada de Severidad Baja menor de 3mm



MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
Telefax 4827287 - 3814308
E-Mail: mmadrid@sicdeingenieria.com



iv. Fisuramiento Piel Cocodrilo



Fisura Piel de Cocodrilo de Severidad Baja menor de 3mm



MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
Telefax 4827287 - 3814308
E-Mail: mmadrid@slcdeingenieria.com



Fisura Piel de Cocodrilo de Severidad Baja menor de 3mm



Fisura Piel de Cocodrilo de Severidad Media de 3-13 mm, cercana a la línea férrea.



MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
 Telefax 4827287 - 3814308
 E-Mail: mmadrid@slcdeingenieria.com

5.3 SEVERIDAD DETERIOROS TIPICOS IDENTIFICADOS

De acuerdo a los daños observados y a manuales de calificación de deterioros se proponen las siguientes severidades compatibles con los daños observados:

- a. FISURAMIENTO TANTO LONGITUDINAL COMO TRANSVERSAL:
 - i. SEVERIDAD BAJA : < 3 mm.
 - ii. SEVERIDAD MEDIA : 3 mm - 13 mm.
 - iii. SEVERIDAD ALTA : > 13 mm

- b. FISURAMIENTO EN CUERO DE COCODRILO

El Fisuramiento en Cuero de Cocodrilo mantiene la misma severidad:

- i. SEVERIDAD BAJA : FISURAS < 3mm. Que no muestran bordes rotos y elementos sin movimiento, sin ahuellamiento.
- ii. SEVERIDAD MEDIA : 3 mm - 13 mm. Que muestran bordes rotos y elementos sin movimiento, sin ahuellamiento.
- iii. SEVERIDAD ALTA : > 13 mm. Que muestran bordes rotos y elementos con movimiento entre ellos y además ahuellamiento.

5.4 ESTIMACION METRADOS DE FISURAMIENTOS OBSERVADOS,

Para estimar la presencia de los deterioros se efectuó un metrado referencial global aproximado de Fisuramiento Longitudinal + Transversal que componen predominantemente los deterioros observados que se resumen en el presente cuadro:

RESUMEN DE METRADO POR TRAMOS FISURAMIENTO LONGITUDINAL+TRANSVERSAL						
DESCRIPCION	KM INICIO	KM FIN	LONGITUD KM	C DER m,	EJE m,	C IZQ m,
TRAMO I:	1148+000	1176+400	28,4	6.754,50 23,8%	8.490,20 29,9%	4.390,40 15,5%
TRAMO II:	1176+400	1220+600	44,2	14.602,10 33,0%	17.401,20 39,4%	25.986,00 58,8%
TRAMO III :	1220+600	1250+000	29,4	547,10 1,9%	3.507,30 11,9%	1.087,10 3,7%
TOTAL			102,0 100%	21.903,70 21,5%	29.398,70 28,8%	31.463,50 30,8%

Es importante mencionar que el Fisuramiento tanto longitudinal como transversal, predominantes en los 3 tramos observados, constituye el 98% del total estimado y que además muestran una severidad baja (espesor o grosor < 3 mm.) más exactamente de un espesor menor o igual a 1 mm.

En el Anexo 01 se incluyen 24 archivos en digital que muestran los deterioros observados y su severidad.



MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
Telefax 4827287 - 3814308
E-Mail: mmadrid@slcdeingenieria.com

6 ANALISIS DE CAUSALES DE FISURAMIENTO

6.1 FISURAMIENTO POR CAUSALES CONSTRUCTIVAS

La inspección de campo muestra fisuramientos que se ubican en las Juntas de construcción Longitudinales y Transversales.

En general es atribuido, el que una junta pueda mostrar deterioros, a una posible deficiencia en el líquido ligante o compactación en la unión de las dos carriles asfaltados en diferentes momentos del proceso constructivo empleado.

6.2 FISURAMIENTO POR CAUSALES CLIMATICAS

1. El fisuramiento en mezclas asfálticas convencionales por razones de esfuerzos térmicos y que conducen a fisuramientos transversales ha sido mencionado en la referencia 3.e en donde la influencia climática se clasifica según las temperaturas promedio anual en el aire en las categorías $< 7^{\circ}\text{C}$, 15.5°C y $\geq 24^{\circ}\text{C}$ para los que cabe recomendar los tipos de asfalto a emplear en función del ensayo de Penetración del Cemento Asfáltico.

En base ese criterio por temperatura para el proyecto adopto el Cemento Asfáltico Pen 120-150.

- ii. Este criterio no establece valores de módulo de rigidez de la mezcla asfáltica que deban ser adoptados para neutralizar los esfuerzos térmicos que en nuestro medio se reconocen en los proyectos ubicados en zonas caracterizadas como de climas fríos generalmente característicos de las zonas andinas.
- iii. En tal sentido la aplicación más usual frente al problema de la alta rigidez de la MAC generada por bajas temperaturas ambientales solo se tiene la recomendación incluida en la EG 2000 en Sección 410 Pavimento de Concreto Asfáltico Caliente referido al Diseño de Mezcla Asfáltica Método Marshall en donde recomienda tener una mezcla asfáltica con Vacíos del orden de 2% y una relación Estabilidad/Fluencia de 1700-2500 kg/cm.

Por su carácter empírico este criterio tampoco permite estimar valores de módulo de rigidez de la mezcla asfáltica que deban ser adoptados para neutralizar los esfuerzos térmicos que caracterizan al proyecto.

En la referencia 3.f se tiene una investigación que trata de efectuar pronósticos de fisuramiento por esfuerzos térmicos en base al tipo de Cemento Asfáltico según Pen y la temperatura ambiental pero no ha sido consolidado en un procedimiento normativo.

De las referencias mencionadas se puede concluir que el Cemento Asfáltico Pen 120-150 elegido para el proyecto ha sido bien elegido.

Las referencias antes mencionadas no han sido validadas normativamente para el caso de Cementos Asfálticos modificados con polímeros de algún tipo por lo que el Expediente Técnico no menciona este aspecto.

6.3 CAUSALES DE FISURAMIENTO TERMICO OBSERVADO EN EL PROYECTO

Sobre este particular cabe mencionar las siguientes consideraciones:

1. Método de Diseño de Pavimentos aplicado.
El Método AASHTO 93 tiene limitaciones específicas para las Carpetas Asfálticas en Climas Fríos que permitan proponer módulos de mezcla que neutralicen los esfuerzos térmicos de la misma y los fisuramientos derivados en una mezcla asfáltica altamente rigidizada.
- ii. Altos valores del Índice de Rigidez de la MAC obtenidos y su relación con Asfaltos Modificados.
El diseño y los controles Marshall indican que la mezcla asfáltica ensayada a 60°C presenta un Índice de Rigidez del orden de 5000 kg/cm, inconveniente para climas fríos, muy superior a lo



MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
Telefax 4827287 - 3814308
E-Mail: mmadrid@slcdeingenieria.com

recomendado en una mezcla asfáltica con asfalto convencional. En consecuencia, aun con asfalto modificado, la alta rigidez lo hace susceptible de fracturarse derivando en fisuras longitudinales y transversales como se ha observado en el proyecto.

En consecuencia el efecto esperado de la polimerización en cuanto a resistir esfuerzos térmicos y fisuramientos no ha sido suficiente para el presente caso.

- iii. Es de mencionar que no se ha constatado durante la inspección realizada ahuellamientos superficiales de la carpeta o del pavimento en si por razones de una subrasante inestable pudiéndose opinar que hay adecuada capacidad estructural lo que hace concluir que el problema de fisuramiento está circunscrito solamente a la carpeta asfáltica.
- iv. Experiencia observada
No se ha ubicado antecedentes en nuestro medio que permitan indicar comportamiento aceptable de carpetas con asfalto modificado frente al problema de esfuerzos térmicos en climas fríos.
No se ha ubicado Diseños Marshall de mezcla asfáltica con asfalto modificado que permitan recomendar Índices de Rigidez adecuados para climas fríos.

7 CONCLUSIONES

- a. Se ha confirmado la presencia de fisuras longitudinales, transversales de forma predominante en los Tramos I, II y III en una proporción de 98% del total de fisuramientos y de severidad Baja. Los fisuramientos mencionados son de un espesor ≤ 1 mm.
- b. El proyecto se ubica entre los denominados de Climas Fríos lo que amerita según el proyecto el uso de Cemento Asfáltico Pen 120-150 modificado con polímeros tipo SBS.
- c. Los controles de calidad de la Base granular reciclada con la incorporación de cemento portland han cumplido las exigencia de resistencia a compresión requerida según consta en los resúmenes presentados en el Volumen de Liquidación de Obra presentado por El Supervisor.
- d. De similar forma los valores de Deflexion de pavimento terminado muestran satisfacer los valores exigidos de deflexión admisible.
- e. Los fisuramientos observados competen solo a la carpeta asfáltica al no haberse registrado ahuellamientos a nivel de la carpeta o a nivel del pavimento, circunstancia que indica que no hay insuficiencia estructural.
- f. Dadas las condiciones de altos gradientes térmicos que caracterizan los Climas Fríos de la zona andina ellos pueden considerarse como causales principales del proceso de fisuramiento temprano observados en la inspección realizada, a lo que se ha sumado la alta rigidización de la mezcla asfáltica obtenida después de la modificación del cemento asfáltico, como consta en los controles de calidad de la mezcla asfáltica con asfalto modificado.
- g. El efecto de modificación del cemento asfáltico ha sido insuficiente para absorber los esfuerzos térmicos derivados de los gradientes de temperatura presentes en el presente proyecto.
- h. No se dispone de normativa referente a las mezclas asfálticas con asfalto modificado que pudieran recomendar valores en el Diseño de Mezcla asfáltica para contrarrestar los efectos térmicos en zonas geográficas con climas fríos como es el presente proyecto.

8 RECOMENDACIONES

- a. Dada la predominancia de los fisuramientos tipo Longitudinales y Transversales de severidad Baja < 3 mm. y más precisamente $<$ de 1 mm. se hace necesario proceder a actividades de sellado de tales fisuras mediante la aplicación de un sello con bitumen tipo Fog Seal (sello neblinado) en previsión del ingreso de agua hacia las capas inferiores.
- b. Los demás fisuramientos de severidad Baja a Alta podrán ser tratados según las normativas correspondientes empleadas rutinariamente por Provias Nacional.



MANUEL F. MADRID SOSA
Consultor en Ingeniería de Suelos y Pavimentos

Las Calezas 337, 2o Piso, Lima 25 - Perú
Telefax 4827287 - 3814308
E-Mail: mmadrid@slcdeingenieria.com

9 ANEXOS

Anexo 01 Panel Fotográfico de Inspección

Ing. Manuel Madrid Sosa