



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

APLICACIÓN DE MICROPAVIMENTO USANDO ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO EN LA VÍA SULLANA- AGUAS VERDES

Patricia Inés Salinas Reto

Piura, 31 de Marzo de 2009

FACULTAD DE INGENIERÍA

Departamento de Ingeniería Civil

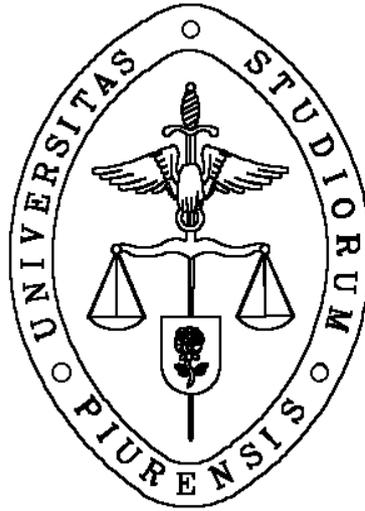
Marzo 2009



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA



“Aplicación de micropavimento usando asfalto modificado con polímero en la vía
Sullana–Aguas Verdes”

Tesis para optar por el Título de
Ingeniero Civil

Patricia Inés Salinas Reto

Piura, Marzo 2009

A mis inigualables padres, a mi hermanita y a Raulito que son mi motor y motivo en cada una de mis metas y a quienes les dedico todos mis éxitos

PROLOGO

La empresa Constructores y Mineros (CyM), tuvo a su cargo el mantenimiento de la vía Sullana – Aguas Verdes, a ser ubicada en los departamentos de Piura y Tumbes. El proyecto surge como respuesta a la necesidad de mejorar los niveles de servicio, confort y seguridad a los usuarios, la misma que beneficiará a diez localidades que atraviesa la carretera: Talara, Los Organos, Cancas, Canoas, Zorritos, Caleta, La Cruz, Tumbes, Puerto Pizarro y Zarumilla.

Para el desarrollo del proyecto se ha utilizado asfalto modificado, que es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en incorporar polímero al asfalto convencional a temperatura elevada, haciéndolo pasar por un molino coloidal dotado de una gran capacidad para desarrollar altos esfuerzos de corte, durante un tiempo determinado, que dependerá de la naturaleza y tipo de cada uno de sus componentes. Esta adición del polímero se realiza con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y de tránsito (peso vehicular).

Con el fin de corregir pequeñas deformaciones superficiales, rehabilitación de superficies envejecidas y solucionar problemas de deslizamiento, se ha aplicado un micropavimento cuya superficie de rodadura es de 40mm de espesor.

El presente trabajo de tesis contiene la descripción técnica del proyecto, procedimientos constructivos de la elaboración del asfalto modificado, la aplicación del micropavimento, y el control de calidad del pavimento terminado. Posteriormente se realiza una comparación de la mejora de propiedades del asfalto modificado respecto del asfalto convencional.

Finalmente, expreso un sincero agradecimiento a mi asesor, Ing. Jorge Timaná Rojas, quién me apoyó constantemente durante el desarrollo y revisión del presente trabajo de tesis. Del mismo modo, agradezco los Ingenieros de la empresa CyM de las distintas áreas que en todo momento me brindaron la información para el desarrollo de este trabajo y de un modo muy especial al técnico de laboratorio Sr Telésforo Salinas Ampuero por su colaboración incondicional.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis tiene como objetivos principales: dar a conocer técnicamente ésta nueva aplicación de micropavimento con asfaltos modificados con polímeros para la rehabilitación de vías y demostrar la mejora de las propiedades reológicas del asfalto modificado en relación con el asfalto convencional.

Se detallan los asfaltos PEN 85-100 provenientes de la refinería de Talara, Repsol y Conchan que fueron ensayados con los polímeros LG 501, Kraton y Taipol; así mismo los ensayos para evaluar la compatibilidad y elegir uno, el mismo que se empleó para la dispersión durante la ejecución del proyecto

Al comparar los resultados obtenidos con el asfalto modificado respecto de un asfalto tradicional, se halló que en el diseño de mezcla de un asfalto convencional el porcentaje óptimo de asfalto fue 6.4% mientras que de un asfalto modificado fue 6.3%. Esto indica que en términos económicos, no hay un “ahorro” durante la ejecución de la vía, sin embargo sí se espera que se prolongue la vida útil del pavimento, lo cual significa economizar durante la etapa de operación y mantenimiento.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1. ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS.....	3
1.1 Antecedentes.....	3
1.1.1 Definición de polímero.	3
1.1.2 Definición de asfalto modificado.	3
1.1.3 Estructura de los asfaltos modificados.	4
1.1.4 Fundamentos de modificación.	4
1.1.5 Propiedades modificadas.....	5
1.1.6 Susceptibilidad térmica de los asfaltos modificados con SBS.....	6
1.1.7 Ventajas del sistema asfalto – SBS para carpetas asfálticas	7
1.1.8 Desventajas del sistema asfalto – SBS para carpetas asfálticas	7
1.2 Selección del polímero	8
1.2.1 Especificaciones técnicas del asfalto modificado.	8
1.3 Tipos de asfaltos.	8
1.3.1 Refinería de Conchán (Polímero Taipol 3201, LG501, KTR 401)...	8
1.3.2 Repsol (Polímero Taipol 3201, LG501, KTR 401).....	10
1.3.3 Refinería de Talara (Polímero Taipol 3201, LG501, KTR 401).....	11
1.3.4 Elección del polímero y asfalto para la elaboración del asfalto modificado	13
1.4 Interpretación de los ensayos del asfalto modificado	14
1.4.1 Molino coloidal modelo LAB CEVERM-50 Básico.	14
1.4.2 Punto de inflamación y llama.	15
1.4.3 Ensayo de penetración de materiales asfálticos.	16
1.4.4 Ductilidad de materiales bituminosos.	16
1.4.5 Punto de ablandamiento de materiales bituminosos: (anillo y bola). 17	
1.4.6 Efecto de calor y aire en película delgada rotativa (RTFO).....	18
1.4.7 Estabilidad al almacenamiento.....	19
1.4.8 Recuperación elástica torsional.....	19
1.4.9 Viscosidad Brookfield.....	20
1.5 Planta de asfalto modificado usada en la elaboración de mezcla asfáltica modificada.....	21
1.5.1 Partes de la planta de asfalto modificado.	21
1.5.2 Proceso de modificación en la planta de asfalto	23
CAPÍTULO 2. APLICACIÓN DE MICROPAVIMENTO EN CALIENTE EN EL NORTE DEL PERU	27

2.1	Ubicación del proyecto.....	27
2.2	Antecedentes del proyecto.....	28
2.3	Generalidades de la vía.....	29
2.4	Trabajos preliminares	29
2.4.1	Tratamiento de fisuras	29
2.4.2	Parchado superficial.....	31
2.4.3	Parchado profundo	33
2.5	Materiales utilizados en la mezcla asfáltica en caliente	35
2.5.1	Agregado grueso (Piedra chancada)	35
2.5.2	Agregado fino (Arena chancada y zarandeada).....	36
2.5.3	Gradación.....	37
2.5.4	Relleno mineral filler (cal hidratada).....	38
2.6	Interpretación de los ensayos para los agregados.....	38
2.6.1	Determinación del límite líquido de los suelos.....	38
2.6.2	Equivalente de arena, suelos y agregados finos.....	39
2.6.3	Relaciones de humedad - densidad : Proctor modificado.....	40
2.6.4	Densidad en el sitio (Método del cono)	41
2.6.5	CBR de suelos (laboratorio)	42
2.6.6	Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.....	43
2.6.7	Gravedad específica y absorción de agregados finos	43
2.6.8	Gravedad específica y absorción de agregados gruesos	45
2.6.9	Abrasión los Angeles al desgaste de los agregados	46
2.6.10	Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio	46
2.6.11	Porcentaje de caras fracturadas en los agregados	47
2.6.12	Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos: Procedimiento Riedel Weber	48
2.7	Definición de micropavimento.....	48
2.8	Descripción de factores locales	48
2.9	Ubicación de las canteras utilizadas.....	49
2.9.1	Cantera Charán	49
2.9.2	Cantera Débora	49
2.10	Riego de liga.....	50
2.11	Aplicación del micropavimento	51

CAPÍTULO 3. DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE..... 54

3.1	Diseño de mezcla.....	54
3.2	Método de Marshall del diseño de mezclas.....	55
3.2.1	Valor de estabilidad Marshall	56
3.2.2	Valor de Fluencia Marshall.....	57
3.3	Características y comportamiento de la mezcla	58
3.3.1	Densidad de la mezcla	58
3.3.2	Vacíos de aire o simplemente vacíos	58
3.3.3	Vacíos en el agregado mineral.....	59
3.3.4	Contenido de asfalto	59
3.4	Fórmula de trabajo.....	59
3.5	Resumen de diseño	61
3.6	Sustento de diseño	61

3.7	Temperatura de mezclado y temperatura de compactación.....	65
-----	--	----

CAPÍTULO 4. MEDICIÓN DEL CONTROL DE CALIDAD DEL PAVIMENTO TERMINADO..... 67

4.1	Requerimientos para la evaluación del pavimento.....	67
4.2	Interpretación de los ensayos para la evaluación del control de calidad ...	67
4.2.1	Compactación y espesor.....	67
4.2.2	Regularidad superficial o rugosidad.....	68
4.2.3	Medición de deflexiones.....	69
4.2.4	Coefficiente de resistencia al deslizamiento.....	70
4.2.5	Textura superficial.....	71

CAPÍTULO 5. COMPARACION ENTRE ASFALTO CONVENCIONAL Y ASFALTO MODIFICADO A NIVEL DE INVESTIGACION DE LABORATORIO IN SITU..... 72

5.1	Generalidades.....	72
5.2	Ensayos de laboratorio en el asfalto convencional.....	73
5.2.1	Ensayo de penetración.....	75
5.2.2	Ensayo de punto de ablandamiento.....	75
5.2.3	Recuperación elástica torsional.....	76
5.3	Diseño de mezcla asfáltica usando asfalto convencional.....	77
5.3.1	Ensayo Marshall.....	77
5.3.2	Ensayo Cantabro.....	78

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

RELACION DE ANEXOS

ANEXO A

Anexo A-1 Especificaciones de los ensayos de materiales: Bitúmenes

Punto de inflamación y llama (MTC – E303-2000)

Ensayo de penetración de materiales asfálticos (MTC – E304-2000)

Ductilidad de materiales bituminosos (MTC – E306-2000)

Punto de ablandamiento de materiales bituminosos: (anillo y bola) (MTC – E307-2000)

Efecto de calor y aire en película delgada rotativa (RTFO) (MTC – E316-2000)

Estabilidad al almacenamiento (MTC – E319-2000)

Recuperación elástica torsional (MTC – E320-2000)

Anexo A-2 Especificaciones de los ensayos de materiales: Mezclas bituminosas

Determinación del límite líquido de los suelos (MTC – E110-2000)

Equivalente de arena, suelos y agregados finos (MTC – E114-2000)

Relaciones de humedad - densidad : Proctor modificado (MTC – E115-2000)

Densidad en el sitio (Método del cono) (MTC – E117-2000)

CBR de suelos (laboratorio) (MTC – E132-2000)

Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (MTC – E204-2000)

Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC – E205-2000)

Gravedad específica y absorción de agregados gruesos (MTC – E206-2000)

Abrasión los Angeles al desgaste de los agregados(MTC - E207 – 2000)

Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio(MTC- E209 – 2000)

Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (MTC - E210 – 2000)

Adhesividad de los ligantes bituminosos a los agregados finos: Procedimiento Riedel Weber (MTC - E220-2000)

Anexo C-1 Especificaciones del Control de Calidad de las Mezclas

Espesor o altura de especímenes compactados de mezclas asfálticas (MTC E507 – 2000)

Determinación del grado de compactación (MTC E509-2000)

Caracterización de las mezclas bituminosas abiertas por medio del ensayo cantabro de pérdida por desgaste (MTC E515-2000)

Medida de la deflexión empleando viga Benkelman (MTC E1002-2000)

Coeficiente de resistencia al deslizamiento con el péndulo TRRL (MTC E1004 – 2000)

Textura superficial método del círculo de arena (MTC E1005-2000)

INTRODUCCIÓN

¹Con asfaltos convencionales, aún con los grados más duros no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito, especialmente cuando se afrontan condiciones de temperatura alta. Además los asfaltos con mayor dureza corren el riesgo de formación de agrietamientos por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas. Una solución evidente fue mejorar las características de los asfaltos para mejorar su comportamiento en los pavimentos; ello dio origen a nuevos asfaltos que fueron denominados “Asfaltos Modificados”

Al primer capítulo de la presente tesis se le ha dado un enfoque teórico, con el fin de introducir los nuevos conceptos que detallaremos mas adelante, además se hace una interpretación de los ensayos de laboratorio en el asfalto modificado e incluso se podrá apreciar las diferentes pruebas que se realizaron a los polímeros y asfaltos base, para lograr las características requeridas en el proyecto.

En el segundo capítulo se hace una descripción de la aplicación del micropavimento en caliente, así como sus trabajos previos a su colocación, tales como: tratamiento de fisuras, parches superficiales y parches profundos. Se tiene en cuenta también la procedencia de los agregados y sus respectivos ensayos a los que se le sometieron, y cumplan con sus estándares requeridos.

En el tercer capítulo se detalla el método de diseño Marshall que se usó para lograr a las proporciones óptimas de la mezcla asfáltica, así como su fórmula de trabajo a tener en cuenta para toda la obra, tanto para los agregados extraídos de la cantera Charán como de la cantera Débora. Por tratarse de un asfalto modificado se menciona la variación en la temperatura de mezclado y compactación.

En el cuarto capítulo se hace la evaluación del control de calidad de la mezcla asfáltica ya puesta en el pavimento existente. Estos ensayos destructivos y no destructivos, se analizan en el laboratorio con la finalidad de corroborar un buen trabajo.

En el quinto y último capítulo se hace una comparación de parámetros como: penetración, punto de ablandamiento, recuperación elástica torsional del asfalto modificado y del asfalto convencional. Se presenta un diseño de mezcla usando polímeros y otra sin polímeros,

¹ Según el Instituto Chileno del Asfalto

manteniendo las proporciones de agregados y se verifican su variación de los resultados en los ensayos del Cántabro y ensayo Marshall.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones, haciendo hincapié el control de calidad que se debe tener durante el proceso de modificación del asfalto y la selección de los agregados, teniendo en cuenta las temperaturas durante la aplicación del micropavimento.

CAPITULO 1. ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO

1.1 Antecedentes

En la actualidad los grandes volúmenes de tráfico, el diseño vehicular y el exceso de carga, el incremento en la presión de inflado de las llantas y las condiciones climáticas, hacen que utilizar asfaltos convencionales en la construcción de carreteras no satisfagan las expectativas del comportamiento del pavimento. Esto es como cumplir un determinado periodo de servicio, es decir, menor resistencia al envejecimiento, menor durabilidad de un camino reflejándose en deformaciones y figuraciones dentro de una carpeta asfáltica. Sin embargo, estos problemas son causados por la selección de materiales en los diseños, mal proceso de construcción, baja calidad del ligante y la necesidad de optimizar las inversiones. Ello provoca que, en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes.

Para que los asfaltos modificados con polímeros consigan las prestaciones óptimas hay que seleccionar cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatibles con el material asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje.

Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas que se definirán en el presente capítulo. La reología permite establecer la correlación entre el estado coloidal y la composición de los asfaltos a través de sus características de flujo.

1.1.1 Definición de polímero

²Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas.

² **Agnusdei, Jorge O** (2000). *Asfaltos modificados con polímeros, Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica(LEMIT)*, (pp 1-35). Argentina

1.1.2 Definición de asfalto modificado

³Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto de un polímero o de caucho molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

Los modificadores producen una actividad superficial iónica, que incrementa la adherencia en la interfase entre el material pétreo y el material asfáltico, conservándola aún en presencia del agua. También aumentan la resistencia de las mezclas asfálticas a la deformación y a los esfuerzos de tensión repetidos y, por lo tanto, a la fatiga. Así también, ellos reducen el agrietamiento, así como la susceptibilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Estos modificadores, por lo general, se aplican directamente al material asfáltico, antes de mezclarlo con el material pétreo.

1.1.3 Estructura de los asfaltos modificados

⁴Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases: una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y otra, por asfalto.

El efecto principal de añadir polímeros a los asfaltos es el cambio en la relación viscosidad – temperatura (sobre todo en el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas), permitiendo mejorar de esta manera el comportamiento del asfalto tanto a bajas como a altas temperaturas.

1.1.4 Fundamentos de la modificación

⁵Los pavimentos sufren deterioro. Los tres principales factores que influyen en este desperfecto son:

1. Clima.
2. Deformaciones por tránsito.
3. Tiempo.

El clima tiene que ver fundamentalmente con la temperatura promedio a la que se ve expuesto el pavimento y variaciones de temperatura por cuestiones climáticas y humedad propiciada por lluvia, así como las bajas temperaturas en los meses de invierno.

³ **Agnusdei, Jorge O** (2000). *Asfaltos modificados con polímeros, Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica(LEMITE)*, (pp 1-35). Argentina

⁴ **Miller, José** (1997). *Asfalto modificado con polímeros*. Libro de ponencias del I Congreso Nacional del Asfalto, Lima.

⁵ **Bachetta, Gustavo Carlos** (1992). *Obtención de asfaltos modificados con incorporación de asfaltita y caucho reciclado de neumáticos*. Argentina

Las deformaciones se deben también, al tránsito vehicular. Los pavimentos se diseñan para una carga promedio que genera una deformación debida a la circulación de vehículos.

Debido a los factores antes mencionados, influye mucho el tiempo de aplicación de la carga al pavimento y los intervalos en que se producen cambios bruscos en la temperatura.

1.1.5 Propiedades modificadas

⁶La fig1.1 pretende mostrar únicamente en términos generales lo que sucede con las propiedades del asfalto al ser modificado con polímeros.

La penetración baja y el punto de ablandamiento aumenta, por lo que se vuelve un asfalto más resistente y mucho menos propenso a fluir a altas temperaturas. Sin embargo, a bajas temperaturas no se fractura ya que en este punto predominan las propiedades elásticas del polímero incorporado.

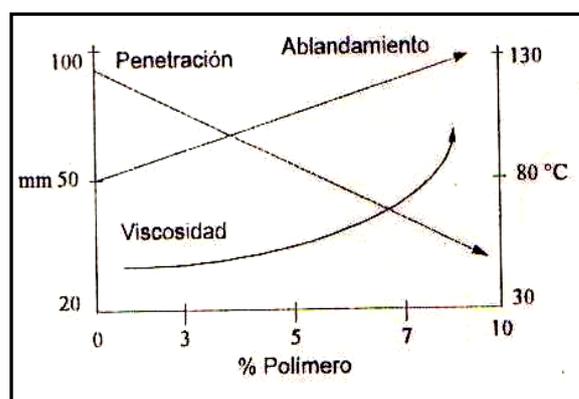


Fig 1.1 Propiedades modificadas de los asfaltos. Fuente: Libro de ponencias del I Congreso Nacional de Asfaltos (Marzo 1997)

El efecto principal de añadir polímeros al cemento asfáltico es el cambio obtenido en la relación viscosidad-temperatura, sobre todo el rango de temperaturas de servicio de las mezclas asfálticas, permitiendo mejorar de esta manera y simultáneamente el comportamiento tanto a altas como a bajas temperaturas del ligante. La situación ideal es aquella de aquel asfalto que mantiene su consistencia en un amplio intervalo de temperatura. La figura 1.2 ilustra este efecto para un tipo de asfalto modificado.

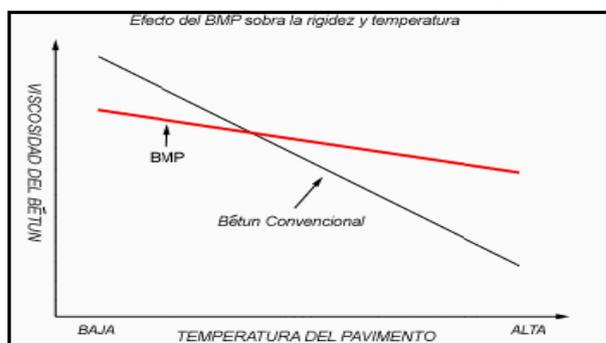


Fig 1.2 Relación viscosidad – temperatura. Fuente: Revista Ingeniería y Construcción Edición N°12

⁶ Chávez Roldan, Iván (2007) *El perfeccionamiento de los cementos asfálticos (II)*. Revista Ingeniería y Construcción (Edición N° 12). Lima.

1.1.6 Suceptibilidad térmica de los asfaltos modificados con polímero SBS

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

En la figura 1.3, 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.

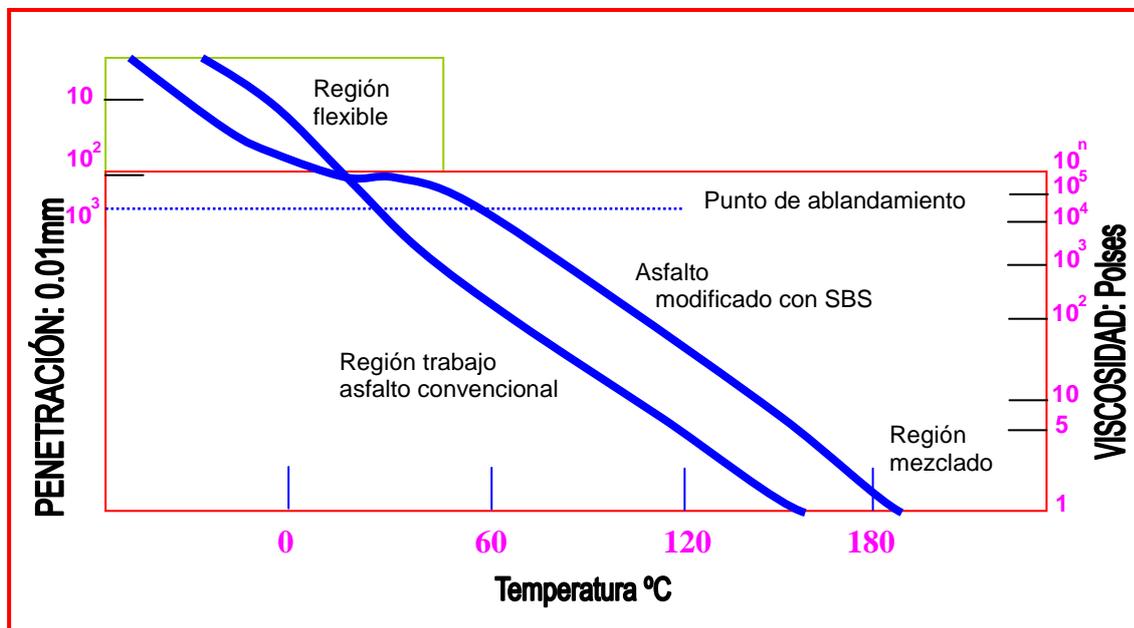


Figura 1.3 Comportamiento reológico de los asfaltos modificado con SBS. Fuente: Asfaltos modificados con polímeros, Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica(LEMIT), Diciembre de 2000.

1.1.7 Ventajas del Sistema Asfalto-SBS para carpetas asfálticas.

⁷ El objetivo perseguido con las adiciones de polímero en el asfalto es cambiar las propiedades físicas y reológicas del ligante porque:

- 1) Disminuye la susceptibilidad térmica
- 2) Se mejora su recuperación elástica cuando es sujeto a altas y lentas cargas.
- 3) Aumenta su resistencia a deformaciones permanentes debidas a altas temperaturas, como altas y lentas cargas.
- 4) Se mejora la resistencia a la fractura permanente ocasionada por bajas temperaturas y/o cambios bruscos en las cargas aplicadas, ya que una falta de flexibilidad da lugar a las fracturas permanentes.
- 5) Mejora considerablemente su resistencia a la fatiga.
- 6) Se obtienen mezclas más rígidas a altas temperaturas de servicio reduciendo el ahuellamiento.
- 7) Se obtienen mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisuramiento.
- 8) Proporciona mayor seguridad en las autopistas.
- 9) Reduce significativamente los costos de mantenimiento, produciendo rentabilidad económica en el tiempo.
- 10) No se requieren equipos especiales
- 11) Permite un mejor sellado de fisuras.
- 12) Mejora vida útil de las mezclas: menos trabajos de conservación
- 13) Fácilmente disponible en el mercado.
- 14) Permite mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado
- 15) Mayor resistencia al derrame de combustibles.
- 16) Disminuye la penetración.
- 17) Aumenta el grado de reblandamiento del asfalto entre 8 y 12 grados
- 18) Aumenta el punto de inflamación.
- 19) Mayor resistencia al envejecimiento.
- 20) Mayor resistencia a la acción del agua.
- 21) Mayor adhesividad de los agregados.

1.1. 8 Desventajas del Sistema Asfalto-SBS para carpetas asfálticas.

Una de las principales desventajas al utilizar esta nueva técnica es el costo del polímero, esperando una reducción del mantenimiento futuro y una mayor vida útil de servicio de la vía en ejecución

Otro factor es, que para que los asfaltos modificados con polímeros consigan las prestaciones óptimas hay que seleccionar cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatibles con el material asfáltico) el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje, de tal manera que se elija un polímero que cumpla con los requerimientos del proyecto y sea una solución técnicamente muy buena.

Durante el proceso de elaboración de la mezcla hay que tener mucho cuidado como por ejemplo que los agregados estén secos y libres de materia orgánica e incluso que su

⁷ **Gonzales Sanchez, Angel** (2005). *Asfaltos modificados (Conceptualización, aplicación, control y Pruebas)*. (pp. 1-52). Galicia.

temperatura de distribución esté por encima de los 145°C, debido a su rápido endurecimiento.

1.2 Selección del polímero

1.2.1 Especificaciones técnicas del Asfalto Modificado

El ligante bituminoso fue Cemento Asfáltico de Petróleo modificado con polímero tipo SBS en proporción para obtener las características especificadas en el cuadro de Asfalto modificado.

La tabla 1.1 indica los requisitos de calidad mínimos a solicitar y cumplir según el expediente técnico.

Tabla 1.1 Especificaciones del asfalto modificado. Fuente: Especificaciones técnicas del expediente del proyecto

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

1.3 Tipos de Asfaltos (PEN 85-100)

1.3.1 Refinería Conchan

Para su elección se hicieron pruebas con distintos tipos de asfaltos que en este caso, vamos a describir con el de la Refinería de Conchán.

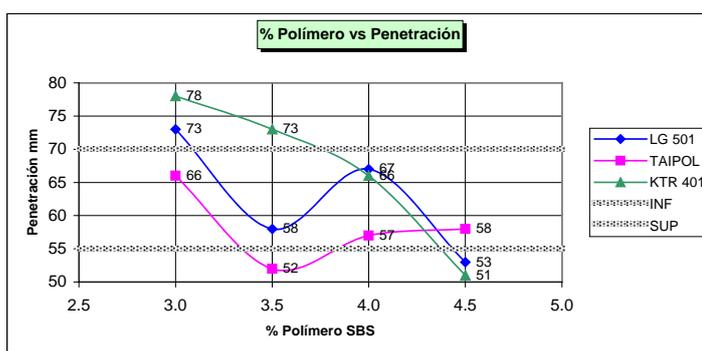
En la tabla 1.2 se puede apreciar que se tantearon con porcentajes de asfalto desde 3% a 4.5% de tres diferentes tipos de polímeros SBS: LG501, Taipol y KTR 401, para determinar su compatibilidad de ellos y que cumplan las características del proyecto.

Para evaluar la “Penetración” (PEN 55/70) se observa que con el 3% tanto del polímero KTR401, como el Taipol superan el límite superior de las especificaciones, verificándose

que el Polímero LG501 sí cumple; sin embargo, con el 3.5% de polímeros, el KTR 401 también supera el límite superior, mientras que el Taipol está por debajo del límite inferior, cumpliendo nuevamente el LG501. Seguidamente se continuó la dispersión con el 4% de polímeros y se encontró que los tres tipos de polímeros cumplían dentro del rango de las especificaciones. Finalmente se probó con el 4.5% de polímeros y se halló que dicho porcentaje no cumplían con el requerimiento del rango permitido de los polímeros LG501 y el KTR 401. De esta manera, se verificó que con el Taipol sí cumplía.

Tabla 1.2 Evaluación de la “penetración” con el asfalto de Conchan. Fuente: Ensayos de laboratorio de CyM

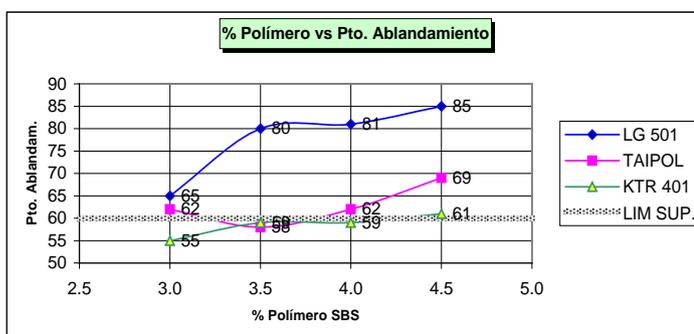
% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3.0	73	66	78
3.5	58	52	73
4.0	67	57	66
4.5	53	58	51



De la misma forma en la tabla 1.3 se aprecia que se tanteó para evaluar el “Punto de Ablandamiento” que como mínimo se requería 60°C y, considerando los mismos porcentajes que se realizaron los ensayos de penetración, se empezó con la dispersión de los tres distintos tipos de polímeros y se halló que el polímero KTR 401 sólo cumplía en un 4.5%, pero en 61°C y el resto están por debajo del valor establecido. Sin embargo, con el polímero Taipol no cumplía con el valor de 3.5%, pues corresponde a un valor inferior, y con los otros porcentajes si cumple, pero en un rango muy cercano al valor de 60°C, y al realizar los ensayos LG501 se observa que nuevamente todos los valores están por encima del límite por lo que de esta manera pertenece a los valores permitidos.

Tabla 1.3 Evaluación del punto de ablandamiento con el asfalto de Conchán. Fuente: Ensayos de laboratorio de CyM

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

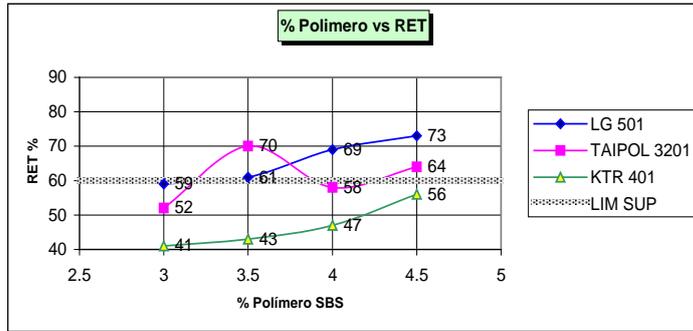


Se continuaron los ensayos para la Recuperación Elástica Torsional (60° mín), tal cómo se ve en la tabla 1.4 en donde se descartó totalmente el polímero KTR 401, pues no está dentro de la especificación en ningún porcentaje de polímero; no obstante, el polímero Taipol sólo cumplía con dos porcentajes de 3.5% y 4.5% cuyos valores fueron de 70° y 64°

respectivamente, y los otros valores con el mismo polímero tiene valores cercanos al límite y, por último, se observa que los valores del LG501 se incrementan mientras aumenta el porcentaje de polímero, cuyo primer valor de 3.5% no cumple la especificación, mientras que los restantes están por encima del límite permitido.

Tabla 1.4 Evaluación de la “recuperación elástica torsional” con el asfalto de Conchán. Fuente: Ensayos de laboratorio de CyM

% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3	59	52	41
3.5	61	70	43
4	69	58	47
4.5	73	64	56



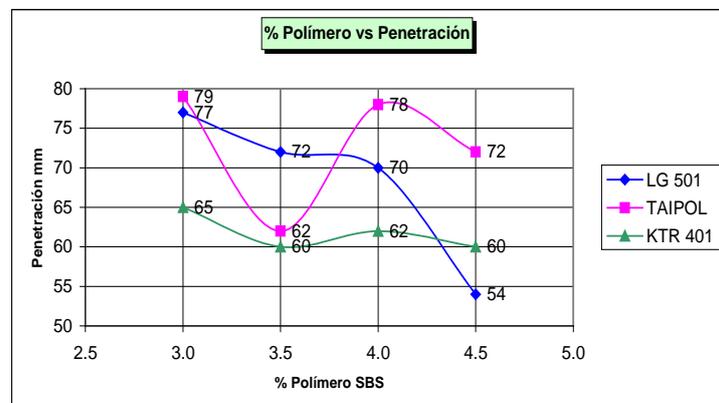
1.3.2 Refinería Repsol

Se continuó con la combinación de los polímeros SBS: LG501, Taipol y KTR 401, pero esta vez se hizo con la Refinería de Repsol.

En la tabla 1.5 se observa que se mantienen los porcentajes de polímeros para los ensayos, por lo cual, para determinar la “Penetración” (PEN 55/70) se nota que el comportamiento del LG501 es descendente, pues, a medida que se incrementa el porcentaje de polímeros SBS su penetración disminuye cuyos valores no corresponden al rango definido por las especificaciones, excepto con el 4% de polímeros cuyo valor es 70mm. Para el polímero KTR401 sus valores se acercan al límite inferior de las especificaciones, pero si están dentro del rango y con el Taipol sólo cumple con el 3.5% de polímeros y el resto de porcentajes están muy por encima del valor superior.

Tabla 1.5 Evaluación de la “penetración con el asfalto de Repsol. Fuente: Ensayos de laboratorio de CyM

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

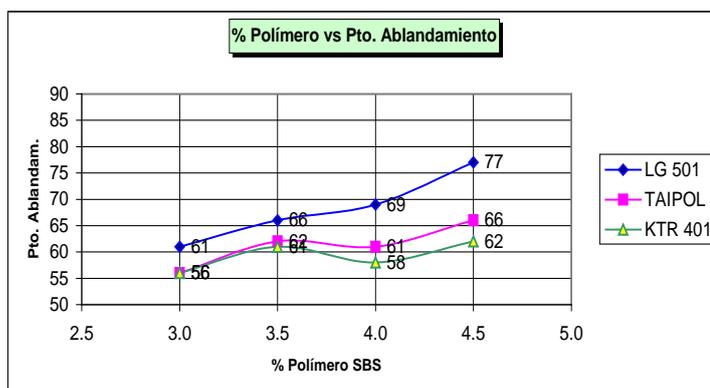


En seguida se analizó “Punto de Ablandamiento” (60°C) (ver tabla 1.6), cuyas tendencias en el gráfico para el LG501 es aumentar el punto de ablandamiento a medida que se

incrementa el porcentaje de polímeros manteniéndose dentro del rango. Observamos que para los polímeros Taipol y KTR401 sus resultados corresponden a valores muy cercanos a las especificaciones, los mismos que crean cierta suspicacia como para tomarlos en cuenta.

Tabla 1.6 Evaluación del “punto de ablandamiento” con el asfalto de Repsol. Fuente: Ensayos de laboratorio de CyM

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

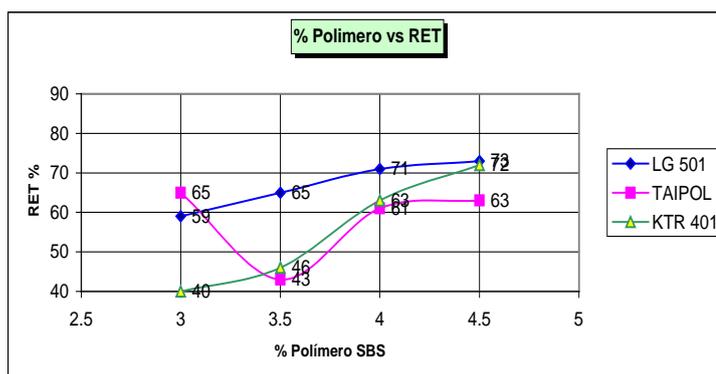


Finalmente en la tabla 1.7, para la Recuperación Elástica Torsional (60° mín), otra vez el LG501 sigue un comportamiento ascendente y dentro del rango permitido, excepto para el 3% de polímeros. Para el Taipol no cumple con el 3.5% y con el resto de porcentajes de polímeros sí cumple, pero con un rango muy reducido y cercano al límite inferior.

Por último, el polímero KTR 401 se observa que tiene una tendencia de aumentar el ángulo de torsión cuando incrementa los porcentajes de polímeros SBS, dado que sólo los valores de 4 y 5% de polímeros están dentro del rango con valores de 63° y 72° respectivamente.

Tabla 1.7 Evaluación de la “recuperación elástica torsional” con el asfalto de Repsol. Fuente: Ensayos de laboratorio de CyM

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



1.3.3 Refinería Talara

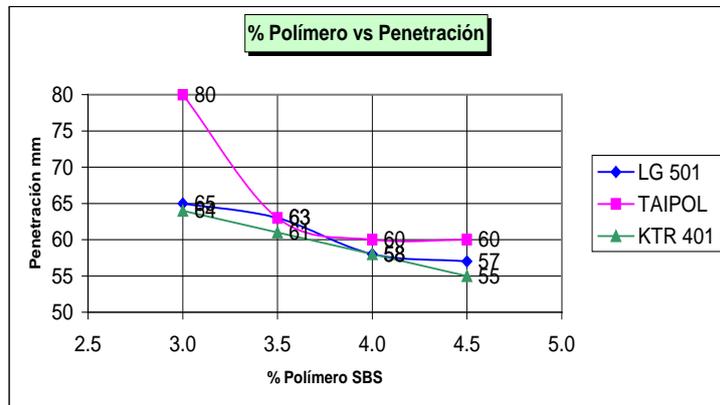
Para terminar el proceso de combinación de asfaltos con polímeros SBS: LG501, Taipol y KTR 401 se realizó con el asfalto proveniente de la Refinería de Talara.

En la tabla 1.8 se observa que se tantearon con porcentajes de asfalto desde 3% a 4.5% de tres diferentes tipos de polímeros SBS: LG501, Taipol y KTR 401, para determinar su compatibilidad de ellos y que cumplan las características del proyecto.

Para evaluar la “Penetración” (PEN 55/70) se observa que el polímero Taipol con el 3% de polímero supera el limite especificado mientras que los otros dos tipos de polímeros está dentro del rango, y aumentando la cantidad en porcentaje de polímeros, para el 3.5%, se verifica que efectivamente si cumplen, sin embargo tanto para el 4 y 4.5% se aprecia que los resultados no son favorables, pues están en el límite y también debajo de los valores requeridos.

Tabla 1.8 Evaluación de la “penetración” con el asfalto de la refinería de Talara. Fuente: Ensayos de laboratorio de CyM

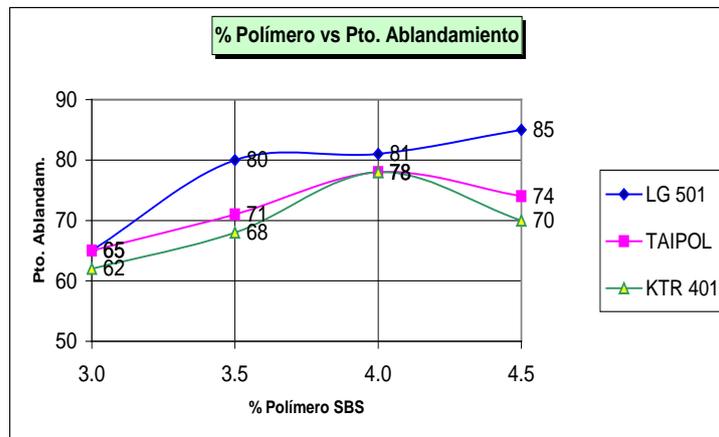
% SBS	LG 501	TAIPOL 3201	KTR 401
3.0	65	80	64
3.5	63	63	61
4.0	58	60	58
4.5	57	60	55



Para el caso del punto de ablandamiento, tabla 1.9, los resultados evidencian que todos los polímeros de las tres marcas antes mencionadas y en los porcentajes que se han estado evaluando, todos cumplen el valor mínimo de temperaturas pues todos están por encima de los 60°C.

Tabla 1.9 Evaluación del “punto de ablandamiento” con el asfalto de la refinería de Talara. Fuente: Ensayos de laboratorio de CyM

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



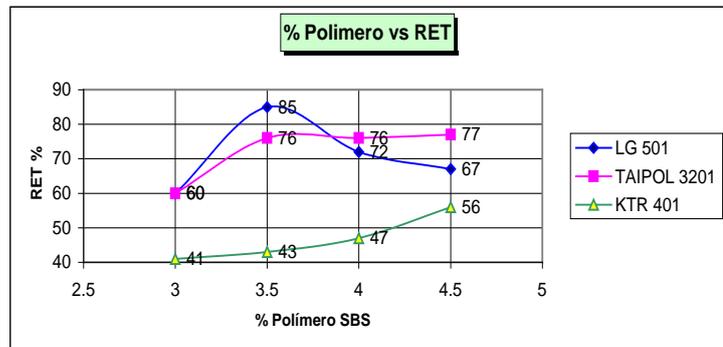
Finalmente observamos los valores de la recuperación elástica torsional (tabla 1.10) se nota que el polímero KTR 401 no cumple con ningún porcentaje de polímero ensayado.

Por otra parte se puede apreciar que tanto los polímeros LG501 y el Taipol 3201 cumplen con las especificaciones en todos los porcentajes de los polímeros.

Tabla 1.10 Evaluación de la “recuperación elástica torsional” con el asfalto de la refinería de Talara.

Fuente: Ensayos de laboratorio de CyM

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



1.3.4 Elección del polímero y asfalto para la elaboración de asfalto modificado

Finalmente, luego de una evaluación técnico-económica, se definió para la producción de asfalto modificado con polímeros SBS a escala industrial en obra, el uso del cemento asfáltico PEN 85/100 de Talara como asfalto base y el polímero LG 501 lineal, en una concentración entre 3 y 4.5%.



Foto 1.1 Polímero LG501

1.4 Interpretación de ensayos de laboratorio al asfalto modificado

El proceso de control de calidad se inicia con los análisis físicos del petróleo crudo para decidir el proceso de destilación que se aplicará para la obtención de las diferentes fracciones y entre ellas el asfalto.

Al salir de la refinería, durante el transporte, en la recepción en estanques de acopio, durante la aplicación misma y en la obra ya terminada, se toman muestras que se analizan en el laboratorio para determinar la bondad del material y los posibles efectos degradantes que se pueden generar en los procesos de manipuleo y aplicación.

Entre los ensayos de laboratorio que se realiza en obra tenemos:

- Molino coloidal modelo LAB CEVERM-50 Básico⁸
- Punto de inflamación y de llama (MTC – E303-2000)
- Ensayo de penetración de materiales asfálticos (MTC – E304-2000)
- Ductilidad de materiales bituminosos (MTC – E306-2000)
- Punto de Ablandamiento de materiales bituminosos: (anillo y bola) (MTC – E307-2000)
- Efecto de calor y aire en película delgada rotativa (RTFO) - (MTC E316-2000)
- Estabilidad al almacenamiento (MTC – E319-2000)
- Recuperación elástica Torsional (MTC – E320-2000)
- Viscosidad Brookfield (MTC – E310-2000)

1.4.1 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.

Durante las pruebas de dispersión en el molino coloidal se contó con la presencia del Ing. Gustavo Bacchetta, fabricante de los equipos de asfalto modificado.



Foto 1.2 Molino Coloidal: equipo de laboratorio para el proceso de modificación

⁸ Equipo piloto de laboratorio a escala para modificación de asfalto.

1.4.2 Punto de inflamación y de llama (Copa abierta Cleveland) (Ver anexo C)

El objetivo es determinar los puntos de inflamación y de llama, mediante la copa abierta Cleveland, de productos de petróleo y de otros líquidos con excepción de los aceites combustibles y de los materiales que tienen un punto de ignición, en copa abierta de Cleveland, por debajo de 79 °C (175 °F).

La copa del ensayo se llena con la muestra hasta un nivel especificado. Se aumenta rápidamente la temperatura inicial de la muestra y luego se sigue incrementando a una razón constante y lenta, a medida que se aproxima al punto de ignición. A intervalos de tiempo especificados se pasa una pequeña llama de ensayo a través de la copa.

La temperatura más baja a la cual la aplicación de la llama de ensayo haga que se incendien los vapores que se encuentran por encima de la superficie del líquido, se toma como el punto de inflamación. Para determinar el punto de llama, se continúa la aplicación de la llama de ensayo hasta cuando ésta haga que el aceite se quemara por lo menos durante 5 s.



Foto 1.3 Equipo para realizar el punto de inflamación

1.4.3 Ensayo de penetración de materiales asfálticos (Ver anexo C)

El objetivo es determinar la consistencia de los materiales asfálticos sólidos o semisólidos en los cuales el único o el principal componente es un asfalto.

La penetración se define como la distancia expresada en décimas de milímetro hasta la cual penetra verticalmente en el material una aguja normalizada en condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura. Normalmente, el ensayo se realiza a 25 °C (77 °F) durante un tiempo de 5 s y con una carga móvil total, incluida la aguja, de 100 g, aunque pueden emplearse otras condiciones previamente definidas.



Foto 1.4 Ensayo de Penetración

1.4.4 Ductilidad de materiales bituminosos (Ver anexo C)

El objetivo es determinar la ductilidad de los materiales asfálticos de consistencia sólida y semisólida.

Consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, siendo la ductilidad la distancia máxima en cm., que se estira la probeta hasta el instante de la rotura.

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

Normalmente, el ensayo se realiza con una velocidad de tracción de 5 cm/min. \pm 5.0% y la temperatura de 25 \pm 0.5 °C (77 \pm 1.0 °F); aunque puede realizarse en otras condiciones de temperatura y velocidad de acuerdo a especificaciones.



Foto 1.5 Preparación de la probeta para empezar el ensayo de ductilidad



Foto 1.6 Especímen en proceso de alargamiento durante el ensayo de ductilidad

1.4.5 Punto de ablandamiento de materiales bituminoso (Anillo y Bola) (Ver anexo C)

El objetivo es determinar el punto de ablandamiento de productos bituminoso en el intervalo de 30°C (86 a 315°C), utilizando el aparato anillo y bola, sumergido en agua destilada (30 a 80 °C), glicerina USP (encima de 80 a 157 °C), o glicol etileno (30 a 110 °C).

Dos discos horizontales de material bituminoso, fundidos entre anillos de bronce, se calientan a una velocidad controlada en un baño líquido, mientras cada uno de ellos soporta una bola de acero. El punto de ablandamiento se considera como el valor promedio de las temperaturas, a la cuales los dos discos se ablandan lo suficiente, para permitir que cada bola envuelta en material bituminoso, caiga desde una distancia de 25 mm (1").

El punto de ablandamiento es útil para clasificar productos bituminosos y es un valor índice de la tendencia del material a fluir cuando está sometido a temperaturas elevadas, durante su vida de servicio. También puede servir para establecer la uniformidad de los embarques o fuentes de abastecimiento.



Foto 1.7 Colocación del asfalto en los anillos de bronce



Foto 1.8 Aplicación de la temperatura durante el proceso de calentamiento del asfalto



Foto 1.9 Anotación del punto de ablandamiento

1.4.6 Efecto de calor y aire en película delgada rotativa (RTFO) (Ver anexo C)

El objetivo es simular las condiciones de envejecimiento del asfalto en un pavimento real.

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

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

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



Foto 1.10 Horno con plataforma rotativa



Foto 1.11 Muestras en recipientes de vidrio para el ensayo de envejecimiento



Foto 1.12 Muestras después del ensayo de envejecimiento

1.4.7 Estabilidad al almacenamiento de asfaltos modificados (Ver anexo C)

El objetivo es determinar la estabilidad al almacenamiento que presentan los asfaltos modificados, en particular con polímeros, de aplicación en construcción de carreteras.

Se toma una muestra del ligante modificado, contenido en un recipiente conveniente. Se somete a la acción de temperatura elevada durante 5 días determinándose, al final de este tiempo, el punto de ablandamiento (MTC E307), u otras características especificadas, en partes de muestra tomadas en la zona superior e inferior del recipiente.



Foto 1.13 Dispositivo del ensayo de estabilidad al almacenamiento

1.4.8 Recuperación elástica por torsión de asfaltos modificados (Ver anexo C)

El objetivo es determinar el grado de elasticidad que presentan los asfaltos modificados en particular con polímeros, de aplicación en construcción de carreteras.

En el procedimiento que se describe, un cilindro de dimensiones especificadas se sumerge en la muestra del ligante bituminoso modificado. Mediante un dispositivo de torsión se gira el cilindro 180° y se determina, después de 30 minutos, el ángulo recuperado por él.



Foto 1.14 Preparación de la muestra para empezar el ensayo de recuperación elástica torsional

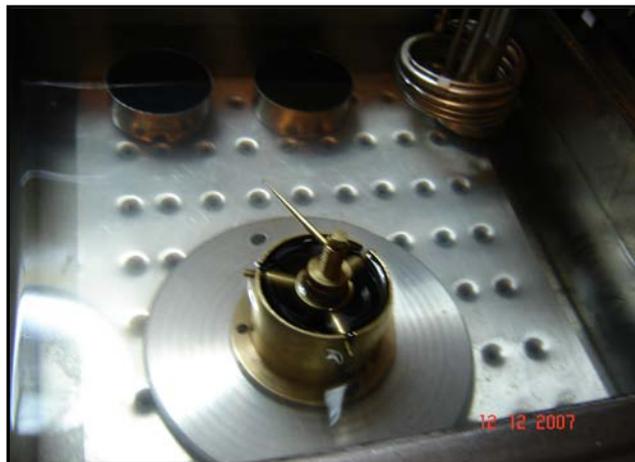


Foto 1.15 Recipiente con muestra en baño maría durante 30 minutos



Foto 1.16 Girando dispositivo 180°



Foto 1.17 Ángulo recuperado

1.4.9 Viscosidad Brookfield (Ver anexo C)

El objetivo es medir las propiedades del asfalto a altas temperaturas, para determinar las características de mezclado y compactación.

Se prepara en una cámara de 8 a 10.5gr de asfalto modificado a una temperatura de 135°C . Se enciende el controlador de temperatura y de igual manera el viscosímetro, y se calibra el viscosímetro accionando cualquier botón de la pantalla y se coloca la cámara con la muestra. Luego se enrosca la aguja del viscosímetro y se presiona cualquier botón de la

pantalla, y programar la temperatura 135°C e iniciar el ensayo, dejando permanecer esta temperatura por 30 minutos de esta manera se homogeniza todo el sistema.

Posteriormente, se enciende el motor del viscosímetro y se espera aproximadamente 5min, hasta que la viscosidad sea constante y después se toman tres lecturas en intervalos de 1min cada una. Las lecturas que toman son el torque producido por la rotación y la viscosidad está dada en centipoises.



Foto 1.18 Pesar el asfalto en la cámara



Foto 1.19 Colocación de la cámara en el viscosímetro



Foto 1.20 Enroscar la aguja en la cámara



Foto 1.21 Toma de lecturas

1.5 Planta de asfalto modificado usada para la elaboración de la mezcla asfáltica modificada

1.5.1 Partes de la planta de asfalto modificado

La Planta Contraflujo Mezcla Externa garantiza una producción efectiva de mezcla bituminosa homogénea. El secado es extremadamente eficiente, pues el tambor-secador posee función exclusiva para secar los agregados, evitando que la humedad residual llegue al mezclador, oxidando el asfalto. De esta forma, las propiedades mecánicas del ligante se preservan, garantizando más vida útil a la mezcla bituminosa y, consecuentemente, más calidad

La planta de asfalto facilita la disposición de trabajo al operador que también tiene la ventaja de contar con una cabina de operación más amplia y con sistema de acondicionamiento de aire independiente, además posee silos dosificadores más anchos que permiten la alimentación de material sin contaminación, facilitando la operación y dando más estabilidad al desempeño. Cintas dosificadoras con estrías laterales vulcanizadas que evitan la pérdida de material, mientras que el sistema de cinta transportadora reversible, facilita la limpieza y la calibración de las balanzas



Foto 1.22 Secado de los agregados



Foto 1.23 Cabina de Control de la planta de asfalto



Foto 1.24 Silos dosificadores de la planta de asfalto

1.5.2 Proceso de modificación en la Planta de Asfalto

El proceso de elaboración del asfalto modificado se realiza con los siguientes pasos:

1. Se transfiere el asfalto base al tanque de modificado (7500gln)



Foto 1.25 Transferencia del asfalto base al tanque de modificado

2. Se calienta el asfalto (85 -100) hasta una temperatura de 185°C



Foto 1.26 Verificación de la temperatura

3. Una vez verificada la temperatura, se calienta el molino coloidal de alta cizalla y la bomba de asfalto hasta que tenga la temperatura de bombeo.



Foto 1.27 Molino Coloidal

4. Luego se activan los agitadores, que en este caso son dos por tanque, y en dos niveles.
5. Se dosifica el polímero en los embudos en una cantidad de 1020Kg, siendo ésta la máxima capacidad del tanque, para preparar un concentrado al 3.5% de polímero.



Foto 1.28 Vaciado del polímero SBS LG 501

6. El polímero se agrega al tanque de modificación a una velocidad de 20 a 25Kg/minuto.



Foto 1.29 Vaciado del polímero

7. El asfalto debe mantenerse en un rango de temperatura de 180° a 190°C. Al mismo tiempo es agitado por aproximadamente 5 horas en condiciones de agitación constante y en rango de temperatura antes mencionado.
8. Después de que el período de dispersión ha transcurrido, se debe observar que el polímero esté incorporado completamente al asfalto.

9. Una vez terminado el proceso, extraemos una muestra de aproximadamente un galón para ejecutar los ensayos requeridos por el proyecto. Los ensayos tienen una duración aproximada de 3 horas, pasado este tiempo, se dará pase a este lote de asfalto modificado para la producción del micropavimento.



Foto 1.30 Extracción de muestra para ser ensayada

CAPITULO 2 APLICACIÓN DE MICROPAVIMENTO EN CALIENTE EN EL NORTE DEL PERU

2.1 Ubicación del proyecto

El proyecto se encuentra ubicado en los departamentos de Piura y Tumbes, desde el Km. 1018 (Sullana) hasta el Km. 1294 (Aguas Verdes).

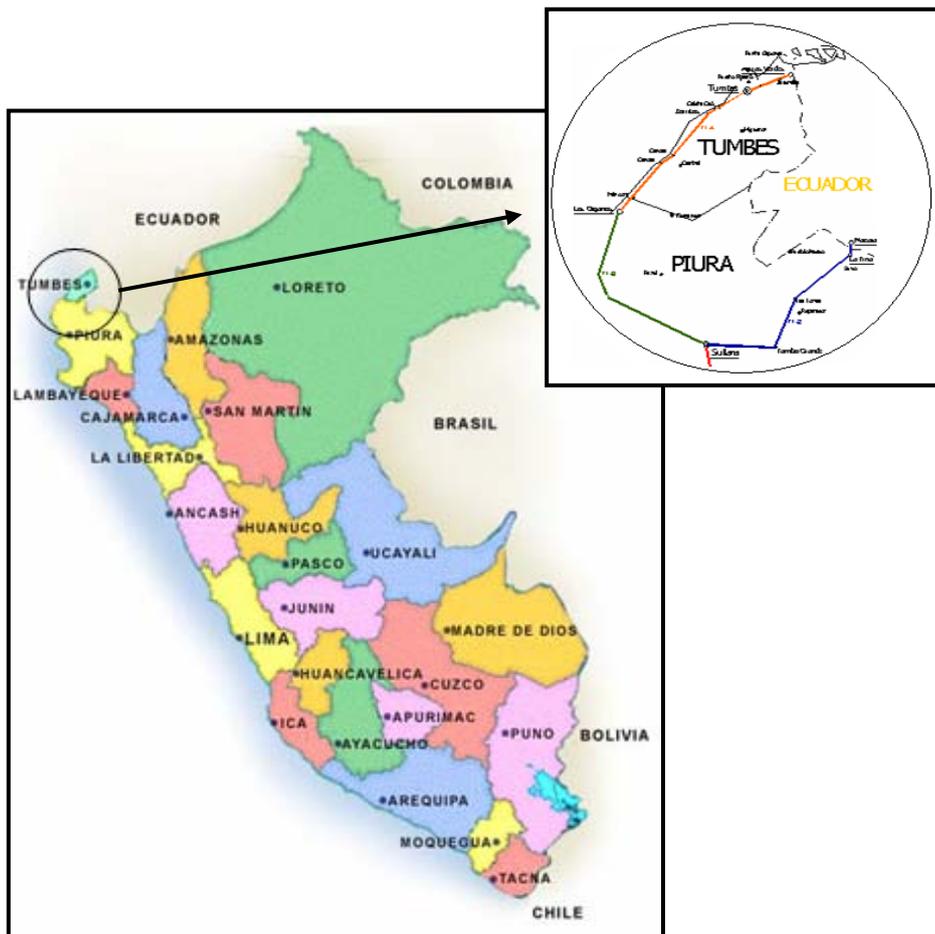


Figura 2.1. Localización del proyecto

El tramo de la obra, atravesaron por las siguientes ciudades y poblados: Talara, Los Órganos, Máncora, Cancas, Canoas, Zorritos, Caleta Cruz, Tumbes, Puerto Pizarro y Zarumilla.

La posición geográfica de la provincia de Sullana es $81^{\circ}40'$ longitud oeste y $4^{\circ}59'$ latitud sur. Por estar ubicada en una zona costera, su altitud es de 59 m.s.n.m. Asimismo, la ciudad de Aguas Verdes tiene una altitud de 5 m.s.n.m; con una ubicación de $80^{\circ}25'$ longitud oeste y $3^{\circ}35'$ latitud sur.

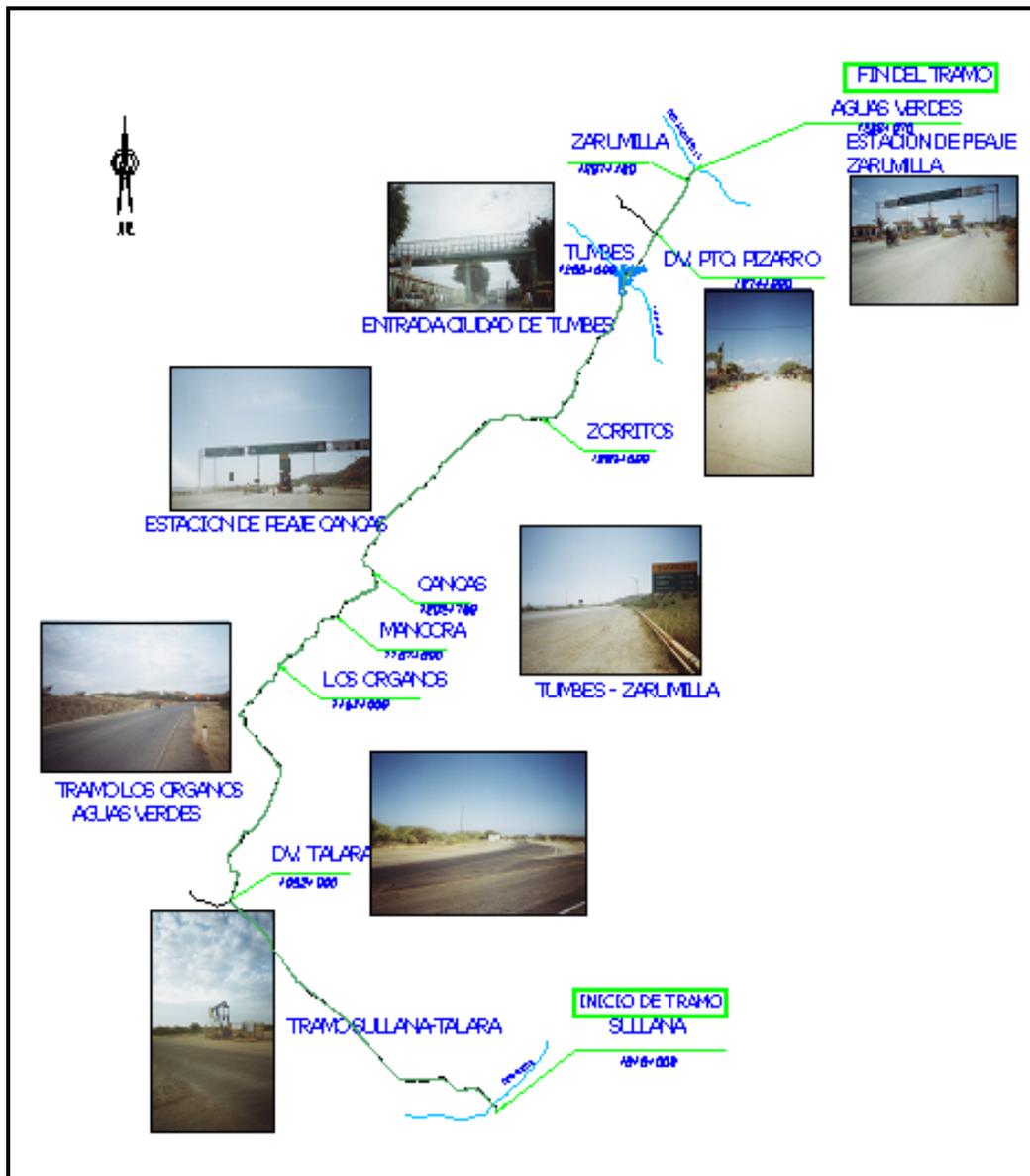


Figura 2.2. Lugares que involucra el tramo de la obra.

2.2 Antecedentes del proyecto

En el período de 1983 al 1990 se ejecutó los trabajos de mantenimiento entre las progresivas 1020+000 al 1093+000, promovida por el Gobierno Regional, financiado por el sistema de peaje y con participación de las siguientes entidades privadas:

Suministro de Equipos	del Km. 1020+000 al Km. 1073+000
Woodman E. Mohme	del Km. 1073+000 al Km. 1083+000
Guiconsa	del Km. 1083+000 al Km. 1093+000

Durante los años 1 994 y 1 995 se ejecutaron los trabajos de Mantenimiento Periódico de la Carretera Panamericana, en esta etapa se incluyó el tramo Sullana - Desvío. Talara y Desvío Los Órganos.

En el año 2 000, se ejecutaron los Estudios Definitivos de Ingeniería para la Rehabilitación y Mantenimiento de las carreteras afectadas por el Fenómeno El Niño, Tramo: Los Órganos – Aguas Verdes, a cargo del Consorcio AIC Progetti – Bustamante Williams y Asociados Consultores.

Como consecuencia de los estudios de consultoría antes mencionados, se determinó que la rehabilitación consistiría en un micropavimento con asfalto modificado con polímero tipo SBS, destacando que es la primera vez que se utiliza esta tecnología en el Perú.

La finalidad de modificar los asfaltos es lograr propiedades reológicas no obtenidas en los asfaltos producidos por técnicas convencionales.

2.3 Generalidades de la vía

En la costa norte, el pavimento se expone a altas temperaturas. La temperatura promedio anual es de 24° C, la máxima superior a 35° C y la mínima de 16°C. Este gradiente de temperatura produce envejecimiento y deformaciones permanentes en el pavimento, por lo que es necesario recurrir a nuevas tecnologías, con el fin de prolongar la vida de servicio del pavimento flexible.

Debido a la condición geomorfológica de la zona, ésta presenta las siguientes características generales:

Categoría de la Vía	:	A1
Velocidad Directriz	:	90 Km./Hora
Ancho de Bermas	:	1.20 a 1.80 metros
Bombeo	:	2%, excepto en los tramos en los que se ejecuta un recapeo asfáltico sobre la carpeta existente en los que se mantiene el bombeo existente.
Peraltes	:	Variables de acuerdo a la velocidad directriz y el radio de las curvas.
Sobreanchos	:	Consideraciones similares al Peralte.

2.4 Trabajos Preliminares

2.4.1. Tratamientos de fisuras transversales y longitudinales

La fisuración son las fracturas que sufre la capa de rodadura causados por factores internos y externos al pavimento, de tal modo que el deterioro de la superficie de la carretera refleja una “enfermedad” del pavimento. Estas fisuras deben diagnosticarse y corregirse mediante

la actuación adecuada, de manera que no ponga en peligro la vida de la carretera y sin hacer incómoda la circulación por la misma.

Para el tratamiento de fisuras, se utilizó un material con características elásticas. Esta ejecución tuvo la finalidad de proporcionar a la carpeta asfáltica desplazamientos tanto de dilatación como de contracción. Para ello también se utilizó un sellador elastomérico, el cual es un material en base a asfaltos modificados con elastómeros de aplicación en caliente. Sus propiedades elastoméricas le confieren flexibilidad, gran adhesión y una alta resistencia a la fatiga dinámica.

En el siguiente esquema retratamos lo anterior, para conseguir una mayor comprensión:

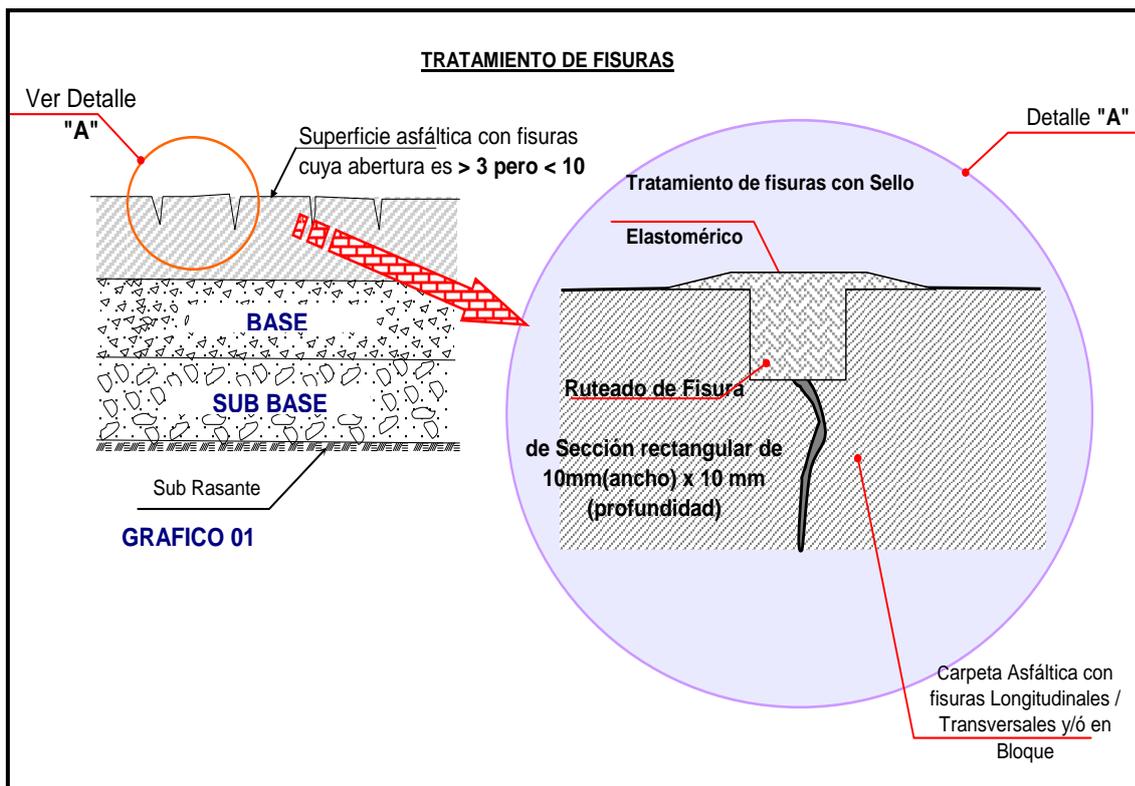


Figura 2.3. Esquema del tratamiento de fisuras transversales y longitudinales

Secuencia de trabajo:

- 1.- Demarcar la zona donde se va a rutar.
- 2.- Rutar y sopletear fisura
- 3.- Aplicación de sellador elastomérico.



Foto 2.1 Demarcado de la zona

Foto 2.2 Aplicación del sellador elastomérico

2.4.2 Parchado superficial

El parchado superficial consiste en el reemplazo de la carpeta asfáltica dañada con “áreas con fisuras tipo piel de Cocodrilo”, “Baches”, y “Parches mal ejecutados”, en igual espesor a la carpeta asfáltica existente.

Fisuras tipo piel de cocodrilo

Formada por una serie de fisuras en malla pequeña, similar a las mallas de gallinero. Estas mallas se originan generalmente por fatiga de los materiales.

También pueden producirse por un dimensionamiento insuficiente del pavimento o, simplemente, por haberse producido un despegue de la capa superior de mezcla asfáltica, por lo que tiene que trabajar independientemente del resto. En este caso, la solución más conveniente es la de eliminar dicha capa con parchado caliente.

Baches

Son aquellos que se producen como una evolución de las mallas de fisuras formadas en la superficie de la carretera. En este tipo de fisuras hay pérdida de material, lo cual provoca la aparición de baches en la superficie, que de no ejecutar las debidas correcciones, el tamaño de los baches tomará dimensiones cada vez mayores al acumularse pérdidas de materiales de los elementos de borde.

Este proceso se acelera en las zonas donde, además de la malla de fisuras, existe hundimiento en la calzada por mal comportamiento de las capas granulares del pavimento. Los baches son inaceptables en una red de carreteras, donde se quiere dar al usuario un nivel mínimo de funcionalidad.

Parches mal ejecutados:

Son aquellas zonas en las cuales ya se ha realizado un tratamiento de cambio de la superficie de rodadura, que, sin embargo, no está resultando cómodo para los usuarios. Y esta mala ejecución tiene varias razones como: no hubo una buena adherencia en la aplicación de un parche, o porque ocurrió un desnivel en la carpeta ó simplemente existió un colapso del mismo.

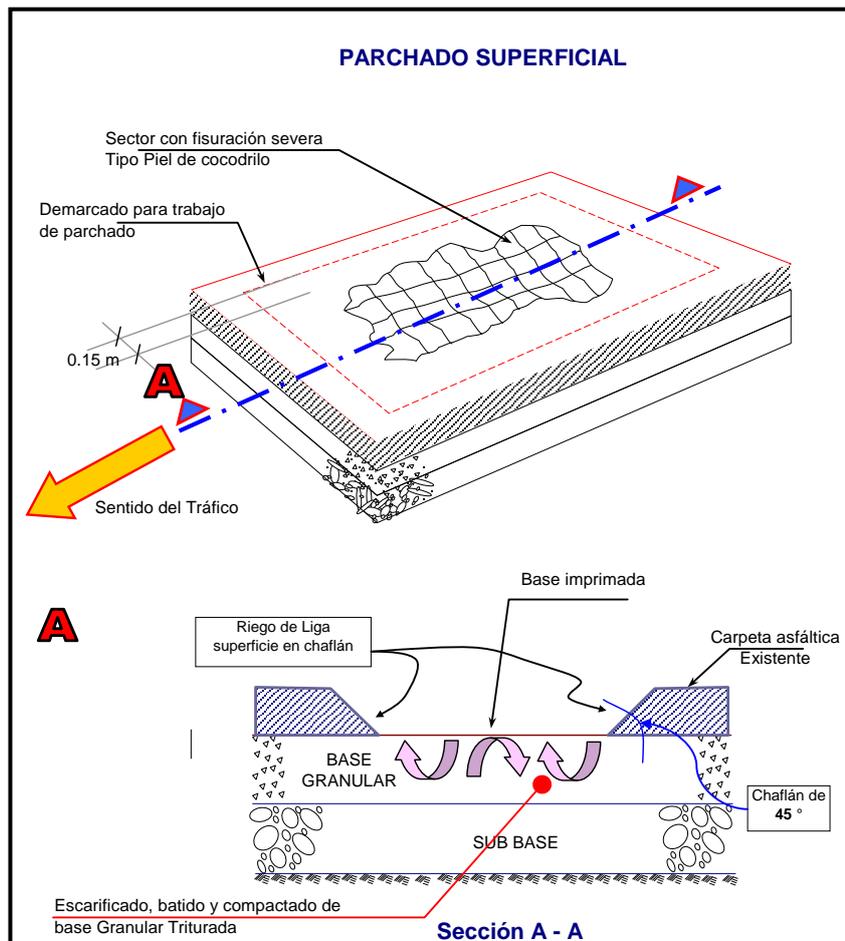


Figura 2.4 Esquema del parchado superficial

Secuencia de Trabajo

1. Demarcado de zona de trabajo (área deteriorada + 15 cm de holgura)
2. Cortado de la carpeta asfáltica con disco diamantina, para no perturbar áreas colindantes.
3. Eliminación de carpeta deteriorada usando cortadora de pavimento
4. Escarificado de la Base granular existente (e = 10cm.)
5. Adicionar material de Base granular triturada (e = 5cm)
6. Homogenizado, humedecido y compactado al 100% de su máxima densidad seca del proctor modificado.
7. Aplicación de la imprimación,
8. Riego de liga, superficie de la carpeta asfáltica cortada.
9. Colocación de mezcla asfáltica en caliente, en el espesor de la carpeta existente.

2.4.3 Parchado profundo

Los hundimientos existentes en las carreteras es una muestra que las capas granulares no son capaces de soportar las cargas de tráfico, sin deformarse. Hay que aclarar que es muy difícil que un hundimiento apreciable se deba a la mezcla de asfalto.

El parchado profundo consiste en reemplazar la carpeta asfáltica y la base granular, los cuales también comprometen a la subbase y subrasante.

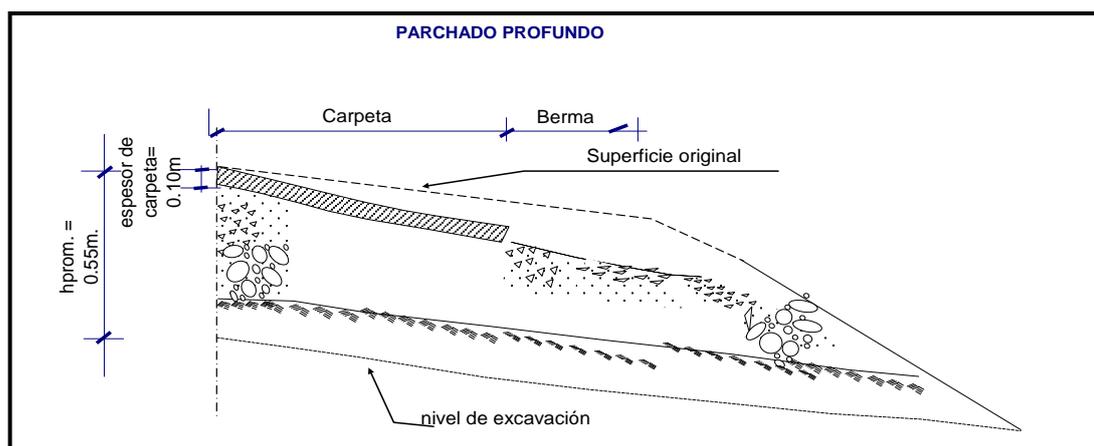


Figura 2.5 Esquema del parchado profundo.

Secuencia de Trabajo

- 1.- Demarcación de la zona.
- 2.- Remoción de Carpeta Asfáltica existente $e_{prom} = 0.10m$. en la zona de trabajo.
- 3.- Excavar hasta una profundidad de $e_{prom} = 0.55m$ (Escarificado y conformado de la subrasante), compactar al 95% del Proctor Modificado (MTC E-115).
- 4.- Compactado de la Sub Base Granular al 100% de la máxima densidad seca del Proctor Modificado (MTC E-115).
- 5.- Colocación de material de Base Granular Triturada ($e = 0.20m$.)
- 6.- Compactado de la base Base Granular Triturada al 100% de la Máxima densidad Seca del Proctor Modificado (MTC E-115).
- 7.- Imprimado de la Base Granular Triturada.
- 8.- Aplicación de Riego de liga de la carpeta asfáltica circundante.
- 9.- Colocación de carpeta asfáltica en caliente, hasta el nivel de la rasante de carpeta asfáltica adyacente ($e = 0.10 m$).

FOTOGRAFÍAS DEL PROCESO CONSTRUCTIVO PARA LOS TRABAJOS DE PARCHES



Foto 2.3 Demarcación de la zona



Foto 2.4 Cortado de la carpeta asfáltica



Foto 2.5 Remoción de la carpeta asfáltica existente



Foto 2.6 Excavar hasta .55m



Foto 2.7 Compactación de la base granular



Foto 2.8 Verificación de la densidad máxima



Foto 2.9 Limpieza del terreno



Foto 2.10 Imprimación asfáltica



Foto 2.11 Aplicación de la carpeta



Foto 2.12 Compactación de la carpeta asfáltica

2.5 Materiales usados en la mezcla asfáltica

Los agregados son partículas granulares de material pétreo de tamaño variable que se originan de la fragmentación de las distintas rocas de la corteza terrestre y que este caso son provenientes de la trituración.

Se puede mencionar que la totalidad de los aspectos técnicos requeridos para una adecuada aplicación de este material de la construcción se encuentran estudiados, normados y cuyos valores permisibles son establecidos en el Perú por el Instituto Nacional del Asfalto, buscando optimizar las cantidades a ser usadas de cada uno de sus componentes, a través de las granulometrías de las mezclas de agregados; además, teniendo en cuenta los distintos solicitaciones de acuerdo a la clasificación de las vías, tal es este caso que se trata de una vía de primer orden, es decir, se trata de una carretera panamericana donde van a circular todo tipo de vehículos con importante carga.

2.5.1 Agregado grueso (piedra chancada)

El agregado grueso se ha obtenido mediante chancado del material proveniente de la cantera Charán.

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 a las especificaciones de requerimientos para los Agregados Gruesos, del Expediente Técnico de Obra, el agregado propuesto cumple las especificaciones exigidas por la normativa vigente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para carpetas asfálticas, tal como se puede ver la tabla 2.1:

Tabla 2.1 Requerimientos para los Agregados Gruesos (Veáse anexo B)

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (m.s.n.m.)	Resultado de obra (Cantera Charán)	Resultado de obra (Cantera Débora)
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E209	15% máx.	2.753%	7.327%
Abrasión Máquina de Los Angeles	MTC E207	30% máx.	24.00%	20.60%
Partículas Chatas y alargadas	MTC E221	10% máx.	2.0%	2.40%
Caras Fracturadas	MTC E210	95/90	98.3/93.3%	99.9/91.7%
Absorción	MTC E206	1.0% máx.	1.27%	1.32%
Sales Solubles	MTC E219	0.5% máx.	0.3500%	0.05%
Adherencia	MTC E519	+95	+95	+97

2.5.2 Agregado fino (arena chancada y zarandeada)

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

De acuerdo a las especificaciones de los agregados finos de las Especificaciones del Expediente Técnico de Obra, exigidas por la normativa vigente del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para carpetas asfálticas, tal como se puede ver la tabla 2.2 la arena debe cumplir las especificaciones que se dan en el cuadro comparativo que se detalla a continuación:

Tabla 2.2 Requerimientos para los agregados finos (Vèase anexo B)

Ensayos	Norma	Requerimiento Altitud (m.s.n.m.)	Resultado de obra (Cantera Charán)	Resultado de obra (Cantera Débora)
Equivalente de arena	MTC E114	65% min	68.10%	70.90%
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E220	4% min.	4.00%	4.00%
Indice de plasticidad N°200	MTC E111	4% máx.	2.47%	2.52%
Indice de plasticidad N°40	MTC E111	NP.	NP	NP
Sales Solubles	MTC E219	0.5% máx.	0.30%	0.08%
Absorción	MTC E205	0.5% máx.	1.227%	0.850%

2.5.3 Gradación

Para el proyecto, fueron tres los husos granulométricos que se propusieron para la mezcla y control de la planta; sin embargo, se optó por el Huso 2, debido a que los agregados de la zona se adecuaban mejor a estas características.

Tabla 2.3 Husos granulométricos para la mezcla y control en planta de los agregados, propuesto por el Expediente técnico de la obra

Tamiz		Huso 1		Huso 2		Huso 3		Huso de Trabajo
AST M	mm	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	
3/8"	9,53	90	100	90	100	90	100	+ 5%
N.4	4,76	60	90	60	90	25	40	+ 5%
N.8	2,36	47	67	31	46	20	35	+ 5%
N.16	1,18	38	57	12	31	16	31	+ 5%
N.30	0,60	28	47	9	23	12	23	+ 4%
N.50	0,30	19	38	6	18	11	18	+ 3%
N.200	0,07 4	5	10	6	10	7	10	+ 2%
Abrasión Los Angeles.		-	40	-	30	-	25	-

2.5.4 Relleno mineral filler (Cal hidratada)

El filler o relleno mineral se utiliza como relleno de vacíos y espesante de la mezcla asfáltica.

Tabla 2.4 Requerimiento para el relleno mineral filler. (Véase Anexo B)

Malla	Requerimiento MTC % que pasa	Resultado Cal Hidratada (Cantera Charán)	Resultado Cal Hidratada (Cantera Débora)
600 mm (N° 30)	100	100	100
300 mm (N° 50)	95 – 100	100	100
75 mm (N° 200)	70 – 100	94.2	94.2

2.6 Interpretación de los ensayos para los agregados

En la ejecución de todo trabajo de ingeniería, los materiales a usarse deben cumplir requerimientos de calidad, los mismos que están dados dentro de las especificaciones técnicas del proyecto.

Para evaluar estos requerimientos, se realizan ensayos normalizados para tal fin:

- Determinación del límite líquido de los suelos (MTC E 110 – 1999).
- Equivalente de arena, suelos y agregados finos (MTC E 114 – 1999)
- Relaciones Humedad densidad: Proctor Modificado (MTC E115 – 1999)
- Densidad en el sitio (Método del cono) (MTC E 117 – 1999)
- CBR de suelos (Laboratorio) (MTC E 132 – 1999)
- Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (MTC E204 – 1999).
- Gravedad específica y absorción de agregados finos (MTC E 205 – 1999)
- Gravedad específica y absorción de agregados gruesos (MTC E 206 – 1999)
- Abrasión Los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5mm (MTC E 207 – 1999)
- Durabilidad al sulfato de sodio y sulfato de magnesio (MTC E 209 – 1999)
- Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (MTC E 210 – 1999)
- Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos: Procedimiento Riedel – Weber. (MTC E 220 – 1999)

2.6.1 Determinación del límite líquido de los suelos (Ver anexo B)

El objetivo es determinar el contenido de humedad expresado en porcentaje del suelo secado en el horno, cuando éste se encuentre en el límite entre los estados plástico y líquido.

Se coloca una muestra de suelo en la cápsula de evaporación y se mezcla completamente con 15 a 20ml de agua destilada, agitándola y amasándola. Cuando ésta ha sido mezclada lo suficiente, se coloca una porción de la mezcla en la cazuela del aparato y se hace una ranura con el menor número de pasadas posibles. Se eleva y golpea la taza de bronce, girando la manija a una velocidad de 2rev/seg, hasta que las dos mitades de la pasta de suelo se pongan en contacto en el fondo de la ranura.

Se anota el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

Se saca una tajada de suelo, aprox. el ancho de la espátula tomándola de uno y otro lado, y en ángulo recto, luego se pesa y anota. Finalmente, se lleva la porción de suelo a la estufa a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta obtener el peso constante y se vuelve a pesar tan pronto se enfríe la muestra.



Foto 2.13 Colocación del suelo en la cápsula



Foto 2.14 Ranurado de la muestra

2.6.2 Equivalente de arena, suelos y agregados finos (Ver anexo B)

El objetivo es determinar la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo ó material arcilloso, en suelos o agregados finos.

Por el sifón verter 102 \pm 3 mm de solución de trabajo de cloruro de calcio en la probeta y con la ayuda del embudo verter en la probeta 85 \pm 5cm³ del suelo preparado, golpear la parte baja del cilindro varias veces con la palma de la mano para desalojar las posibles burbujas de aire y humedecer completamente la muestra.

Transcurridos 10min, tapar la probeta con un tapón; suelte el material del fondo invirtiendo parcialmente el cilindro y agitándolo a la vez. Se agita la probeta en 30seg. El operador deberá mover solamente antebrazos manteniendo el cuerpo y hombros relajados. Concluida esta operación, colocar la probeta verticalmente y luego quitarla.

Por la parte superior de la probeta, introducir el tubo irrigador y limpiar las paredes. El irrigador debe llegar hasta el fondo para que impulse el material fino desde el fondo hacia arriba poniéndolo sobre partículas gruesas de arena y cuando llega a 38cm se saca el tubo.

Al término de 20min, leer el nivel superior de arcilla. Después de la lectura de la arcilla, introducir en la probeta el ensamblaje del pie (conjunto del disco, varilla y sobrepeso) y bajar lentamente hasta que llegue sobre la arena. Cuando el conjunto toque la arena con uno de los tornillos de ensamblaje hacia la línea de graduación de la probeta leer y anotar la lectura.



Foto 2.15 Colocación del ensamblaje de pie

2.6.3 Relaciones de Humedad Densidad (Proctor Modificado) (Ver anexo B)

El objetivo es determinar la relación entre la humedad y el peso unitario de los suelos compactados.

Escoger una muestra representativa y prepararla compactando el suelo humedecido en el molde de 152mm (6") de diámetro (con el collar ajustado), en cinco capas aproximadamente iguales de tal manera que proporcionen una altura total compactada de 125mm (5"), siendo compactada cada capa por medio de 56 golpes de martillo uniformemente distribuido. En el laboratorio se ensayan por lo menos cuatro puntos con un incremento del 2% humedad.



Foto 2.16 Toma de lectura

2.6.4 Densidad en el sitio (Método del cono) (Ver anexo B)

El objetivo es determinar el peso unitario (densidad) de los suelos en el terreno

Determinar el volumen del frasco y del conjunto, incluido el volumen del orificio de la válvula. Además, hallar el peso unitario de la arena que va a ser usada en campo y su peso necesario para llenar el embudo y calcular el peso unitario del suelo.

Cávese el orificio de ensayo dentro de la marca del embudo, teniendo cuidado evitar alteración del suelo que limita el hueco y colocar todo el suelo suelto en un recipiente, teniendo la precaución de evitar pérdida de material. Anotar su peso y determinar su humedad. Luego, colocar el aparato en la posición previamente marcada y abrir la válvula; y después que haya fluido la arena, cerrar la válvula.

Pesar el aparato con la arena restante y determinar el peso de la arena usada.



Foto 2.17 Cavar el orificio de ensayo



Foto 2.18 Colocación del suelo en recipiente



Foto 2.19 Colocación del frasco de arena en el orificio

2.6.5 CBR de suelos (Laboratorio) (Ver anexo B)

El objetivo es evaluar la capacidad de soporte de los suelos de subrasante y de las capas de base, sub base y de afirmado.

Se determina la humedad óptima y la densidad máxima por medio del ensayo de compactación elegido. Luego se pesa el molde con su base y se coloca el collar, disco espaciador y sobre éste un disco de papel filtro grueso del mismo diámetro, compactándose en el interior, aplicando la energía del proctor modificado y se hace en 5 capas de 56, 25 y 12 golpes por cada una, con diferentes humedades, con el fin de obtener una familia de curvas que muestran la relación entre el peso específico, humedad y relación de capacidad de soporte. Terminada la compactación se quita el collar, se enrasa el espécimen, se desmonta el molde y se vuelve a montar invertido, sin disco espaciador, colocando un papel filtro entre el molde y la base, y luego se pesa.

Se coloca sobre la superficie de la muestra invertida la placa perforada con vástago y sobre ésta los anillos necesarios para completar una sobrecarga tal que produzca una presión equivalente a la originada por todas las capas de materiales que hayan ir encima del suelo que se ensaya. En ningún caso la sobrecarga será menor a 4.54Kg (10lb).

Se anota el día y la hora de la primera lectura para medir el hinchamiento colocando el trípode de medida con sus patas sobre los bordes del molde y se mantiene la probeta en estas condiciones por 96 horas. Al final del periodo de inmersión se vuelve a leer el deformímetro para medir el hinchamiento.

Se saca el molde del tanque y se deja escurrir por 15min y se aplica la sobrecarga constante de 1.27mm/min que sea suficiente, para producir una intensidad de carga igual al peso del pavimento. Anotar las lecturas que puede llegar hasta 0.3" de penetración y finalmente desmontar el testigo y se extrae una muestra del centro del testigo para determinar su humedad.



Foto 2.20 Compactación del suelo

2.6.6 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos (Ver anexo B)

El objetivo es determinar cuantitativamente los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada.

Seleccione un grupo de tamices de tamaños adecuados para cumplir con las especificaciones del material, y colóquese los tamices en orden decreciente por tamaño de abertura. Efectúe la operación de tamizado a mano ó por medio de un tamizador mecánico, durante un periodo adecuado, evitando que el peso sea tan grande que cause deformación permanente en la malla del tamiz.

Determínese el peso de la muestra retenido en cada tamiz, con una balanza.

El peso total del material después del tamizado debe ser comparado con el peso original de la muestra que se ensayó. Si la cantidad difiere del 0.3%, basado en el peso de la muestra original seca, el resultado no debe ser aceptado.



Foto 2.21 Tamizado del agregado

2.6.7 Gravedad específica y absorción de agregados finos (Ver anexo B)

El objetivo es determinar el peso específico aparente y real, así como la absorción después de 24 horas sumergidos en agua con tamaño inferior a 4.75mm (tamiz N°4)

Se homogeniza la muestra y se elimina el material superior a 4.75mm (tamiz N°4), se selecciona, por cuarteo, una cantidad aproximada de 1Kg, se seca a 110°C, se enfría luego al aire a temperatura ambiente. Una vez fría, se pesa repitiendo el secado hasta lograr peso constante, para luego cubrir la muestra completamente con agua y se deja sumergido durante 24±4 horas. Después del periodo de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar pérdidas de finos y se extiende la muestra sobre una bandeja, comenzando la operación de desecar la superficie de las partículas, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire caliente. Para alcanzar el agregado superficie seca, se sujeta firmemente el molde cónico apoyado sobre una superficie no absorbente, echando en su interior, sin

apelmazar, una cantidad de muestra suficiente que se apisona ligeramente con 25 golpes de la varilla, levantando a continuación con cuidado y verticalmente el molde. Si el agregado conserva aún exceso de humedad, el cono mantendrá su forma original por lo que se continuará agitando y secando la muestra, realizando frecuentemente la prueba del cono hasta que se produzca un primer desmoronamiento superficial. Luego se introducen en el picnómetro previamente tarado 500gr del agregado fino y se le añade agua hasta aprox. 90% de su capacidad. Para eliminar el aire atrapado, se rueda el picnómetro sobre una superficie plana, introduciéndolo seguidamente en un baño de agua a una temperatura entre 21° y 25°C durante una hora y luego se enrasa con agua a igual temperatura, se saca del baño, se seca la superficie y se determina su peso total.



Foto 2.22 Colocación del agregado fino en el molde cónico



Foto 2.23 Levantar el molde



Foto 2.24 Agitación del picnómetro

2.6.8 Gravedad específica y absorción de agregados gruesos (Ver anexo B)

El objetivo es determinar el peso específico aparente y real, así como la absorción después de 24 horas sumergidos en agua con tamaño superior a 4.75mm (tamiz N°4)

La muestra se lava inicialmente con agua hasta eliminar completamente el polvo u otras sustancias extrañas adheridas a la superficie de las partículas; se seca a continuación en una estufa a 100° - 110°C y se enfría a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas. Una vez fría se pesa, repitiendo el secado hasta lograr peso constante, y se sumerge en agua, también a temperatura ambiente, durante 24±4 horas.

Después del período de inmersión, se saca la muestra del agua y se secan las partículas rodándolas sobre una base absorbente de gran tamaño hasta que se elimine el agua superficial visible, secando individualmente los fragmentos mayores. A continuación, se determina el peso de la muestra en el estado de saturado superficie seca.

A continuación, se coloca la muestra en el interior de la canastilla metálica y se determina su peso sumergida en agua, a la temperatura entre 21° y 25°C. Se tomarán las precauciones necesarias para evitar la inclusión de aire en la muestra sumergida, agitando convenientemente. La canastilla y la muestra deberán quedar completamente sumergida, agitando convenientemente durante la pesada y el hilo de suspensión será lo más delgado posible para que su inmersión no afecte a las pesadas.

Finalmente, se seca la muestra en horno a 100° - 110°C, se enfría al aire a la temperatura ambiente durante 1 a 3 horas y se determina su peso seco hasta peso constante.



Foto 2.25 Inmersión de los agregados en el agua

2.6.9 Abrasión los Ángeles al desgaste de los agregados de tamaños menores de 37.5mm (Ver anexo B)

El objetivo es determinar la resistencia al desgaste de agregados naturales ó triturados, empleando la citada máquina con una carga abrasiva

La muestra y la carga abrasiva correspondiente se colocan en la máquina de los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad comprendida 30rpm, y el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera uniforme. Una vez cumplido el número de vueltas, se descarga el material del cilindro y se procede a la separación preliminar de muestra ensayada en el tamiz # 12. El material más grueso que el tamiz #12 se lava, se seca en el horno, a una temperatura entre 105 – 110° C hasta peso constante. Cuando el material esté libre de polvo, puede eliminarse la exigencia del lavado antes y después del ensayo.

La eliminación del lavado posterior rara vez reducirá la pérdida medida en más del 0.2% del peso de la muestra original.



Foto 2.26 Máquina de abrasión de los Angeles

2.6.10 Durabilidad al sulfato de sodio y de magnesio (Ver anexo B)

El objetivo es determinar la resistencia a la desintegración de los agregados, por la acción de soluciones saturadas de sulfato de sodio o de magnesio.

Sumergir las muestras en la solución de sulfato de sodio o magnesio a una temperatura de 21 ± 1 °C durante un periodo no menor de 16 horas ni mayor de 18 horas de manera que el nivel de la solución quede por lo menos 13mm por encima de la muestra. El recipiente se cubre para evitar la evaporación y contaminación con sustancias extrañas.

Retirar la muestra de la solución, dejándola escurrir durante 15 ± 5 minutos. Secar en el horno a 110 ± 5 °C hasta obtener peso constante a la temperatura indicada. Para verificar el peso, se sacará la muestra a intervalos no menores de 4horas ni mayores de 18horas. Se considerará que se alcanzó un peso constante cuando dos pesadas sucesivas de una muestra no difieren más de 0.1gr. en el caso del agregado fino, o no difieren más de 1.0gr. en el caso del agregado grueso.

Obtenido el peso constante, dejar enfriar a temperatura ambiente y volver a sumergir en la solución para continuar con los 5 ciclos.

2.6.11 Porcentaje de caras fracturadas en los agregados (Ver anexo B)

El objetivo es determinar el porcentaje en peso, del material que presente una, dos o más caras fracturadas de las muestras de agregados pétreos.

Extender la muestra en un área grande y si es necesario lavar los agregados para facilitar la inspección y detección de las partículas fracturadas. Luego colocar tres recipientes para ubicar aquellas partículas redondeadas, las que tengan una o más de dos caras fracturadas.

Se considera como fracturadas cuando un 25% ó más de su superficie aparece fracturada., aquellas que no han sido producidas por la naturaleza, sino por procedimientos mecánicos. Pesar los dos recipientes con las partículas fracturadas y anotar el valor.



Foto 2.27 Selección de los tipos de agregados según su forma



Foto 2.28 Clasificación de los agregados según su forma

2.6.12 Adhesividad de los ligantes bituminosos a los áridos finos (Procedimiento Riedel – Weber) (Ver anexo B)

El objetivo es determinar la adhesividad de los ligantes bituminosos de los áridos finos, arenas naturales o de machaqueo de empleo en construcción de carreteras.

Se mezclan 71 volúmenes de agregado seco con 29 volúmenes de ligante. Se mezclan el árido y el ligante en un depósito de porcelana, previa calentada del depósito; luego se agitan los materiales hasta conseguir una masa y envuelta homogéneas. Se deja enfriar aprox. 1 hora, luego se pesan 11 porciones de 0.50gr de la misma (en forma de pequeñas esferas) y cada una de ellas se introducen en los tubos de ensayo enumerados del 0 al 10. A continuación en el tubo de ensayo marcado con el número 0 se vierten 0.5gr de mezcla, 6cm³ de agua destilada y se marca en el tubo de ensayo el nivel que alcanza la superficie libre del agua. Se calienta el tubo de ensayo, hasta la ebullición suave del agua que se mantiene durante 1 minuto aproximadamente.

Luego se restablece el volumen de líquido anterior perdido por evaporación, y se agita el tubo de ensayo con su contenido, durante 10 segundos.

En seguida se procede a observar el aspecto que ofrece la mezcla árido – ligante y se describe de acuerdo a los siguientes criterios

- a) El desplazamiento entre el ligante y el árido se considera total cuando prácticamente todas las partículas del árido aparecen limpias.
- b) El desplazamiento entre el ligante y el árido se considera parcial cuando en las partículas de árido aparecen zonas limpias, aunque se mantiene cierta cohesión entre ellas.

Luego se prosigue de esta forma, utilizando sucesivamente, las soluciones de carbonato sódico de concentración creciente M/256, M/128, M/64, M/32... y los tubos de ensayo marcados con los números 1,2,3 ... que les hace corresponder recíprocamente, hasta que consiga alcanzar el desplazamiento total de ligante.

2.7 Definición de Micropavimento

Se llama micropavimento a aquella mezcla asfáltica que posee un tamaño máximo nominal de la mezcla de agregados superior a 10mm, que se ejecuta en espesores reducidos que se utilizan como tratamiento de mejorado de superficie en carpetas en mal estado, pero que poseen sus cualidades estructurales intactas, ya que el microaglomerado no realiza un aporte al paquete estructural.

2.8 Descripción de los factores locales

Los factores ambientales y de uso en el Mantenimiento Periódico de la Carretera Sullana - Aguas Verdes (capa de rodadura) de una superficie altamente fisurada, generan condiciones importantes para las mezclas asfálticas, no sólo para la etapa constructiva, sino también durante su vida en servicio, por lo que la condición básica del diseño es compatibilizar estos requerimientos, con las características físicas mecánicas y químicas de los agregados, calidad y comportamiento reológico del asfalto modificado con polímero SBS a utilizar y con los parámetros de elaboración, distribución y compactación de la mezcla asfáltica.

Estas condiciones ayudan a retardar el micro fisuramiento que se produce por el alto contenido de humedad en las zonas de regadío, a sectores con problemas estructurales y funcionales que origina esfuerzos de tensión en la carpeta asfáltica, evitando el envejecimiento prematuro de la mezcla.

Para la ejecución de los trabajos de “recapado” se utilizó un micropavimento, debido a sus características mecánicas de durabilidad y mejoramiento en la adhesión y cohesión frente a la acción del agua y del tráfico, por lo que se presenta los resultados de los ensayos practicados a los materiales a utilizarse en la preparación de esta mezcla asfáltica y los resultados obtenidos de la fórmula de trabajo propuesta.

2.9 Ubicación de las canteras utilizadas

La vía Sullana – Aguas Verdes forma parte de la carretera Panamericana, una de las vías mas importantes del país.

Para el abastecimiento de agregados y su utilización en el desarrollo de la obra se hizo la extracción de dos Canteras:

2.9.1 Cantera Charán:

Ubicada en el km. 1249+300 en el lado izquierdo de la carretera Sullana – Aguas Verdes cuyo acceso se encuentra en estado regular a una distancia de 6.80 km

El período de explotación se realiza en época de estiaje (Marzo – Diciembre).



Foto 2.29 Cantera Charán

2.9.2 Cantera Débora:

Ubicada en el km. 1085 +060 en el lado izquierdo de la carretera Sullana – Aguas Verdes, cuyo acceso se encuentra en estado regular a una distancia de 2 km.

El periodo de explotación es todo el año.



Foto 2.30 Cantera Débora

2.10 Riego de Liga

El riego de liga es la aplicación de un material asfáltico sobre una capa de pavimento, con el objeto de lograr una buena adherencia con otra capa de mezcla asfáltica que se construya sobre ésta. Para ello se utiliza una emulsión asfáltica catiónica de rompimiento rápido.

Requerimientos para la aplicación Riego de Liga

- La superficie deberá estar limpia de polvo, barro seco, suciedad y cualquier otro material suelto que pueda ser perjudicial para dicha aplicación. En ella se estará utilizando compresoras mecánicas.
- El riego sólo se aplicará cuando la superficie esté seca.
- La tasa de aplicación del ligante asfáltico estará entre 0.25 – 0.76lt/m²
- Hay que tomar todas las precauciones necesarias para evitar cualquier contacto entre chispas y los materiales asfálticos que desprenden gases.
- Evitar la aplicación de los riegos de liga en lluvia (o en apariencia de ocurrir) o cuando la temperatura ambiental a la sombra y de la superficie sea inferior a cinco grados Celsius (5 ° C).
- Evitar que con el riego del material asfáltico se manchen sumideros, cunetas, barandas, etc. Igualmente debe proteger la vegetación adyacente a la zona para evitar que sea salpicada o dañada.



Foto 2.31 Aplicación del riego de liga

2.11 Aplicación del micropavimento

Como superficie de rodadura, se prevé, la aplicación del micropavimento en caliente con asfalto modificado con polímero tipo SBS, en un espesor de 40mm, para la conservación de la vía.

Para efecto de esta especificación particular, el micropavimento en caliente consiste en la asociación del agregado mineral, cal hidratada, aditivo mejorador de adherencia y cemento modificado con polímero SBS.

Está comprobado que realizando un mantenimiento preventivo se minimiza el costo del ciclo natural de vida de un pavimento al detener el deterioro y las fallas en carreteras, evitando de esta manera la costosa reconstrucción total del pavimento hasta mucho tiempo después en la vida de la carretera.

La colocación del micropavimento, es similar a la de un asfalto convencional, radicando su diferencia en la temperatura de compactación, que se detallará en el capítulo 3 y además en que inmediatamente después de esparcir la mezcla sobre la superficie, el rodillo liso ingresa para asentar los agregados en su temperatura adecuada (170°C) para obtener la compactación requerida y luego el rodillo neumático para ayudar a la compactación y dar el acabado final.

Ambos rodillos, deben trabajar muy próximos debido a que la mezcla asfáltica tiende a enfriarse más rápido, respecto a una mezcla asfáltica convencional, lo cual perjudica a la compactación.

La esparcidora tiene un sistema de vibración que permite a una pre-compactación en la mezcla y un dispositivo de la calefacción para prevenir que la mezcla se trabe en el mismo y dañe el acabado

Antes que se inicien los trabajos en el tren de asfalto, se debe tener en cuenta que la esparcidora debe estar caliente, por lo menos, en la temperatura definida para la especificación para la temperatura de descarga.

A continuación se observa el proceso constructivo para la aplicación del micropavimento:



Foto 2.32 Limpieza del tramo a aplicar el micropavimento



Foto 2.33 Aplicación del riego de liga



Foto 2.34 Compactación del micropavimento



Foto 2.35 Verificación del espesor



Foto 2.36 Compactación del micropavimento

CAPITULO 3. DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

3.1 Diseño de mezcla

Una vez seleccionado los materiales para la mezcla asfáltica, se ha procedido a determinar sus propiedades físico-mecánicas de los agregados, tal como la granulometría, los pesos específicos, la absorción, etc. Luego de ello, se ensayaron en el laboratorio diferentes combinaciones en proporciones de agregados, de tal manera que se obtenga un concreto asfáltico en caliente que cumpla con las especificaciones indicadas en el cuadro de Requisitos para Mezcla de Concreto Bituminoso de las Especificaciones Técnicas Generales y Especiales del Expediente Técnico de Obra-.

Para el diseño de Mezclas Asfálticas, se ha utilizado el Método Marshall.

En el siguiente cuadro se puede ver y comparar los resultados de las especificaciones técnicas y los obtenidos en el diseño propuesto.

Tabla 3.1 Parámetros de diseño de mezclas. Fuente: Informes de laboratorio de CyM

Parámetro de Diseño	Req. del MTC	Resultado de Diseño (Charán)	Resultado de Diseño (Débora)
	Clase de Mezcla A		
Marshall(MTC E 504)	8 kN (815Kg)	930	921
1.Estabilidad (mín)	8 - 14	13	13
2.Flujo 0.25 mm.	3 - 5	4.0	4.0
3.Porcentaje de vacíos con aire (MTC E 505)	Ver tabla de (VMA)	17%	17.9%
4.Vacíos en el agregado mineral	75	75	75
5.Compactación, núm. de golpes en cada capa de testigo	75	75	75
f. Relación Est./flujo	1700 – 2500	2818	2866
Valor mín. en el agregado Mineral (VMA) (3/4’')	16	14	17.9

3.2 Método de Marshall del diseño de mezclas

Propósito

El método provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenido óptimo de vacíos que deben ser cumplidos durante la construcción del pavimento.

El Método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas en caliente, de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contienen agregados con tamaño máximo de 25.0mm (1 pulgada) ó menos.

Descripción general

El Método Marshall, usa muestras normalizadas de prueba (64mm) 2.5 pulgadas de espesor por 102mm (4 pulgadas) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados, pero con distintos contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado.

Los datos más importantes del diseño de mezclas del Método Marshall son un análisis de la relación de vacíos-densidad, y una prueba de estabilidad- flujo de las muestras compactadas.

Preparación para efectuar los procedimientos Marshall

El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etcétera) que debe tener la mezcla de pavimentación, y seleccionar un tipo de agregado, y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse para producir esas cualidades, una vez hecho, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

Selección de las muestras del material

La primera preparación para los ensayos consta de reunir muestras del asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación, la razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos de diseño de mezclas determinan la fórmula ó “receta” para la mezcla de pavimentación.

Preparación del agregado

Los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características, esto es, procedimientos que incluyan secar el agregado, determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico.

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

- 1) El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregados estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
- 2) Las mezclas asfálticas en caliente se colocan en los moldes precalentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla.

- 3) Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo Marshall de compactación. El número de golpes del martillo es de 75. Ambas caras de la briqueta reciben el mismo número de golpes.

Procedimiento del ensayo Marshall

Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall. Esto son:

- 1) Determinación del peso específico total.
- 2) Medición de la estabilidad y fluencia Marshall.
- 3) Análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente. Esta medición de peso específico es esencial para un análisis densidad – vacíos.

2) Ensayos de Estabilidad y Fluencia

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo la carga, que ocurre en la mezcla.

El procedimiento de ensayo es el siguiente:

- a) Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60°C. Esta temperatura representa normalmente, la temperatura mas caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
- b) La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall. El aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta, y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).
- c) La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de 51mm/minuto hasta que la muestra falle. La falla está definida como la carga máxima que la briqueta puede resistir.
- d) La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como la fluencia.

3.2.1 Valor de Estabilidad Marshall

El valor de estabilidad Marshall es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante. Luego se suspende la carga una vez que se obtiene la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el Valor Estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto será mucho mejor.

Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, éste no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.

3.2.2 Valor de Fluencia Marshall:

La fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada, representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores muy altos de fluencia son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

Análisis de Densidad y Vacíos:

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos para cada serie de probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

Análisis de vacíos:

Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentra entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos). Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado; o directamente o mediante un ensayo normalizado, efectuado sobre la muestra de la mezcla sin compactar. El peso específico total de las probetas compactadas se determina pesando en aire y en agua.

Análisis de Peso Unitario:

El peso unitario promedio para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por 1000 Kg/m³

Análisis de VMA (Vacíos en el Agregado Mineral)

Los vacíos en el agregado mineral, VMA, están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El VMA es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como un porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, el VMA puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico total del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.

Análisis del VFA (Vacíos llenos de Asfalto)

Los Vacíos llenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VFA abarca asfalto y aire, por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA y luego dividiendo por el VMA, y expresándolo el valor final como un porcentaje.

3.3 Características y comportamiento de la mezcla

Una muestra de pavimentación preparada en laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura de pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla y la influencia que éstas puedan tener en el comportamiento de la mezcla.

Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, ó simplemente vacíos
- Vacíos en el agregado mineral
- Contenido de asfalto.

3.3.1 Densidad de la mezcla

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla).

La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico (kg/m^3)

La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 kg/m^3). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en la densidad patrón y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es o no adecuada.

3.3.2 Vacíos de aire (ó simplemente vacíos)

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, ó bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos menor va a ser la permeabilidad de la mezcla.

Un contenido demasiado alto de vacíos permite que ingrese el agua, aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación de asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie.

La densidad y el contenido vacíos están directamente relacionados, entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla y viceversa. Las especificaciones de la obra requieren usualmente una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos, preferiblemente menos del 8 por ciento.

3.3.3 Vacíos en el agregado mineral (VMA)

Son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que estén llenos de asfalto.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Mientras mayor sea el VMA, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto.

3.3.4 Contenido de asfalto

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra.

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido de asfalto. Esto se debe a que se debe agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto.

3.4 Fórmula de trabajo

Para encontrar la fórmula de trabajo se han requerido hacer varios tanteos teóricos hasta hallar la mezcla requerida a las especificaciones, incluso adicionándole cal con la finalidad de cumplir el huso granulométrico.

Todos los agregados usados son provenientes de la trituración, esto con la finalidad de garantizar una mayor adherencia entre el asfalto y el agregado.

Los porcentajes constituyentes de agregados en la mezcla asfáltica para el caso de la cantera Charán (Tabla N°3.2) queda definida por:

- Piedra chancada 3/8"	35.0%
- Arena Zarandeada	10.0%
- Arena Chancada	52.2%
- Filler (relleno mineral)	2.8%

Sin embargo para la cantera Débora (Tabla 3.3) es:

- Piedra chancada 3/8"	37.0%
- Arena Zarandeada	10.0%
- Arena Chancada	50.2%
- Filler (relleno mineral)	2.8%

En el análisis granulométrico por tamizado de ambas canteras se tiene poca cantidad de granos gruesos, se puede observar una curva discontinua, pues presenta un cambio de pendiente en la distribución de los agregados en la malla N° 8.

En la tabla 3.4 y 3.5 de la cantera Charán y la cantera Débora respectivamente, se observa la composición de la mezcla final, resultados que han sido obtenidos a través del método

Marshall, pesando 1200gr de agregados en las proporciones mencionados anteriormente, y tanteando desde 5 a 7% de cemento asfáltico modificado, manteniendo todos los componentes de la mezcla a una temperatura de 190°C, para luego verter la mezcla sobre los moldes (briquetas), que se hallan en un rango de temperatura de 100 a 120°C. Esto se hace con el propósito de mantener la temperatura de la mezcla.

Previo a la colocación de la mezcla sobre las briquetas, se le pone un papel filtro sobre la base, de tal manera que la mezcla no se adhiera sobre el molde.

Para proceder a la compactación de ambas caras de la briqueta y en tres capas (75 golpes), se hace con un pisón de cara plana de 9.84cm de diámetro y equipado con un peso de 4.5kg, construido para obtener una altura de caída de 45.7cm. Este martillo de compactación, se halla a 120°C.

Terminado este proceso, se hace secar al aire a las briquetas por un tiempo de 16 horas, para luego pulirlas con una lija y registrar sus valores de altura y diámetro..

Después la muestra compactada es sometida a los siguientes ensayos y análisis en orden de lista:

- a) Determinación del peso específico bulk.
- b) Ensayo de estabilidad y flujo
- c) Análisis de densidad y de vacíos.

a) Determinación del peso específico bulk: La determinación se hará tan pronto como la muestra compactada este a temperatura ambiente. La descripción general de este ensayo se hace en el anexo B-1

b) Ensayo de estabilidad y flujo. (ver anexo B-1)

Después de determinar el peso específico bulk de las muestras, es necesario determinar la estabilidad y el flujo, procediendo de la siguiente manera.

- Cuadrar en cero el medidor del flujo.
- Sumergir en un baño de agua de 60°C durante 30 minutos antes del ensayo.
- Limpiar la superficie interior de la mordaza y mantenerla a una temperatura de 21°C a 38°C. Lubricar las barras que sirven de guías con una película delgada de aceite, para que la mordaza deslice libremente sin pegarse, chequeando que el anillo utilizado para medir la carga aplicada, se encuentre bien asegurado y marque cero en la posición de no carga.
- Con el aparato de ensayo listo, retirar la muestras del agua y secarlas superficialmente. Colocar la muestra en la mordaza y centrarla.
- Aplicar la carga a la muestra a una velocidad constante de deformación de 5cm por minuto hasta que falle. El punto de falla se define por la máxima lectura de carga obtenida. El número total de kg requeridos para producir la falla de la muestra a 60°C, se registra como la estabilidad Marshall de la mezcla.
- Al mismo tiempo que progresa el ensayo de estabilidad, sostener el medidor de flujo firmemente; tomar la lectura en el momento de falla y anotarla. Esta lectura del flujo de la muestra, expresado en mm.
- Todo proceso para estabilidad y flujo, iniciado al retirar las muestras del baño de agua, debe ser terminado en un lapso máximo de 30segundos.

c) Análisis de densidad y vacíos: Después de terminados los ensayos de estabilidad y flujo se hará un análisis para cada serie de muestras. Ver anexo B-1

El número de muestras para el ensayo es un mínimo de 3 para cada combinación de agregados y contenido de asfalto.

3.5 Resumen de diseño

De acuerdo a la composición de la mezcla de ambas canteras (tabla 3.2) se adjunta cada uno de los resultados de los ensayos que se detallan y sus respectivos ensayos se puede observar el anexo A

Tabla 3.2 Composición de las mezclas: Cantera Charán y Débora. Fuente: Laboratorio Constructores y mineros (CyM)

Descripción	Verificación del diseño Charan	Verificación del diseño Débora	Especificación	Observación
Óptimo contenido de asfalto	5.7	6.3		
Compactación, número de golpes	75	75	75	Cumple
Estabilidad Marshall	1823	1801	700mín	Cumple
Flujo	4	4.4	2.5 - 4.5	Cumple
% Vacíos de aire - Marshall	4.5	4.5	4% mín	Cumple
Relación Bitumen x Vacíos	76.1	81.6	65% - 82%	Cumple
Relación Filler x Bitumen	0.84	1.14	0.6 - 1.2	Cumple
Desgaste Cantabro	4.52	4.81	20% máx	Cumple
Desgaste Cantabro envejecido	16.24	16.24	30% máx	Cumple
Resistencia Retenida	80.7	78	75% mín	Cumple
Variación teórica de Bitumen		---	0.2% máx	
V.M.A. (%)	17	18.4	16.2 mín	Cumple

Los ensayos del cántabro, son para verificar la sensibilidad de la mezcla asfáltica en condiciones extremas ante cargas abrasivas. En el anexo B-1 se detalla el ensayo.

3.6 Sustento del diseño

De acuerdo a la metodología del ensayo Marshall para hallar el óptimo contenido de asfalto, se puede observar en el anexo A que tanto de la cantera Charán como de la cantera Débora lo siguiente:

- a) La estabilidad de las muestras de altura diferentes a 6.35cm, debe ser convertida a un valor equivalente, por medio de un factor de conversión. La conversión puede ser hecha con base a la altura ó volumen medido.
- b) Promediar los valores de flujo y corregir los valores de estabilidad para todas las muestras con un mismo contenido de asfalto. Los valores errados no serán incluidos en el promedio.
- c) Preparar gráficos separados para los siguientes valores
 - 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 asfalto
 - Relación asfalto/vacíos contra contenido de asfalto

- Estabilidad contra contenido de asfalto
- Flujo contra contenido de asfalto.

Según la práctica se ha encontrado que las curvas, trazadas que se indican en el apartado “c” son modelos razonablemente uniformes para mezclas asfálticas densamente gradadas. En la tabla 3.3 correspondientes a las gráficas del diseño de mezcla de los agregados provenientes de la cantera Charán y la tabla 3.4 correspondientes a la cantera Débora se observa que:

- ✓ La estabilidad aumenta con el aumento del asfalto hasta un máximo valor, después del cual decrece
- ✓ El flujo aumenta con el incremento de contenido de asfalto.
- ✓ La curva para el peso unitario de la mezcla total es similar a la curva de estabilidad.
- ✓ El porcentaje de vacíos con aire decrece con el aumento del asfalto y finalmente se aproxima a un mínimo contenido de vacíos.
- ✓ El porcentaje de vacíos en el agregado mineral generalmente decrece hasta un mínimo y luego comienza a aumentar con el contenido de asfalto.

Por lo tanto el contenido óptimo de asfalto en la mezcla se determina de los datos obtenidos en la descripción anterior. De acuerdo a la metodología del Instituto Nacional del Asfalto, solamente se tienen en cuenta tres de las curvas anotadas:

- Máxima estabilidad
- Máximo peso unitario
- Valor medio de los límites dados para porcentaje de vacíos. El contenido óptimo de asfalto es promedio numérico de los contenidos obtenidos arriba; este debe cumplir con los requisitos para VMA y flujo.

3.7 Temperatura de mezclado y temperatura de compactación

El comportamiento reológico entre los asfaltos convencionales y los modificados con polímeros es diferente.

Las temperaturas óptimas de mezclado y compactación se calcularon inicialmente con el mismo criterio que para asfaltos convencionales (temperaturas correspondientes a las viscosidades de 0.17 ± 0.02 y 0.28 ± 0.03 Pa.s, respectivamente), resultando para el diseño de mezclas en laboratorio los siguientes valores que claramente resultan más elevados que los necesarios:

Temperatura de Mezclado = $183\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura de Compactación = $167\text{ }^{\circ}\text{C}$

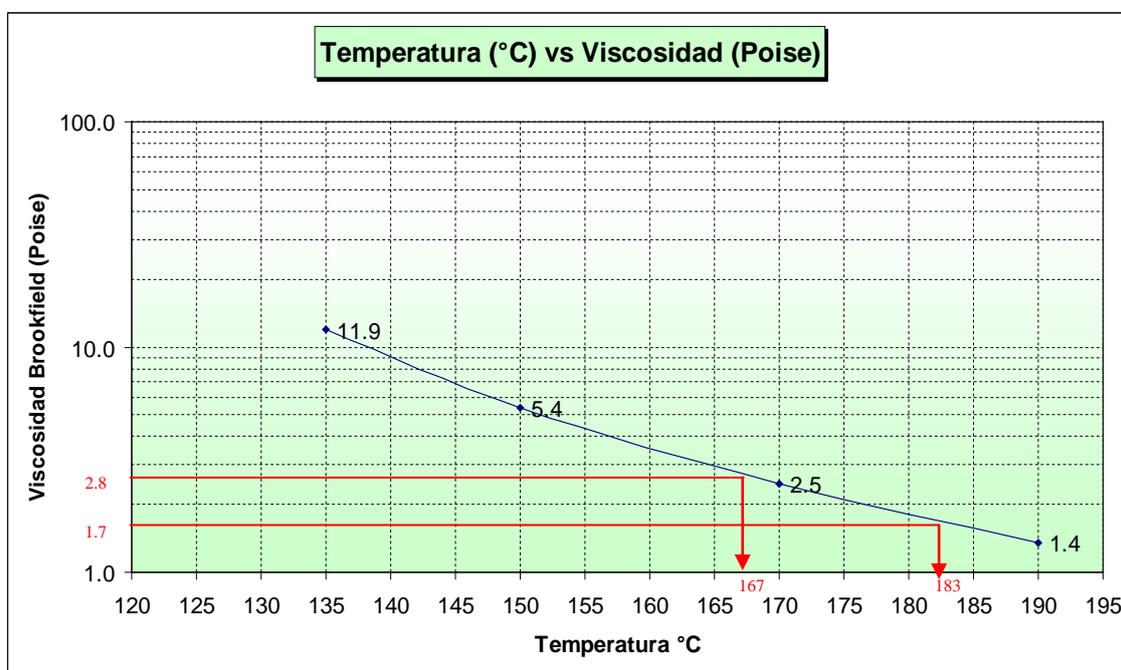


Figura 3.1 Viscosidad en función de la temperatura del asfalto modificado

Sin embargo, estas temperaturas usadas en laboratorio, fueron ajustadas en el tramo de prueba, a fin de tomar en cuenta los efectos de otros parámetros (tipo de agregado, energía de compactación, temperatura del aire, temperatura de la base, velocidad del viento, distancia de transporte de la mezcla, espesor de la capa, equipo de compactación y el proceso constructivo), definiéndose los siguientes valores para la preparación de mezcla asfáltica con asfalto modificado con polímeros a escala industrial .

Temperatura de Mezclado = $175\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatura de Compactación = $160\text{ }^{\circ}\text{C}$

Es cierto que cuando elevamos la temperatura a un asfalto convencional por encima de los $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ se corre el riesgo de envejecimiento del asfalto, sin embargo, en este caso se cuenta

con la adición de polímeros, lo cual requiere, un incremento de temperatura para que éstos, se logren dispersar en el bitumen, en este caso se elevó la temperatura hasta los 190°C.

CAPITULO 4 MEDICION DEL CONTROL DE CALIDAD DEL PAVIMENTO TERMINADO

4.1 Requerimientos para la evaluación del pavimento

Esta etapa consiste en una verificación entre lo ejecutado y lo proyectado, de tal manera que efectivamente se compruebe que todos los parámetros han sido respetados y de esta manera no sólo va a prolongar la vida de servicio de la vía, sino también va a brindar un confort y seguridad al usuario de la misma.

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas

Con la finalidad de alcanzar los objetivos propuestos, de presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas, se efectuaron las siguientes verificaciones:

- a) Compactación y espesor
- b) Regularidad superficial o Rugosidad
- c) Medición de deflexiones
- d) Coeficiente de fricción
- e) Textura Superficial

4.2 Interpretación de los ensayos para la evaluación del control de calidad

4.2.1 Espesor o altura de especímenes compactados de mezclas asfálticas (Ver anexo E)

a) Compactación y Espesor

El control de la compactación y del espesor del pavimento se efectuó mediante la extracción de testigos.

Las determinaciones de densidad de la capa compactada se realizaron en una proporción de cuando menos una (1) por cada doscientos cincuenta metros cuadrados (250 m²)

La densidad media del tramo debe ser el noventa y ocho por ciento (98%), tal como se obtuvo en el laboratorio con la técnica Marshall.

El espesor medio de la capa compactada no puede ser inferior al de diseño.



Foto 4.1 Extracción de diamantinas

4.2.2 Regularidad superficial o Rugosidad (ver anexo E)

El objetivo es asegurar una adecuada rugosidad en la superficie de la siguiente capa asfáltica a colocar.

Consta de un marco formado por dos elementos verticales y uno horizontal. Para facilidad del desplazamiento y operación del elemento vertical delantero es una rueda, mientras que la parte posterior, tiene adosados lateralmente dos soportes inclinados, uno en el lado derecho para fijar el equipo sobre el suelo durante los ensayos, y otro en el lado izquierdo para descansar el equipo. El elemento horizontal se proyecta hacia la parte de atrás, con dos manijas que permiten también levantar y movilizar el equipo, haciendo rodar sobre la rueda en forma similar a una carretilla.

Aproximadamente en la parte central del elemento horizontal se proyecta hacia abajo una barra vertical que no llega al piso, en cuyo extremo inferior pivotea un brazo móvil. El extremo inferior del brazo móvil está en contacto directo con el piso mediante un patín empernado y ajustable, el cual se adecúa a las imperfecciones del terreno, mientras que el extremo superior termina en un puntero o indicador que se desliza sobre el borde de un tablero, de acuerdo a la posición que adopta el extremo inferior del patín móvil al entrar en contacto con el pavimento. La relación de brazos entre los segmentos extremo inferior del patín móvil-pivote y pivote-puntero es 1 a 10, de tal manera que en un movimiento vertical de 1mm, en el extremo inferior del patín móvil produce un desplazamiento de 1cm del puntero.

Para registrar los movimientos del puntero se utiliza una escala gráfica con 50 divisiones, de 5mm de espesor cada una, que va adherida en el borde del tablero sobre el cual se desliza el puntero.



Foto 4.2 Rugosímetro de Merlín

4.2.3 Medida de la deflexión y determinación del radio de curvatura de un pavimento flexible empleando la Viga Benkelman (ver anexo E)

El objetivo es determinar simultáneamente, con una viga Benkelman, la deflexión recuperable y el radio de curvatura de un pavimento flexible producidos por una carga estática.

La medición de deflexiones sobre la carpeta asfáltica terminada tiene como finalidad la evaluación, diagnóstico y complementación de los diferentes controles que deben realizarse a la carpeta asfáltica.

Este ensayo se realiza a través de la Viga Benkelman consiste en estudiar las deformaciones verticales que experimenta un Pavimento, cuando esta actuando sobre él, una carga standarizada; es decir, es la respuesta del conjunto “pavimento – subrasante”.

La existencia de una correlación entre deflexiones y la presencia de fallas por fatiga, constituyen la base de la difundida utilización del Método Deflectométrico.



Foto 4.3 Viga Benkelman

4.2.4 Coeficiente de Resistencia al deslizamiento con el péndulo del TRRL (ver anexo E)

El objetivo es obtener un coeficiente de resistencia al deslizamiento (CRD) que, manteniendo una correlación con el coeficiente físico de deslizamiento, valore las características antideslizantes de una superficie desde el punto de vista de un vehículo en circulación.

Consiste en medir la pérdida de energía de un péndulo normalizado que se deja caer desde la horizontal, provista en su extremo inferior de una zapata de goma, cuando la arista de la zapata roza con una presión determinada sobre la superficie a ensayar y en un recorrido fijo. Esta pérdida de energía se mide por el ángulo suplementario de la oscilación del péndulo. El valor de la lectura adimensional obtenido en el panel de escala de medidas, corresponde directamente al Coeficiente de Resistencia al deslizamiento.

Deslizamiento (CRD). Dependiendo de las condiciones de operación de la superficie, el ensayo debe ser realizado sobre la superficie mojada a objeto de representar las condiciones más desfavorables de fricción. También se deben registrar las condiciones de temperatura en el punto de ensayo, para efectuar correcciones al valor de CRD.

El ensayo consiste en determinar la pérdida de energía de un péndulo, cuyo extremo provisto de una zapata de caucho roza con el pavimento bajo una presión determinada. La pérdida de energía se determina por el ángulo suplementario.



Foto 4.4 Ensayo del Péndulo

4.2.5 Textura superficial Método del círculo de arena (Ver anexo E)

El objetivo es determinar la profundidad de penetración de un volumen conocido de arena dentro de las asperezas de la superficie de un pavimento, valor que se denomina “profundidad de textura”.

Consiste en aplicar sobre el pavimento un cilindro de geometría normalizada, llenando con arena de granulometría definida.

Se retira el cilindro y con un disco de madera de 15cm de diámetro se distribuye la arena en la superficie formando un círculo hasta llenar todas las asperezas

Conocido el volumen de arena empleado en el ensayo (V) y el diámetro del círculo (D) se calcula la profundidad de penetración de la arena en las asperezas o “profundidad textura” (PT) mediante la expresión

$$PT = \frac{4V}{\pi D^2}$$



Foto 4.5 Ensayo del círculo de arena

CAPÍTULO 5 COMPARACION ENTRE ASFALTO CONVENCIONAL Y ASFALTO MODIFICADO A NIVEL DE LABORATORIO IN SITU

5.1 Generalidades

Las pruebas que aquí se presentan son aplicables también a los asfaltos sin modificar, excepto el ensayo de recuperación elástica torsional, pues a nivel de investigación en esta presente tesis, pretende hacer comparaciones de tres propiedades importantes en la modificación de asfaltos.

- a) Ensayo de penetración
- b) Ensayo del punto de ablandamiento
- c) Recuperación elástica torsional.

Se sabe que en la zona norte por tener un clima cálido durante todo el año, y que en los meses de verano (enero, febrero y marzo), se presentan mayor rango de altas temperaturas, la carpeta asfáltica sufre ahuellamientos producto de la variación de gradientes térmicos.

Teniendo en cuenta esto, es recomendable usar un asfalto un poco más “duro” para que resista a estos fenómenos de fatiga.

Por lo tanto para el proceso de modificación del asfalto base, se modificó un asfalto PEN 85-100, partiendo de la premisa que cuando se le adiciona polímero al asfalto, éste va a aumentar su punto de ablandamiento y la penetración va a disminuir, lo cual se verificó en el laboratorio. Estas características son favorables para nuestra zona.

Haciendo énfasis, que sólo los asfaltos modificados poseen la propiedad de la recuperación elástica torsional, ésta característica se la da los polímeros, que cuentan con propiedades elásticas. Para corroborar que esto se cumplía, se intentó realizar este ensayo a un asfalto convencional PEN 85-100, comprobando que no existe ángulo de recuperación después de terminar todo el proceso.

Para el caso del ensayo de penetración, se realizaron varias pruebas en el laboratorio de un PEN 85- 100 encontrándose que precisamente un asfalto modificado disminuía su penetración.

5.2 Ensayos de laboratorio en el asfalto convencional

En la tabla 5.1 y 5.2 se puede observar un cuadro resumen de los ensayos realizados para hacer la comparación de los resultados.

Tabla 5.1 Resumen de ensayos de asfalto modificado

EQUIPOS Y LOGISTICA SAC

RESUMEN DE ENSAYOS DE ASFALTO MODIFICADO

TIPO DE POLIMERO: LINEAR GRADO DEL PEN: 85/100
 MARCA DE POLIMERO: LG-501 PROCEDENCIA: TALARA
 PROVEEDOR: QUIMICA SUIZA ELABORADO: Bach. Patricia I. Salinas Reto

MODIF. N°	FECHA	POLIMERO	% SBS	ASFALTO	PENTRACION STANDARD ASTM D 5	PUNTO DE ABLANDAM. ASTM D 36	RECUPERACION ELASTICA POR TORSION NLT-321/90
1	19/04/2008	LG - 501	3.5	PEN 85/100	59	68	82
2	20/04/2008	LG - 501	3.5	PEN 85/100	58	70	73
3	21/04/2008	LG - 501	3.5	PEN 85/100	58	67	75
4	21/04/2008	LG - 501	3.5	PEN 85/100	67	70	75
5	22/04/2008	LG - 501	3.5	PEN 85/100	62	71	78
6	22/04/2008	LG - 501	3.5	PEN 85/100	63	68	78
7	23/04/2008	LG - 501	3.5	PEN 85/100	62	70	70
8	27/04/2008	LG - 501	3.5	PEN 85/100	63	71	81
9	27/04/2008	LG - 501	3.5	PEN 85/100	67	67	74
10	28/04/2008	LG - 501	3.5	PEN 85/100	70	77	72

SUMA 629 699 758

PROMEDIO 62.9 69.9 75.8

CUENTA 10 10 10

MAXIMO 70 77 82

MINIMO 58 67 70

DESVIACION ESTANDAR 4.07 2.92 3.88

DESVIACION PROMEDIO 3.1 1.92 3.16

VARIANZA 16.54 8.54 15.07

Tabla 5.2 Resumen de ensayos de asfalto convencional

EQUIPOS Y LOGISTICA SAC

RESUMEN DE ENSAYOS DE ASFALTO CONVENCIONAL

TIPO DE POLIMERO: Ninguno GRADO DEL PEN: 85/100
 MARCA DE POLIMERO: --- PROCEDENCIA: TALARA
 PROVEEDOR: --- ELABORADO: Bach. Patricia I. Salinas Reto

MODIF. N°	FECHA	POLIMERO	% SBS	ASFALTO	PENTRACION STANDARD ASTM D 5	PUNTO DE ABLANDAM. ASTM D 36	RECUPERACION ELASTICA POR TORSION NLT-321/90
1	19/04/2008	LG - 501	0	PEN 85/100	88	45	0
2	20/04/2008	LG - 501	0	PEN 85/100	95	40	0
3	21/04/2008	LG - 501	0	PEN 85/100	88	48	0
4	21/04/2008	LG - 501	0	PEN 85/100	93	50	0
5	22/04/2008	LG - 501	0	PEN 85/100	92	49	0
6	22/04/2008	LG - 501	0	PEN 85/100	96	43	0
7	23/04/2008	LG - 501	0	PEN 85/100	90	46	0
8	27/04/2008	LG - 501	0	PEN 85/100	87	44	0
9	27/04/2008	LG - 501	0	PEN 85/100	96	46	0
10	28/04/2008	LG - 501	0	PEN 85/100	95	45	0

SUMA	920	456	0
-------------	-----	-----	---

PROMEDIO	92	46	0
-----------------	----	----	---

CUENTA	10	10	10
---------------	----	----	----

MAXIMO	96	50	0
---------------	----	----	---

MINIMO	87	40	0
---------------	----	----	---

DESVIACION ESTANDAR	4	3	0
----------------------------	---	---	---

DESVIACION PROMEDIO	3	2	0
----------------------------	---	---	---

VARIANZA	12	9	0
-----------------	----	---	---

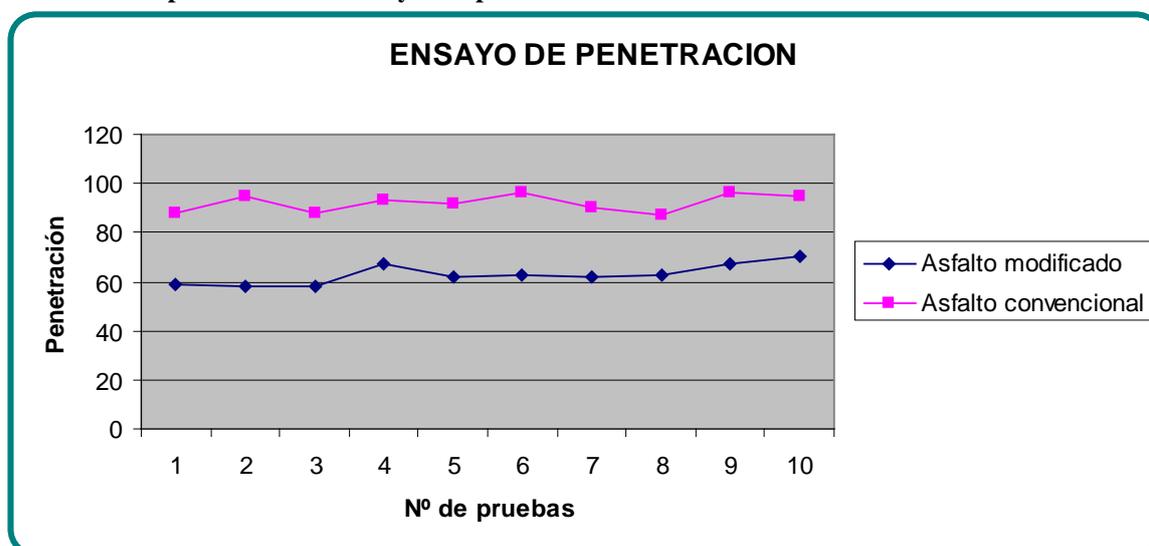
En los siguientes gráficos se podrá observar de manera más didáctica los resultados de los ensayos:

5.2.1 Ensayo de Penetración

En la tabla 5.3 se puede comprobar lo que se mencionó anteriormente, que efectivamente la adición del polímero al asfalto disminuiría la penetración del ligante asfáltico, y se pudo llegar a una penetración en el rango establecido por el proyecto: PEN 55-70, que es apropiado para la zona de ubicación de la obra.

Se le realizaron también ensayos al asfalto convencional, para corroborar que los carrotanques provenientes de la refinería de Talara, abastecían a la obra con el asfalto PEN 85-100 solicitado.

Tabla 5.3 Comparación de los ensayos de penetración

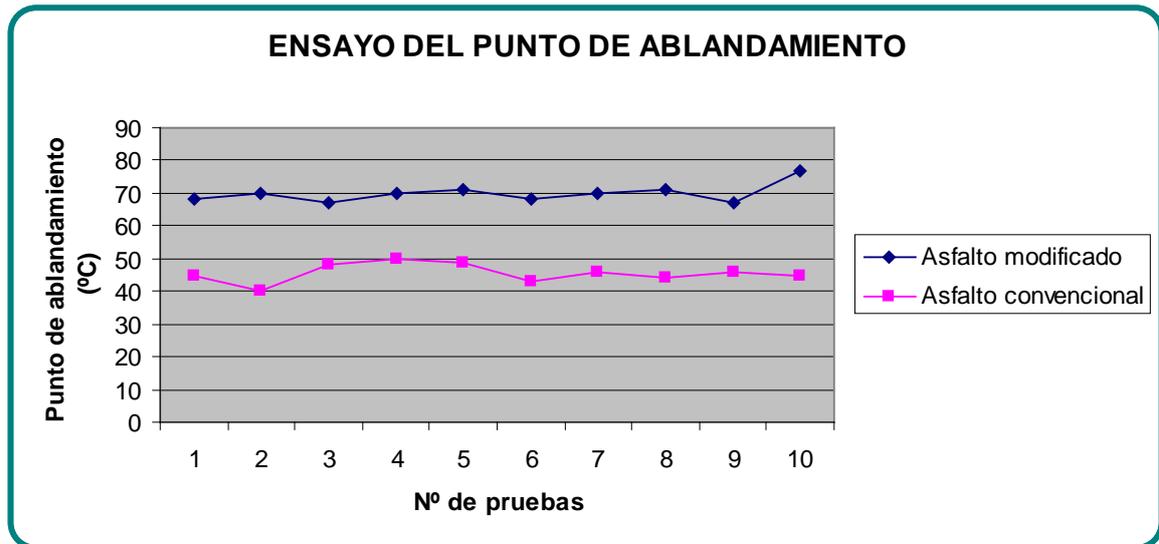


5.2.2 Ensayo de Punto de ablandamiento

En la tabla 5.4 se observa que el punto de ablandamiento ha mejorado respecto del asfalto convencional, quiere decir que el polímero está bien incorporado y no va a existir separación al someterlo a altas y bajas temperaturas, por lo tanto mantienen intactas sus propiedades.

El proyecto especificaba una temperatura mínima de 60°C, sin embargo si se observa la tabla 5.1, viendo el cuadro estadístico se observa un promedio de 69.9°C superando el mínimo especificado.

Tabla 5.4 Comparación del ensayo del punto de ablandamiento

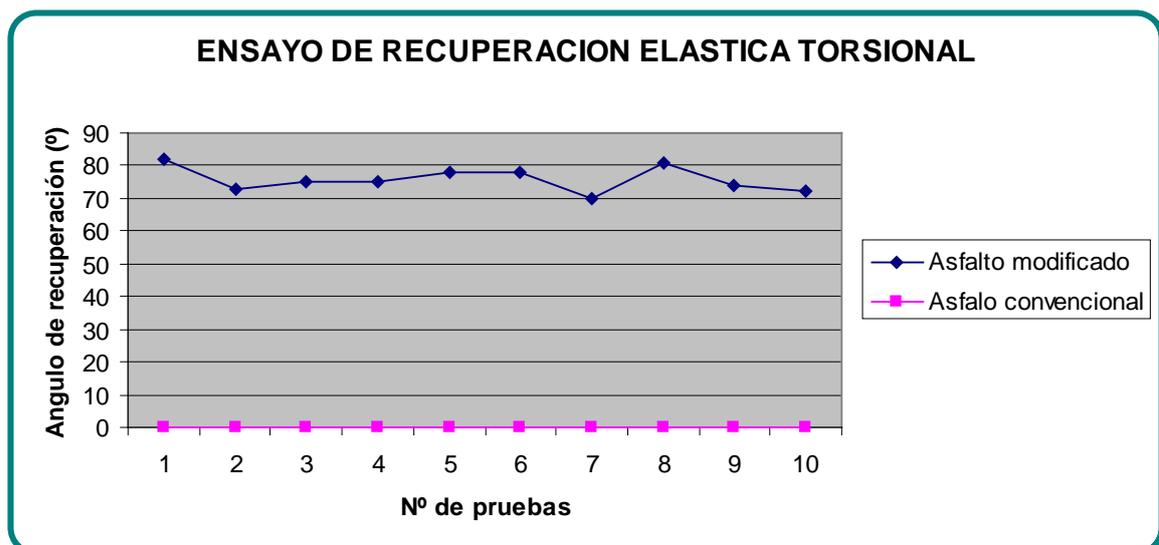


5.2.3 Ensayo de recuperación elástica torsional

En la tabla 5.5 se comprueba que el ensayo de recuperación elástica torsional no es aplicado para los asfaltos convencionales, pues carece de esta propiedad de elasticidad, siendo evidentes de los resultados obtenidos en el laboratorio.

Por el contrario el asfalto modificado posee un amplio rango de ángulo de recuperación viscoelástica del aglutinante sometido a la tensión.

Tabla 5.5 Comparación del ensayo de recuperación elástica torsional



5.3 Diseño de mezcla asfáltica usando asfalto convencional

Para el diseño de mezcla se ha realizado un diseño de tal manera que se ha hecho la variación de usar un asfalto convencional, manteniendo las proporciones de las formula de trabajo en la cantera Débora.

Para este diseño se emplearon agregados de la cantera Débora.

- Piedra chancada 3/8"	37.0%
- Arena Zarandeada	10.0%
- Arena Chancada	50.2%
- Filler (relleno mineral)	2.8%

En el anexo F se observa la granulometría realizada, y se comprueba que cumple con el huso granulométrico.

En la tabla 5.6 se observa la composición de la mezcla. Lo que se puede observar que ha variado ligeramente el contenido de asfalto en 6.4%

Tabla 5.6 Composición de la mezcla

Descripción	Valores de diseño	Especificación	Observación
Optimo contenido de asfalto	64		
Compactación, numero de golpes	75	75	Cumple
Estabilidad Marshall	1270	700mín	Cumple
Flujo	4	2.5-4.5	Cumple
%Vacíos de aire- Marshall	4.1	4%mín	Cumple
Relación Bitumen x Vacíos	79	65%-82%	Cumple
Relación Filler Bitumen	1.14	0.6 - 1.2	Cumple
Desgaste Cantabro	3.39	20%máx	Cumple
desgaste Cantabro envejecido	---	30% máx	Cumple
Resistencia retenida	---	75%mín	Cumple
Variación teórica de Bitumen	---	0.2%máx	Cumple
V.M.A. (%)	18.9	16.2 mín	Cumple

5.3.1 Ensayo Marshall

Todos los ensayos realizados por la tesista que se han detallado en la tabla 5.6, el resultado de cada uno de ellos se encuentran en el anexo F

5.3.2 Ensayo del Cántabro

El ensayo del cantabro es un ensayo de durabilidad ante agentes externos que se somete la mezcla asfáltica, en donde se evalúa el desprendimiento de la mezcla asfáltica, en este caso para el asfalto convencional no tuvo mayores porcentajes, lo cual indica que están bien adheridos todos sus componentes.

(Ver ensayo del Cantabro en el Anexo B)



Foto 5.1 Máquina de Abrasión de los Angeles

Foto 5.2 Briquetas después del ensayo

CONCLUSIONES

Existen muchas consideraciones para la fabricación y colocación de los micropavimentos modificados, sin embargo es imprescindible realizar un tramo de prueba teniendo en cuenta los agregados con que se cuenten, además de sus porcentajes presentes en la mezcla, el ligante modificado, el clima, etc, pues todos estos factores influyen para determinar la colocación de la mezcla asfáltica, ya que en nuestra experiencia en campo se ha tenido que hacer la compactación, haciendo vibrar el rodillo liso y contar con un rodillo neumático para dar el acabado final y así lograr la compactación adecuada.

El contar con agregados que tengan una granulometría discontinua otorga una buena y duradera macrotextura, mejorando la resistencia al deslizamiento.

La rapidez de habilitación del tránsito sólo bastan pocas horas, en nuestro caso se dio funcionamiento de la carretera en un rango de una a dos horas aproximadamente facilitando la circulación en la vía.

La temperatura de mezclado y compactación es superior a la de una mezcla tradicional debido a los polímeros presentes en la mezcla asfáltica.

La colocación del micropavimento, es similar a la de una mezcla convencional, la diferencia radica en la rapidez que requiere, debido al enfriamiento de la misma.

Es preferible que se utilicen agregados provenientes de la trituración, para tener mayor adherencia entre el asfalto y el agregado.

El contenido de asfalto en el diseño elaborado en la cantera Débora es de 6.3% y de la cantera Charán 5.7% .Esta diferencia se debe a la absorción y porosidad de los agregados ya que necesitan mayor cantidad de ligante uno respecto del otro.

Existe una relación directa entre la absorción y porosidad de los agregados, pues hay mayor absorción, cuanto mas poroso es el agregado, debido a que los agregados tienen mayor vacíos que deben ser rellenados por el asfalto.

El cemento asfáltico + polímero, disminuye la susceptibilidad térmica, mejora el comportamiento a la fatiga, aumenta la resistencia al envejecimiento, aumenta la adhesividad árido-ligante, permite el uso del asfalto en mezclas abiertas, microaglomerados, mezclas drenantes, etc.

En la tabla 3.2 de la composición de las mezclas Charán y Débora, se puede apreciar que a mayor estabilidad disminuye el contenido de asfalto y a menor estabilidad aumenta el contenido de asfalto. También se puede afirmar que a menor contenido de asfalto disminuye el flujo y a mayor contenido de asfalto aumenta el flujo, esto quiere decir que en todo diseño se debe contar con un óptimo contenido de asfalto con el fin de cumplir con las demás solicitaciones como son: peso unitario, volumen de vacíos, vacíos en el agregado mineral y relación asfalto/vacíos.

En el capítulo V se desarrolló una comparación del comportamiento del asfalto modificado respecto del asfalto convencional. Los resultados fueron la disminución de la penetración, aumento del punto de ablandamiento de los asfaltos modificados y además que los asfaltos convencionales carecen de la propiedad de recuperación elástica torsional. Respecto a la comparación de cantidad de ligante, el ensayo Marshall nos permitió comprobar que el porcentaje de asfalto en la mezcla modificada y sin modificar, no varía. Es decir, no hay ahorro durante la etapa de ejecución del pavimento, sin embargo, se espera un ahorro durante la etapa de operación y mantenimiento debido al mejor comportamiento y una mejor vida útil esperada.

RECOMENDACIONES

Existen limitaciones climatológicas para la extensión de este tipo de mezclas: temperaturas bajas (por debajo de los 8°C) y vientos intensos, ya que por tratarse de capas finas, la pérdida de temperatura es más rápida que en las mezclas convencionales.

Se recomienda que antes del extendido y compactación de la mezcla que debe realizarse con los rodillos, cobra vital importancia el riego de liga (o de adherencia) que debe efectuarse con emulsiones modificadas y muy cuidadosamente, por tratarse de capas finas se desplazan mas fácilmente ante esfuerzos de cizallamiento.

Por motivo que la temperatura de las mezclas baja rápidamente, una vez colocada evitar retoques y reparaciones en la carpeta asfáltica.

Los volquetes que van a trasladar la mezcla del micropavimento, deben estar cubiertos con lonas o algún material que asegure un buen aislamiento térmico de la mezcla con el medio ambiente.

Evitar el almacenamiento prolongado de la mezcla.

Es conveniente que los rodillos trabajen cerca de la esparcidora de mezcla asfáltica, pues ésta se enfría casi instantáneamente por la presencia del polímero.

Es importante tener en cuenta que antes de empezar los trabajos, realizar un tramo de prueba, para comprobar que se cumplan las especificaciones del proyecto.

Por tratarse de una experiencia nueva en nuestro país, exhorto que se haga un seguimiento a esta obra de tal manera que se evalúe la vía y se continúe con la presente la investigación, a través de la realización de posteriores tesis de grado.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Ministerio de Transportes y Comunicaciones** (2006). *Expediente Técnico Sullana - Aguas Verdes*. Lima.
2. **Agnusdei, Jorge O** (2000). *Asfaltos modificados con polímeros, Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica(LEMIT)*, (pp 1-35). Argentina.
3. **Bachetta, Gustavo Carlos** (1992). *Obtención de asfaltos modificados con incorporación de asfaltita y caucho reciclado de neumáticos*. Argentina.
4. **Chávez Roldan, Iván** (2007) *El perfeccionamiento de los cementos asfálticos (II)*. Revista Ingeniería y Construcción (Edición N° 12). Lima.
5. **Ebensperger M., Luis** (2003) *Los áridos en la construcción*. Comisión Nacional de áridos. Argentina.
6. **Gonzales Sanchez, Angel** (2005). *Asfaltos modificados (Conceptualización, aplicación, control y Pruebas)*. (pp. 1-52). Galicia.
7. **Ramírez Vizcarra, José Manuel** (2001). *Tratamientos de Fisuras en carpetas asfálticas*. Libro de ponencias del XIII Congreso Nacional de Ingeniería Civil. Puno.
8. **Miller, José** (1997). *Asfalto modificado con polímeros*. Libro de ponencias del I Congreso Nacional del Asfalto, Lima.
9. **Botasso H.G., Gonzales R.O., Rosato M., Rebollo O. y Rivera J.J** (2000). *Asfaltos modificados fijación de residuos contaminantes*. (pp 1-27). Argentina: La Plata.
10. **Salinas Ampuero, Telésforo** (2007-2008). *Informes de mes del laboratorio de Suelos de CYM*.