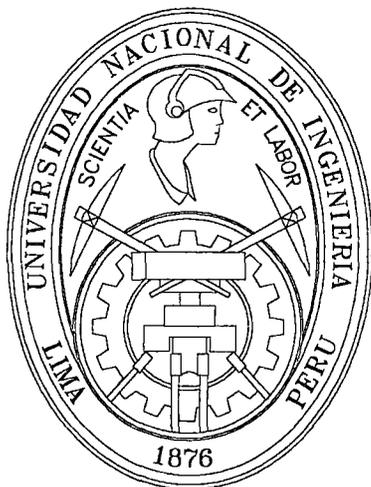


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**“EMPLEO DEL POLIMERO SBR EN LA
FABRICACION DE MEZCLAS ASFALTICAS
PARA ZONAS DE ALTURA”**

TESIS

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

ROBERT EMILIO MARTINEZ DONGO

**LIMA – PERU
2003**

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

Dedicatoria

A Dina Dongo, mi madre por todo su sacrificio y esfuerzo que me ha brindado, por haberme enseñado a valorar la honestidad, la humildad, la perseverancia y dignidad de la persona.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento especial al Ing. Néstor Huamán Guerrero, por todo el apoyo y asesoramiento durante el desarrollo de la presente tesis.

Al Ph.D Adrián Dongo Montoya, por su motivación, ejemplo de superación y gran apoyo.

A la Oficina de Apoyo Tecnológico (ex Oficina de Control de Calidad O.C.C.) de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del MTC, por haberme acogido en sus instalaciones y a cada uno del personal Profesional y Técnico.

A los Ingenieros: José Melchor Areche, Mercedes Sancho Ponce, Alex Yturry Garnica y Gonzalo Brazzini, por su apoyo incondicional y constante.

A los Srs. Técnicos Leoncio Céspedes, Boris Yucra, José Muñoz, Roy Estrella, Lutzgardo Vásquez, Antonio Brazzini, Carlos Céspedes, Carlos Peláez, Ronald Carranza y amigos del laboratorio.

ÍNDICE

RESUMEN	05
INTRODUCCIÓN	07
CAPITULO I: MARCO TEÓRICO	
1.1 Rigidez del Asfalto	10
1.2 El Asfalto como Material Ligante	14
1.2.1 Definición	14
1.2.2 Procesos de Obtención	16
1.2.3 Composición Química	17
1.2.4 Clasificación	21
1.2.5 Ensayos	25
1.2.6 Características	31
1.2.7 Almacenaje y Transporte	34
1.2.8 Usos Típicos de Asfaltos de Pavimentación	34
1.2.9 Plantas de Asfaltos en el Perú	36
1.3 Polímeros	36
1.3.1 Definición	37
1.3.2 Características Básicas de los Polímeros	41
1.3.3 Tipos de Polímeros Modificadores	45
1.3.4 Propiedades de los Polímeros	54
1.3.5 Ensayos y Caracterización de los Polímeros	57
1.3.6 Polímeros Usados en la Modificación de Asfaltos	62
1.4 Asfalto Modificado con Polímeros	64
1.4.1 Concepto	64
1.4.2 Compatibilidad Asfalto-Polímero	68
1.4.3 Preparación de Mezclas Asfálticas con Polímero	70
1.4.4 Parámetros que Influyen en el Proceso de Modificación	72
1.4.5 Cambios en las Propiedades del Asfalto	75

1.4.6	Mecanismos de Modificación	75
1.4.7	Cambios en las Mezclas Asfálticas	76

CAPITULO II: ENFOQUE DEL ESTUDIO

Proyecto: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera:
YURA – PATAHUASI – SANTA LUCIA” – AREQUIPA.
Tramo I: Km 0+000 – Km 53+336.35

2.1	Antecedentes	77
2.1.1	Problemática de los Pavimentos en Zonas de Altura del País	82
2.1.1.1	Fallas Típicas en Pavimentos de Concreto Asfáltico en Zonas de Altura	86
2.1.2	Antecedentes de la Utilización de Asfaltos Modificados con Polímeros	96
2.2	Planteamiento del Problema	97
2.3	Objetivos y Utilidad de la Investigación	99
2.4	Hipótesis	99
2.5	Metodología de la Investigación	100

CAPITULO III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Proyecto: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera:
YURA – PATAHUASI – SANTA LUCIA” – AREQUIPA.
Tramo I: Km 0+000 – Km 53+336.35

3.1	Introducción	103
3.2	El Polímero SBR	103
3.3	Asfalto Modificado con Polímeros SBR	111
3.3.1	Compatibilidad Asfalto-Polímero	113
3.3.2	Preparación de la Mezcla Asfáltica con el Polímero	115
3.3.3	Ensayos Realizados a la Mezcla Asfáltica Modificada	120
3.3.4	Cambios en las Mezclas Asfálticas	126
3.4	Caracterización de Mezcla con Asfalto Convencional	129

3.4.1 Agregados	129
3.4.2 Asfalto	129
3.4.3 Características de la Mezcla	130
3.5 Caracterización de Mezcla con Asfalto Modificado	131
3.5.1 Agregados	131
3.5.2 Asfalto Modificado	131
3.5.3 Características de la Mezcla	134

CAPITULO IV: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Evaluación de Resultados de Ensayos de las Componentes de la Mezcla Asfáltica	136
4.2 Características del Diseño con Asfalto Convencional	140
4.3 Características del Diseño con Asfalto Modificado	141
4.4 Análisis Comparativo entre Mezclas con Asfalto Convencional y con Asfalto Modificado	144

CAPITULO V: PROYECTOS DE APLICACIÓN

5.1 Obras donde se han Utilizado Mezclas Asfálticas en Caliente con Asfaltos Modificados con Polímeros	157
---	-----

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones	189
6.2 Recomendaciones	192

ANEXOS

Comparación de Costos

Panel Fotográfico

BIBLIOGRAFÍA

RESUMEN

En la última década la inversión del Estado en la construcción y rehabilitación de carreteras, ha permitido implementar la red Nacional en más de 8,000 Km., de los cuales 2,000 Km., corresponden a caminos construidos en regiones identificadas como “Zonas de Altura”. En todos los casos donde las vías han sido pavimentadas, el material utilizado en la superficie de rodadura es la mezcla asfáltica. Este material en la mayoría de los casos presenta un buen comportamiento, sin embargo se ha constatado que los pavimentos construidos en Zonas de Altura han presentado deterioros prematuros.

La presente investigación, desea dar a conocer el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros SBR en Zonas de Altura, enfocando la influencia de la temperatura, por considerarse uno de los factores más influyentes en la falla del pavimento.

El estudio propone un análisis experimental mediante la evaluación de las mezclas asfálticas sin modificar y mezclas asfálticas modificadas, lo cual nos permitirá representar el comportamiento de los pavimentos con mezclas asfálticas modificadas. Los resultados se verán representados por las mejoras de las propiedades de la mezcla asfáltica.

Por consiguiente esta investigación propone una alternativa nueva al deterioro de los pavimentos en Zonas de Altura de nuestro medio; el uso del polímero SBR proporciona grandes ventajas sobre el cemento asfáltico y por consiguiente en la mezcla, debido a que inhibe la pérdida de

Serviciabilidad por efecto de la temperatura alargando la vida útil del pavimento.

Se ha desarrollado este trabajo en 6 capítulos, de los cuales mencionaremos a cada uno. En el Capítulo I se ha hecho un desarrollo teórico del cemento asfáltico, de los polímeros y de los asfaltos modificados con polímeros; en el Capítulo II hablamos de la problemática que tienen los pavimentos en las zonas de altura, así como de sus principales fallas, del uso de los asfaltos modificados en otros países de América, vemos el problema que se nos presenta, planteamos nuestros objetivos y el modo de la investigación. En el Capítulo III vamos a presentar al polímero SBR y sus efectos de modificación sobre el cemento asfáltico utilizado; en este capítulo se harán las caracterizaciones de las mezclas asfálticas tanto con asfalto convencional y con asfalto modificado, es en este capítulo donde se lleva la parte experimental de la investigación. Capítulo IV en este se evaluarán los resultados a través de un análisis comparativo de la caracterización de las mezclas; aquí se mostrarán con resultados los cambios que se producen en las mezclas asfálticas. Capítulo V se hará referencia a experiencias del uso de asfaltos modificados en obras de pavimentación. Capítulo VI en este último capítulo que es el resultado de los análisis y experiencias del trabajo se mencionan las conclusiones y recomendaciones que puedan servir para un mejor desarrollo en el tema. ANEXOS se presentará una breve comparación económica que se tiene al usar polímeros en la modificación de asfaltos y se complementará el trabajo con paneles fotográficos.

INTRODUCCIÓN

El comportamiento del asfalto a bajas temperaturas es estudiado desde hace mucho tiempo, por la necesidad de construcción y mantenimiento de ellos en las zonas de altura por encima de los 3500 msnm. sumado al problema de bajas temperaturas, el pavimento asfáltico en estas regiones esta expuesto también a una gran variación térmica (gradiente termico) diario pasando de temperaturas negativas a positivas, además una fuerte radiación solar y saturación de las capas próximas de las aplicaciones de carga. Todos estos factores ocasionan el desgaste prematuro de las carpetas asfálticas, como fisuramiento precoz y ahuellamiento.

La problemática de las zonas de altura se intensifica principalmente por las bajas temperaturas y fuertes variaciones térmicas (gradiente térmico), además también de tener una intensa radiación solar que es perjudicial en estas zonas con altitud de 3500 metros o superiores. Estas investigaciones son importantes para países que tienen parte de su red vial en las regiones de altitud, casos típicos de Perú y Bolivia.

La solución de los problemas térmicos en las carpetas asfálticas, en climas fríos en estas regiones es encontrar un ligante asfáltico capaz de trabajar bien a temperaturas negativas y positivas, ósea un ligante asfáltico con características de susceptibilidad térmica baja, propenso al envejecimiento reducido y mantenimiento de sus propiedades elásticas a bajas temperaturas.

Los asfaltos peruanos han demostrado que pueden trabajar a una temperatura muy baja con una severa demanda de solicitaciones climáticas. Pudiéndose afirmar que el uso de asfaltos modificados por polímeros elastoméricos puede ser una alternativa de solución para ampliar la vida útil de las carpetas asfálticas en estas zonas de altura. Pues, es conocido que actúan en la disminución de la susceptibilidad térmica y del envejecimiento acelerado.

La construcción de los pavimentos en las regiones de altitud esta sujeta a condiciones muy severas, exigiendo un estudio especial. De lo contrario, la vida útil de los pavimentos se reducirá considerablemente, causando gran perjuicio en la economía del país.

En la actualidad con el avance de la tecnología, se han desarrollado diversos productos para mejorar el comportamiento del pavimento asfáltico, uno de esos productos son los polímeros. Son productos modificadores del asfalto; se adicionan al asfalto en pequeños porcentajes y modifican las características del asfalto mejorando su comportamiento visco-elástico.

En el presente trabajo se ha utilizado el polímero SBR que es del tipo elastómero, que ha sido adicionado a un Cemento asfáltico (PEN 120/150) para modificarlo, luego se han realizado los ensayos de caracterización del cemento asfáltico sin modificar y modificado haciendo un análisis comparativo.

Se ha realizado el diseño de mezcla para carpeta asfáltica, empleando el procedimiento Marshall para la caracterización de la mezcla evaluando

para ello sus parámetros y estableciendo el óptimo contenido de asfalto para la mezcla. Seguidamente se hizo la mezcla con el cemento asfáltico modificado manteniendo el óptimo contenido de asfalto ya establecido y determinando sus demás características según el procedimiento Marshall; se ha hecho un análisis comparativo entre estos resultados, obteniéndose valores que nos indican el mejoramiento de las propiedades del ligante y las ventajas que nos proporciona frente a los factores (agentes) abrasivos de la mezcla asfáltica y en especial del ligante asfáltico.

CAPITULO I: MARCO TEORICO

1.1 RIGIDEZ DEL ASFALTO

El agrietamiento del pavimento ha sido investigado en términos tanto de rigidez de mezcla y rigidez de asfalto a bajas temperaturas. La rigidez o modulo de Stiffness es la relación entre el esfuerzo y la deformación como una función del tiempo de carga y la temperatura; esta relación entre esfuerzo, deformación y tiempo es llamada también conducta reologica del asfalto o de las mezclas asfálticas.

A altas temperaturas, el incremento de la resistencia al ahuellamiento puede obtenerse por la selección apropiada de un diseño de mezclas, debido a que la rigidez del asfalto tiene una importancia secundaria. Sin embargo la rigidez en el asfalto a bajas temperaturas de servicio, es el principal responsable de los agrietamientos.

La respuesta en un sistema tridimensional de esfuerzos que ocurre en una capa de pavimento asfáltico, sujeto a cargas es bastante compleja. La caracterización es aun más difícil cuando la respuesta también depende del tiempo o de la relación de carga y temperatura. En 1954, Van Der Poel, recomendó concentrarse en un solo esfuerzo y deformación resultante, por que para muchos propósitos ello resultaba bastante adecuado, surgiendo un solo parámetro consolidado de rigidez (S), de acuerdo a la relación:

$$S(t,T) = \sigma/\epsilon$$

...(01)

Donde:

- S : Rigidez, en psi o kg/cm².
- σ : Esfuerzo axial
- ϵ : Deformación axial unitaria.
- t : Tiempo de carga.
- T : Temperatura.

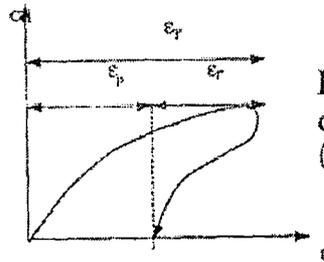


Figura 01: Explicación del concepto de rigidez (AASHTO T294 - 92)

En instantes muy cortos de carga y/o temperaturas bajas, la conducta de una mezcla asfáltica es casi elástica en el sentido clásico y la rigidez (S) es análoga al modulo de elasticidad (E). Para tiempos más largos de carga y temperaturas superiores, la rigidez simplemente es una relación entre el esfuerzo aplicado y la deformación resultante. Recíprocamente, si la rigidez que corresponde a un tiempo y una temperatura particulares y cada esfuerzo o deformación son conocidos, una estimación puede hacerse de los esfuerzos y deformaciones desarrolladas en la mezcla de asfalto.

De acuerdo con el Instituto del Asfalto, los ensayos tradicionales de medición de propiedades del asfalto como ductilidad, viscosidad y penetración, frecuentemente han sido correlacionados como un medio de control del agrietamiento transversal de pavimentos a bajas temperaturas, lo cual resulto en mediciones inapropiadas para este fin, ya que estos no son suficientes para controlar el efecto térmico. Por lo tanto la rigidez del asfalto(S) introducida por Van Der Poel, se considero como un medio simple de caracterización de la consistencia del asfalto sobre una gama amplia de temperaturas, lo que conlleva a tomar especial interés en la búsqueda o

acercamiento de la cuantificación del modulo de rigidez, para lo cual se ofrecen dos acercamientos:

- a. Métodos Indirectos: Estos métodos proporcionan una estimación de la rigidez sin considerar mediciones directas en laboratorio. Ellos usan datos rutinarios de ensayos de asfalto para estimar la rigidez con el uso de monogramas.
- b. Métodos Directos: La rigidez del cemento Asfáltico es obtenida por ensayos directos de fluencia, relajación o ensayos de esfuerzos constantes en tracción o compresión. También pueden usarse los métodos de ensayo dinámicos flexionales, en pruebas de especímenes de asfalto basados en deformaciones resilientes (sistema SUPERPAVE).

Obviamente que la evaluación más precisa de la rigidez del asfalto a bajas temperaturas se hace con métodos directos, antes que con métodos indirectos, sin embargo no se encuentran disponibles en el país, instrumentos simples capaces de medir la rigidez del asfalto. En los EE.UU. se han desarrollado instrumentos dinámicos, los cuales son capaces de medir la rigidez del asfalto hasta casi la rigidez limite, sin embargo las frecuencias altas empleadas por estos instrumentos resultaron midiendo la rigidez del asfalto muy por encima de las temperaturas de agrietamiento de los pavimentos, haciendo difícil la correlación de estas temperaturas con agrietamientos reales. La introducción del sistema SUPERPAVE ha permitido la incorporación de aparatos y métodos basados en el comportamiento de los asfaltos, efectuando mediciones mediante el uso de **reómetros** (Bending Beam Rheometer (BBR) – Direct Tensión Test (DTT)), cuyo propósito permite la medición de la rigidez del

asfalto (S) a baja temperatura, así como ejercer un mayor control sobre la variación del modulo con la temperatura.

Por consiguiente la adopción del método para la cuantificación del modulo de rigidez, estará de acuerdo con la necesidad, disponibilidad y fines prácticos que cada método ofrece; por lo tanto para la decisión del metodo a usar podra tomarse en cuenta el siguiente cuadro comparativo.

Cuadro comparativo de métodos de cuantificación de la rigidez del asfalto

MÉTODOS DIRECTOS	MÉTODOS INDIRECTOS
<ul style="list-style-type: none"> - Método basado en propiedades funcionales del asfalto (reología) - Evaluación mas precisa de la rigidez (S) de acuerdo con el modelo usado, SUPERPAVE y otros. - El uso de frecuencias altas puede causar una distorsión cuando se trate de correlacionar con temperaturas reales de agrietamiento. - En el sistema SUPERPAVE, no existen resultados concretos a mediano y largo plazo por el momento. - Requiere de equipo sofisticado, no están disponibles en el medio y son altamente caros. - Es probable que la siguiente generación de especificaciones se basen en la metodología SHRP. 	<ul style="list-style-type: none"> - Método empírico, basado en mediciones rutinarias de las propiedades del asfalto. - Evaluación aproximada de la rigidez (S), considera simplificaciones bajo suposiciones experimentales. - Las estimaciones se efectúan proponiendo frecuencias y temperaturas que se esperan en el campo. - Desde 1964, en que Heukelom y Klomp proponen el método, este se ha constituido como una de las formas mas apropiadas para estimar la rigidez. - Uso de equipos para ensayos rutinarios de propiedades del asfalto, disponibles en el medio. - Probablemente este procedimiento represente una forma de comprobación de las mediciones directas.

1.2 EL CEMENTO ASFÁLTICO COMO MATERIAL LIGANTE

El asfalto es sin duda uno de los materiales más antiguos utilizados por el hombre. Excavaciones arqueológicas revelan de su empleo en épocas anteriores a nuestra era.

En Mesopotamia, Asia, el asfalto era usado como aglutinante en trabajos de albañilería y construcción de estrados. También, los reservorios de agua de los baños sagrados eran impermeabilizados con asfalto. Pasajes bíblicos revelan de su empleo como impermeabilizante en el arca de Noé. Así mismo, los egipcios los utilizaron en trabajos de momificación.

Posteriormente, se usó en pavimentación en 1802 en Francia, en 1838 en Estados Unidos y en 1869 en Inglaterra. A partir de 1909, se inicia el uso del asfalto derivado del Petróleo, el cual por sus características de economía y pureza constituyen el día de hoy la principal fuente de abastecimiento.

Sin embargo, existen también los asfaltos naturales, que se presentan como depósitos en la superficie terrestre, como resultado de la evaporación de fracciones ligeras de petróleo afloradas a la superficie en épocas remotas; este es el caso de los asfaltos de Trinidad Bermudas (“Lagos de Trinidad”) y las denominadas asfaltitas (asfaltos impregnados en poros de rocas formando las llamadas “Rocas Asfálticas”, encontradas en EUA y en Argentina llamadas respectivamente, gilsonita y rafaelita).

1.2.1 DEFINICIÓN

Mezcla muy compleja de hidrocarbón proveniente de la destilación del petróleo, separar los compuesto presentes en él, es muy tedioso y

difícil por el alto número de isómeros que lo componen y la gran similitud que existe entre ellos.

El asfalto es considerado como un sistema “Coloidal” (fase dispersa) denominado Asfaltenos, recubierto por una capa protectora de resinas polares, denominada Micela, que se dispersa en un medio dispersante de maltenos, compuesto por mezcla de aceites y resinas.

El asfalto tiene un comportamiento reológico viscoelástico, los asfaltos de uso vial tienen un fluido a altas temperaturas, poseen el porcentaje de asfaltenos. Para poder dispersarlo bien y por tanto dichos asfaltos poseen una gran susceptibilidad a la variación de temperaturas, debido a ello cuando se utilizan en obras viales puede producirse ante los efectos externos de formaciones plásticas, etc.

Las propiedades Reológicas de los asfaltos dependen de las proporciones de cada uno de sus componentes.

El cemento asfáltico es un material aglutinante de color oscuro, constituido por una mezcla compleja de hidrocarburos no volátiles de elevado peso molecular, el cual se encuentra presente en la mayor parte de petróleo crudo.

La ASTM lo define como aquel material aglutinante de consistencia variable, de color oscuro, que se puede encontrar naturalmente y/o por refinación de petróleos.

El término Bitumen es otro nombre utilizado para designar al asfalto. Es común encontrar en literatura los términos de asfaltos y bitúmenes, en plural, confirmando la gran variedad de tipos y aplicaciones.

1.2.2 PROCESOS DE OBTENCIÓN

○ ASFALTOS NATURALES

El asfalto natural se forma cuando el crudo sube a la superficie terrestre a través de grietas. La acción del sol y del viento separa los aceites ligeros y los gases, dejando un residuo negro y plástico, que es el asfalto natural. La mayor parte de los asfaltos naturales están impregnados con un alto porcentaje de arcilla o de arena muy fina, recogidas durante el viaje del crudo hacia la superficie terrestre.

Los asfaltos naturales se originan en depresiones de la corteza terrestre constituyendo los “Lagos de Asfalto” (Trinidad, Bermudas).

○ ASFALTOS DEL PETRÓLEO

Son los más empleados y se obtienen por destilación del crudo, que puede ser por vapor o por aire. El primer sistema produce asfaltos de excelente calidad para pavimentación, al paso que el segundo resulta en productos de poca utilidad en este campo de la construcción, llamados asfaltos oxidados.

Los asfaltos de Petróleo pueden tener base asfáltica o base parafínica. Los de base asfáltica son los que poseen mejores características para su empleo en pavimentación por sus propiedades ligantes y de resistencia a la meteorización.

Los de base Parafínica se oxidan paulatinamente al exponerse al aire, dejando un producto pulverulento sin poder ligante.

El tipo de base que posee un asfalto depende exclusivamente de las características del crudo del cual proviene.

El asfalto se usa en pavimentación para unir entre sí las partículas de agregados y protegerlas de la humedad.

El crudo de petróleo es refinado por destilación, proceso en el cual las diferentes fracciones (Productos) son separadas fuera del crudo por medio de un aumento, en etapas, de la temperatura. Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados (gasóleos), se separan solamente mediante una combinación de calor y vacío, ($T=480^{\circ}\text{C}$), esta temperatura puede variar dependiendo del crudo del petróleo que se está refinando, o del grado de asfalto que se está produciendo.

1.2.3 COMPOSICIÓN QUÍMICA

Están formados por una mezcla de hidrocarburos cíclicos saturados derivados de los ciclanos de elevado número de átomos de carbono.

○ Composición Centesimal:

Carbono. 80% ----- 88%

Hidrógeno. 9% ----- 12%

Oxígeno. 0% ----- 12%

Azufre. 0% ----- 3%

Nitrógeno. 0% ----- 2%

○ **Nivel De Compuestos Químicos**

La composición centesimal no puede relacionar, al menos con cierta claridad, con las propiedades del producto, por lo que continuaron los estudios para lograr la determinación de los componentes del cemento asfáltico a nivel de compuestos químicos en lugar de elementos.

En este sentido, se ensayaron otros procesos de separación de componentes asfálticos en función de su solubilidad en cierto tipo de solventes, clasificándolos en:

✓ **ASFÁLTENOS**

Son de color negro ó pardo oscuro y amorfos que por acción del calor aumenta de volumen. Los asfáltenos le dan al asfalto su color y dureza, comunicando a los asfaltos estabilidad, cuerpo y transporte para los asfáltenos y las resinas.

Contienen la totalidad de la parafina del asfalto, comunicándole la adhesividad.

✓ **MALTENOS**

Son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas proporcionan las cualidades adhesivas (pegajosidad) en el cemento asfáltico, mientras que los aceites actúan como un medio de ductilidad y plasticidad, siendo estables.

La proporción de asfáltenos y maltenos en el asfalto puede variar debido a un sin número de factores, incluyendo altas

temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla y al espesor de la película del asfalto en las partículas de agregado.

✓ **SATURADOS**

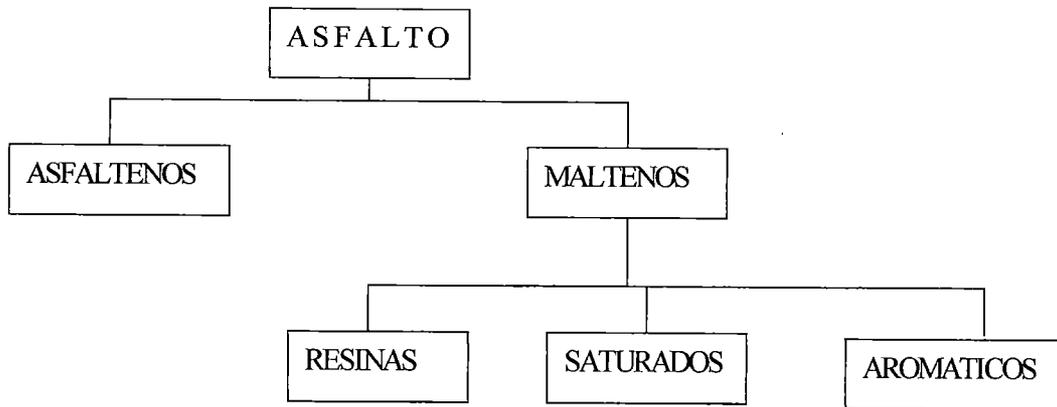
Sus componentes tienen consistencia grasa y son prácticamente incoloros. Contienen material parafínico, parcialmente con anillos naftéricos y, parcialmente con cadenas largas y rectas que pueden cristalizar. Su relación H/C varía entre 1.9 y 2.0, la distribución de los pesos moleculares de esta fracción es estrecha. Entre 300 y 2000.

✓ **AROMÁTICOS**

Sus componentes son aceites viscosos de color café oscuro. Contienen anillos aromáticos con ciclos naftéricos y asociados a cadenas alifáticas. Aproximadamente el 30% de los átomos de carbono forman parte de las estructuras aromáticas. Su relación H/C es del orden de 1.5. Contienen pequeñas cantidades de O y N y hasta 3% de azufre. Su distribución de pesos moleculares es de 300 y 200.

✓ **AROMÁTICOS POLARES**

Agrupan las resinas y los asfáltenos contienen muchos anillos aromáticos condensados por moléculas.



PROCESO DE SEPARACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO

1.2.4 CLASIFICACIÓN

Actualmente, la mayor parte del asfalto producido y empleado en el mundo es extraído del petróleo, el cual es exento de impurezas; estos asfaltos derivados del petróleo son obtenidos en unidades de destilación primaria y de vacío, teniéndose diversos tipos, y los cuales se pueden clasificar de acuerdo a su uso en:

- Asfaltos para Pavimentación

- a. **Cementos Asfálticos**

El cemento asfáltico o CAP es un líquido muy viscoso, de semisólido a sólido a temperatura ambiente, presenta comportamiento termoplástico, es decir, cuando se calienta se torna líquido y cuando se enfría retorna a su estado original.

Son preparados especialmente para su uso directo en la construcción de pavimentos asfálticos. Se clasifican de acuerdo a su consistencia,

la cual es medida por su viscosidad (dinámica o absoluta) o su penetración (PEN).

En el Perú por ejemplo, se producen: CAP PEN 10/20, 30/40, 40/50, 60/70, 85/100, 120/150, etc., donde los rangos de penetración pueden variar en una gama muy amplia y el valor de la penetración es inversamente proporcional a la viscosidad.

En otros países como Brasil, a los asfaltos de este tipo se les clasifica por su viscosidad, por ejemplo: CAP 7, 20, 55 (equivalente a PEN 60,50,20).

b. Emulsiones Asfálticas

Las emulsiones asfálticas son productos bituminosos obtenidos por la dispersión de pequeñas partículas de un betún asfáltico en agua o en una solución acuosa con un agente emulsionante; o de manera inversa, es decir de una fase acuosa en una fase asfáltica, presentando partículas electrizadas y un tiempo de ruptura variable.

Las emulsiones asfálticas son preparadas por mezcla de CAP, agua, acidulante y tensoactivos en un molino coloidal.

Las emulsiones asfálticas pueden ser clasificadas por el tipo de carga de partícula en:

- Emulsiones Asfálticas Aniónicas (EAA)
- Emulsiones Asfálticas Catiónicas (EAC)
- Emulsiones Asfálticas No-iónicas (EANI)

Y por el tipo de ruptura en:

- Ruptura Rápida
- Ruptura Media
- Ruptura Lenta

Las características de ruptura son controladas principalmente por la naturaleza y cantidad de agente emulsificante.

c. Asfaltos Diluidos: Cut – Backs

Llamados asfaltos recortados, resultan de la dilución de Cementos Asfálticos con algún destilado del petróleo.

Los diluyentes utilizados funcionan como vehículos, resultando productos menos viscosos que pueden ser aplicables a temperaturas más bajas. Los diluyentes se evaporan después de la aplicación.

Se clasifican de acuerdo al tiempo de curado, el cual es determinado por la naturaleza del diluyente:

- Asfaltos Líquidos de Curado Rápido: RC
- Asfaltos Líquidos de Curado Medio: MC
- Asfaltos Líquidos de Curado Lento: LC

Para obtener los asfaltos RC se usa normalmente como diluyente, una nafta o una gasolina pesada (aprox. 26%), para obtener los asfaltos MC se usa kerosene (aprox. 30%) y para obtener los asfaltos LC se utiliza como solvente diesel (aprox. 35%).

Cada una de estas categorías presentan diferentes rangos de viscosidad cinemática determinada en función de la cantidad de diluyente. Así los asfaltos RC están constituidos por los siguientes tipos: RC-70, RC-250, RC-500, etc.

Análogamente los MC presentan: MC-30, MC-70, MC-250, MC-800. En ambos casos, el número indica su viscosidad máxima especificada en SSF(Segundos Saybolt Furol).

d. Asfaltos Modificados

Para ampliar su resistencia, los cementos asfálticos de petróleo pueden ser modificados a través de adiciones de: asfaltos naturales como gilsonitas (EUA), asfaltita (Argentina), el asfalto de Trinidad, por la adición de finos (cal, cemento, sílica, etc.), fibras (fibra de vidrio, asbestos, fibra de celulosa y fibras poliméricas) o por azufre elemental.

Sin embargo, hoy en día los Asfaltos Modificados son obtenidos por la combinación de polímeros y asfaltos compatibles entre sí, favoreciendo la obtención de mezclas con mayor durabilidad y elasticidad principalmente.

La búsqueda de soluciones al problema del deterioro prematuro de los Pavimentos Asfálticos debido a fallas por ahuellamientos, mala adherencia, etc., es el motivo por el cual se emplean estos modificadores de Ligantes Asfálticos y resulta ser materia de este estudio.

○ **Asfaltos Para Uso Industrial**

a. Asfaltos Oxidados

Llamados también Asfaltos Soplados, son asfaltos calentados y sometidos a la acción de una corriente de aire, con el objeto de modificar sus características normales a fin de adaptarlos para aplicaciones especiales.

Un proceso de oxidación produce en los asfaltos:

- Aumento de peso específico y consistencia.
- Disminución de la Ductilidad.
- Disminución de la Susceptibilidad térmica.

Los grados de Asfalto Oxidados son producidos por soplados de aire a una carga residual, y se caracterizan por tener un alto punto de ablandamiento de (75 a 135°C) y bajo valores de PEN (10 a 40 dmm).

Los Asfaltos Oxidados son usados generalmente para fines industriales como impermeabilizantes, películas protectoras, etc.

1.2.5 ENSAYOS

o Caracterización de Asfaltos Convencionales

a. Penetración: ASTM D-5

Esta prueba sirve para determinar la consistencia de los cementos asfálticos de naturaleza sólida o semisólida. La penetración se define

como la distancia en décimas de milímetro que una aguja estándar penetra verticalmente a una muestra de un material bajo condiciones conocidas de carga, tiempo y temperatura (100 gr, 25°C, 5seg), aunque puede emplearse otras condiciones previamente definidas.

b. Ductilidad: ASTM D-113

Consiste en someter una probeta de cemento asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua. La prueba de Ductilidad determina la máxima longitud en centímetros de elongación, sin romperse, de los materiales bituminosos. La sección mínima de la muestra de asfalto es de 1 cm²; normalmente la velocidad a la que se lleva la prueba es de 5 cm/min y la temperatura es de 25°C.

El ensayo de ductilidad es un ensayo de identificación más que un ensayo cualitativo. Los asfaltos obtenidos de crudo de petróleo de origen nafténico, muestran en general gran ductilidad en comparación con los asfaltos obtenidos de crudos parafínicos.

c. Viscosidad Cinemática: ASTM D – 2170

Es definida como la relación entre la viscosidad absoluta y la masa específica del fluido a la misma temperatura y presión.

Este ensayo se emplea para determinar la viscosidad de los asfaltos diluidos a 60°C y de los cementos asfálticos a 135°C, en un rango de viscosidad de 30 a 6000 cSt, y se utiliza para graduar a los asfaltos.

El método consiste en medir el tiempo de flujo del material asfáltico, a través de un tubo capilar calibrado, a una temperatura determinada. La viscosidad cinemática se obtiene al multiplicar el tiempo de flujo en segundos por la constante de flujo del capilar.

d. Viscosidad Absoluta: ASTM D-2171

Esta prueba es efectuada a semejanza de la viscosidad cinemática midiendo el tiempo de flujo en segundos, de determinado volumen de muestra a temperatura de 60°C utilizando un vacío constante de 300 mmHg durante toda la prueba.

Ductilidad, Viscosidad y Penetración:

Penetración, Viscosidad y Ductilidad son los métodos convencionales para caracterizar la consistencia y para especificar Cementos Asfálticos. Dichos tests han sido usados para medir el efecto de la temperatura sobre el comportamiento del asfalto. Sin embargo, no es suficiente estos modos de evaluación para diagnosticar el comportamiento justo del asfalto.

{PRIVATE} VISCOSIDAD <O:P</O:P	PENETRACIÓN<O:P</O:P	DUCTILIDAD<O:P</O:P
Es fundamental para medir el flujo, pero solamente provee información a altas temperaturas pero no a medianas y bajas temperatura	Describe solamente la consistencia a una temperatura intermedia de 25°C	Describe el nivel “resistencia a la tracción” o susceptibilidad térmica a una temperatura intermedia de 25°C antes y después del test de calentamiento.

e. Prueba De La Mancha (Oliensis): AASTHO T – 102

Llamada también prueba de OLIENSIS, determina la existencia de un alto nivel de asfáltenos que pueden estar presentes en el cemento asfáltico, al evaluar su solubilidad en un solvente específico como xileno, nafta, n-heptano, y en algunos casos en mezclas entre estos solventes, como por ejemplo: nafta-xileno (10% xileno).

La solubilidad del cemento asfáltico, estará indicada si no precipitan los asfáltenos y forman una mancha oscura en un papel de filtro, luego de haberlos disuelto en cualquiera de los solventes o mezclas mencionadas.

f. Punto De Inflamación: ASTM D – 92

Mide la temperatura más baja a la cual un material asfáltico produce vapor suficiente para formar una mezcla que se enciende o se inflama en presencia de una pequeña llama. Muestra además la temperatura a la cual un material asfáltico puede calentarse (calor indirecto) sin peligro de inflamarse.

g. Punto De Ablandamiento: ASTM D-36

En general los asfaltos no tienen una temperatura de fusión fija y definida, por lo que cuando se calientan van pasando gradual e imperceptiblemente desde una consistencia quebradiza o muy pastosa a otra más blanda y fluida.

Se denomina punto de ablandamiento, a la temperatura en grados Celsius medida en el líquido del baño, en el instante en que se produce el contacto entre el asfalto y la placa de referencia. El conocimiento del punto de ablandamiento tiene utilidad en la comprobación de la uniformidad de las partidas y fuentes de suministro, y permite determinar la susceptibilidad térmica de los asfaltos.

h. Oxidación En Película Fina: ASTM D – 1754

Es un ensayo que mide la durabilidad del material, o sea su capacidad de mantener sus propiedades coherentes y cementantes durante la vida del pavimento.

Las pruebas de pérdida de masa, ductilidad y penetración que se hacen al cemento asfáltico antes y después de la oxidación en película fina, son consideradas como una medida de la resistencia del material a los cambios bajo las condiciones en las que se hace la prueba.

Una muestra de asfalto de aproximadamente 50 gramos es colocada en una placa que rota entre 5 a 6 rpm, por un período de 5 horas dentro de un horno ventilado y mantenido a 163°C.

i. Punto De Rotura Fraass: IP 80/87

Es una de las pocas pruebas que pueden ser utilizadas para describir el comportamiento de los asfaltos a muy bajas temperaturas (-38°C).

El punto de Ruptura FRAASS es la temperatura a la cual el asfalto

llega a tener una Elasticidad crítica y se raja. La prueba consiste en flexionar una placa de acero de 41 mm de largo por 20 mm de ancho cubierta con 0.5 mm de Asfalto. La temperatura de la placa se reduce a una razón de 1°C por minuto hasta que el asfalto se raje.

j. Revestimiento Y Desprendimiento: ASTM D – 3625

Con la finalidad de medir el grado de adherencia del asfalto en los agregados, esta prueba describe procedimientos de recubrimiento e inmersión estática para determinar la retención del asfalto en presencia del agua hirviendo.

k. Cromatografía por Absorción: ASTM D – 4124

La separación de los asfáltenos por n-heptano es seguida por la absorción de los maltenos en alúmina, y la subsecuente desorción con solventes de polaridad creciente, separando en saturados, naftenos aromáticos y polar aromáticos.

l. Índice de Penetración: RLB1 – 1964

Los asfaltos que se utilizan en pavimentación tienen índices de penetración que varían de -1 a +1, de tal forma que un valor de cero significa una susceptibilidad adecuada, valores mayores que uno significa que el asfalto está oxidado (producto de un sobrecalentamiento) y altos valores negativos son indicativos de grandes cambios de consistencia con la temperatura. Sin embargo,

éste rango es sólo aplicable para los llamados asfaltos del tipo S según Heukelom, es decir, aquellos asfaltos cuyo cambio de consistencia con la temperatura, que es medida por la variación de la penetración con la temperatura o la viscosidad con la temperatura, varía de manera lineal en un amplio rango de ésta, y no es aplicable para los asfaltos oxidados o industriales, los asfaltos que contengan parafinas por encima de 2% y los asfaltos modificados, ya que en todos los casos para estos asfaltos los valores de índice de penetración son mayores que cero. Específicamente en el caso de los asfaltos modificados con polímeros elastómeros conforme se incrementa el porcentaje de polímero en la mezcla el índice de penetración se hace cada vez mas positivo y mayor que uno en muchos casos, lo cual si indicaría en éstos asfaltos una mejora de la susceptibilidad térmica a diferencia de un asfalto convencional o asfalto tipo S.

m. Solubilidad

La solubilidad es una medida de la pureza del asfalto. Los maltenos, los constituyentes cementantes (resinas) y los asfáltenos, son solubles en disulfuro de carbono tricloroetileno, tetracloruro de carbono y otros solventes orgánicos de bajo punto de ebullición. La materia inerte (no cementante) como sales, carbón libre o impurezas orgánicas son insolubles en estos solventes. La solubilidad se determina disolviendo el asfalto en el solvente y separando las porciones solubles e insolubles mediante filtrado en un gooch con

asbesto. Se cuantifica la cantidad de material que es retenido en el filtro expresándolo como un porcentaje en peso de la muestra.

1.2.6 CARACTERÍSTICAS

o Comportamiento del Ligante Asfáltico

El ligante asfáltico viene a ser el Asfalto propiamente dicho, por lo que los patrones de comportamiento o los requisitos de desempeño inherentes a su composición físico-química determinarán su comportamiento o performance. Su característica más importante es su SUSCEPTIBILIDAD a la temperatura.

- El comportamiento del Ligante depende de la Temperatura y tiempo de Carga.
- Una LENTA razón de Carga puede ser simulada por una ALTA Temperatura y Viceversa

Susceptibilidad Térmica (Pto. Ablandamiento – Índice de Penetración)

El punto de ablandamiento y el Índice de Penetración son los parámetros que mejor indican la susceptibilidad térmica de un ligante asfáltico:

o Alto Pto. De Ablandamiento:

Indica Alta Resistencia a la Deformación Permanente. “Solamente La Posibilidad de Elevar La Resistencia al Rutting es usando Ligantes con Alto Pto. de Ablandamiento: Esto significa mejor

comportamiento a Alta Temperatura sin Pérdida de propiedades a Bajas Temperaturas”.

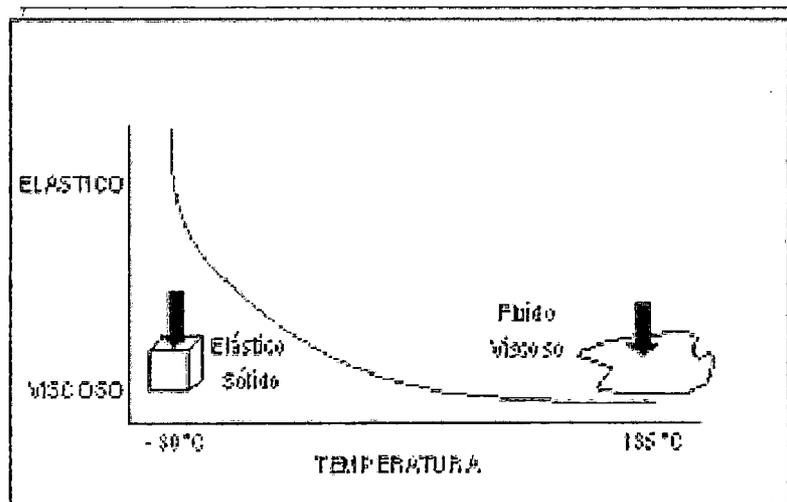
○ **Valores Positivos de IP** (Indice de Penetración):

Ensayos muestran que se tiene que usar ligantes con baja susceptibilidad térmica para incrementar la resistencia al rutting

Comportamiento Visco-Elástico

Es un material VISCO-ELÁSTICO porque simultáneamente despliega ambas características:

- A altas temperaturas actúa como un fluido Viscoso.
- A bajas temperaturas se comporta como un Sólido- Elástico.



Como propiedades físicas, se puede señalar, que el cemento asfáltico es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero, es un material plástico que da flexibilidad controlable a las

mezclas de áridos, con las que se combina, es resistente a los álcalis, ácidos y sales.

Actualmente se puede establecer que prácticamente todo el cemento asfáltico producido y utilizado en trabajos de vialidad, son provenientes de la destilación de los crudos de petróleo.

Generalmente los cementos asfálticos son viscoelásticos, siendo sus propiedades de flujo complejas. Su comportamiento depende de la temperatura y del tiempo de aplicación de carga.

A temperaturas altas y tiempos grandes de aplicación de cargas se comportan como fluidos, mientras que a bajas temperaturas y cortos tiempos de aplicación de cargas se comportan como sólidos elásticos.

En condiciones intermedias, que son las que prevalecen durante el periodo de servicio, su comportamiento es complejo.

La durabilidad de un ligante asfáltico, a su capacidad de mantener sus propiedades cohesivas y cementantes, durante la vida útil del pavimento.

Durante la fabricación de las mezclas asfálticas, proceso de corta duración pero crítico, en razón de la elevada temperatura y al pequeño espesor de la película de asfalto que recubren a los agregados, el asfalto sufre un proceso de alteración irreversible, como consecuencia de la evaporación de fracciones volátiles y absorción de las componentes por parte de los agregados. Durante el período de servicio, la formación de estructuras y polimerización, tiene lugar con el correr del tiempo.

1.2.7 ALMACENAJE Y TRANSPORTE

Después de un control riguroso llevado a cabo para asegurar la Calidad de los Productos, los diferentes asfaltos son almacenados en tanques calorífugados y mantenidos a temperaturas de entrega (alrededor de 120°C), o a temperaturas suficientemente elevadas que permitan su pasaje dentro de las bombas. El recalentamiento es por serpentines, dentro de los cuales circula vapor bajo presión o aceite.

El transporte en grandes volúmenes se efectúa en camiones cisterna. En el caso de los Cementos Asfálticos, tienen en su interior serpentines de una longitud suficiente, para calentar el asfalto mediante la circulación de vapor, agua o aceite. Sin embargo deberá controlarse la temperatura durante el transporte, la misma que no deberá ser mayor que la temperatura de aplicación, determinada en laboratorio, según carta de Viscosidad – Temperatura, de manera que no se produzca el envejecimiento del asfalto por sobrecalentamiento antes de ser aplicado.

Similares cuidados se deberán observar cuando es almacenado en obra, o sea evitar el sobrecalentamiento.

En el caso de los asfaltos líquidos, pueden transportarse y almacenarse a temperatura ambiente, teniendo cuidado con la pérdida de Solvente por evaporación, así como la contaminación por agua o inertes.

1.2.8 USOS TÍPICOS DE ASFALTOS PARA PAVIMENTACIÓN

De manera general, entre los usos recomendados para los Asfaltos de Pavimentación se tienen:

- ✓ Imprimación
- ✓ Pintura de Ligazón
- ✓ Tratamientos Superficiales
- ✓ Camada Bituminosa
- ✓ Pre-mezcla en frío
- ✓ Pre-mezcla en caliente
- ✓ Arena-Asfalto en frío
- ✓ Arena-Asfalto en caliente
- ✓ Concreto Asfáltico
- ✓ Mezcla en carretera o pista
- ✓ Suelo-Bitumen
- ✓ Lodo Asfáltico

Los Cementos Asfálticos de la Refinería Conchan – PETROPERU, se emplean en la construcción de carreteras, caminos, aeropuertos, impermeabilizaciones y revestimientos y son de fácil aplicación en caliente.

Para aplicaciones en frío, los Cementos Asfálticos se usan para formular los Asfaltos Líquidos tipo RC, MC y Emulsiones Asfálticas.

Los Asfaltos Líquidos de Curado Rápido (RC) y Curado Medio (MC) se emplean para tratamientos superficiales, imprimación, revestimientos e impermeabilización. Su aplicación es en frío, pudiendo calentarse hasta una máxima temperatura de 70°C según requerimiento del uso.

1.2.9 PLANTAS DE ASFALTO EN EL PERÚ

Se mencionaran algunas plantas importantes que trabajan en nuestro país.

El Ministerio De Transporte y Comunicaciones (MTC) cuenta a nivel nacional con dieciocho (18) plantas de Asfalto móviles, las cuales algunas de ellas se encuentran ubicadas en:

Cajamarca, Piura, Chiclayo, Arequipa, Puno, Huancayo, Cuzco, Tacna, Tumbes, Pucallpa, Ayacucho, Ancash, Trujillo, Cajamarquilla (Lima), Tarapoto, y Iquitos.

En Lima se pueden localizar cinco (5) plantas de Asfalto pertenecientes a empresas particulares, las cuales a continuación se mencionan:

- Ases Del Perú (Santa Clara – Ate).
- C.A.H S.A (La Gloria – Ate).
- Bitumen S.A (La Gloria – Ate).
- Arenas y Agregados (La Gloria – Ate).
- T y T (La Gloria – Ate).

1.3 POLÍMEROS

¿ Qué son los polímeros?.

La materia esta formada por moléculas que pueden ser de tamaño normal o moléculas gigantes llamadas polímeros.

Los polímeros se producen por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas denominadas monómeros que forman enormes

cadena de las formas más diversas. Algunas parecen fideos, otras tienen ramificaciones. algunas más se asemejan a las escaleras de mano y otras son como redes tridimensionales.

Existen polímeros naturales de gran significación comercial como el algodón, formado por fibras de celulosas. La celulosa se encuentra en la madera y en los tallos de muchas plantas, y se emplean para hacer telas y papel. La seda es otro polímero natural muy apreciado y es una poliamida semejante al nylon. La lana, proteína del pelo de las ovejas, es otro ejemplo. El hule de los árboles de hevea y de los arbustos de Guayule, son también polímeros naturales importantes.

Sin embargo, la mayor parte de los polímeros que usamos en nuestra vida diaria son materiales sintéticos con propiedades y aplicaciones variadas.

Lo que distingue a los polímeros de los materiales constituidos por moléculas de tamaño normal son sus propiedades mecánicas. En general, los polímeros tienen una excelente resistencia mecánica debido a que las grandes cadenas poliméricas se atraen. Las fuerzas de atracción intermoleculares dependen de la composición química del polímero y pueden ser de varias clases.

Concepto y Clasificación.

Un polímero (del griego *poly*, muchos; *meros*, parte, segmento) es una sustancia cuyas moléculas son, por lo menos aproximadamente, múltiplos de unidades de peso molecular bajo. La unidad de bajo peso molecular es el monómero. Si el polímero es rigurosamente uniforme en peso molecular y estructura molecular, su grado de polimerización es

indicado por un numeral griego, según el número de unidades de monómero que contiene; así, hablamos de dímeros, trímeros, tetrámero, pentámero y sucesivos. El término polímero designa una combinación de un número no especificado de unidades.

De este modo, el trióximetileno, es el trímero del formaldehído, por ejemplo.

Si el número de unidades es muy grande, se usa también la expresión gran polímero. Un polímero no tiene la necesidad de constar de moléculas individuales todas del mismo peso molecular, y no es necesario que tengan todas la misma composición química y la misma estructura molecular. Hay polímeros naturales como ciertas proteínas globulares y polícarbohidratos, cuyas moléculas individuales tienen todas el mismo peso molecular y la misma estructura molecular; pero la gran mayoría de los polímeros sintéticos y naturales importantes son mezclas de componentes poliméricos homólogos.

La pequeña variabilidad en la composición química y en la estructura molecular es el resultado de la presencia de grupos finales, ramas ocasionales, variaciones en la orientación de unidades monómeras y la irregularidad en el orden en el que se suceden los diferentes tipos de esas unidades en los copolímeros. Estas variedades en general no suelen afectar a las propiedades del producto final, sin embargo, se ha descubierto que en ciertos casos hubo variaciones en copolímeros y ciertos polímeros cristalinos.

Homopolímeros y Copolímeros.

Los materiales como el polietileno, el PVC, el polipropileno, y otros que contienen una sola unidad estructural, se llaman homopolímeros. Los homopolímeros, a demás, contienen cantidades menores de irregularidades en los extremos de la cadena o en ramificaciones.

Por otro lado los copolímeros contienen varias unidades estructurales, como es el caso de algunos muy importantes en los que participa el estireno.

Estas combinaciones de monómeros se realizan para modificar las propiedades de los polímeros y lograr nuevas aplicaciones. Lo que se busca es que cada monómero imparta una de sus propiedades al material final; así, por ejemplo, en el ABS, el acrilonitrilo aporta su resistencia química, el butadieno su flexibilidad y el estireno imparte al material la rigidez que requiera la aplicación particular.

Evidentemente al variar las proporciones de los monómeros, las propiedades de los copolímeros van variando también, de manera que el proceso de copolimerización permite hasta cierto punto fabricar polímeros a la medida.

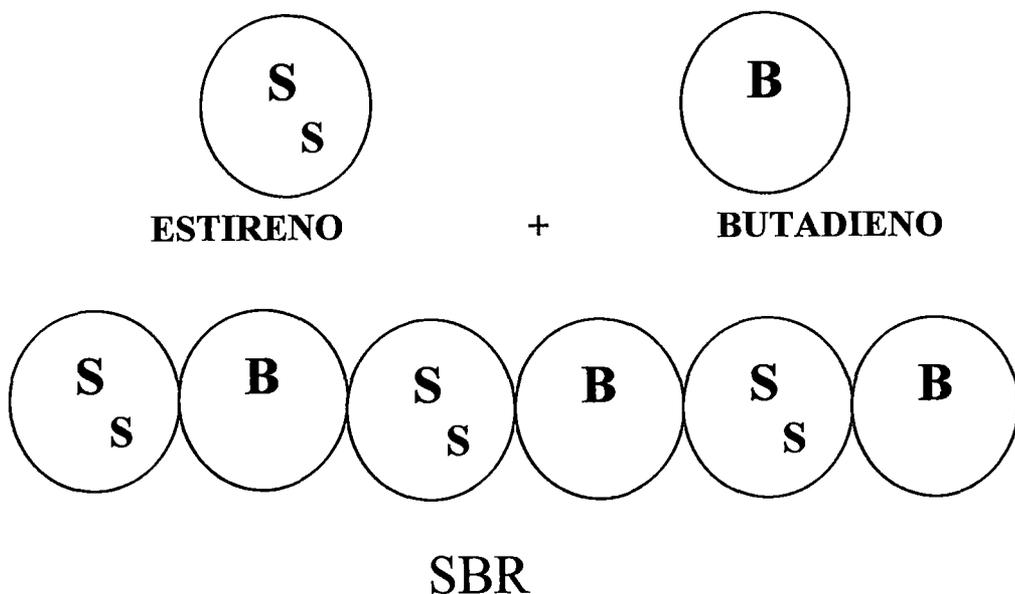
No solo cambian las propiedades al variar las proporciones de los monómeros, sino también al variar su posición dentro de las cadenas. Así, existen los siguientes tipos de copolímeros.

Las mezclas físicas de polímeros, que no llevan uniones permanentes entre ellos, también constituyen a la enorme versatilidad de los materiales poliméricos. Son el equivalente a las *aleaciones metálicas*.

En ocasiones se mezclan para mejorar alguna propiedad, aunque generalmente a expensas de otra. Por ejemplo, el óxido de polifenilo tiene excelente resistencia térmica pero es muy difícil procesarlo. El poliestireno tiene justamente las propiedades contrarias, de manera que al mezclarlos se gana en facilidad de procedimiento, aunque resulte un material que no resistirá temperaturas muy altas.. Sin embargo en este caso hay un efecto sinérgico, en el sentido en que la resistencia mecánica es mejor en algunos aspectos que a la de cualquiera de los dos polímeros. Esto no es frecuente, porque puede ocurrir únicamente cuando existe perfecta compatibilidad ente los dos polímeros y por regla general no la hay, así que en la mayoría de los casos debe agregarse un tercer ingrediente para compatibilizar la mezcla. Lo que se emplea casi siempre es un copolímero injertado, o uno de bloque que contenga unidades estructurales de los dos polímeros.

Otras veces se mezcla simplemente para reducir el costo de material.

En otros casos, pequeñas cantidades de un polímero de alta calidad puede mejorar la del otro, al grado de permitir una nueva aplicación.



1.3.2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS POLÍMEROS

- **Estructura**

Los polímeros presentan dos características básicas: estructura química y distribución del peso molecular. Estas dos características determinan todas las propiedades de los polímeros. De modo directo, ellas determinan fuerzas cohesivas, densidad de empaquetamiento (cristalinidad), movilidad molecular (transiciones de fase). De modo indirecto ellas controlan la morfología y fenómenos de relajación. La estructura química comprende:

- La naturaleza de las unidades de repetición.
- La naturaleza de los grupos terminales.
- La composición de las posibles ramificaciones y redes entrelazadas.
- La naturaleza de los defectos en la secuencia estructural.

La molécula del polímero consiste de un esqueleto que puede ser lineal, ramificado o reticulado con grupos de átomos periféricos. Cuando el esqueleto del polímero es lineal, se tienen los polímeros de cadena lineal, que se dividen en dos clases: polímeros de homocadena que contienen átomos de carbono en la cadena principal y son obtenidos por polimerización de adición o reacción en cadena, y los polímeros de heterocadena que pueden contener otros átomos como parte de la cadena, son obtenidos por polimerización de condensación o reacción por etapas.

Los copolímeros pueden ser distinguidos en injertados, alternados, en bloque, etc., en función de la posición de cada monómero en la cadena del polímero.

Los polímeros obtenidos por polimerización o por condensación de monómeros funcionales deben ser lineales, más la polimerización por adición puede generar ramificaciones cortas y largas, generando los polímeros ramificados. Estas ramificaciones afectan las propiedades mecánicas de los polímeros.

- **Peso Molecular**

El alto peso molecular de los polímeros es responsable de muchas de las propiedades que los hacen valiosos como una clase de materiales. Los polímeros están constituidos por cadenas de diferentes tamaños, lo que da lugar a una distribución en los tamaños de cadena, y por lo tanto, de los pesos moleculares.

Las propiedades de los polímeros son afectadas por el peso molecular medio y también por la forma y extensión de la distribución del peso molecular. Por ejemplo, la resistencia a la tracción y al impacto es gobernada por las moléculas pequeñas.

Por otra parte, la viscosidad es función del peso molecular medio. El peso molecular medio puede ser determinado por osmometría de presión de vapor y la distribución del peso molecular puede ser determinada por cromatografía por permeación en gel, entre otras técnicas.

- **Enlaces**

Generalmente, las grandes moléculas de los polímeros tienen enlaces covalentes, mientras que las moléculas o segmentos de las mismas macromoléculas se atraen entre sí por fuerzas intermoleculares, llamadas también secundarias (de Van Der Waals, puentes Hidrógeno, etc).

Los enlaces covalentes se caracterizan por altas energías, de 35 a 150 kcal/mol, por distancias interatómicas cortas, de 0.11 a 0.16 nm, y por ángulos relativamente constantes entre enlaces sucesivos.

- **Transiciones De Fase**

Moléculas simples pueden presentarse en tres estados: gaseoso, líquido y sólido. Los cambios de fases son transiciones de primer orden asociadas al equilibrio termodinámico y corresponden a variaciones de entalpía y volumen.

En el caso de los polímeros la situación es más compleja. Los polímeros no se pueden evaporar, pues se descomponen antes de la ebullición. En el estado sólido, los polímeros son en general parcial o bastante amorfos, solo algunos polímeros son puramente cristalinos. En el estado líquido los polímeros son muy viscosos.

Para muchos polímeros hay una sola temperatura a la cual comienza el movimiento de los segmentos, se denomina la temperatura de transición vítrea, T_g , conocida como transición de segundo orden. Por debajo de esta temperatura, el volumen libre es semejante para todos los polímeros.

De modo semejante, para aquellos polímeros que cristalizan en cierto grado, hay una sola temperatura de fusión, T_m , por encima de esta temperatura el polímero puede ser líquido, viscoelástico, o gomoso de acuerdo a su peso molecular.

Sin embargo, tanto en las fases cristalinas como en las amorfas pueden ocurrir rearrreglos adicionales o procesos de relajamiento. Generalmente estos no originan cambios obvios en las propiedades.

- **Parámetros de Solubilidad**

La primera etapa del proceso de solubilización de un material polimérico por un buen solvente es el hinchamiento.

De acuerdo con el concepto de Hildebrand, el polímero se disuelve si los valores δ (parámetro de solubilidad) del polímero y el solvente son semejantes.

La disolución de un polímero en un líquido de bajo peso molecular hace que la hélice desordenada se expanda y ocupe un volumen mayor del que ocuparía cuando no está en solvente y en el estado amorfo. Si polímero está compuesto de cadenas individuales, puede haber flujo viscoso y la viscosidad aumentará a medida que el polímero se expanda. Si el polímero tiene una red entrelazada, no se obtendrá solución, pero las partes individuales de las cadenas del polímero, por ejemplo segmentos del polímero, pueden solvatare para dar un gel hinchado.

1.3.3 TIPOS DE POLÍMEROS MODIFICADORES

Un Polímero es un compuesto que consiste en moléculas de cadena larga, cada molécula está hecha en unidades repetitivas que se conectan entre sí (puede haber miles o millones de unidades en una sola molécula de polímero). Los polímeros se dividen en:

- **Los Termoplásticos:** Son materiales sólidos a temperatura ambiente, pero se convierten en líquidos viscosos a temperaturas altas. Pueden sujetarse a ciclos de calentamiento y enfriamiento sin que se degraden significativamente. (Acetales, Acrílicos, Fluoropolímeros, Celulósicos, Poliésteres, Poliamidas, Polietileno, Polipropileno, Cloruro de Polivinilo (PVC))
- **Los Termofijos:** No toleran ciclos repetidos e calentamiento y enfriamiento. A temperaturas altas producen reacciones químicas que endurecen el material y lo convierten en un sólido infusible. Al recalentarse se degrada por pirólisis en lugar de ablandarse. (Aminoresinas, Epóxicos, Poliuretanos, Silicones, Poliésteres)
- **Los Elastómeros:** Son los hules. Exhiben una extrema extensibilidad elástica, cuando se sujetan a esfuerzos mecánicos relativamente bajos. Algunos pueden alargarse hasta 10 veces su longitud y luego recuperan completamente su forma original. (Polibutadieno, Isopreno, Hule Butílico, Poliuretano, Silicones, Hule Cloropreno, etc)

Una clase nueva de elastómeros son los llamados “**Elastómeros Termoplásticos**”, que es elástico en su comportamiento mecánico y no tan

extensible. (**Estireno Butadieno (SBR), Estireno Butadieno Estireno (SBS)**)).

Típicamente se usan dos tipos de Polímeros en la Modificación de Cementos Asfálticos:

Elastómeros y Plastómeros. La diferencia entre ambos es la exhibición de su comportamiento elástico o plástico en temperaturas climáticas de servicio. Cada polímero tiene sus propias propiedades y procesos de mezclas. Un proceso controlado en planta cerrada es importante para obtener la mezcla apropiada de mezcla con el cemento asfáltico.

Los ELASTÓMEROS, deformarán y retornarán a sus dimensiones originales cuando la “carga” es retirada. Estos polímeros son los modificadores más populares para modificar asfaltos. Los más conocidos son:

- SBR (styrene-butadiene rubber)
- SBS (styrene-butadiene-styrene)

Los PLASTÓMEROS, deformaran pero no retornaran a sus dimensiones originales cuando cese la carga.

No todos los polímeros pueden ser utilizados para modificar Cementos asfálticos, pues no todos se comportan igual. Algunos polímeros tienen adecuadas propiedades para altas temperaturas, otros en cambio tienen adecuadas propiedades para bajas temperaturas. Pero existen los polímeros premiun que exhiben adecuadas propiedades para ambas condiciones: altas y bajas temperaturas.

En el mercado de los polímeros modificadores de cementos asfálticos tenemos dos grupos:

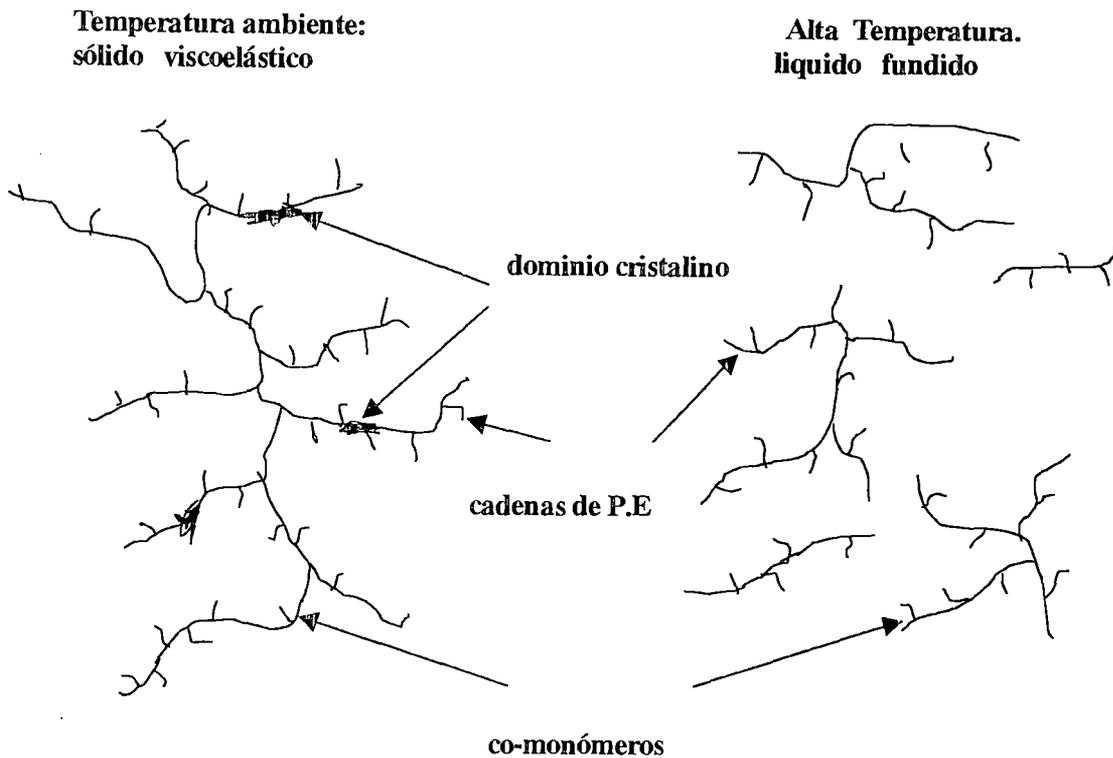
- Polímeros Plastómeros
- Polímeros Elastómeros

Sin embargo, algunos autores consideran un tercer grupo al que pertenecen los cauchos recuperados de neumáticos, y que también se describirán.

- **Polímeros Plastómeros**

Poliétileno, polipropileno, policloruro de vinilo (PVC), copolímeros del etileno tales como el EVA, copolímero del etileno y metil acrilato (EMA) y copolímero del etileno y acrilato de butilo (EBA), son usados en aplicaciones para pavimentación.

Los copolímeros del etileno son macromoléculas ramificadas, obtenidas por polimerización vía radicales libres a alta presión del etileno con un comonomero. La Fig. muestra la termoreversibilidad de los copolímeros de etileno que son descritos como semi cristalinos. Los bloques del polietileno cocrystalizan y forman áreas que actúan como nudos para uniones cruzadas y llevan a la vulcanización.



Esquema de Termoreversibilidad de los Copolímeros del Etileno

a) EVA

Es un copolímero de etileno y acetato de vinilo, cuya composición puede variar desde un mínimo de acetato hasta cerca de 50%. De acuerdo con esta proporción, las propiedades varían desde un termoplástico muy semejante al polietileno de baja densidad hasta un elastómero. Los segmentos de etileno son semicristalinos, mientras que los que contienen grupos de acetato constituyen la fase amorfa. En estos copolímeros, la reducción de acetato trae como consecuencia del módulo de rigidez, de las temperaturas de ablandamiento y de fusión, y la disminución de la temperatura de fragilidad.

El EVA se solubiliza en fracciones saturadas debido a su naturaleza alifática, en virtud de la existencia de secuencias etilénicas de elevado peso molecular, además de un costo razonable.

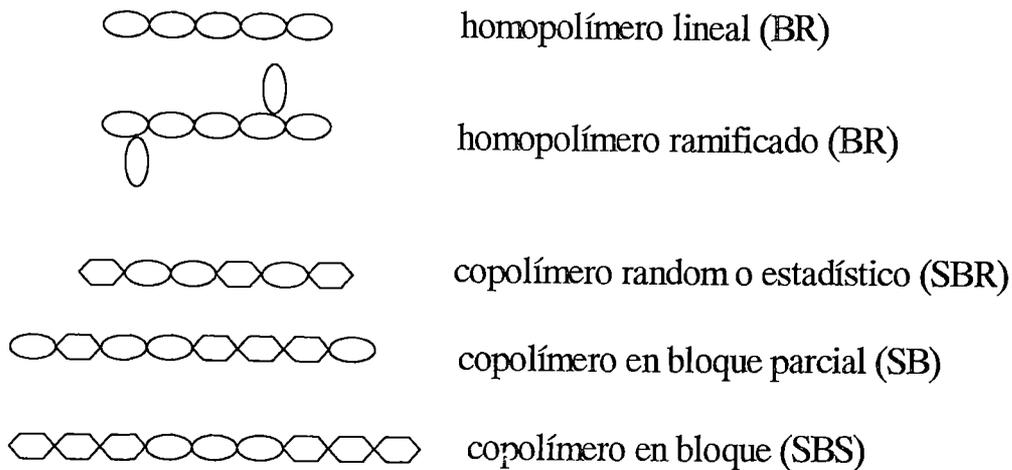
b) LPE

El polietileno lineal, así como el EVA, fluye irreversiblemente cuando deja de ser sometido a una tensión cizallante. El LPE presenta una conformación plana en zig-zag, regularidades de cadena que propician alta cristalinidad. En la práctica, mezclas de polietileno y polipropileno isotáctico con diversos tipos de asfalto tienden rápidamente a la separación de fases, como consecuencia da lugar al deterioro de las propiedades.

- Polímeros Elastómeros

La modificación de los cementos asfálticos con elastómeros dan lugar a ligantes conocidos como elastoméricos. En general consisten de una mezcla física, mas pueden también ocurrir encadenamiento cruzados. Varios tipos de homopolímeros y copolímeros pueden ser usados. Los más comunes son copolímeros SBR, copolímeros en dibloques SB o tribloques pueden ser lineales o ramificados o parcialmente hidrogenados SEBS. Otros ejemplos son también los copolímeros del estireno isopreno SIS, terpolimeros EPDM, policloroprenos y

polímeros SBS carboxilados . La siguiente figura muestra una representación de varios elastómeros.



estireno



butadieno



REPRESENTACIÓN DE VARIOS ELASTÓMEROS

La temperatura de transición vítrea de los polímeros hidrogenados se sitúa encima de la temperatura ambiente, debido a la saturación de los dobles enlaces del polibutadieno. Las macro estructuras de los copolímeros ramificado y lineal tienen efecto en el comportamiento reológico de las mezclas con asfalto.

Los copolímeros parcialmente en bloques SB, pertenecen a un grupo de copolímeros que pueden variar de dibloques a estructuras complejas, donde los bloques puros y secciones de monómeros coexisten distribuidas en ramificaciones. Desde el punto de vista reológico, el SB se comporta entre el SBR y SBS. La estructura en bloque puede producir un sistema bifásico similar al SBS, pero las fases no son lo

suficientes para garantizar el comportamiento del caucho vulcanizado. En tanto, este comportamiento puede ser conseguido por la aplicación de un proceso de vulcanización convencional. La presencia de los bloques de estireno en el SB significa mejores propiedades termoplásticas que el SBR

A continuación se describe mas detalladamente algunos de los principales polímeros elastómeros utilizados en la modificación de asfaltos:

a) SBS/SIS

Son copolímeros en bloque de estireno y butadieno o estireno e isopreno. Poseen las características de los elastómeros termoplásticos, o sea son materiales que fluyen libremente cuando son calentados, además, de presentar buenas propiedades de resistencia mecánica y de resiliencia cuando están a temperatura ambiente. Esto se debe a la morfología de esos polímeros que muestran una tendencia a la incompatibilidad entre los bloques de estireno y dieno, y que resultan en una matriz de dieno, en que los dominios de poliestireno están dispersos. Estos dominios actúan como centros de fuerzas de anclaje, de la misma manera que los encadenamientos cruzados en el caucho vulcanizado. Además de estas propiedades, los copolímeros de SBS y SIS presentan propiedades de fluidez superiores cuando se mezclan cuando se mezclan con asfalto lo que es altamente favorable, por no haber un aumento significativo de la viscosidad

La conformación espacial del SBS esta formada de dos regiones distintas, llamadas microdominios de estirenicos y butadienicos donde ocurre la microseparacion de fases. A temperatura ambiente estos microdominios son incompatibles, conforme a lo observado.

Las esferas son los microdominios estirénicos y las cadenas los microdominios butadiénicos. El SBS posee un comportamiento elastomérico, pues los microdominios estirénicos actúan como puntos de reticulacion. Cuando el SBS es disuelto en un cemento asfáltico apropiado, una porción estirenica será solvatada por los compuestos aromáticos de los asfaltos, fomando un gel estabilizado, en que la secuencia butadénica mantiene la estructura en cierta conformación espacial. De ahí que proporcione las propiedades reológicas mejoradas de este material en relación con el cemento asfáltico no modificado.

Existen diversos tipos de copolímeros en bloque de estireno y butadieno, siendo los más significativos los lineales y los ramificados.

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

b) SBR

Son copolímeros aleatorios de estireno butadieno, obtenidos principalmente por proceso de polimerización en emulsión. Presentan propiedades elastoméricas de resiliencia y buena compatibilidad con los asfaltos. Sus propiedades mecánicas son intrínsecamente bajas, pero pueden ser grandemente mejoradas con una vulcanización que es conseguida por la reacción con el azufre o peróxidos. El proceso de preparación de SBR en emulsión, produce un polímero finamente dividido, en forma de un látex, que facilita su dispersión en el asfalto. La técnica de dispersión del látex puede también ser utilizada a partir del caucho natural.

b.1) PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS

La modificación de asfalto con látex SBR provee diferentes ventajas sobre los asfaltos no modificados, estas incluyen:

Mayor resistencia a la deformación, fatiga y rotura térmica y menor susceptibilidad a la temperatura y envejecimiento. El látex SBR incrementa la adhesión entre el asfalto y el agregado reduciendo el desprendimiento de éste. Estas mejoras pueden ser directamente relacionadas con una mayor calidad del pavimento vial y un aumento de su vida útil.

1.3.4 PROPIEDADES DE LOS POLÍMEROS

El juicio final sobre la idoneidad de un polímero para una aplicación dada, generalmente comprende una combinación compleja de propiedades. unas de esas propiedades son inherentes al estado físico del polímero. Algunas son inherentes en la estructura química del polímero, la hidrólisis, la disociación térmica y la toxicidad pueden estar establecidas por la reactividad de ciertos grupos dentro de la estructura del polímero.

Algunas veces propiedades que podrían considerarse para una aplicación individual son:

- Apariencia
- Dureza
- Densidad

Propiedades Mecánicas

- Resistencia a la tensión
- Resistencia a la compresión
- Resistencia a la flexión
- Resistencia al corte
- Resistencia al impacto y tenacidad
- Rigidez
- Deslizamiento y flujo en frío
- Fatiga
- Estabilidad dimensional
- Durabilidad

Propiedades Térmicas

- Coeficiente de expansión
- Conductividad térmica
- Calor específico
- Temperatura de distorsión al calor
- Resistencia al calor
- Inflamabilidad

Propiedades Eléctricas

- Resistividad
- Resistencia dieléctrica
- Constante dieléctrica
- Factor de potencia
- Resistencia al arco

También poseen propiedades de **resistencia química** a los ácidos, bases, solventes, aceites y grasas.

Relaciones Generales de Propiedades y Estructura

	Aumento de cristalinidad	Aumento de los Enlaces Cruzados	Aumento del Peso Molecular	Aumento de la distribución de Peso Molecular	Adición de Unidades Principales Polares	Adición de grupos que rigidizan la cadena principal
Resistencia a la Abrasión	+	+	+	-	+	-
Fragilidad	-	M	+	+	+	+

Empleo del Polímero SBR en la Fabricación de Mezclas Asfálticas para Zonas de Altura

Resistencia Química	+	V	+	-	-	+
Dureza	+	+	+	+	+	+
Tg	+	+	+	-	+	+
Solubilidad	-	-	-	0	-	-
Resistencia a la Tracción	-	M	+	-	+	+
Tenacidad	-	-	+	-	+	-
Rendimiento	+	+	+	+	+	+

+ : Aumento de la propiedad

0 : Efecto nulo o despreciable

- : Disminución de la propiedad

M : La propiedad tiene un máximo

V : Resultados variables dependientes de la temperatura y muestras Particulares

Relaciones Estructura – Propiedades

Temperatura de transición vítrea

Se incrementa con la presencia de radicales voluminosos

Grupos rigidizantes como el 1,4 – fenileno

Simetría de cadena

Grupos polares

Enlaces cruzados

Disminuye con la presencia de aditivos como los plastificantes

Radicales flexibles

Grupos no polares

Disimetría

Solubilidad

Favorecida por longitudes bajas de cadena

Aumento del contenido amorfo

Fuerzas reducidas entre cadenas

Desorden y disimetría

Aumentos de temperatura

Disolventes compatibles

Cristalinidad

Favorecida por fuerzas grandes entre cadenas

Estructura regular; alta simetría

Disminución de volumen

Aumento de los esfuerzos

Enfriamiento lento del producto fundido

Longitudes homogéneas de cadena

1.3.5 ENSAYOS Y CARACTERIZACIÓN DE LOS POLÍMEROS

La aceptación de los Polímeros está asociada con la garantía de calidad basada en el conocimiento de resultados positivos de ensayos fiables y a

largo plazo. Por otro lado, el mal comportamiento en uso de algunos Polímeros sintéticos está relacionado con fracasos, que probablemente podrían haberse evitado mediante ensayos, diseño y control de calidad apropiados. La American Society for Testing and Materials (ASTM), a través de sus comisiones de pintura D-1 y de plásticos D-20, han desarrollado numerosos ensayos normalizados a los que deberán referirse todos los fabricantes y usuarios de materiales poliméricos.

Desarrollaremos ensayos físicos y de espectroscopia, incluyendo la caracterización térmica.

El ensayo de materiales puede basarse en la existencia o no-existencia de cambios químicos en el material ensayado. Los ensayos no destructivos son aquellos que no dan como resultado el cambio químico del material. Dentro de los ensayos no destructivos se incluyen la determinación de numerosas propiedades eléctricas, el análisis de los espectros infrarrojos y ultravioleta, determinaciones sencillas del punto de fusión, determinaciones del color y la densidad y la mayoría de las determinaciones de propiedades mecánicas.

Los ensayos destructivos son aquellos en los que se produce un cambio en la estructura química de al menos una parte del material ensayado. Como ejemplos se pueden mencionar las determinaciones de propiedades de inflamabilidad, los ensayos de resistencia química en los que el material no es resistente al agente atacante.

- **Ensayos Físicos**

a) Resistencia A La Tracción

Puede determinarse aplicando una fuerza al material de ensayo hasta que se rompa.

Resistencia Tracción (Pa) = Fuerza (N) / Área (m²)
--

Es la medida de la capacidad de un polímero a resistir los esfuerzos de estiramiento, normalmente se mide aplicando un esfuerzo a una probeta, de acuerdo con la norma ASTM-D638-72. Estas probetas deben cumplir unas condiciones normalizadas de humedad (50%) y temperatura (23°C) antes del ensayo y durante el mismo. Una de las mordazas está fija, mientras que la otra se desplaza en incrementos determinados. El esfuerzo y la fuerza aplicada se representan en función de la deformación y el alargamiento.

El módulo elástico es la relación del esfuerzo aplicado y la deformación que produce en el intervalo en que la relación esfuerzo – deformación es lineal. El área total bajo la curva esfuerzo – deformación da una idea de la tenacidad total.

La deformación por estiramiento es la variación de longitud de la muestra dividida por la longitud inicial. Un alargamiento o deformación recuperable se llama deformación elástica. En este caso, las moléculas tensionadas vuelven a ocupar sus posiciones relativas originales después de la desaparición de la fuerza aplicada. El alargamiento también puede ser la consecuencia del movimiento global de unas cadenas respecto de otras.

b) Resistencia A La Flexión

Es una medida de la resistencia al doblado o la rigidez de una probeta de ensayo utilizada como viga simple según la norma ASTM – D790.

La muestra se coloca apoyada en dos soportes como y se aplica entonces una carga en el centro de la probeta en un tiempo determinado, y la carga de rotura se denomina resistencia a la flexión. Sin embargo, puesto que muchos materiales no se rompen incluso después de haber experimentado grandes flexiones, la resistencia a la flexión real no podrá calcularse en estos casos. Para estas muestras, en lugar de este procedimiento, se usará por convenio, el módulo para una deformación del 5% como medida de la resistencia a la flexión, es decir, el cociente de esfuerzo y deformación cuando la deformación es del 5%.

c) Resistencia A La Compresión

Es la fuerza necesaria para aplastar un material y se define mediante la siguiente expresión:

$$\text{Resistencia a la Compresión(Pa)} = \text{Fuerza(N)} / \text{Área (m}^2\text{)}$$

Se mide aplastando una muestra cilíndrica según la norma ASTM-D695. El material ensayado se monta en un instrumento de compresión. Uno de los pistones avanza a velocidad constante. La resistencia a la compresión máxima es igual a la carga que causa rotura del material dividida por la sección transversal mínima.

Puesto que hay muchos materiales que no se rompen en compresión, se registran normalmente las resistencias que causan una deformación determinada.

d) Resistencia Al Impacto

Es una medida de la energía necesaria para romper una muestra; no es una medida del esfuerzo necesario para romper el material. El término tenacidad se emplea habitualmente para representar la resistencia al impacto de un material. Los ensayos de resistencia al impacto se dividen en dos clases: 1) Ensayos de caída de masa, y 2) Ensayos de péndulo. El ensayo de caída de masa se usa típicamente para muestras tridimensionales, mientras que el ensayo de dardo se usa para películas.

e) Dureza

El término dureza es relativo a la vez que general. Propiedades tales como la resistencia al rayado, y la resistencia a la abrasión están relacionados con la dureza del material. Existen una serie de instrumentos para medir la capacidad de un material para resistir el rayado y el desgaste.

El ensayo de dureza Rockwell (ASTM-D785-65), mide la dureza en valores crecientes de escalas distintas correspondientes al tamaño del penetrador de bola utilizado.

La distancia RB se usa para calcular el valor de la dureza Rockwell. Mientras que la dureza Rockwell permite la diferenciación de los materiales, factores como la fluencia y la recuperación elástica se hallan implicados en el cálculo de la dureza Rockwell. La dureza

Rockwell no es una buena medida de la resistencia a la abrasión y al desgaste. Por ejemplo, el poliestireno tiene una dureza Rockwell relativamente alta y sin embargo se raya con facilidad.

f) Resistencia A La Cortadura

En este ensayo utiliza una pieza de corte semejante a un cuño para ensayar muestras planas. La resistencia a la cortadura (S) es igual a la carga (L) dividida por el área (A). Así, se monta la muestra en el dispositivo de corte y se ejerce presión con el cuño a una velocidad determinada hasta que se produzca la rotura por cortadura. Este ensayo es importante para películas y láminas pero se usa raramente para productos extraídos o moldeados.

1.2.6 POLÍMEROS USADOS EN MODIFICACIÓN DE CEMENTOS ASFÁLTICOS

Polímero	Fabricante	Nombre Comercial
Caucho recuperado de neumático	GRF 80	Rouse Rubber
Caucho recuperado de neumático	IGR	Baker
Caucho recuperado de neumático	Envirotire, Inc	Pluaride II
Copolímero del etileno	DuPont	Elvaloy
Copolímero del etileno	ARE, Inc	Starflex
Copolímero del etileno	ARE, Inc	Modiflex
Copolímero del etileno	Exxon Chemical	Polybilt
Copolímero en bloque estirénicos	Dexco Polymers	Vector
Copolímero en bloque estirénicos	Shell	Kraton
EPDM	Huls	Vestoplast

Empleo del Polímero SBR en la Fabricación de Mezclas Asfálticas para Zonas de Altura

EVA	DuPont	Elvax
LPDE	Adv. Asphalt Tech.	Novophalt
PE funcionalizado	Eastman	Finaprene
Poliamina(mejorador de adhesión)	Morton Int.	Pave Bond
Polibutadieno	Goodyear	UP – 5000
Policloropreno látex	DuPont	Neoprene
SBR	Goodyear	UP-70, UP-7289, ...
SBR	Rub-R-road	R-504, R-550
SBR	BASF	Butonal
SBS	Ergon	Sealo-flex
SBS	Enichem	Europrene Solt
SBS	FINA	---

- **Polímeros Comerciales en el Perú**

En el Perú se comercializa el látex SBR, por intermedio de la empresa BASF. En menor cantidad se exportan el SBS (SHELL) desde Venezuela para uso en ensayos experimentales.

- **Disponibilidad de los Asfaltos Modificados con Polímeros:**

Emulsiones Asfálticas Con Polímeros SBR:

- Emulsiones Asfálticas E.I.R.L
- Bituper S.A

- **Cemento Asfáltico Modificado con Polímero:**

- Shell | Bituper – Chile.
- Asfaltos Chile – Chile.
- Ipirampa Asfaltos – Brasil.
- Asfaltos San Lorenzo – Argentina.

1.4 ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO

1.4.1 Concepto

El asfalto modificado es aquel que mediante un proceso de mezclado a alta temperatura y esfuerzo cortante, se le incorporan polímeros para formar una “RED” tridimensional que atrapa dentro de sus espacios a las moléculas del asfalto. Esta red absorberá gran parte de los esfuerzos a los que se vería sometido el asfalto en un pavimento.

Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces (según el caso a aplicar) con un costo adicional de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica. Está plenamente probado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de tránsito. Sin embargo, el creciente incremento de volumen del tránsito y la magnitud de las cargas, y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que, en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes. Por ejemplo, con los asfaltos convencionales, aun con los grados más duros, no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el tránsito canalizado (ahuellamiento), especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura. Además, con la simple adopción de asfaltos más duros se corre el riesgo de fisuraciones por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Con ciertas mezclas abiertas, alternativa generada por razones de confort y seguridad, con los ligantes convencionales no se alcanzaría una resistencia mecánica suficiente a causa de una insuficiente cohesión y adhesividad, lo que unido al bajo contenido de ligante de estas mezclas podría redundar en una disminución en su durabilidad. Del mismo modo, las nuevas capas superficiales delgadas serían menos durables cuando se vean sometidas a altas intensidades de tránsito.

Ante las situaciones mencionadas, además de apelar a nuevas tecnologías constructivas y del resto de los materiales (áridos), una solución evidente fue mejorar algunas características de los asfaltos para lograr un mejor comportamiento de los pavimentos. Ello dio origen a nuevos asfaltos que genéricamente fueron denominados "Asfaltos Modificados".

Existen entonces asfaltos modificados por:

- **Elastómeros**
- **Plastómeros**
- **Otros**

Además de los Asfaltos Modificados con polímeros, algunos países emplean asfaltos especiales y multigrados, comúnmente denominados alto índice. Los polímeros del tipo SBS son, por lejos, los más utilizados siguiéndole en las preferencias los plastómeros del tipo EVA. El uso de asfaltos especiales o de alto índice no ha alcanzado hasta el momento el mismo crecimiento que los asfaltos modificados con polímeros pero se observan buenas perspectivas de crecimiento. Una crítica generalizada es que se ha enfatizado mostrar las ventajas técnicas de los asfaltos

modificados, pero se han realizado pocos estudios que tengan en cuenta la relación costo-beneficio.

Los Asfalto modificados.....

Mejoran las propiedades físicas de los mismos en los siguientes parámetros.....

- * Ofrecen gran resistencia a la reflexión de fisuras
- * Mejora significativamente la resistencia a la deformación permanente
- * Mejoran la adhesión entre la carpeta de rodamiento y la sub-base
- * Proveen superficies durables con alta cohesividad
- * Ofrecen un mejor costo beneficio que los asfaltos convencionales

Aplicaciones:

Concreto Asfáltico	* Reduce la deformación permanente
Pavimentos de pistas de aeropuertos donde las exigencias son muy elevadas	* Mayor resistencia a la fatiga
"Rolled Asphalt" donde la reflexión de fisuras es muy usual (tránsitos muy intensivos, alta carga de tránsito y elevado peso)	* Uso de capas más delgadas * Mejor resistencia a la post-compactación
Mezclas Abiertas	* Menor post-compactación y retención del agua
Pavimentos de drenaje o donde las cargas de tránsito no sean elevadas	* Mejor adhesividad del agregado
Membrana Absorbedora Intercapa de Esfuerzos	* Capacidad para absorber movimientos horizontales producidos por grietas de varios milímetros * Mantenimiento de las propiedades elásticas en un amplio rango de temperaturas * Buena adhesividad a la vieja y nueva capa de asfalto * Posibilita utilizar capas asfálticas más delgadas
Tratamientos Superficiales	* Mejor retención del agregado
Asfaltos diluidos modificados para ser usado en tratamientos superficiales o riegos de liga	* Mayor rango de uso, incluidos caminos con tránsito pesado * Mejor resistencia a la tracción * Formulación de asfaltos diluidos y emulsiones

Por otro lado, en función de las intensidades de tránsito en nuestras rutas, las soluciones tecnológicas que se pueden aplicar son las siguientes:

	Tipo de Obra	Tipo Tráfico TMDA	Solución Tecnológica*
Sector Privado	Concesiones con Obra Nueva en Redes de Acceso a Grandes Ciudades	1000-5000	Pavimentos Drenantes
			Micropavimentos con Asfalto Modificado
			Bases de Alto Stiffness
			Emulsiones Modificadas
Sector Privado	Concesiones con Obra Nueva en Red Primaria	1000-5000	Membranas Estabilizadoras de craqueo de Hormigón
			Selladores de Juntas de Hormigón
			Micropavimentos con Asfalto Modificado
			Bases de Alto Stiffness
Sector Privado	Concesiones sin Obra Nueva en Red Primaria	1000-5000	Emulsiones Modificadas
			Membranas Estabilizadoras de craqueo de Hormigón
			Micropavimentos con Asfalto Modificado
			Emulsiones Modificadas o Normales
Sector Privado	Concesiones Secundarias	Hasta 1000	Pavimentos en Frio
			Reciclado Frio o Caliente
			Pavimentos en Frio
			Tratamientos Superficiales
Sector Publico	Red Primaria No Concesionada	1000-1500	Reciclado Frio o Caliente
			Pavimentos en Frio
			Tratamientos Superficiales
			Reciclado Frio o Caliente
Sector Publico	Red Secundaria No Concesionada	1000-2000	Pavimentos en Frio
			Tratamientos Superficiales
			Reciclado Frio o Caliente
			Emulsiones para Bacheo en Frio
Sector Publico	Caminos Naturales	Hasta 500	Pavimentos en Frio
			Estabilizaciones con Emulsiones
Sector Publico	Municipios	Ciudades	Micropavimentos con Asfalto Modificado
			Membranas Estabilizadoras de craqueo de Hormigón
			Selladores de Juntas de Hormigón
			Emulsiones para Bacheo en Frio
			Pavimentos en Frio
			Sellados de Fisuras

1.4.2 COMPATIBILIDAD ASFALTO – POLÍMERO

Un Polímero y un asfalto son compatibles cuando pueden mezclarse sin que exista una separación de fases y no se llegue a una rotura del equilibrio coloidal del asfalto, la compatibilidad depende del Polímero de que se trate, de la composición química del asfalto y del proceso utilizado para su preparación.

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

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

Una indicación de que existe Compatibilidad entre un Polímero y un asfalto es la existencia de una estabilidad adecuada de la mezcla utilizando el método de Zenke. El método consiste, en esencia, en llenar un tubo de pasta de dientes con asfalto modificado, mantenerlo en reposo durante un número determinado de días a una temperatura elevada y medir las propiedades de la parte superior e inferior del tubo una vez frío. Si dichas propiedades son esencialmente iguales, podemos decir que el asfalto y el Polímero son Compatibles.

Sin embargo, este método es adecuado principalmente para medir estabildades al almacenamiento y presenta limitaciones cuando se trata de

determinar si una mezcla es o no Compatible. El que un asfalto modificado sea inestable al almacenamiento no quiere decir que exista incompatibilidad entre el Polímero y el asfalto. Por el contrario, un asfalto modificado estable al almacenamiento supone un sistema compatible.

La Compatibilidad de las mezclas asfalto Polímero puede medirse más apropiadamente por Calorimetría Diferencial de Barrido, ya que la existencia de Compatibilidad se determina por la aproximación de los valores de las temperaturas de transición vítrea.

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

- Copolímero de etileno y acetato de vinilo, EVA: 7.6
- Copolímero de etileno, propileno y un dieno, EPDM: 8.0
- Copolímero de butadieno-estireno, SBR: 8.3
- Poliolefinas: 7.8
- Polisopreno, IR: 8.1
- Polibutadieno, BR:8.6

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

Sin lugar a duda, la necesidad de la existencia de compatibilidad entre el polímero y el asfalto es uno de los factores principales, objeto de estudio para obtener la mezcla ideal, sin embargo la compatibilidad puede ser

mejorada al incorporar aditivos compatibilizantes aromáticos y nafténicos, y manteniendo agitación continua.

1.4.3 PREPARACIÓN DE MEZCLAS DE ASFÁLTICAS CON POLÍMEROS

La incorporación del polímero puede darse de tres formas:

- Producción del asfalto modificado en una fábrica de local separado y transporte del producto final a una planta de asfalto.
- Preparación del asfalto modificado con un mezclador auxiliar en una planta de asfalto.
- Incorporación del polímero directamente en la mezcla asfáltica durante el proceso de mezcla del asfalto con los agregados.

La producción en fábrica separada del lugar de operación significa un mejor control de calidad y mejor dispersión del polímero en el asfalto.

La segunda alternativa garantiza una mejor incorporación del polímero en el CAP que la tercera alternativa.

Preparación De Asfaltos Modificados Con Polímeros Elastómeros

Varios tipos de equipos pueden ser utilizados, desde mezcladores de bajo Cizallamiento o baja velocidad hasta mezcladores modernos de alto Cizallamiento o alta velocidad. El tiempo de mezcla dependerá del tipo de equipo utilizado.

La Fig. muestra un diagrama simplificado para la producción de Asfaltos Modificados con Polímeros Estirénicos, donde el polímero puede ser añadido en forma de polvo, pellets o en forma de látex (SBR). El asfalto caliente y el polímero son pesados y colocados en un pre-mezclador de bajo cizallamiento para que el polímero sea distribuido a través del asfalto

caliente. La duración y la temperatura de esta etapa son ajustadas para asegurar el hinchamiento del polímero.

La mezcla es luego transferida a un mezclador de alto Cizallamiento donde el sistema asfalto-polímero alcanza adecuada dispersión y homogeneidad. Finalmente el asfalto modificado es transferido para el tanque. Si la dispersión de la mezcla final es inadecuada, un sistema de válvulas será usado para recircular la mezcla al agitador de alto Cizallamiento.

Los parámetros de mezcla: velocidad de agitación y temperatura (160 – 180°C) deben ser cuidadosamente controlados, de modo de conseguir buena dispersión en un tiempo mínimo de mezcla.

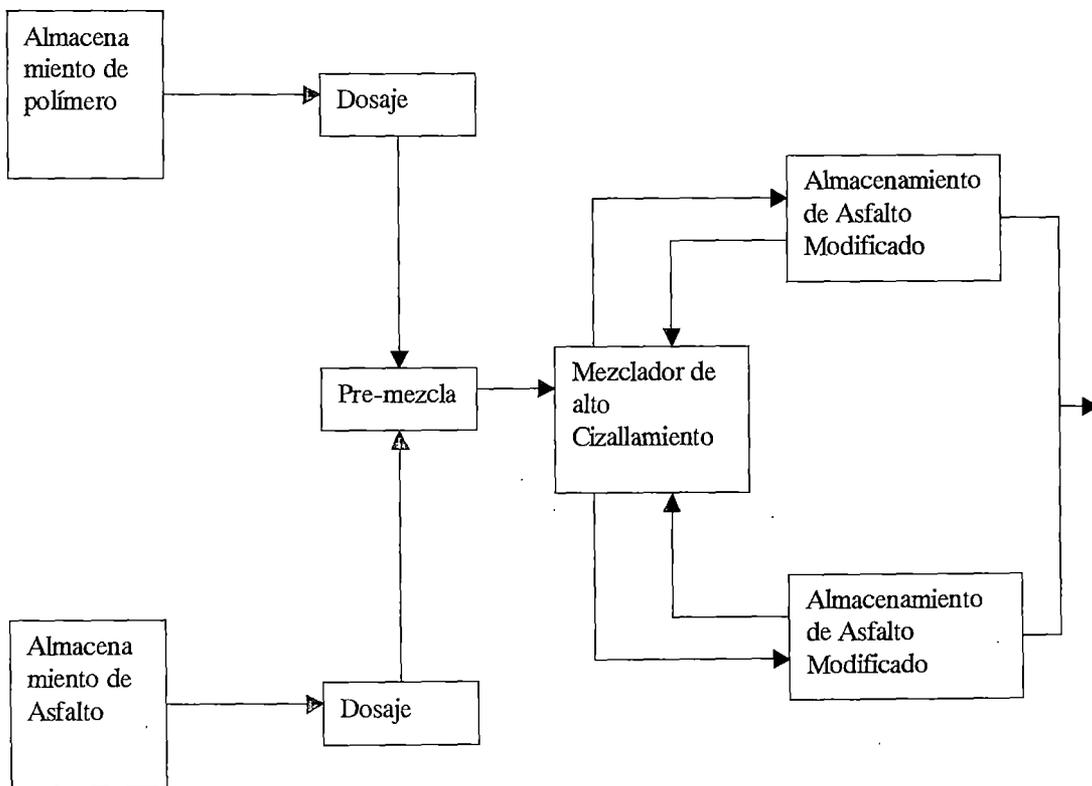


Fig. DIAGRAMA DE PRODUCCIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS CON ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS ESTIRENICOS

1.4.4 PARÁMETROS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE MODIFICACIÓN DE ASFALTOS

Grandes volúmenes de mezclas de polímeros / asfaltos son usados en aplicaciones como techados, superficies de pavimentos e impermeabilizantes, y los procesos de mezcla empleados pueden tener un significativo efecto en las propiedades técnicas de la mezcla resultante y en la economía de la operación completa.

Un número de factores influye en el proceso de mezclado. Dichos factores pueden ser definidos como sigue:

- a.- Naturaleza del Polímero
- b.- Forma Física del Polímero
- c.- Naturaleza y Grado del Asfalto
- d.- Tipo de Equipo
- e.- Tiempo / temperatura durante el mezclado

El último de estos parámetros no es estrictamente una variable independiente, pero es de importancia en la subsecuente performance de la mezcla y por ello se incluye aquí.

a.- Naturaleza del Polímero

La homogeneidad de la mezcla del polímero con el asfalto puede variar con el peso molecular del polímero, la cual se refleja en la viscosidad final del polímero y en el contenido de estireno.

Ambos, un alto peso molecular (o viscosidad) y un alto contenido de estireno, pueden dar largos tiempos de mezcla y viceversa.

b.- Forma Física del Polímero

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

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

c.- Naturaleza y Grado del Asfalto

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

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

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

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

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

d.- Tipos de Equipo

El proceso productivo de Modificación de Asfaltos con Polímeros consiste en disolver el polímero en el asfalto base mediante agitación mecánica y recirculación.

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

e.- Tiempo / Temperatura de mezclado

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

1.4.5 CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES DEL ASFALTO

- ✓ Disminución de la Penetración
- ✓ Aumento del Punto de Ablandamiento
- ✓ Aumento del intervalo de Plasticidad
- ✓ Disminución de la Fragilidad a baja temperatura
- ✓ Aumento de la Viscosidad
- ✓ Disminución de la Susceptibilidad Térmica
- ✓ Mejora de la Adhesividad
- ✓ Incremento de la Cohesividad
- ✓ Aumento de la Carga de Rotura mediante ensayos de Tracción a diferentes temperaturas
- ✓ Aumento de la Durabilidad debido a la disminución de la Oxidabilidad

1.4.6 MECANISMOS DE MODIFICACIÓN

- a.- El polímero está completamente encogido en estado en reposo(fracciones estireno y butadieno).
- b.- El polímero empieza a desenredarse por absorción del aceite contenido en el asfalto, el mismo que se impregna (el aceite) e hincha el polibutadieno, produciéndose la disolución del polímero.
- c.- El polímero se extiende, disolviéndose completamente dentro del asfalto por su geometría y por su anclaje con otros elementos.

1.4.7 CAMBIOS EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

- a. Una mezcla con polímero presenta mejores características mecánicas en laboratorio que una mezcla convencional.
- b. La temperatura de compactación fue observada rigurosamente, debido a que una mezcla con polímero se diferencia fundamentalmente de una mezcla convencional en que la viscosidad del asfalto esta gobernada también por el polímero y si se enfría mas de lo debido la mezcla no admite mas compactación.
- c. En ensayos Marshall, las mezclas asfálticas modificadas con SBR han demostrado una estabilidad mayor, que refleja la “Fuerza Adhesiva”.
- d. Conservación de las mezclas de sus características después de su inmersión en el agua, se verifica que en mezclas asfálticas realizadas con asfalto modificado, los resultados son significativamente superiores a los de las masas asfálticas hechas con asfalto no modificado.
- e. Mejora la resistencia a la fatiga.
- f. Mejora la resistencia a la deformación permanente.
- g. Mejora el desempeño a altas temperaturas.
- h. Reduce la formación de Roderas.
- i. Reduce significativamente los costos de mantenimiento.
- j. Aumenta la durabilidad de la carretera a largo plazo

CAPITULO II: ENFOQUE DEL ESTUDIO

2.1 ANTECEDENTES

Debido a la necesidad de integrar al país, las carreteras se han constituido en los ejes principales de articulación entre las regiones de la Costa, Sierra y Selva; presentándose este hecho como uno de los mayores retos de la Ingeniería Nacional debido a la difícil geomorfología de los andes del Perú, significando este sector como una de las mayores desventajas al desempeño de las carreteras, debido a los altos niveles de diferencial térmico, exposición solar, vientos, presencia de agua superficial y agua subterránea. A ello se le suma la falta de materiales adecuados para construcción, equipos y tecnología propia.

En todos estos casos donde las vías han sido pavimentadas, el material usado como aglomerante en la superficie de rodadura, ha sido el Asfalto, presentando en la mayoría de los casos un buen rendimiento, sin embargo se ha comprobado que los pavimentos en zonas de altura han presentado deterioros prematuros. Los especialistas nacionales como extranjeros han atribuido este hecho a las dificultades climáticas de estas zonas y la falta de tecnología que represente el comportamiento de los pavimentos en estas regiones. Sin embargo se ha ido implementando algunas alternativas de solución basadas en tecnologías traídas del exterior, con similares problemas a los nuestros, así como se ha recurrido a la experiencia de los profesionales a nivel nacional.

De esta manera en la presente sección haremos un enfoque general de la situación de las carreteras construidas con pavimento asfáltico y que están

ubicadas en zonas de altura, con el fin de poder plantear el problema, para luego desarrollar nuestra alternativa de solución.

Proyecto: “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera YURA-PATAHUASI-SANTA LUCIA” – AREQUIPA

Tramo I: km 0+000 – km 53+336.35

UBICACIÓN

El Tramo I: Yura - Patahuasi, de la Carretera Yura – Patahuasi – Santa Lucia, esta ubicado en el Departamento y Provincia de Arequipa, Región Arequipa; esta vía del Sistema Nacional, es una de las más importantes carreteras de integración entre los departamentos de Arequipa y Puno.

El Tramo I se inicia en el Km 0+000 en el distrito de Yura, desarrollando su recorrido en el sentido hacia Puno y terminando en el Km 53+336.35 en las proximidades de la localidad de Patahuasi en la zona denominada Pampa Cañahuas.

Las principales localidades por donde sigue la ruta son: Yura casi al inicio del tramo (Km 0+900 a Km 1+700) y Pampa de Arrieros, ubicada a la altura del Km 32+200, a una distancia aproximada de 1 Km hacia el lado izquierdo del eje de la vía.

El tramo se desarrolla en la Cordillera de los Andes, sobre alturas que oscilan entre los 2,650 y 4,160 metros sobre el nivel del mar, en zonas con topografía accidentada en un 60%, ondulada 12% y plana en 28% de su longitud.

Así mismo cruza la reserva Nacional de Salinas y Agua Blanca a partir del Km 31+000 estando comprendida dentro de ella hasta el final.

PERFIL LONGITUDINAL

El perfil longitudinal fue proyectado al nivel de subrasante, con las siguientes características:

Cota de inicio de perfil	: 2,651.28 m.s.n.m. (Km 0+000)
Cota máxima	: 4,123.30 m.s.n.m. (Km 42+920)
Cota final del perfil	: 4,043.93 m.s.n.m. (Km 53+336.35)
Pendiente mínima	: 0.00% en 1,640 m. (Km 45+140 – Km 46+780)
Pendiente máxima	: 7.305% en 220 m. (Km 23+320 – Km 23+540)
Curva vertical mínima	: 80 m. De longitud con PI en el Km 19+590
Curva vertical máxima	: 300 m. De longitud con PI en el Km 0+970

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

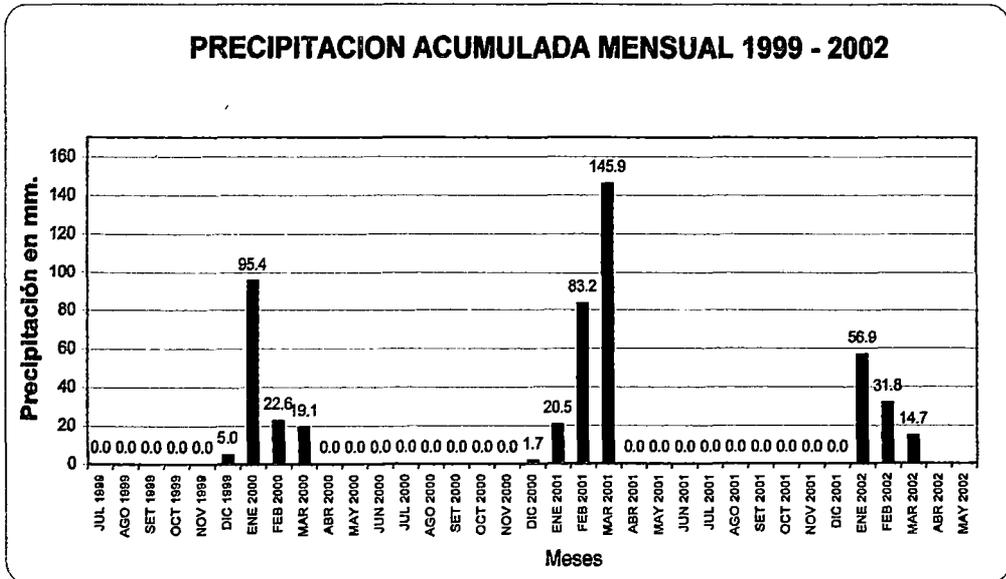
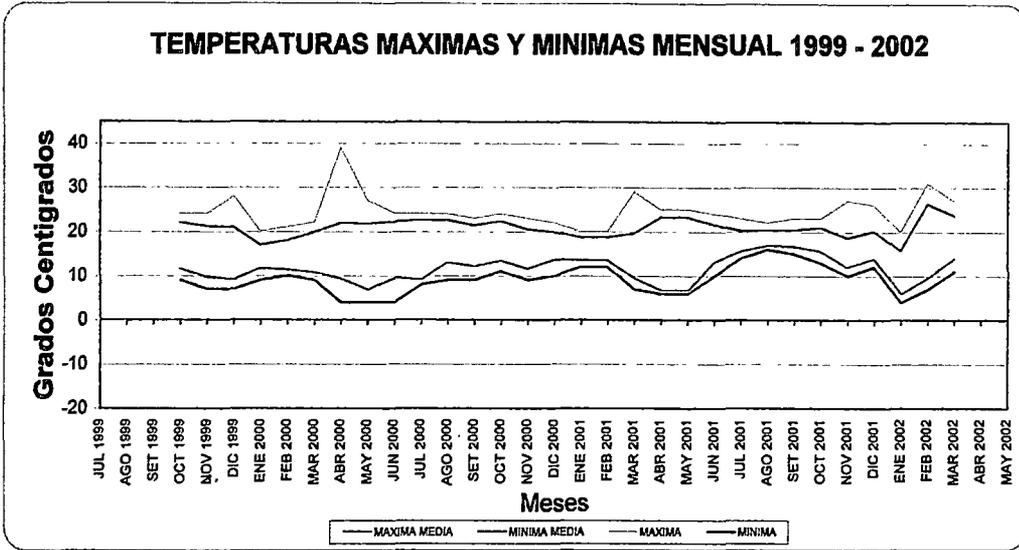
El proyecto de carretera esta ubicada en la parte alta de la provincia de Arequipa. Se inicia en el distrito de Yura Km 0+000 a 2,600 m.s.n.m. hasta Pampa Cañahuas Km 53+336 a 4,097 m.s.n.m., en una longitud de 53+336 kilómetros.

Las condiciones climáticas corresponden a tres formaciones bioclimáticas muy diferenciados; Desierto Árido en Yura, Matorral Sub Humedo en la parte intermedia y Frío Semi Árido en la parte alta que comprende la explanada de Pampa Blanca, con dos estaciones bien marcadas durante el año; lluvioso desde mediado de Diciembre hasta los primeros días de Abril y precipitaciones ocasionales entre Setiembre y Octubre. Los otros meses del año son seco y frío, con alta incidencia solar en el día. Los registros de precipitación y temperatura se hicieron en dos estaciones Yura y Salas.

En la estación Yura se registro una temperatura mínima promedio mensual de 4 °C ocurridos en los meses de Abril, Mayo y Junio, mientras las temperaturas máximas se presentaron en los meses de

Febrero, Marzo y Abril, siendo la mas alta 39 °C ocurrido en Abril del 2000. La precipitación ocurre en la estación de verano registrándose un acumulado de 251.3 mm. Entre Diciembre de 1999 y Abril del 2000.

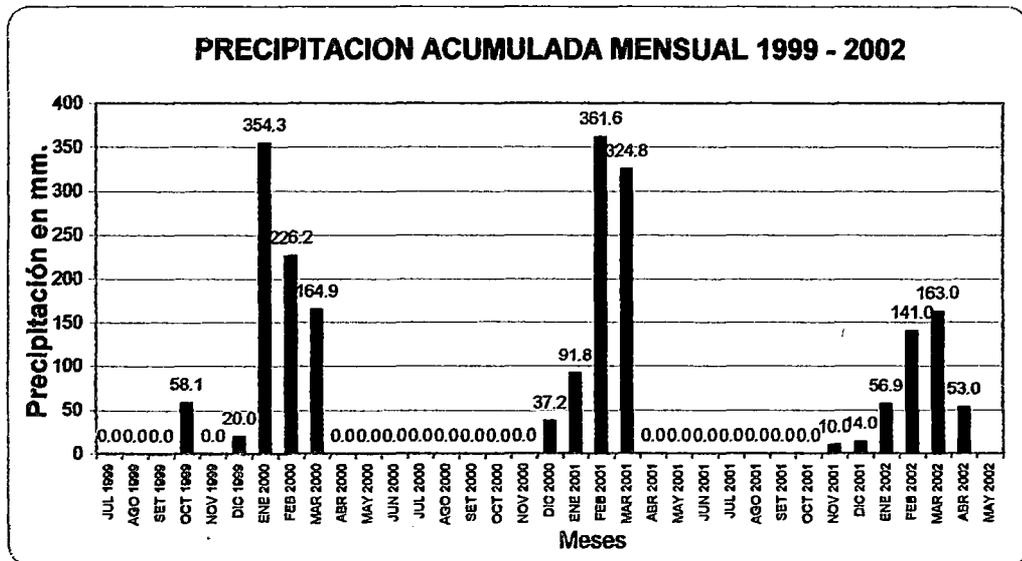
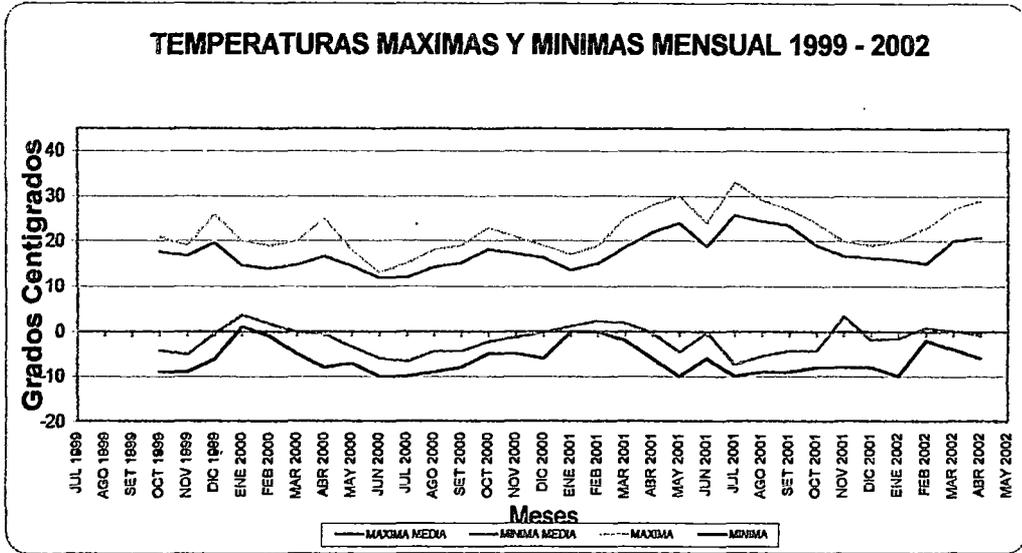
Lecturas Meteorológicas e Hidrológicas en la Estación Yura



En la estación Salas se registro temperatura mínima absoluta de -10 °C que se repiten todos los años entre los meses de Mayo a Julio. La

temperatura máxima no tiene un comportamiento regular todos los años, sin embargo, se registro 30°C en Mayo del 2001 y 34 °C en Julio del mismo año.

Lecturas Meteorológicas e Hidrológicas en la Estación Salas



2.1.1 PROBLEMÁTICA DE LOS PAVIMENTOS EN ZONAS DE ALTURA DEL PAÍS

La problemática de un pavimento en zona de altura esta asociada directamente con los factores hidro-meteorológicos y escasez de materiales, que suelen producirse en tales regiones, y que afectan el normal desarrollo del proceso constructivo, la durabilidad y el comportamiento en servicio de las diversas capas que las componen.

Los intentos por dar solución al problema de diseño y construcción de pavimentos para zonas de altura, basados en la tecnología convencional, han terminado la mayoría de ellos en fracasos, ya que la problemática particular de estas zonas no esta contemplada en su totalidad por los métodos de diseño elaborados en los países desarrollados. La intensidad de la radiación solar o el gradiente térmico, son problemas que afectan en forma mínima a los pavimentos dela mayor parte de los países latinoamericanos, siendo Perú y Bolivia los únicos con un desarrollo importante de su red vial, en zonas por encima de los 3,500 m de altitud.

La tarea de diseñar y construir pavimentos que puedan resistir las condiciones adversas a las que estarán expuestos, propias de las zonas de cordillera, plantea en consecuencia un reto difícil que compromete los esfuerzos de los investigadores y especialistas en pavimentos, para la búsqueda de soluciones reales en este medio.

Para los fines que busca la presente investigación, la denominación de pavimento de altura se ha considerado a aquellos pavimentos que se encuentran por encima de los 3,500 msnm; aclarándose que esta

referencia altimétrica no pretende ser limitante, sino de expectativa al problema de altura.

El problema de los pavimentos de altura, se inicia tras la rehabilitación de la Carretera Central en el tramo San Mateo – La Oroya – Cerro de Pasco, entre los años 1981 a 1983. En esa oportunidad se emiten las primeras opiniones sobre la presencia de grietas prematuras en la superficie de rodadura. J. Greenstein, (1982), por encargo del Ministerio de Transportes (MTC), reporta algunas conclusiones y recomendaciones durante el proceso constructivo, entre las más importantes se puede mencionar:

- Que los cementos asfálticos usados no cumplían con las especificaciones ASTM, AASHTO y AI; recomendando al uso del Cemento asfáltico de penetración PEN 85-100, con especial cuidado en el sobrecalentamiento, debido a la baja ductilidad y valores de residuo observados.
- Mejoramiento de los procesos constructivos y control de calidad y
- Se relacionan los valores bajos de módulos de subrasante y superficie de rodadura con las grietas y deterioro de la carpeta, a partir de las mediciones de deflexión bajo carga.

Sin embargo luego de 5 a 8 meses de colocada la carpeta asfáltica, se observa la presencia de fisuras, predominando las de junta longitudinal. La progresión de dichas fisuras fue identificada de arriba hacia abajo. Posteriormente se tomaron precauciones en el diseño, elaboración y construcción de la carpeta asfáltica. Lamentablemente también después de 5 a 8 meses de colocado, también se presentaron los mismos tipos de agrietamientos.

La dirección de estudios especiales (O.C.C.) del MTC (Herrera, García y Greenstein, 1983), alcanzan sus conclusiones luego de efectuar un análisis más minucioso al problema de altura, realizando estudios con datos térmicos; propiedades del asfalto original y recuperado; características de mezcla y estimaciones de la rigidez del asfalto, con lo cual se pudo lograr algunos acercamientos, entre los cuales se pueden citar:

- Los severos cambios de temperatura causaban cambios en la rigidez de las capas de asfalto, relacionando estos cambios de rigidez en el pavimento con su Índice de Penetración (IP).
- Los cambios extremos en la rigidez ocurrían a grandes altitudes (3,700 msnm), por lo tanto se utilizó temperaturas extremas como -5°C a $+20^{\circ}\text{C}$, para el cálculo de mínimas y máximas rigideces de asfaltos de la carretera La Oroya – Cerro de Pasco.
- La rigidez del cemento asfáltico original y residual luego del ensayo de calentamiento sobre película delgada (ECSPD), para periodos de carga de 0.01 y 0.1 seg. Indicaron que en la superficie de un pavimento ocurrían grietas debido a:
 - a. Valores de Índice de Penetración superiores a 0.9;
 - b. Cambio de la rigidez luego del ECSPD mayores de 4000 kg/cm^2 ; sensiblemente ocurría menor agrietamiento cuando los cambios de rigidez luego del ECSPD fueron menores de 3000 kg/cm^2 .

Por lo tanto se recomendó que los valores absolutos del Índice de Penetración sean limitados a 0.5 o menos o un mayor análisis de susceptibilidad térmica en los asfaltos, sugiriendo el uso del criterio del Pen Vis Number (PVN) desarrollado por McLeod (1976).

Por consiguiente se reconoce las causas que motivaron la presencia de grietas no podían ser atribuidas a un comportamiento anómalo de los materiales granulares, sino a un comportamiento inadecuado de la mezcla asfáltica. Se identifica además el fenómeno de agrietamiento causado por fatiga térmica que sufre la película de cemento asfáltico. Por lo cual se hace imprescindible tomar en cuenta en el diseño estructural el fenómeno de fatiga térmica, con la finalidad de adecuar el periodo de diseño y/o adoptar políticas de mantenimiento adecuadas.

En 1992 nuevamente se rehabilita la Carretera Central, dado su avanzado deterioro. En esta oportunidad el MTC en cooperación con el gobierno Finlandés interviene un tramo especial (San Mateo – Morococha), en el sector mas alto del tramo (Ticlio, 4818 msnm), construyendo una estructura nueva de pavimento que debía ser capaz de superar las dificultades ya identificadas. La carpeta asfáltica es fabricada por primera vez con un nuevo tipo de asfalto (PEN 120-150); del mismo modo la construcción y control de calidad son efectuados de acuerdo a las especificaciones Finlandesas.

En 1997 las carreteras Panamericana Norte, Panamericana Sur y Carretera Central, rinden su primer examen de condición de superficie, basado en la filosofía de la guía de diseño AASHTO, que incorpora el concepto de Serviciabilidad (Present Serviciability Index, PSI), la cual representa la habilidad para servir a un tipo de trafico destinado.

Como se puede apreciar la experiencia que se tiene a nivel Nacional sobre pavimentos en zonas de altura es mas de 20 años, es por ello la presente investigación considera como ámbito de estudio los tramos ubicados en zonas de altura, considerando que se siguen desarrollando

agrietamientos prematuros en las carpetas asfálticas, en el cual tiene como causa fundamental el origen térmico, que pese a las nuevas consideraciones rigurosas implementadas por los métodos de diseño mas utilizados en el medio (AASHTO – 93 e Instituto del Asfalto – 91).

Se debe tener presente la incorporación a la red Nacional de mas de 2000 Km de carreteras rehabilitadas con pavimento asfáltico, construidos en zonas de altura; de modo que el problema ahora toma especial atención debido a las consideraciones detalladas.

2.1.1.1 Fallas Típicas en Pavimentos de Concreto Asfáltico en Zonas de Altura

Los problemas más comunes que afectan a los pavimentos de concreto asfáltico en las zonas de altura son:

- Las temperaturas bajas que afectan las propiedades teológicas del asfalto y en consecuencia las propiedades físicas de las mezclas, originando el fisuramiento de las capas asfálticas, por contracción térmica y/o por el incremento de la rigidez con la acción combinada del trafico pesado.
- El gradiente térmico, que es un fenómeno típico que se produce en las zonas de altura, de la cual no se ocupa la tecnología convencional incluido el programa SEP y SUPERPAVE. El gradiente térmico genera diariamente cambios volumétricos en el interior de la capa asfáltica, los que a su vez producen esfuerzos cíclicos de tracción y compresión, que provocan finalmente su falla por fatiga.
- La radiación solar severa que se produce, promueve la evaporación de las fracciones blandas del asfalto y crea un

ambiente propicio para la oxidación y envejecimiento de las estructuras asfálticas. La radiación solar provoca la decoloración inmediata de la superficie asfáltica, la pérdida del material fino de la mezcla (peladuras) y el incremento de la permeabilidad de la capa.

- El agua superficial también contribuye a la oxidación del asfalto, al ingresar por los vacíos de la capa de rodadura. Pero su mayor efecto destructivo se manifiesta en forma combinada con las cargas de tráfico, ya que el agua alojada en las fisuras del pavimento por efecto de la presión de los neumáticos, genera una presión de poros que gradualmente destruye el pavimento asfáltico.
- Suelos finos con presencia de agua subterránea son susceptibles de congelamiento, lo que provoca el hinchamiento de los mismos y de las capas granulares del pavimento, aparición de deformaciones permanentes y el fisuramiento de las capas asfálticas. La ascensión capilar del agua subterránea produce también problemas de pérdida de espesor efectivo en las capas granulares y, en consecuencia el acortamiento de la vida útil de los pavimentos.
- El problema de disponibilidad de materiales en las zonas de altura, es un factor que limita la posibilidad de adoptar soluciones adecuadas para la construcción de los pavimentos. El empleo de agregados altamente absorbentes, que demanda el uso de cantidades adicionales de cemento asfáltico, a fin de preservar la durabilidad de las mismas. En este aspecto tenemos la posibilidad de lograr combinaciones granulométricas, a fin de alcanzar las gradaciones recomendadas.

- El cemento asfáltico de procedencia única, utilizada para la construcción de pavimentos en zonas de altura, entra en la categoría de problema, cuando no presenta características adecuadas para su uso en condiciones severas de clima. La susceptibilidad térmica al igual que el grado de penetración y la susceptibilidad al envejecimiento son aspectos que inciden en forma determinante en el comportamiento de los materiales asfálticos y finalmente en las mezclas.

Evaluación de las Fallas o Deterioros del Pavimento

La evaluación visual del estado de un pavimento se efectúa en base a la determinación detallada de todos los deterioros y fallas observables en la superficie transitable y visible del mismo, estableciéndose la **ubicación, extensión y grado de magnitud de cada tipo de falla**, actividad que se conoce como **relevamiento de fallas en el pavimento**; el mismo que es complementado con un adecuado estudio del comportamiento del mismo y del tráfico actual o previsto, a fin de, si es posible, restablecer sus características de calidad para una mayor duración con la mayor economía.

Fallas Superficiales y Estructurales

Las fallas de superficie o funcionales, comprenden aquellos defectos de la superficie de rodamiento debidos a fallas de la capa asfáltica superficial que no guardan relación con la estructura del pavimento.

Las fallas estructurales, comprenden los defectos observados en la superficie de rodamiento cuyo origen es una falla en la estructura del pavimento es decir, de una o más de las capas constitutivas que deben resistir las cargas que impone el tránsito y el conjunto de factores ambientales.

En la literatura especializada, los defectos que presenta un pavimento y que disminuyen la comodidad del usuario o la vida de servicio de esa estructura, se agrupan en tres grandes categorías:

- Deformaciones o distorsiones
- Fisuraciones o agrietamientos
- Disgregaciones o desintegraciones

Causas Probables

En general, los principales factores que afectan la durabilidad y comportamiento de un pavimento, generando las fallas antes descritas, son:

- **Tráfico:** exagerado incremento de las cargas circulantes, sobrepasando los previstos en el diseño original.
- **Deficiencias durante el proceso constructivo:** espesores menores que los previstos, elaboración inadecuada de las mezclas y estabilizaciones, deficiencias en el proceso de distribución, compactación deficiente, mala calidad de materiales, etc.
- **Factores ambientales regionales:** excesivamente desfavorables o que no pudieron preverse en el

proyecto y/o construcción, tales como la elevación de la napa freática, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencias del drenaje superficial ó profundo previsto, variaciones térmicas externas, fenómenos de congelamiento, presencia de sales nocivas, etc.

➤ **Bajas Temperaturas (HELADAS)**

Esta manifestación climática es quizás la que da lugar a las fallas más extensas y visibles en un pavimento.

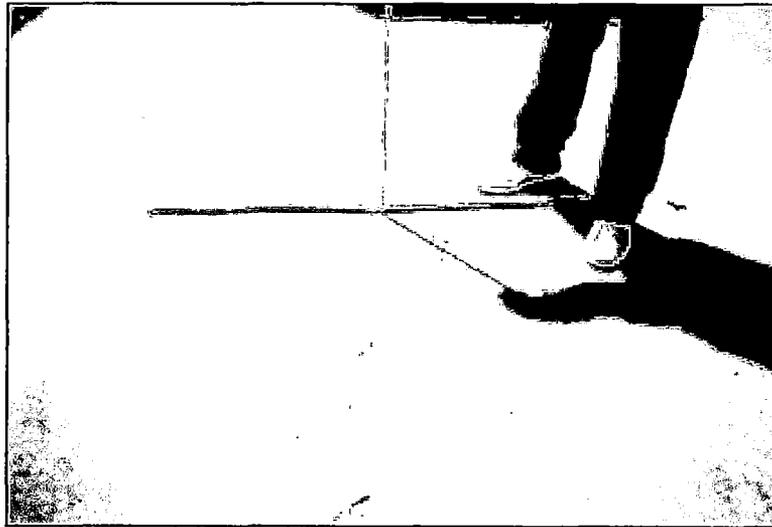
➤ **Efectos sobre las Mezclas Asfálticas.** Los asfaltos presentan un comportamiento reológico del tipo visco elástico. A bajas temperaturas y cortos tiempos de aplicación de las cargas se comportan como sólidos elásticos; a altas temperaturas y cargas prolongadas, como líquidos viscosos.

➤ **Deficiente mantenimiento:** empleo de materiales y/o técnicas inadecuadas, o bien, por falta total de conservación.

En general, la deformación producida en un material bituminoso es atribuida al flujo viscoso; dicha deformación no es recuperable y se incrementa con el tiempo de aplicación de las cargas. Así también, un pavimento asfáltico se contrae por enfriamiento y esto puede ocasionar esfuerzos que, junto a los producidos por tráfico, pueden causar la fractura o fisuramiento de la mezcla, la condición más severa se presenta cuando la temperatura cae rápidamente y la rigidez de la mezcla es alta. En este caso, las deformaciones inducidas por el cambio de temperatura pueden no ser canalizadas a través del flujo viscoso y en consecuencia se produce la fractura del asfalto.

Descripción de Deformaciones

Ahuellamientos (A): Deformación del perfil transversal por hundimiento a lo largo de las “huellas” que se crea por el peso de las ruedas de los vehículos, localizado en la superficie del pavimento.



Hundimientos (H): Deformación del perfil transversal, tanto por hundimiento a lo largo de las “huellas” como por elevación de las áreas adyacentes a las mismas. Las deformaciones presentan una configuración más amplia que los ahuellamientos.

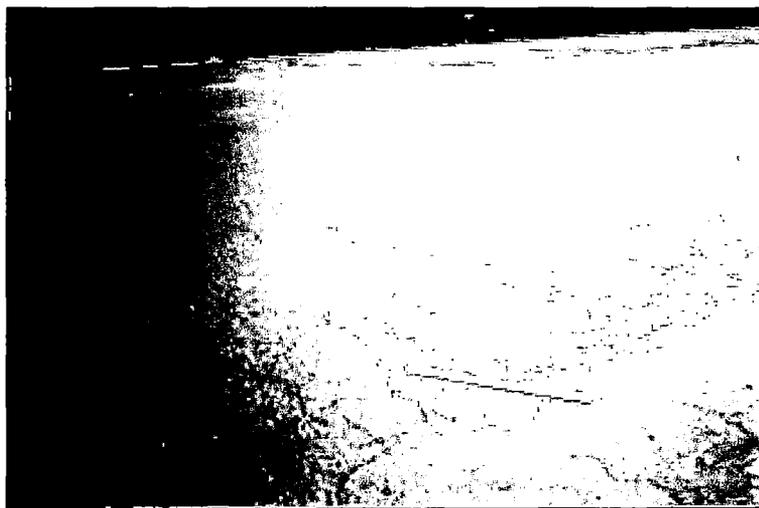
Desplazamientos/Deslizamientos (D): Deformación del revestimiento, imputable a una adherencia insuficiente con la base y a una estabilidad deficiente de la mezcla asfáltica de superficie.

Ondulaciones/Levantamientos (O): Deformaciones del perfil longitudinal con crestas y valles regularmente espaciados a distancias cortas. Generalmente están acompañados en los sitios críticos, por grietas semicirculares.

Descripción de Fisuraciones

Tipos De Fisuras

- 2: Fisura formada en una sola línea, generalmente longitudinal y aislada con tendencia a ramificaciones.
- 4: Fisura ramificada con tendencia a formar una malla generalizada en sectores del pavimento.
- 6: Fisura en forma de malla, con una superficie más amplia del pavimento con tendencia a formar piel de cocodrilo.
- 8: Fisura generalizada, forma de malla cerrada, de reticulado más chico, formando la llamada piel de cocodrilo.
- 10: Fisura totalmente generalizada con desprendimiento de paños de material y formación de baches.



Longitudinal/Transversal (LT): Rotura longitudinal/transversal sensiblemente paralela/perpendicular al eje de la carretera (Tipos 2 y 4).

Bloques (B): Rotura longitudinal o transversal que comienzan a formar mallas y separación mayor que 15 cm (Tipo 6).

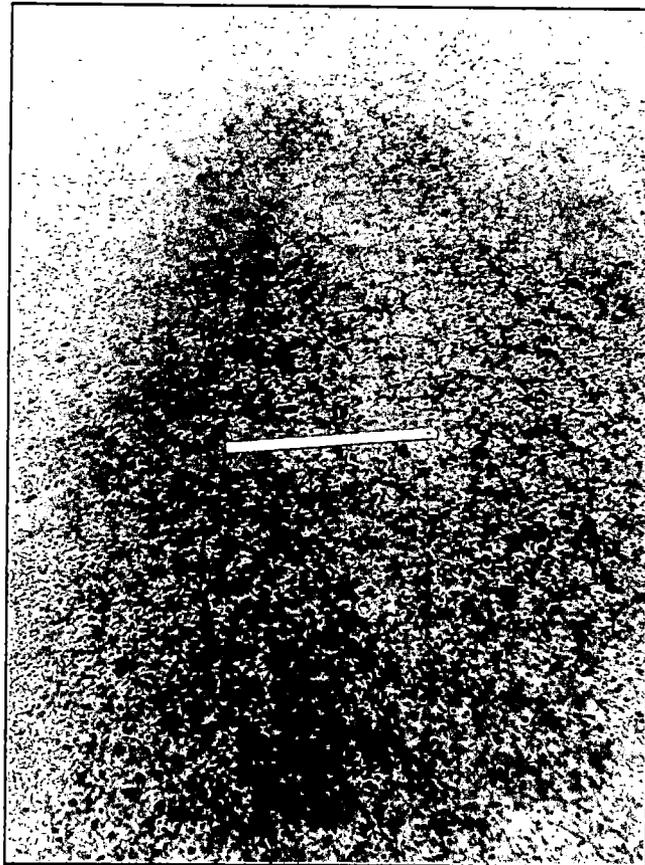


Piel Cocodrilo (PC):

Roturas longitudinales y transver-sales, con separación menor que 15 cm y con abertura creciente según avanza el deterioro. Generalmente presenta hundimiento del área afectada (Tipo 8).

Piel de Cocodrilo con Desintegración (PCD):

Fisura tipo 10.



Descripción De Desintegraciones

Peladuras/Desintegración Superficial (P):

Desprendimiento de agregados pétreos en superficie; presencia de agregados, ya sea que presenten una cara gastada (alisada) en la superficie embebidos en el ligante (asfalto), o parcialmente expuestos fuera del mortero ligante (asfalto) – arena.

Baches (B):

Desprendimiento del material de la base en la que se apoya la capa de rodadura (carpeta) después de la pérdida de ésta.



Exudaciones (E):

Presencia de asfalto sin agregado en la superficie (llorado).

Clasificación de la Condición de la Superficie

SANO : Sin fisuras y ahuellamiento menor a 6 mm.

CRÍTICO : Ahuellamiento de 6 a 12 mm.
Fisuras simples y ramificadas (tipo 2 y 4).

FALLADO : Ahuellamiento mayor a 12 mm.
Fisuras tipo 2 y 4 reflejados a través de un
sello reciente.
Fisuras formando mallas (tipo 6, 8 y 10).

2.1.2 ANTECEDENTES DE LA UTILIZACIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS

Como es conocida la utilización de Polímeros en la preparación de mezclas asfálticas data desde hace más de medio siglo en los países con mayor avance tecnológico, que les permite efectuar ensayos de laboratorio en cuanto al comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con polímeros y elaborando proyectos, los mismos que son ejecutados logrando de ésta manera mejorar la performance de los pavimentos con el consecuente beneficio al obtener periodos de diseño y de vida útil mucho mayores que el de los pavimentos convencionales. Se debe lograr resistencias mayores del pavimento en cuanto al ahuellamiento, susceptibilidad térmica, fatiga, deformación a altas temperaturas, fracturamiento a bajas temperaturas, etc., reduciendo además los costos de mantenimiento.

En el Estado de Texas – USA se vienen utilizando mezclas asfálticas modificadas desde el año 1,975 con resultados muy exitosos tal como se confirma en el Estudio de Beneficio Económico efectuado por el Departamento Técnico de ULTRAPAVE, según el cual al comparar el comportamiento de un pavimento construido con mezcla asfáltica modificada con polímeros SBR alcanza un aumento de la vida útil del pavimento de un 58 % con alto coeficiente de Beneficio – Costo con respecto a un pavimento construido con mezcla asfáltica sin modificar.

En lo que corresponde a nuestro estudio se presentarán los avances a nivel experimental de los logros obtenidos; así como de obras ejecutadas recientemente en los países antes citados que nos permiten

tener una visión sobre el avance en la modificación de los asfaltos a nivel del Continente Americano.

No está de más tener presente que para tener éxito en la modificación de nuestras mezclas asfálticas se deben efectuar estudios concienzudos de los componentes de la misma como son los Agregados, Cemento Asfáltico y Polímero; ya que si no existe compatibilidad entre sus elementos, la posibilidad de fracasar en esta técnica de la Ingeniería es eminente.

2.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema de la durabilidad de los asfaltos y mezclas asfálticas bajo diversas condiciones de servicio, es bastante complejo, según lo resume J. Agnusdei; sin embargo luego de algunas experiencias e investigaciones en zonas de altura en nuestro país, se ha identificado a la temperatura como el factor más influyente en el deterioro de los pavimentos asfálticos, en este aspecto tenemos bajas temperaturas y un alto gradiente térmico; además de una intensa radiación solar, precipitaciones (lluvias), vientos, etc. Que son características propias de estas zonas de altura.

Las propiedades de fluencia del concreto asfáltico han sido investigadas en términos de la rigidez del asfalto o la rigidez de la mezcla a bajas temperaturas. La evaluación más precisa requiere que esta sea medida directamente antes que sea medida por métodos indirectos. Actualmente en los EE.UU. se han desarrollado instrumentos dinámicos como los reómetros de la especificación SHRP, sin embargo instrumentos simples

capaces de medir la rigidez del asfalto todavía no son disponibles en nuestro país.

En nuestro país se cuentan con cementos asfálticos de muy buena calidad, que tienen un buen comportamiento frente a las sollicitaciones de carga, pero cuando son expuestos a bajas temperaturas, a elevada variación térmica diaria, fuerte radiación solar que es perjudicial a los asfaltos en zonas de altura, entonces le ocasionan un desgaste prematuro al revestimiento de asfalto, fisuramiento precoz y ahuellamiento.

Hoy en día existen nuevas tecnologías que nos dan una serie de alternativas para poder poner fin a estos problemas del deterioro prematuro de nuestras carpetas asfálticas. Una solución a los problemas del comportamiento térmico de las mezclas asfálticas en zonas de altura es encontrar un ligante capaz de trabajar bien a bajas temperaturas, tener un buen comportamiento frente a un alto gradiente térmico; o sea un ligante que presente características favorables como una baja susceptibilidad térmica, reducida tendencia al envejecimiento y buen comportamiento elástico a bajas temperaturas.

El uso de polímeros modificadores de asfalto es una solución actual para poder mejorar nuestros asfaltos, existen una gran variedad de estos productos a nivel mundial. El uso de estos productos en los países desarrollados es común y hasta cuentan con especificaciones para el uso de cada tipo de estos productos. A nivel de Sudamérica también se usan en algunos países y su empleo es cada vez más intenso con tendencia creciente a un uso continuo de este producto.

Por consiguiente el problema plantea la necesidad del uso de un polímero modificador de asfalto, para poder mejorar su comportamiento térmico y visco-elástico. Pudiendo afirmar que el uso de asfaltos modificados con polímeros elastomericos es una alternativa de solución para la ampliación de la vida útil de las mezclas asfálticas, pues estos productos actúan en el asfalto disminuyendo la susceptibilidad térmica y el envejecimiento.

2.3 OBJETIVOS Y UTILIDAD DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo de este trabajo es hacer un análisis del alto desempeño que tiene el polímero SBR en las carpetas asfálticas en zonas de altura y el respectivo estudio en el comportamiento una mezcla asfáltica modificada con este polímero elastomeric para su uso en carpetas asfálticas. Se ha realizado un estudio con materiales que son procedentes de un proyecto de carretera (Yura-Patahuasi) que esta dentro de los denominados zona de altura.

Son modificados cementos asfálticos PEN 120/150 con polímero elastomeric SBR, luego son preparadas las mezclas para carpeta asfáltica con asfalto sin modificar y modificado; realizando luego un análisis del comportamiento de cada muestra, verificando las ventajas que da la modificación del asfalto.

2.4 HIPOTESIS

El comportamiento de los asfaltos convencionales en las mezclas de concreto asfáltico en zonas de altura, no presentan un buen desempeño debido a las sollicitaciones de carga en combinación con las bajas

temperaturas, alto gradiente térmico y la intensa radiación solar lo que conlleva a un envejecimiento prematuro y fisuramiento precoz de la carpeta asfáltica, traduciéndose en el deterioro acelerado de la carpeta asfáltica.

De acuerdo a las nuevas tecnologías en obras viales, el uso de los modificadores de asfalto es una solución real a estos problemas de deterioro prematuro de las mezclas asfálticas. El uso de polímeros elastomericos en la modificación del asfalto mejora notablemente las propiedades del asfalto, entre ellos, baja la susceptibilidad térmica del asfalto, mejora el comportamiento elástico a bajas temperaturas, eleva la adherencia entre el asfalto y agregado pétreo, inhibe el ahuellamiento, es decir eleva notablemente la vida útil de la mezcla asfáltica.

2.5 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Son realizadas consideraciones sobre el comportamiento de los pavimentos asfálticos, teniendo en cuenta su comportamiento a bajas temperaturas, que es un problema común en estas regiones de altura; la fatiga precoz de la carpeta asfáltica y las deformaciones permanentes. Se han realizado ensayos en el laboratorio para estudiar el comportamiento de las mezclas asfálticas con asfaltos convencionales y con asfaltos modificados con polímero SBR (Estireno-Butadieno-Ruber), de modo que al comparar los comportamientos mecánicos, esperamos encontrar una indicación de solución para los problemas frecuentes de las carpetas asfálticas en las zonas de altura.

Este trabajo comenzó con la caracterización del asfalto PEN 120/150 procedente de la Refinería “La Pampilla” REPSOL. Los asfaltos nacionales son de buena calidad, aunque en este caso arrojó una alta

susceptibilidad térmica lo que indica ser un poco perjudicial en el comportamiento a bajas temperaturas y alto gradiente térmico.

La adición del polímero fue realizado en la OAT (Oficina de Apoyo Tecnológico de la Dirección General de Caminos del MTC), en el laboratorio en pequeñas cantidades, debido a que en nuestro país aun no se realizan en las refinerías.

Este proceso de incorporación de polímero se hizo para diferentes cantidades de polímero, llegándose a obtener al final 5 tipos de asfaltos modificados con un mismo tipo de polímero SBR, teniendo que ser estudiados para ver su grado de trabajabilidad. Luego de la evaluación de la trabajabilidad con este tipo de polímero SBR, se procedió a la mezcla con el otro tipo de polímero SBR; para el cual solo se prepararon 2 muestras diferentes correspondientes a las más trabajables.

Se hizo la caracterización de todos los asfaltos modificados, obteniéndose resultados completos para 4 muestras que corresponden a 2 de cada tipo de polímero SBR. Se implementaron ensayos para asfaltos modificados como el de Recuperación Elástica, Ductilidad a 4°C y estabilidad al almacenamiento de asfaltos modificados.

La granulometría de los agregados a ser usada en esta investigación, es la que se encuentra dentro del huso IVb del Instituto del Asfalto. Los agregados usados son propios de la zona en estudio. El análisis de calidad del agregado también fue realizado en laboratorio de la Oficina de Apoyo Tecnológico (OAT).

La caracterización de la mezcla de concreto asfáltico efectuado en laboratorio siguiendo las especificaciones del Método Marshall. Para la mezcla con asfalto convencional se hizo un análisis completo con el fin de determinar el óptimo contenido de asfalto, además de sus demás propiedades y parámetros, para las mezclas con asfalto modificado solo se trabajaron con el óptimo contenido de asfalto elaborándose varios testigos para poder sacar un promedio más representativo para su evaluación. De estas pruebas se han podido determinar las bondades del uso del polímero en la modificación del asfalto.

CAPITULO III: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo experimental de este trabajo se ha dividido en dos fases bien definidas:

- Ensayos de caracterización reológica (calidad) de los asfaltos, ya sean convencionales y modificados.
- Ensayos de caracterización mecánica de las mezclas asfálticas con asfalto convencional y con asfalto modificado.

Para la caracterización reológica de los asfaltos modificados se implementaron los ensayos de recuperación elástica, ductilidad a 4°C y estabilidad al almacenamiento.

Para las mezclas asfálticas se ha determinado la estabilidad y fluencia Marshall.

3.2 EL POLÍMERO SBR

Polímeros Elastómeros. Definición

Un elastómero posee un alto grado de elasticidad que es característico del caucho: puede ser deformado considerablemente, para, sin embargo, volver a su forma original. Como en el caso de las fibras sus moléculas son alargadas y delgadas, y se alinean cuando se estira el material. La gran diferencia es esta: cuando se elimina la fuerza de estiramiento las moléculas de un elastómero no permanecen extendidas y alineadas; vuelven a sus conformaciones desordenadas originales

favorecidas por la entropía. No permanecen alineadas, porque las fuerzas intermoleculares necesarias para sujetarlas en este ordenamiento son más débiles que la de las fibras. En general, los elastómeros no tiene grupos muy polares o lugares muy aptos para puentes de hidrogeno: las cadenas extendidas no se ajustan muy bien entre sí por lo que no pueden operar eficientemente las fuerzas de Van Der Waals. En un elastómero la entropía derrota a la entalpía.

Un requisito adicional: las cadenas largas de un elastómero se conectan entre sí por enlaces cruzados ocasionales: deben ser suficientes para evitar el deslizamiento de las moléculas, pero no privar a las cadenas de la flexibilidad necesaria para extenderse con facilidad y volver nuevamente al desorden.

El caucho natural ilustra estos requisitos estructurales de un elastómero; cadenas largas y flexibles; fuerzas intermoleculares débiles y enlaces intermoleculares ocasionales.

De los elastómeros sintéticos el más importante es el **SBR** un copolímero del butadieno (75%) y estireno (25%) que se produce por medio de radicales libres; Compite con el caucho en el uso mayor de los elastómeros, o sea, la manufactura de neumáticos para automóviles. Puede obtenerse polibutadieno y poliisopreno totalmente cis por medio de la polimerización Ziegler-Natta.

Un elastómero completo o mayormente polidienico es, por supuesto, altamente no saturado. Sin embargo, lo único que se exige de un elastómero es una insaturación suficiente para permitir la formación de enlaces cruzados.

El hule natural se compone principalmente de moléculas de isopreno que forman un polímero de alto peso molecular, mientras que el hule sintético o elastómero se produce comercialmente polimerizando monoolefinas como el isobutileno y diolefinas como el butadieno y el isopreno. También se pueden obtener elastómeros por la copolimerización de olefinas con diolefinas como en el caso del estireno-butadieno (SBR).

Otra posibilidad la presenta la copolimerización de dos olefinas diferentes como el etileno-propileno, que poseen las propiedades características de los elastómeros.

Muchos de los principales hules sintéticos fabricados en los últimos 50 años están basados en los butilenos. El butadieno forma parte de casi todas las fórmulas como se ilustra en el cuadro siguiente:

CUADRO 23. Principales hules sintéticos de los hidrocarburos C₄

<i>nombre</i>	<i>monómeros</i>	<i>composición típica</i>
polibutadieno BR	butadieno	75% butadieno + 25% estireno
GRS, Buna S, SBR	butadieno + estireno	15% butadieno + 85% estireno
GRN, Buna N, NBR	butadieno + acrilonitrilo	60-80% de butadieno + 40-20% de acrilonitrilo
neopreno CR	cloropreno	—
GRI, butilo, IIR	isobutileno + isopreno	97-98% isobutilenos 3-2 % isopreno

Hule butadieno-estireno (SBR)

Este elastómero, como lo vimos en el cuadro anterior, es un copolímero de butadieno con estireno conocido como SBR, GR-S o Buna S.

Los hules de SBR se pueden clasificar en dos tipos: calientes y fríos, según las temperaturas de polimerización. Además, se subdividen en bajo, mediano y alto, de acuerdo al contenido de sólidos.

Los SBR calientes se polimerizan a 49-66°C y se fabrican principalmente con un contenido mediano de sólidos (42-50% en peso).

Los de alto contenido de sólidos (60-70% en peso) se usan para aplicaciones especiales, como bases de injertos para polimerizaciones a fin de obtener plásticos con alta resistencia al impacto.

Los de bajo contenido de sólidos (27%) se emplean en la fabricación de goma de mascar o chicle.

Así es que cuando se mastica un chicle de sabores, lo más probable es que se trate de un elastómero aromatizado con un éster con sabor de manzana, uva, tutti-frutti, etc., todos derivados del petróleo.

El SBR tiene múltiples aplicaciones: se usa para recubrimiento de cierto tipo de papel. En la fabricación de llantas se emplea para recubrir las cuerdas.

También encuentra aplicación en la fabricación de calzado, de bajo alfombras, de ligantes para las pinturas, de empaques, de recubrimiento de frenos, en las baterías como separador de placas, etc.

El SBR con alto contenido de estireno se suele mezclar con otros hules para darles resistencia a la abrasión.

Otros copolímeros de estireno-butadieno son muy útiles como resinas y como aceites secantes para pinturas, barnices y recubrimientos.

La capacidad instalada para producir el SBR en los países no comunistas es muy superior a su demanda. Ésta asciende a 5.15 millones de toneladas métricas. Muchas de estas plantas están operando al 50% de su capacidad.



Chicles, llantas, pelotas y globos: elastómeros derivados del petróleo.

El Látex SBR como Modificador de Asfalto

El modificador de asfalto llamado comúnmente polímero o resina en solución acuosa, látex SBR o látex sintético o resina en dispersión acuosa.

El látex SBR se viene utilizando en la industria desde hace mucho tiempo atrás como modificador de asfalto, alrededor de 40 años. Gran parte del éxito en la investigación y desarrollo de la industria de los

modificadores se debe a la tecnología elaborada por la misma industria de los polímeros de caucho sintético comúnmente llamado látex.

El látex SBR es un polímero, pero en la terminología de la industria de modificadores de asfalto las palabras látex y polímeros son usados para describir dos productos diferentes. El látex es un producto líquido y el polímero es un producto sólido.

Muchos de los desarrollos en especificaciones para los asfaltos modificados con polímeros (AMP) son los resultados de las pruebas y experiencias en las cuales el polímero principal es y sigue siendo el látex. Así como también las pruebas que se realizan en los laboratorios para analizar las cualidades y performance de los asfaltos fueron desarrollados por la industria de modificadores de asfalto con polímeros.

En esta época de competitividad y avance tecnológico, se tiene que estar muy familiarizado con la diversidad de polímeros que existen en el mercado, así como otros productos utilizados con los asfaltos.

El látex ha sido utilizado en obras y lugares muy fríos, de mucha congestión, de alto tráfico, en aeropuertos de diferentes dimensiones, en emulsiones, tratamientos y en mezcla en caliente y otras aplicaciones.

Una mezcla asfáltica típica contiene aproximadamente 6% de cemento asfáltico. Si asumimos que los sólidos de un látex SBR (polímero) son agregados a razón de 3% con respecto al cemento asfáltico, lo cual también es típico, la mezcla final de asfalto modificado tendrá un contenido de menos de 0.2% del polímero con relación al total de la mezcla asfáltica.

El área superficial del látex SBR (polímero) es muy extenso. La configuración molecular del SBR es la de una cadena larga de moléculas que promueve la formación de una red de polímeros en el asfalto. La formación de esta red tiene un efecto muy intenso en ciertas características del asfalto.

El grado de estabilidad de esta red depende mucho de algunos factores como son: El procedimiento de mezclado (temperaturas, velocidad de mezclado y condiciones de almacenaje) y además de algunas propiedades del asfalto base.

Uno de los grandes problemas y desafíos que se tienen que afrontar en la industria de modificadores de asfalto es el desarrollo de productos químicos que puedan ser utilizados en un rango más amplio posible de asfaltos, ya que ningún modificador individual tendrá la misma efectividad en todos los tipos de asfaltos.

El látex SBR como polímero en disolución puede ser una alternativa técnica muy eficiente para el mejoramiento de los caminos y carreteras. No todas las carreteras con asfaltos requieren de asfaltos modificados, pero en los casos donde se ha usado este ha demostrado ser una opción muy variable con excelentes resultados.

Esta comprobado que el látex SBR mejora la calidad de los asfaltos como polímero en disolución minimizando algunos de los problemas asociados con los pavimentos asfálticos.

El látex SBR es probablemente el polímero más versátil en el mundo de los modificadores de asfalto.

En el presente trabajo se han utilizado polímero SBR (Estireno-Butadieno-Rubber) de dos tipos:

a.- BUTONAL NX 1118.

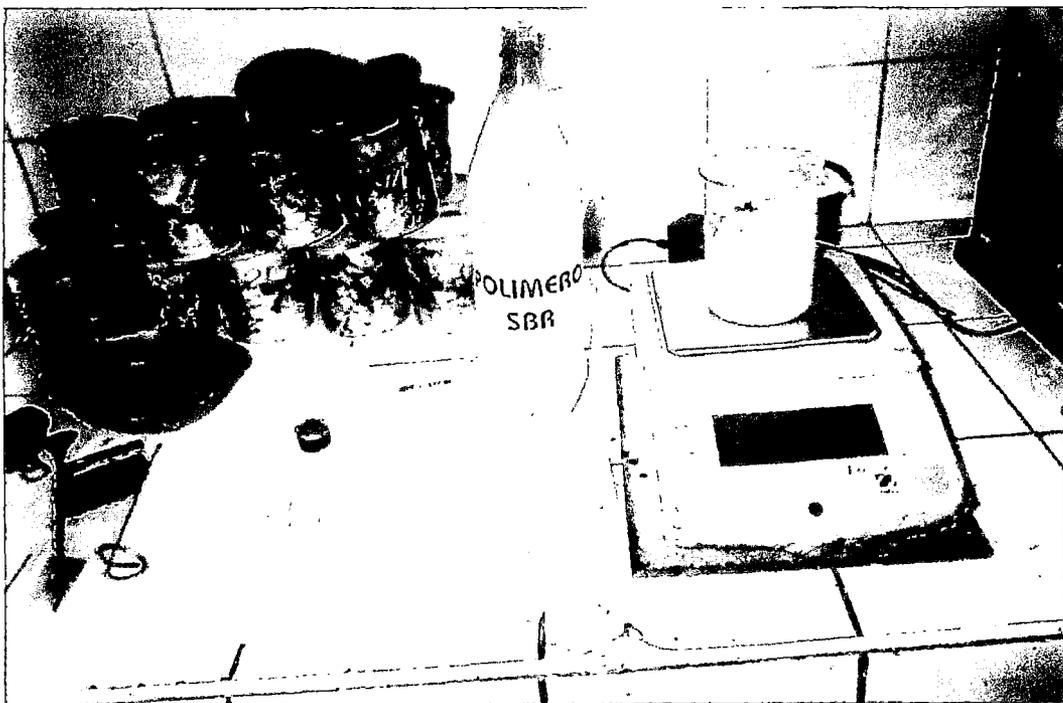
Dispersión acuosa del polímero para la modificación de Cementos Asfálticos y las Emulsiones Cationicas del asfalto.

b.- BUTONAL NX 1129.

Dispersión acuosa del polímero para la modificación de Cementos Asfálticos y las Emulsiones Aniónicas del asfalto.

Empresa comercializadora de este producto es la BASF PERUANA S.A.

Producto con apariencia de Látex Sintético. La información técnica del producto se adjunta.



3.3 ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO SBR

La modificación de asfalto con látex SBR provee diferentes ventajas sobre los asfaltos no modificados. Estas incluyen mayor resistencia a la deformación, fatiga y rotura térmica y menor susceptibilidad a la temperatura y envejecimiento. El látex SBR incrementa la adhesión entre el asfalto y el agregado reduciendo el desprendimiento de éste. Estas mejoras pueden ser directamente relacionadas con una mayor calidad del pavimento vial y un aumento de su vida útil. Por ejemplo, en los Estados de Ohio, Georgia y Texas, entre otros, un estudio encontró que la vida útil se incrementó 50% en promedio y, en algunos casos, hasta 65%.

El látex SBR se puede adicionar a la mezcla asfáltica caliente o a emulsiones de asfalto. Cuando se carga a la mezcla asfáltica caliente, el látex se adiciona para modificar ya sea el asfalto o la mezcla asfáltica. Al adicionarse al asfalto, generalmente la mezcla se hace en caliente (alrededor de 170 °C) con agitación y a presión atmosférica. En este caso, el producto es llamado “Asfalto Modificado”-(AM). Cuando se modifica la mezcla asfáltica, el látex SBR se adiciona directamente a la mezcla asfalto-agregado al momento en que éste último ha sido completamente cubierto por el asfalto. Esta técnica es conocida comúnmente como “inyección directa” y tiene varias ventajas al preparar el AM. Puede ser usada para todos los tipos de asfalto, no hay residuos de AM y no existen problemas relacionados con periodos largos de almacenamiento de AM.

El látex SBR también se adiciona fácilmente a emulsiones de asfalto. Debido a que éstas son basadas en agua, el látex puede ser considerado un componente natural. La adición puede ser llevada a cabo mediante carga directa a la emulsión terminada, o en la molienda durante la fabricación de

la emulsión de asfalto. No se requiere de calentamiento para mantener fluido el AM antes de la molienda de la emulsión, como resultado, no se requiere de intercambiador de calor para enfriar la emulsión de asfalto antes de almacenamiento.

Las mejoras en las propiedades obtenidas con el uso del látex SBR pueden ser atribuidas a la red de polímero que se forma alrededor de las partículas de asfalto. Es una red continua con una estructura que asemeja a un panal de abejas. Las mejoras en las propiedades incluyen reducción de la pérdida por abrasión en húmedo y de la deformación por tráfico vehicular, así como incremento del grado PG, ductilidad y recuperación elástica.

El National Center for Asphalt Technology (NCAT) ha publicado una lista de razones para emplear polímeros en la modificación de asfaltos:

- Incrementa la resistencia al ahuellamiento formando redes resistentes de polímero en los ligantes asfálticos y las mezclas. .
- Incrementa la resistencia a la rotura térmica ablandando el ligante, incrementando la elasticidad a bajas temperaturas.
- Mejora la adherencia asfalto-agregado para reducir desprendimientos.
- Rigidiza capas de mezclas de asfalto en caliente reduciendo los espesores estructurales de capa requeridos.
- Mejora la durabilidad del pavimento con la consiguiente reducción neta en los costos de su ciclo de vida.

Uno de los polímeros que exhibe las mayores mejoras en las propiedades es el látex SBR.

El látex SBR consiste en cadenas de polímero lineal de estireno-butadieno que presentan propiedades elastoméricas. Esto significa que retorna a su configuración original una vez que se ha removido la carga.

En el presente trabajo se han efectuado mezclas de asfalto polímero de diferentes porcentajes y de los dos tipos del polímero SBR, para este caso se han usado los siguientes porcentajes:

- | | |
|---------------------------|-------------------------------------|
| - BUTONAL NX 1118. | 1% del polímero en peso del asfalto |
| (Cationico) | 2% del polímero en peso del asfalto |
| | 3% del polímero en peso del asfalto |
| | 4% del polímero en peso del asfalto |
| | 5% del polímero en peso del asfalto |
|
 | |
| - BUTONAL NX 1129 | 2% del polímero en peso del asfalto |
| (Aniónico) | 3% del polímero en peso del asfalto |

3.3.1 COMPATIBILIDAD ASFALTO POLÍMERO

Se dice que un Asfalto y un polímero son compatibles cuando pueden mezclarse sin que exista una separación de fases y no se llegue a una rotura del equilibrio coloidal del asfalto.

Una indicación de que existe compatibilidad entre un polímero y un asfalto es la existencia de una estabilidad adecuada de la mezcla utilizando el método de Zenke.

Sin embargo este método es adecuado principalmente para medir la estabilidad al almacenamiento y presenta limitaciones cuando se trata de determinar la compatibilidad de una mezcla. Podemos decir que una

mezcla es compatible si es inestable al almacenamiento según Zenke, pero no todas las mezclas asfalto/polímero inestables son incompatibles.

La compatibilidad de las mezclas asfalto-polímero puede medirse más apropiadamente por Calorimetría Diferencial de Barrido, ya que la existencia de compatibilidad se determina por la aproximación de los valores de las temperaturas de transición vítrea.

Para realizar este trabajo se utilizaron Asfalto 120/150 producidos por REPSOL y el polímero látex SBR proporcionado por la empresa BASF. No se usaron productos compatibilizantes asfalto-polímero.

La mezcla asfalto/polímero se fabricó utilizando métodos convencionales.

Desde el punto de vista macroscópico, los ligantes presentan un aspecto homogéneo y, mantenidos en estufa no presentan un incremento significativo de su viscosidad. Si son inestables al almacenamiento, basta una ligera agitación para homogeneizar sus propiedades.

Cabe destacar la necesidad de contar con asfaltos modificados en que exista una compatibilidad adecuada entre el polímero y el asfalto. En caso contrario las propiedades ligantes del asfalto modificado pueden quedar disminuidas.

En nuestro caso se hizo el análisis de la estabilidad en forma macroscópica y usando el método de la estabilidad al almacenamiento, obteniéndose resultados diferentes para cada tipo del polímero SBR que se usó.

El BUTONAL NX 1118 (Cationico) tuvo mejor comportamiento frente al ensayo de estabilidad realizado, con lo cual podemos afirmar que es estable al almacenamiento y compatible con el asfalto utilizado.

El BUTONAL NX 1129 (Aniónico) tuvo un comportamiento no tan satisfactorio frente al ensayo de estabilidad, con lo cual podemos deducir que no es estable al almacenamiento y por ello no es compatible con el asfalto utilizado.

3.3.2 PREPARACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON POLÍMERO

El asfalto puede emplearse tanto en mezclas en caliente como en emulsiones asfálticas y el uso de asfaltos modificados con polímeros ha crecido significativamente en los últimos 10 años.

Sin embargo, el problema más importante que afecta a la gran mayoría de polímeros (no solamente el SBR) al modificar en caliente es su limitada compatibilidad con algunos tipos de ligantes asfálticos. Para intentar superar esta dificultad se ha propuesto diversas alternativas, tales como el empleo de polímeros de menor peso molecular, uso de solventes orgánicos, etc. que como contrapartida pueden afectar el rendimiento de la mezcla modificada.

La versatilidad de uso de los látices de SBR permite la modificación mediante mezcla directa:

- Con bitumen, a alta temperatura, a manera de premezcla modificada

- En la línea de producción de asfalto (inyección directa), también a alta temperatura
- Con emulsiones bituminosas

Modificación de Bitumen y Asfalto en Caliente

El látex de SBR puede mezclarse directamente con el bitumen a aprox. 170°C utilizando diversos métodos de mezcla. Tan sólo debe asegurarse que el agua contenida en el látex pueda evaporarse convenientemente. El método más usual suele ser la mezcla directa con agitación a presión atmosférica y utilizando un sistema de extracción de efluentes. La Fig. 2 muestra el esquema de la instalación requerida.

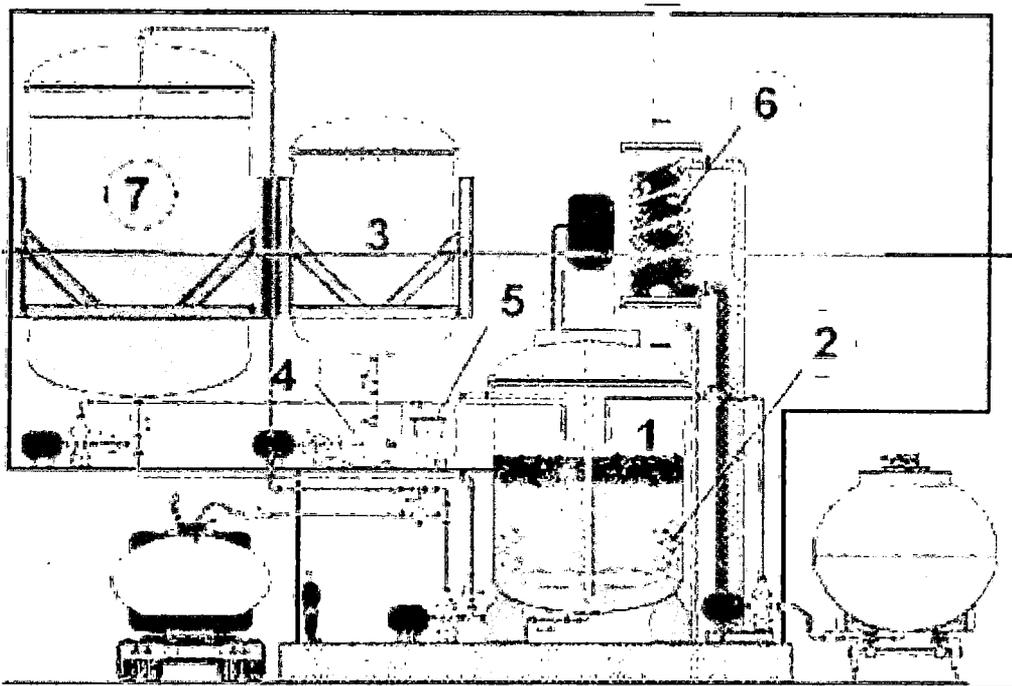


Fig. 2. Instalación de mezcla en caliente con látex SBR. 1=Tanque de mezcla para el bitumen, 2=Serpentín de calefacción, 3=Tanque de almacenamiento del látex SBR, 4=Bomba de membrana, 5=Filtro, 6=Condensador, 7=Tanque de almacenamiento del bitumen modificado

Con una instalación de este tipo puede producirse aprox. 200-400 tons. de bitumen modificado en 24 horas.

Modificación directa de asfalto

La adición del látex puede realizarse directamente en la línea de producción de asfalto, con las ventajas logísticas que ello conlleva, al evitar la producción de bitumen modificado y su almacenaje (y por tanto los problemas de incompatibilidad y degradación térmica a los que hemos hecho referencia anteriormente). La Fig. 3 muestra un esquema de la instalación

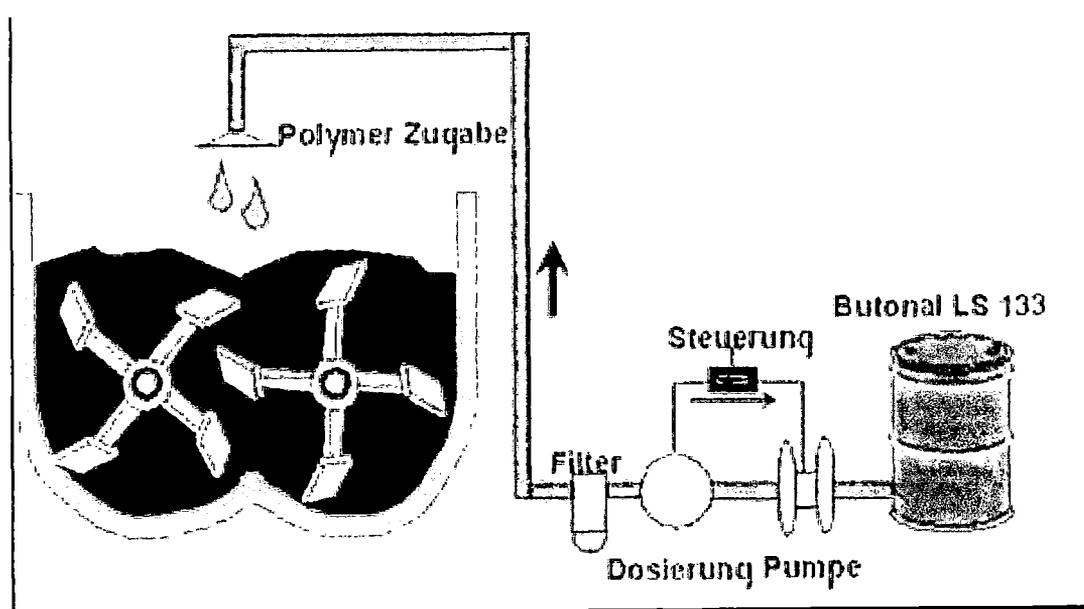


Fig. 3. Instalación de modificación directa de asfalto con látex SBR

La técnica de modificación directa de la mezcla asfáltica lleva tiempo utilizándose en Norteamérica. En Europa se está utilizando de manera reciente en algunas pruebas.

La preparación de la mezcla del polímero con el asfalto se hizo en forma convencional con un equipo mezclador que se tiene en el laboratorio, en el cual se calienta el asfalto hasta una temperatura determinada y luego se pone en funcionamiento el sistema batidor y se deja que siga calentando para luego añadir directamente el polímero sobre el asfalto, esto se hace en forma lenta de tal modo que todo el asfalto se mezcle y no se formen fases discontinuas ni concentraciones del polímero en el asfalto.

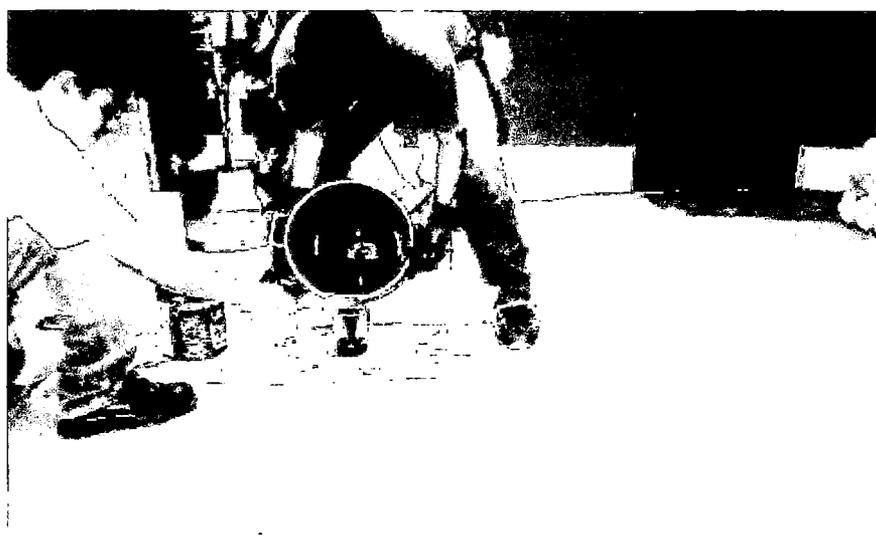
El Polímero estudiado fue adicionado lentamente al asfalto previamente calentado a temperatura no menos de 150°C, tiempo y velocidad, de acuerdo a las características del tipo de polímero, el tiempo de agitación dependió de que la mezcla sea homogénea sin la formación de espuma y que el agua se evapore completamente hasta obtener una viscosidad trabajable.

Cabe comentar que la incorporación del Polímero se hace en forma relativamente fácil, ya que requiere condiciones específicas, tiempo y temperatura de mezclado.

El proceso de mezclado se sigue hasta alcanzar una temperatura de 170°C y por lo menos una media hora para asegurarse que todo el polímero este uniformemente distribuido, además este tiempo será lo suficiente para poder evaporar todo el agua en donde esta disperso el polímero.



En esta foto se muestra el proceso de mezclado en el instante que se esta añadiendo el polímero al asfalto caliente en la mezcladora, y luego se tiene el muestreo.



Muestreo de la mezcla de asfalto con polímero

3.3.3 ENSAYOS REALIZADOS A LA MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

Las propiedades relevantes a evaluar de los Cementos Asfálticos son 13 (sin considerar propiedades Superpave) como se puede observar en la tabla adjunta, donde solamente 6 tests son comunes y el resto son propios de cada tecnología, Sin embargo cada test arroja sus propias especificaciones e interpretaciones.

PROPIEDAD	METODO	ASFALTO CONVENCIONAL	ASFALTO MODIFICADO CON ELASTOMERO				ASFALTO SUPERPAVE
			ELASTOMERO		PLASTOMERO		
			TIPO I	TIPO II	TIPO IV	TIPO III	
PERMEACION	ASTM	X	X	X	X		
DUCTILIDAD	ASTM	X		X		X	
RECUPERACION ELASTICA	ASTM						
FLUIDEZ	ASTM	X	X	X	X		
SOLUBILIDAD	ASTM	X	X		X	X	
	ASTHO	X					
VOLATILIDAD	ASTM	X	X	X	X		
DENSIDAD	ASTM	X					
COMPATIBILIDAD ASFALTO/POLIMERO	ASTM		X		X	X	
SUSCEPTIBILIDAD TERMICA	IP	X					
	ASTM	X				X	
EFFECTO DEL CALOR Y AIRE (FUECULA FINA)	ASTM	X	X	X	X		
ADHERENCIA	ASTM	X					
COMPOSICION QUIMICA	ASTM	X					
SUPERPAVE	ASTHO					X	

Como se ve en la tabla, son 12 los tests que especifican los asfaltos convencionales y 25 los tests que especifican los asfaltos modificados en los diferentes tipos mencionados. Esto genera dificultad en los requerimientos de los usuarios en el diseño de mezclas y en lo que se espera como "requisito de desempeño" del asfalto. Sin embargo, los asfaltos modificados de un tipo u otro así como los Superpave, han demostrado mejores condiciones de performance en sus aplicaciones alargando la vida de los pavimentos debido a la nueva visión con que se les diseña: La Reología: ciencia que estudia el flujo y la deformación.

Los ensayos realizados a los asfaltos modificados con polímero son los siguientes:

- ❖ Ductilidad (a 25°C y a 4°C, 5cm/min, cm)
- ❖ Viscosidad
- ❖ Penetración (a 25°C, 100 gr, 5s, 0.1mm)
- ❖ Índice de Penetración
- ❖ Punto de Inflamación °C
- ❖ Punto de Ablandamiento °C
- ❖ Ensayo de Perdida por Película Fina
- ❖ Estabilidad al almacenamiento (Compatibilidad) y
- ❖ Recuperación Elástica

Además de medir las especificaciones se evalúa también las propiedades de Penetración, Viscosidad y Ductilidad a otras temperaturas para determinar su performance y susceptibilidad térmica.

Los AMP se clasifican en varios tipos como se ve en la tabla indicada, según sea el tipo de polímero adicionado:

- AMP Elastómeros: Tipo I (Polímeros SB, SBS),
- **AMP Elastómeros: Tipo II (Polímeros SBR o Cloropolipreno látex)**
- AMP Elastómeros: Tipo IV (Polímeros SBE).
- AMP Plastómeros : Tipo III : Polímero EVA (Etil Vinil Acetato)

Los AMP Tipo I y IV : Son evaluados mediante tests similares :

- Separación (Diferencia Punto de Ablandamiento), °C
- Recuperación Elástica, %
- Penetración a 4°C

Los AMP Tipo II: Son evaluados mediante otros tests diferentes:

- Ductilidad a 4°C
- Resistencia a 25°C
- Tenacidad a 25°C

Los AMP Tipo III: Son evaluados mediante otros tests diferentes:

- Penetración a 4°C y 25°C
- Pérdida de masa por calentamiento

Propiedades Físicas y Reológicas del Asfalto Modificado

Las propiedades que le confieren los polímeros a los asfaltos están relacionados directamente a la cantidad incorporado y al tipo de asfalto.

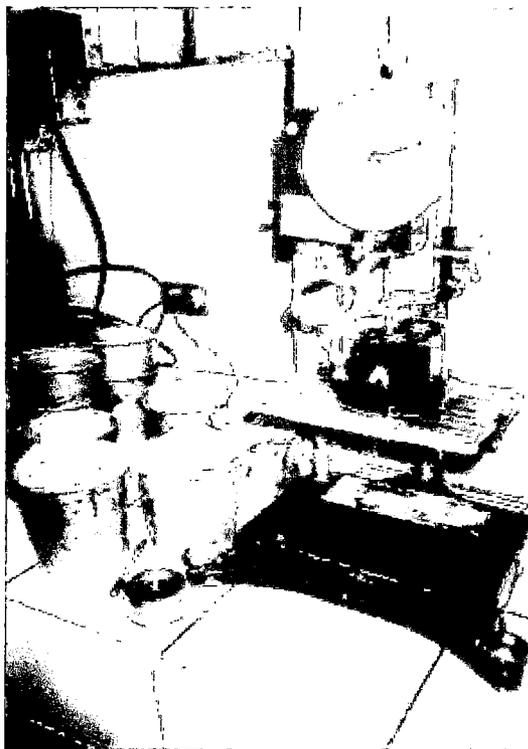
Consistencia

1. En el caso del Ensayo de Penetración efectuado a los asfaltos modificados con polímeros de los dos tipos a diferentes concentraciones se observa que ésta decrece indicando un incremento de consistencia y dureza.
2. Se observa el efecto de modificar al asfalto sobre la viscosidad del asfalto original y asfalto modificado, se evidencia el aumento de viscosidad del Asfalto Modificado (Asfalto 120-150 con 2% y 3% de polímero), manifestando una dificultad en la trabajabilidad en obra. (El grado de manejabilidad de los asfaltos modificados se verá gradualmente influenciado por la concentración de polímero incorporado).
3. En el caso del punto de ablandamiento esta propiedad aumenta de acuerdo al incremento de la concentración del Polímero, esta propiedad mide la resistencia del material a las deformaciones plásticas (ahuellamientos), vemos que la mezcla del Asfalto

Modificado con Polímero sin envejecer y envejecido con diferentes concentraciones de éste dan mayor valor (mayor resistencia) que los asfaltos originales.

Susceptibilidad Térmica

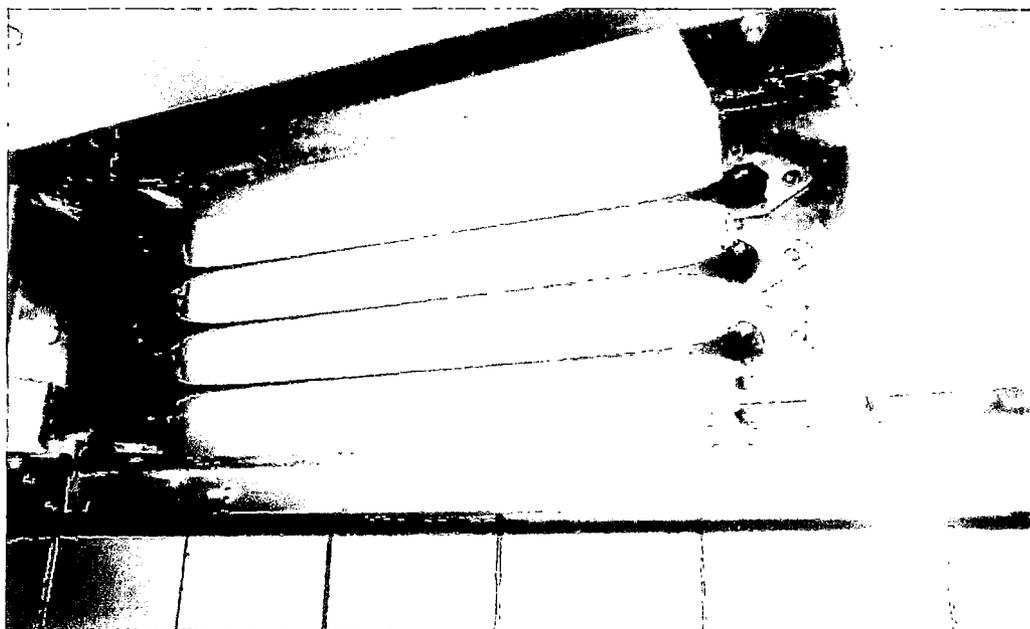
1. El Índice de Penetración es un parámetro que determina la susceptibilidad térmica de los asfaltos, esta propiedad es de suma importancia ya que está íntimamente ligada al comportamiento de los asfaltos en servicio. Su especificación establece un rango de variación del orden de -1 a $+1$. Esto implica que valores muy bajos son propios de asfaltos muy susceptibles a cambios de temperatura. En los resultados puede apreciarse el incremento del Índice de Penetración de acuerdo al aumento de concentraciones del polímero en todas las mezclas.



Ensayo de Penetración

2. Con respecto al Ensayo de Película Delgada, se puede verificar que los ensayos de Punto de Ablandamiento, Penetración antes y después de Película Delgada (TFOT), presentan mayores diferencia, por lo que no tendrá un buen comportamiento, debido a la compatibilidad

del polímero que en este caso fue verificado con el ensayo de punto de ablandamiento de acuerdo a especificaciones.



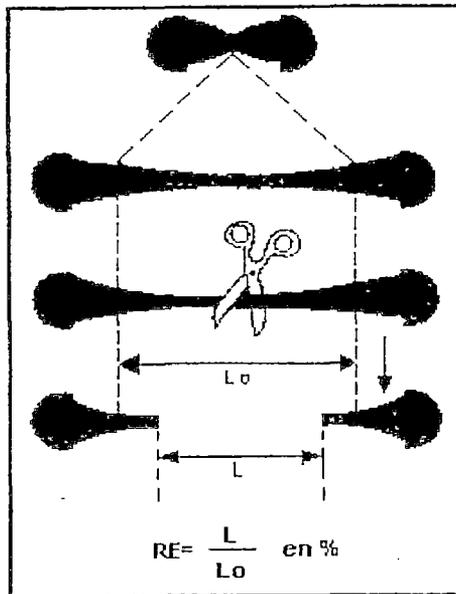
Ensayo de Ductilidad de Asfaltos Modificados

3. Con respecto al Ensayo de Ductilidad, las especificaciones tanto para los asfaltos originales como para los asfaltos modificados, aconsejan realizar este ensayo a más de una temperatura, especialmente a bajas temperaturas (4°C), ya que existiría una relación entre ensayo y el fisuramiento de los asfaltos en el pavimento a bajas temperaturas.

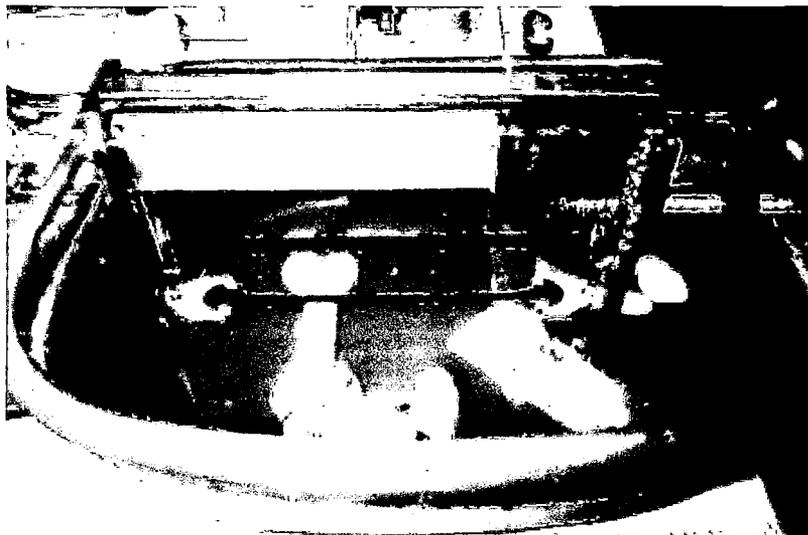
Recuperación Elástica (Ductilidad Modificada)

1. Método basado en el ensayo convencional de Ductilidad realizado a 4°C, y 25°C. El ensayo emplea la misma técnica del método ASTM D-113, mide una de las características típicas, Elasticidad y Recuperación Elástica (como un % de deformación aplicada de los asfaltos modificados). En esta se muestra que la recuperación elástica de los asfaltos modificados con el Polímero son más que del asfalto original que están por debajo de los límites exigidos.
2. En los formatos de calidad se reporta valores de recuperación elástica de los asfaltos modificados. Este ensayo es exigente, pone en evidencia la permanencia de las propiedades conferidas por los polímeros a los asfaltos cuando son sometidos a condiciones

extremas de temperaturas. Este ensayo denota el mayor ó menor grado de dispersión del polímero en el asfalto y su adhesividad, también como nos indica como trabaja a bajas temperaturas.



La prueba de Recuperación Elástica evalúa el grado resistencia del asfalto ante esfuerzos de tensión. En la prueba de laboratorio, el asfalto se estira hasta 20 cm de longitud a una temperatura determinada procediendo luego a cortar el hilo alongado de asfalto y medir el grado de rotura producido en función de la longitud inicial.



Ensayo de Recuperación Elástica a 5°C, equipo confeccionado para determinar dicho para metro del asfalto modificado

3. La prueba de la Compatibilidad Asfalto/Polímero mide la afinidad entre el ligante asfáltico y el polímero, indicando estabilidad física de comportamiento.
4. La prueba de Penetración a baja temperatura, mide el comportamiento contra la tracción en condiciones severas frías.

PROPIEDAD	METODO ASTM	II - A		II - B		II - C		II - D	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
PRODUCTO ORIGINAL									
PENETRACION: 25°C, 100 gr, 5seg, dmm	D5	100		70		85		80	
VISCOSIDAD 60°C, Po	D2171	800		1600		800		1600	
VISCOSIDAD 135°C, cst	D2170	300		300		300		300	
DUCTILIDAD: 4 °C, 5 cm/min, cm	D113	50		50		25		25	
FLASHPOINT, COC, °C	D92	232		232		232		232	
TOUGHNESS, 25°C, 20 In/in, In-lb	D6801	75		110		75		110	
TENACIDAD, 25°C, 20 In/in, In-lb	D6801	50		75		50		75	
PRUEBA EN EL RESIDUO RTFOT ASTM 2672 O PELICULA FINA ASTM 1754									
DUCTILIDAD: 4 °C, 5 cm/min, cm	D113	25		25		10		10	
VISCOSIDAD 60°C, Po	D2171		4000		8000				8000
TOUGHNESS, 25°C, 20 In/in, In-lb	D6801					75		100	
TENACIDAD, 25°C, 20 In/in, In-lb	D6801					50		75	

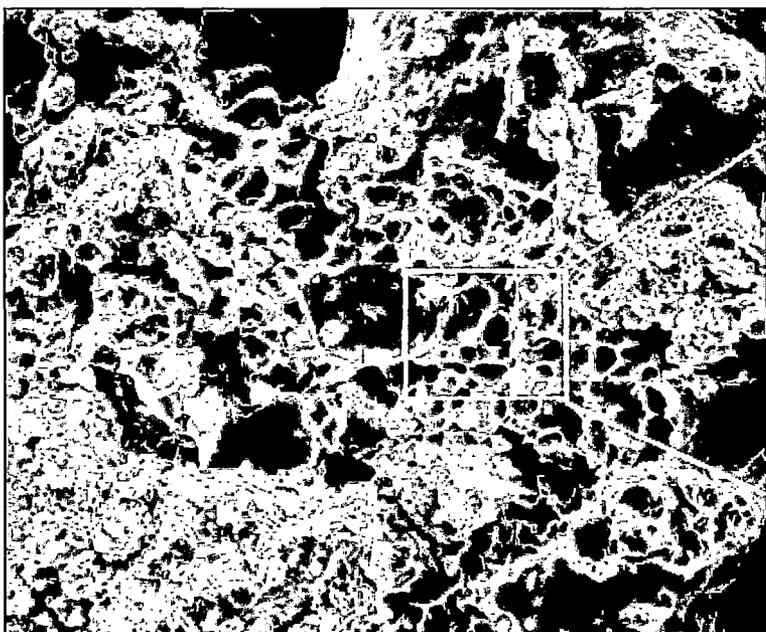
Asfaltos Modificados con Polímeros Tipo II (ELASTÓMEROS)

3.3.4 CAMBIOS EN LA MEZCLA ASFÁLTICA

Como se mencionó anteriormente, se forma finas redes poliméricas en el asfalto durante la adición de polímero. Un microscopio óptico hot stage fue empleado para ilustrar la presencia de la fina red de polímero en la mezcla recientemente preparada. Fotomicrografías mostradas en la figura 4 fueron tomadas a 170°C a x 200 de aumento.



Figura 4. Fina red polimérica en mezcla de asfalto en caliente empleando látex SBR. Dos fotografías tomadas con el SEM de la superficie fracturada tomada de la vía Texas State Highway 84 son mostradas en la figura 5. La autopista fue pavimentada en 1998, y las muestras fueron tomadas en el 2001. Estas fotografías demuestran la estructura de panal de abeja del polímero SBR formada alrededor de las partículas de asfalto y muestra solo muy leve deformación. Muestra que la estructura de panal de abeja es flexible como para soportar esfuerzos repetidos luego de tres años de servicio. Algo de polímero también se adhiere a la superficie de agregado. Es importante caer en la cuenta que los polímeros deben mantenerse en la fase acuosa, no en el asfalto, y se transforman en una película continua de polímero durante el proceso de curado.



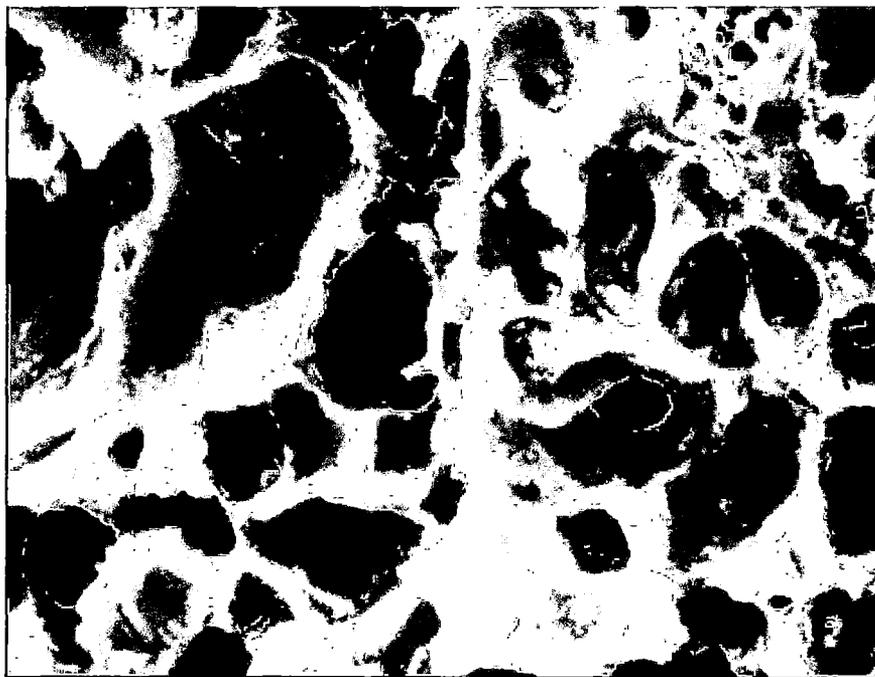


Fig. 5 Estas fotografías (200–400 aumentos) demuestran la estructura de panal de abeja del polímero SBR formada alrededor de las partículas de asfalto y muestra solo muy leve deformación.

Los autores concluyen que el látex SBR se comporta muy bien en prácticamente todos los ensayos de laboratorio a que ha sido sometido. También reconocieron que los materiales que recibieron como látices, tienen una tendencia a mejor comportamiento que los polímeros sólidos. Estas conclusiones, especialmente los resultados LWT, pueden ser ahora interpretados a la luz de la formación de la estructura polimérica de panal de abeja, proporcionando excelente resistencia al ahuellamiento al residuo de emulsión asfáltico.

Tanto en la experiencia práctica en el campo como por ensayos, el látex SBR mejora las propiedades del asfalto, ya sea en la modificación de mezclas en caliente como en emulsiones asfálticas. El látex de SBR reduce el ahuellamiento, la rotura térmica e incrementa la retención de agregados a través de la formación de una red polimérica. Esto lleva a vías de mayor calidad y más duraderas.

3.4 CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA CON ASFALTO CONVENCIONAL

3.4.1 AGREGADOS.

Los materiales pétreos empleados para la elaboración de la mezcla asfáltica han provenido del proyecto mencionado (YURAPATAHUASI-SANTA LUCIA), que esta ubicado en una zona considerada como altura, el material es de la Cantera “Queiroz-Galvao” localizado a la altura del Km. 53+000 del proyecto Yurapatahuasi en el departamento de Arequipa. El material integral esta compuesto por muestras de agregado grueso conformado por gravas de ¾” y gravilla de ¼”, y agregado fino compuesto de arena natural y arena chancada las cuales son producto de trituración y clasificación.

Los materiales luego del proceso de triturado y clasificación, han presentados características físico-mecánicas aceptables, así como porcentajes de absorción de agua superiores a 2%. Las partículas presentaron superficies ásperas y una buena adherencia con el cemento asfáltico. La granulometría y los resultados de los ensayos de calidad del agregado se presentan a continuación.

3.4.2 ASFALTO.

EL material ligante empleado para la fabricación de la mezcla asfáltica ha sido seleccionado especialmente para las características que deben de tener los ligantes para proyectos en zonas de altura y climas fríos, por lo que se requieren de un asfalto blando para que no

se rigidize y se torne quebradizo a bajas extremas temperaturas, por lo que se uso un Cemento Asfáltico: PEN 120/150 fabricado por la Refinería “La Pampilla” REPSOL.

EL cemento asfáltico utilizado ha presentado buenas características en el control de calidad, así como buena adherencia con el agregado. Presento una alta susceptibilidad térmica pero esta dentro de lo permisible.

3.4.3 CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA

Para la selección optima de la combinación de agregados se empleo el criterio de Dosificación en base a la franja granulométrica recomendada por el Instituto del Asfalto, para un agregado de tamaño máximo $\frac{3}{4}$ ".

La combinación de agregado optima de diseño se estableció considerando una mezcla de 35% de piedra de $\frac{3}{4}$ ", 10% de gravilla $\frac{3}{8}$ ", 35% de arena chancada y 20% de arena natural. La granulometría y la curva granulométrica de la mezcla de agregados se presentan en un formato a continuación.

Para la caracterización de la mezcla y optimo contenido de asfalto se realizaron mezclas de prueba variando el contenido de asfalto entre 5.5% y 7.5%. Se moldearon 3 briquetas por cada contenido de asfalto y estas se sometieron a los ensayos especificados por el **Método Marshall**, empleando los procedimientos convencionales, así como las temperaturas de mezcla y compactación establecidos mediante la carta de viscosidad-temperatura.

Con las dosificaciones indicadas se moldearon probetas Marshall de acuerdo a la Norma ASTM 1559 con energía de compactación de 75 golpes por cara, obteniéndose los resultados mostrados.

3.5 CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA CON ASFALTO MODIFICADO

3.5.1 AGREGADOS.

Los agregados empleados en esta prueba son los mismos que se han utilizado para la mezcla con Asfalto Convencional, cumpliendo con las mismas especificaciones y cuyos resultados de calidad se han mostrado anteriormente.

3.5.2 ASFALTO MODIFICADO

El Cemento Asfáltico Modificado que se ha empleado en el presente trabajo, ha sido elaborado en el laboratorio en la forma como se ha indicado en la parte de preparación de la mezcla.

Se modifico el asfalto con el polímero SBR, como ya se indico y se usaron dos tipos de este producto que son;

- BUTONAL NX 1118 (Cationico)
- BUTONAL NX 1129 (Aniónico)

Con el primer tipo de polímero SBR (BUTONAL NX 1118 Cationico), se prepararon un total de cinco mezclas diferentes que corresponden a porcentajes diferentes (1, 2, 3, 4 y 5 %) de porcentaje en peso del asfalto. Luego a estas mezclas se le sometió a su

respectivo control de calidad obteniéndose como es esperado, resultados diferentes para cada porcentaje de polímero.

- Para un porcentaje de 1% de polímero, se obtuvo una mezcla muy trabajable casi como un asfalto convencional, pero se observaba en forma microscópica que no cambiaba mucho la textura del asfalto. En los ensayos que se realizaron se pudo comprobar que no alteraba mucho las propiedades del asfalto y que era poca cantidad para poder lograr un cambio sustantivo en la mezcla, por lo que se descartó la mezcla con ese porcentaje de polímero.
- Para un porcentaje de 2% de polímero, se obtuvo una mezcla también trabajable y se observó microscópicamente que ya había un cambio en el asfalto, se puso más viscoso y al enfriarse más elástico. En los ensayos que se realizaron se pudo comprobar que ya había un cambio sustantivo y notorio en la mezcla, por lo que se determinó trabajar con esa muestra.
- Para un porcentaje de 3% de polímero, se obtuvo una mezcla también trabajable, se observó un cambio más notorio en forma microscópica, su viscosidad aumentó y también al enfriarse un poco su viscosidad aumentaba bastante. Para poder trabajar se necesitaba de calentarlo más que la mezcla anterior, también se le realizaron todos los ensayos de calidad comprobándose que mejoraron más algunas propiedades del asfalto por lo que también se trabajó con esta mezcla.
- Para un porcentaje de 4% de polímero, se observó un cambio más notorio en el mezclado, aumento su viscosidad hubo un cambio en la textura superficial de la mezcla, se notaba más densa; se pudo moldear bien caliente pero se tornó poco trabajable para realizar los ensayos, se le hicieron algunos ensayos en los que se determinó que no mejoraba mucho las propiedades del asfalto, se

necesitaba una temperatura mas elevada por lo que era poco trabajable. Se puso demasiado viscoso.

- Para un porcentaje de 5% de polímero, al realizar esta mezcla el cambio fue drástico en cuanto a la viscosidad de la mezcla, se tuvo que aumentar la temperatura de mezclado para que la mezcla sea trabajable, su textura se torno como espera; luego de la mezcla se pudo moldear en los depositos pero luego para poder realizar los ensayos era imposible trabajarlo, debido a que se necesitaba calentarlo demasiado y ni así se podía no se le realizó ninguna prueba, era demasiado polimeros en la mezcla.

Con el segundo tipo de polímero SBR (BUTONAL NX 1129 Anionico), se prepararon solo dos mezclas con porcentajes (2 y 3 %) de polímero; debido a la experiencia anterior, en estas mezclas se obtuvieron características similares a las de los porcentajes correspondientes a del otro tipo del polimero; procediéndose entonces a trabajar con estas dos muestras para los ensayos de calidad respectivos de los asfaltos modificados.



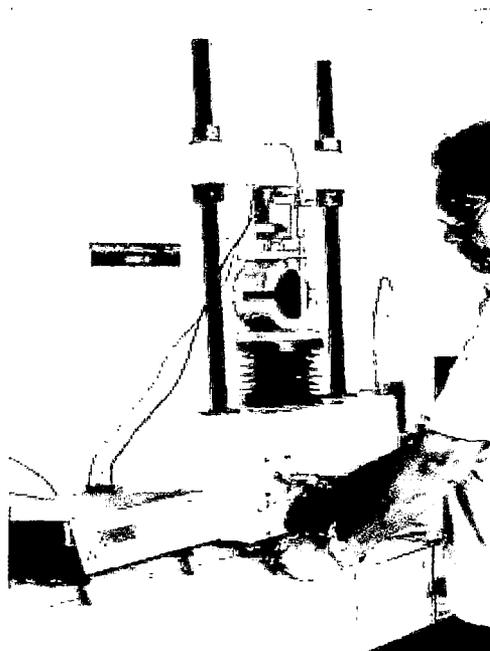
3.5.3 CARACTERIZACIÓN DE LA MEZCLA

Con el objeto de evaluar la incorporación de los polímeros a las propiedades físico – mecánicas de las Mezclas Asfálticas, se procedió a dosificar un concreto asfáltico en caliente de acuerdo a los lineamientos establecidos por el Método Marshall, cumpliéndose con las siguientes condiciones:

- Se moldearon 10 briquetas para cada porcentaje (2 y 3%) del polímero BUTONAL NX 1118 (Cationico), y 5 briquetas para cada porcentaje (2 y 3%) del otro tipo de polímero que es el BUTONAL NX 1129 (Aniónico).
- El porcentaje de asfalto modificado es fijo para todos y esta dado por él optimo contenido de asfalto que ha sido determinado para la mezcla con el asfalto convencional.
- La temperatura de aplicación de mezcla asfáltica modificada con polímero para el caso de 2% de polímero esta (162°C – 167°C) y la temperatura de aplicación de mezcla modificado por el caso de 3% de polímero esta (170°C – 175°C).



En el cuadro de resultados que se presentan se indican los valores obtenidos donde puede verificarse, para el caso de la mezcla con BUTONAL NX 1118 (Cationico); a medida que aumenta el porcentaje de polímero, aumenta la estabilidad, y en el caso de la mezcla con BUTONAL NX 1129 (Aniónico) comparado con el asfalto original, esta eleva su estabilidad para un 2% y baja su estabilidad, para una mayor concentración 3% del polímero.



CAPITULO IV: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

4.1 EVALUACIÓN DE RESULTADOS ENSAYOS DE LAS COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA

4.1.1 EVALUACIÓN DE LOS AGREGADOS

La evaluación de los agregados para el uso en la pavimentación depende de la disponibilidad, costo y calidad del material, así como del tipo de construcción proyectada. La conveniencia de un agregado se determina por medio de su evaluación en términos de:

- 1 - Tamaño y granulometría.
- 2 - Limpieza
- 3 - Resistencia al desgaste.
- 4 - Textura superficial.
- 5 - Forma de partículas.
- 6 - Absorción.
- 7 - Afinidad con el asfalto.
- 8 - Procedencia mineralógica.
- 9 - Análisis química de los agregados.

A). Agregado Grueso:

Se define como agregado grueso a la porción de agregado retenido en la malla No 4, el cual deberá ser piedra triturada, o grava zarandeada. El agregado grueso tiene que ser limpio, compacto, durable, sin sustancias orgánicas, ni arcillas en terrones y su acopio en cancha deberá estar cubiertas para evitar

posible contaminación, lo que pasa muchas veces desapercibidas por las empresas constructoras.

Cantera :

KM. 53+000 (YURA - PATAHUASI) Piedra

CONTROL DE CALIDAD DEL AGREGADO GRUESO

Análisis Granulométrico

MALLAS	PIEDRA DE ¾	
	RETENIDO	PASA
3/4"		100
1/2"	28	72
3/8"	24	48
1/4"	30	18
No 4	11	7
No 6	6	1
No 8	1	-
No 10	-	-

MALLAS	PIEDRA DE ¼	
	RETENIDO	PASA
3/4"		
1/2"		100
3/8"	5	95
1/4"	47	48
No 4	29	19
No 6	17	2
No 8	2	-
No 10	-	-

Ensayos del Agregado Grueso:

ENSAYO	PIEDRA DE ¾	PIEDRA DE ¼
Peso Unitario Sin Varillar (Kg/m ³)	1355.0	1256.0
Peso Unitario Varillado (Kg/m ³)	1478.0	1427.0
P.E Bulk (Base Seca) (g/cc)	2.463	2.486
P.E Bulk (Base Saturada) (g/cc)	2,520	2.557
P.E Aparente (Base Seca) (g/cc)	2,611	2.676
Absorción %	2.72	2.57
Abrasión %	26	28.5
Sales Solubles Totales %	0.0085	0.0120
Durabilidad 5c, Na ₂ SO ₄	6.22	6.47
Adherencia Piedra	+95 %	+ 95

B). AGREGADO FINO:

Se define como agregado fino a la porción de los agregados que pasan la malla No 4 y se compondrán de arena natural y/o material obtenido por trituración de piedra grava, escoria.

Dicho agregado deberá contener partículas moderadamente angulosas limpias, compactas, de superficie rugosa y carente de terrones de arcilla, y deberá ser cubierto para evitar posibles contaminaciones.

Cantera:

KM. 53+000 (YURA - PATAHUASI).....Arena

CONTROL DE CALIDAD DEL AGREGADO FINO

Análisis Granulometrico

MALLA	ARENA CHANCADA	
	RETENIDO	PASA
3/8"		100
1/4"	1	99
No 4	4	95
No 6	11	84
No 8	14	70
No 10	6	64
No 16	15	49
No 20	6	43
No 30	7	36
No 40	5	31
No 50	6	25
No 80	6	19
No 100	1	18
No 200	3	15
-200	15	-

Empleo del Polímero SBR en la Fabricación
de Mezclas Asfálticas para Zonas de Altura

MALLA	ARENA NATURAL	
	RETENIDO	PASA
3/8"		
1/4"		100
No 4	1	99
No 6	5	94
No 8	8	86
No 10	4	82
No 16	13	69
No 20	6	63
No 30	10	53
No 40	9	44
No 50	10	34
No 80	11	23
No 100	3	20
No 200	6	14
-200	14	-

Ensayos del Agregado Fino:

ENSAYO	ARENA CHANCADA	ARENA NATURAL
Peso Unitario Sin Varillar (Kg/m ³)	1335.0	1339
Peso Unitario Varillado (Kg/m ³)	1542.0	1540.0
P.E Bulk (Base Seca) (g/cc)	2,598	2.628
P.E Bulk (Base Saturada) (g/cc)	2,632	2.643
P.E Aparente (Base Seca) (g/cc)	2,880	2.667
Absorción %	2.08	2.39
Impurezas Orgánicas	Aceptable	Aceptable
Sales Solubles Totales %	0.0135	0.0160
Durabilidad 5c, Na ₂ SO ₄	8.05	11.08
Equivalente de Arena %	78.0	75.0
Índice de plasticidad Mat.< 200, %	N.P	N.P
Adherencia Arena (Riedel Weber)	6 - 10	6 - 10

4.1.3 CEMENTO ASFÁLTICO:

Tipo PEN 120/150, procedente de la Refinería "LA PAMPILLA" (REPSOL). Material al cual se le ha sometido a rigurosas pruebas de calidad (Laboratorio Central), Oficina de Apoyo Tecnológico - DGCyF – MTC y cuyos resultados se adjuntan.

4.1.4 ADITIVO POLIMERO:

Nombre Comercial: SBR (Estireno Butadieno Rubber).

Tipo : Polímero Elastomérico

Apariencia : Látex Sintético.

Empresa : BASF PERUANA S.A

4.2 CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ASFALTO CONVENCIONAL

La caracterización de la mezcla asfáltica con asfalto convencional se ha realizado siguiendo el procedimiento del MÉTODO MARSHALL, para determinar el Optimo contenido de asfalto. Se iniciaron los ensayos con un porcentaje de asfalto de 5.5 %, haciéndose un incremento de 0.5% para cada tres briquetas, hasta llegar a 7.5 % en la que pudo verificar de manera visual que la mezcla presentaba exceso de asfalto, comprobándose además esto luego de la compactación en la que se notaba una ligera exudación del asfalto.

Los agregados empleados son procedentes de la zona de estudio (Yura – Patahuasi) y se han empleado en las proporciones de 45% de agregado grueso y 55% de agregado fino, cumpliendo satisfactoriamente las especificaciones IV-b de la Norma ASTM (Asphalt Institute) que son las recomendadas para mezclas asfálticas en caliente para zonas de altura.

El asfalto empleado es procedente de la Refinería “La Pampilla” REPSOL, es un Cemento Asfáltico PEN 120/150, que en sus ensayos de calidad es conforme para su uso en mezcla asfáltica en caliente, el cual además presenta una alta susceptibilidad térmica.

Se presentan a continuación un cuadro de los resultados de los parámetros del Método Marshall; además en el Anexo se adjuntan los Certificados de resultados del Método Marshall con los gráficos correspondientes.

RESULTADOS DE DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL	
CONTENIDO DE ASFALTO (%)	6.9
PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.218
PORCENTAJE DE VACIOS (%)	4.62
V.M.A. (%)	17.2
PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. (%)	73.5
FLUJO (0.01 Pulgada)	16.8
ESTABILIDAD CORREGIDA (Lb.)	2218.0

4.3 CARACTERIZACIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA CON ASFALTO MODIFICADO

La caracterización de las mezclas con asfalto modificado, también se han realizado empleando el método Marshall.

Para el caso de los asfaltos modificados tenemos cuatro (4) clases, los cuales se han seleccionado en modificados con polímeros SBR Catiónico y SBR Aniónico, de los cuales se tienen la caracterización para Asfaltos Modificado con polímero SBR Catiónico con 2% y 3% y polímero SBR Aniónico con 2% y 3%, para cada uno de ellos se presenta un cuadro resumen de los parámetros del método Marshall.

En este ensayo se ha empleado el Optimo Contenido de Asfalto resultante del Marshall con asfalto convencional, para poder

determinar las diferencias entre los asfaltos Convencional y modificado.

Los agregados empleados son los mismos correspondientes a la zona de estudio, así como el cemento asfáltico empleado es el mismo PEN 120/150 el cual se ha modificado con polímero SBR

Presentamos a continuación los cuadros con los valores obtenidos en los ensayos Marshall, en los que se muestran todos sus parámetros con relación a un contenido de asfalto de 6.9% en todos los casos, y en los que se aprecian además las variaciones de los valores de los parámetros según se varíe el porcentaje y tipo de polímero, ya sea Aniónico ó Catiónico.

En el caso de la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR aniónico se tiene que a mayor cantidad de polímero el valor del parámetro Estabilidad disminuye y el Flujo aumenta, lo que indica que el aumento en la cantidad de polímero en la modificación del asfalto no siempre es mejor a mayor cantidad de estos, sino es que se tiene que llegar a un nivel de eficacia ó cantidad optima para el tipo de cemento asfáltico, con el cual se va a trabajar para obtener un mejor comportamiento del mismo.

RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO DE MEZCLA CON POLIMERO AL 2 % SBR ANIONICO	
PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.191
PORCENTAJE DE VACIOS	4.8
V.M.A.	18.1
PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A.	73.3
FLUJO (0.01 Pulgada)	11.4
ESTABILIDAD CORREGIDA	2442.2

RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO DE MEZCLA CON POLIMERO AL 3 % SBR ANIONICO	
PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.192
PORCENTAJE DE VACIOS	3.6
V.M.A.	18.1
PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A.	80.4
FLUJO (0.01 Pulgada)	13.9
ESTABILIDAD CORREGIDA	2350.5

Para el caso del polímero SBR tipo catiónico, este presenta un aumento en el valor del parámetro Estabilidad y así mismo también en el valor del Flujo, lo cual indica que mantiene un mejor comportamiento a mayor contenido de polímero, dado estos valores se puede afirmar que este tipo de polímero es mas apropiado para este tipo de asfalto, por lo cual es recomendable su uso para mezclas asfálticas que se van a emplear en zonas de altura.

RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO DE MEZCLA CON POLIMERO AL 2 % SBR CATIONICO	
PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.209
PORCENTAJE DE VACIOS	4.1
V.M.A.	17.5
PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A.	76.6
FLUJO (0.01 Pulgada)	13.4
ESTABILIDAD CORREGIDA	2423.2

RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO DE MEZCLA CON POLIMERO AL 3% SBR CATIONICO	
PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm ³)	2.208
PORCENTAJE DE VACIOS	4.9
V.M.A.	17.3
PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A.	71.6
FLUJO (0.01 Pulgada)	14.8
ESTABILIDAD CORREGIDA	2653.9

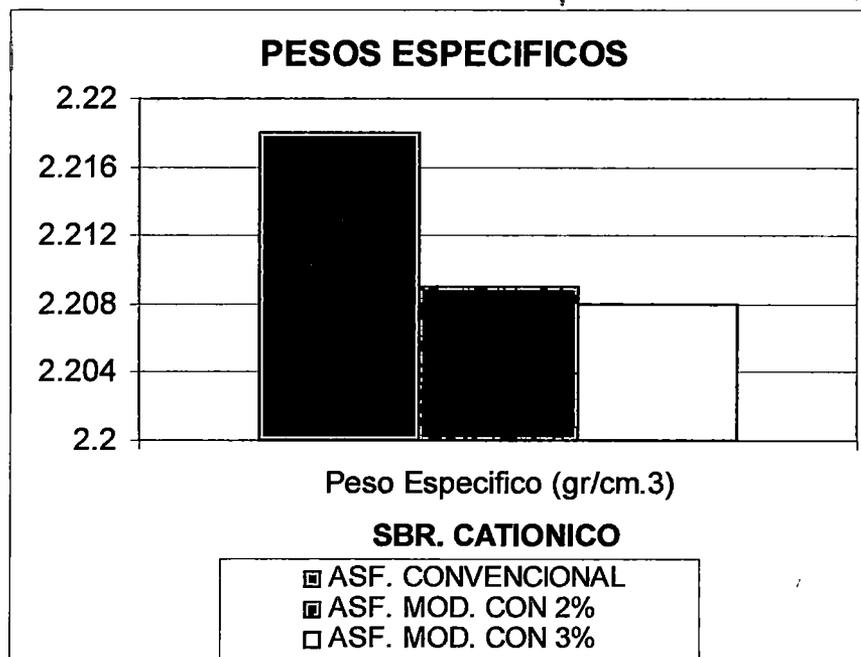
4.4 ANALISIS COMPARATIVO ENTRE MEZCLAS CON ASFALTO CONVENCIONAL Y CON ASFALTO MODIFICADO

Para el análisis comparativo entre las mezclas con asfalto convencional y modificado se va a tomar dos procesos gráficos los cuales en una primera instancia se determinara por cada tipo de mezcla independientemente para poder observar las variaciones individuales, con cada porcentaje y tipo de polímero.

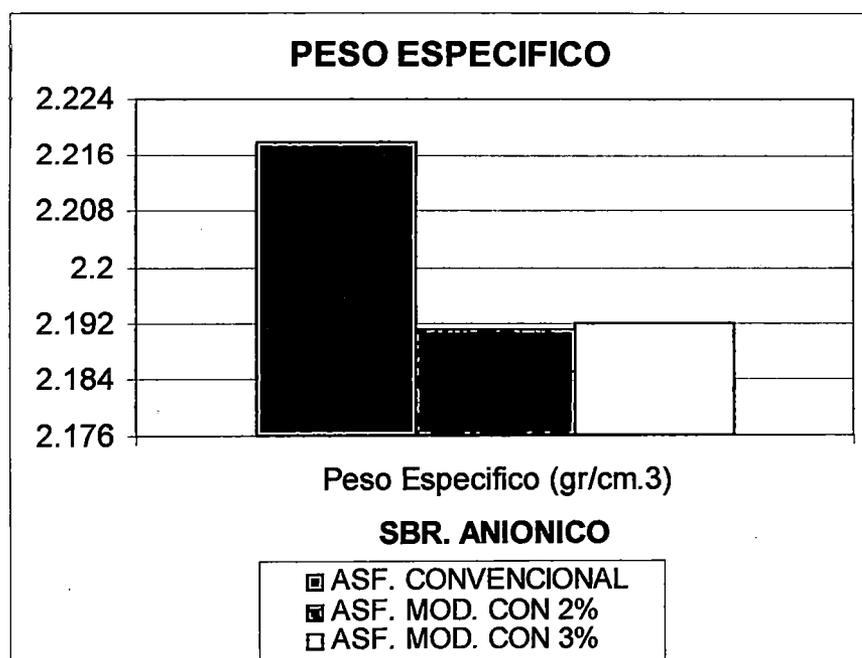
- a. En el análisis individual se van a tomar gráficos tipo barras para poder determinar las variaciones particulares de las mezclas con asfalto modificado, con respecto a la mezcla con asfalto convencional que va a servir de punto referencial para medir las ventajas o bondades que se obtienen con los polímeros en la modificación del asfalto. En este aspecto se ha desarrollado gráficos para cada parámetro del método Marshall.

COMPARACIÓN DE LOS PESOS ESPECIFICOS

	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
Peso Especifico (gr/cm.3)	2.218	2.209	2.208

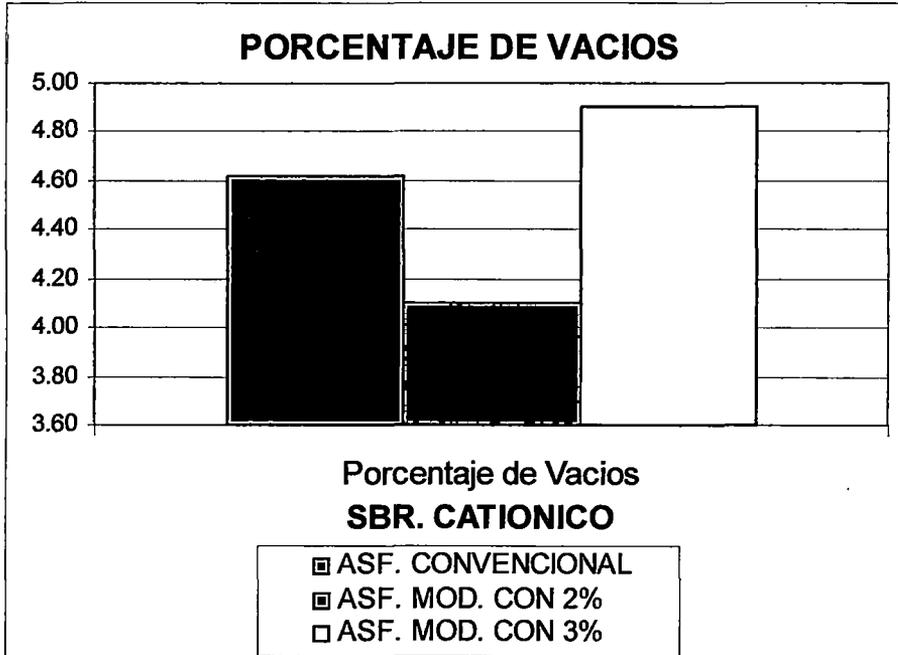


	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
Peso Especifico (gr/cm.3)	2.218	2.191	2.192

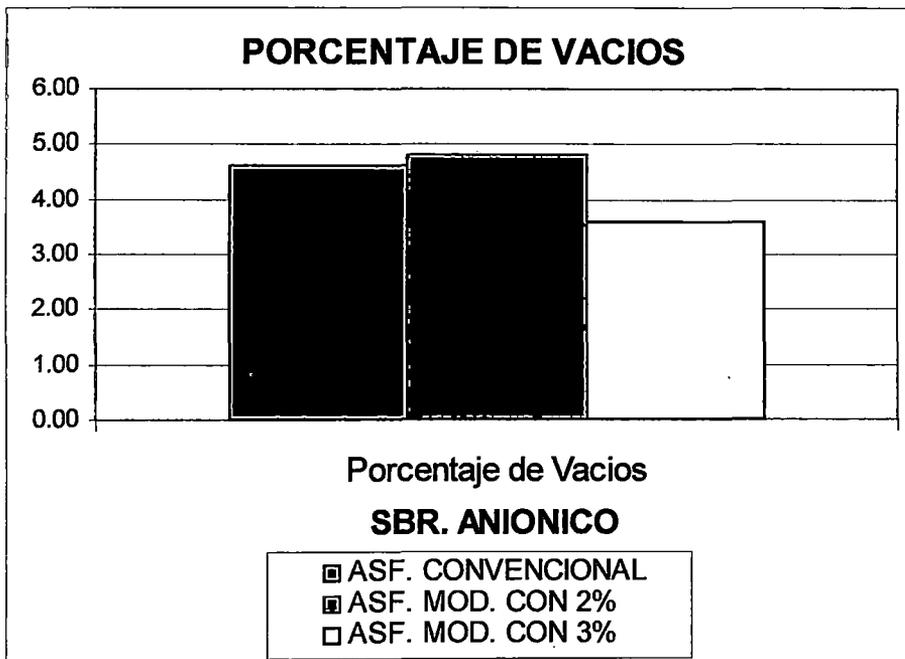


COMPARACIÓN DE PORCENTAJE DE VACIOS

	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
Porcentaje de Vacios	4.62	4.1	4.9

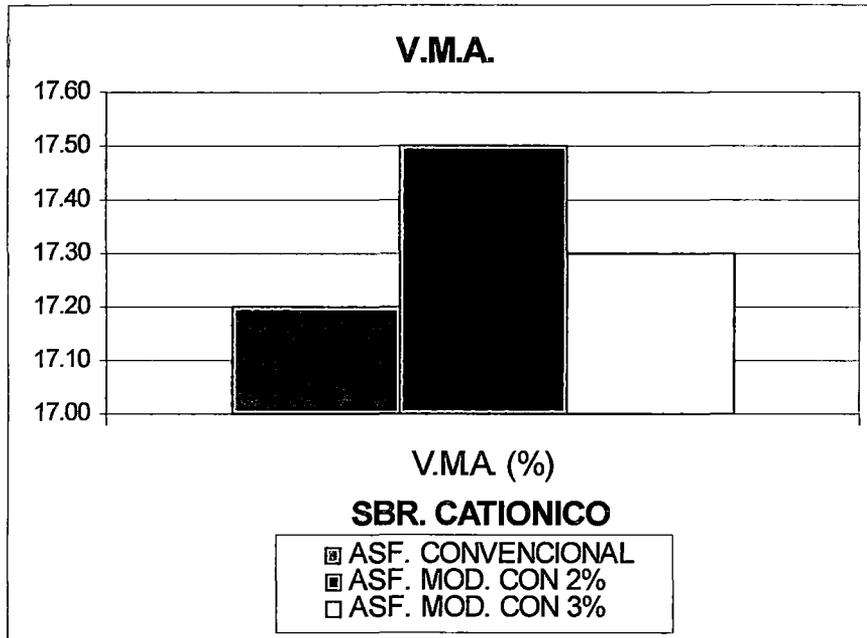


	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
Porcentaje de Vacios	4.62	4.8	3.6

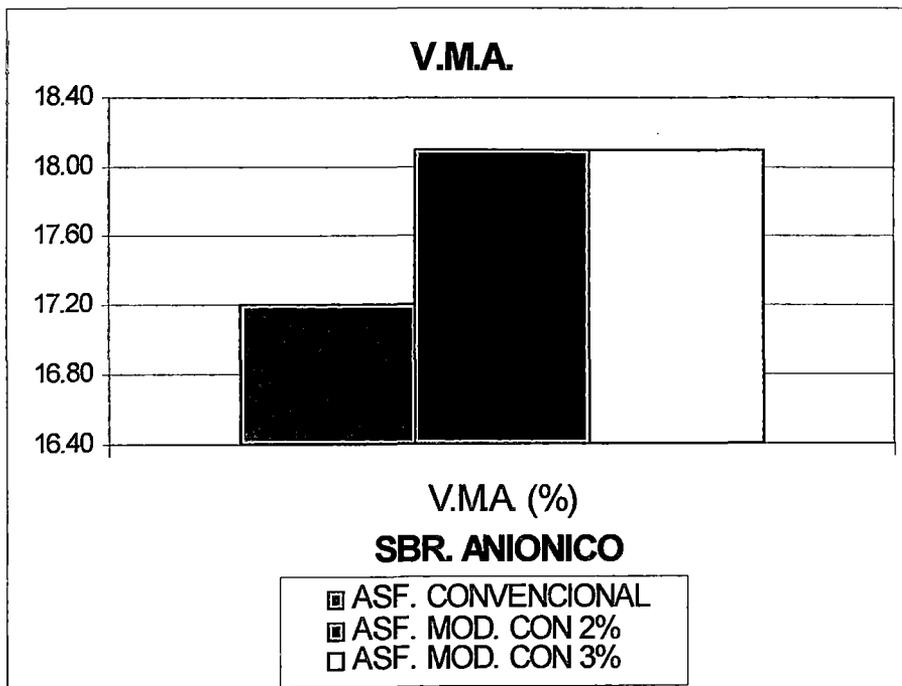


VACIOS EN LA MEZCLA ASFÁLTICA

	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
V.M.A. (%)	17.2	17.5	17.3

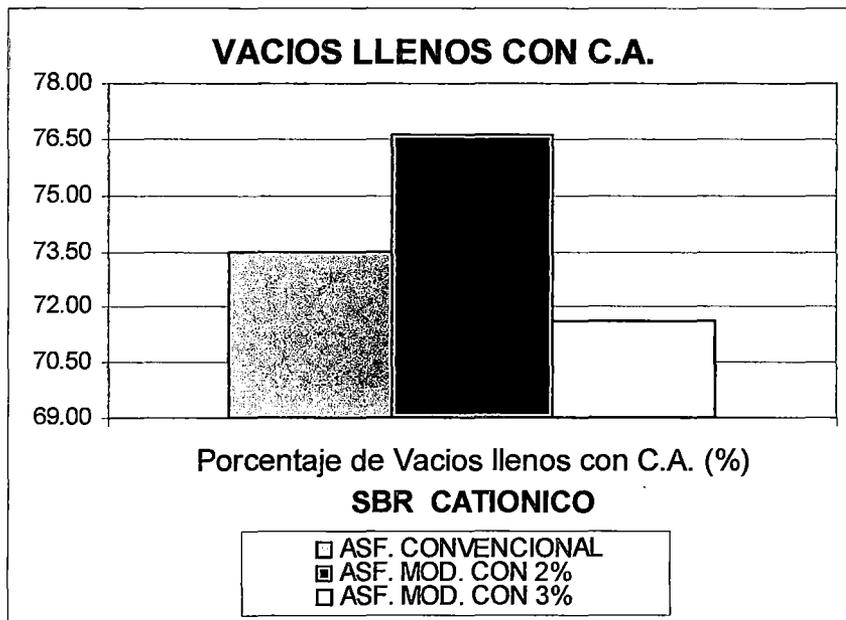


	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
V.M.A. (%)	17.2	18.1	18.1

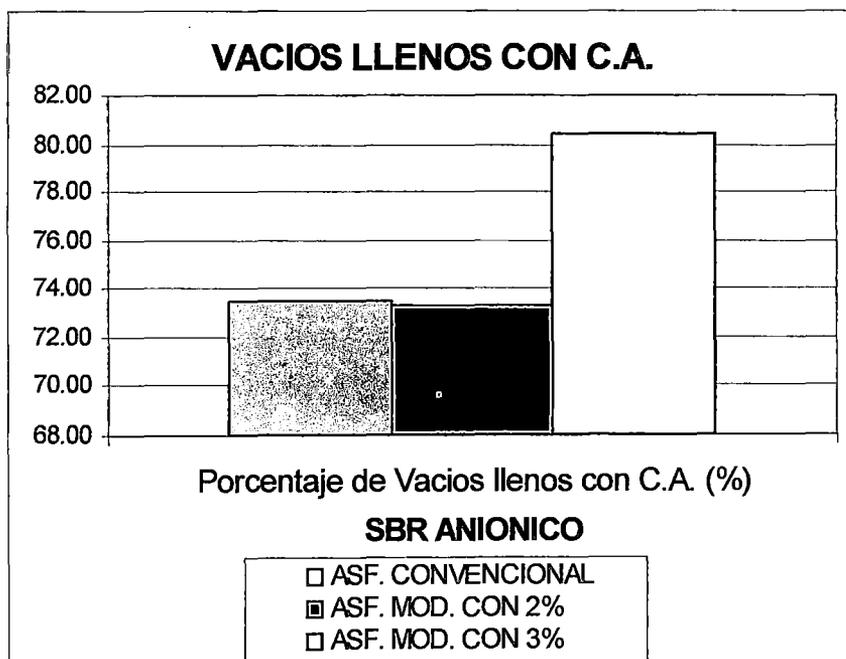


PORCENTAJE DE VACIOS LLENOS CON CEMENTO ASFALTICO

	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
Porcentaje de Vacios llenos con C.A. (%)	73.5	76.6	71.6

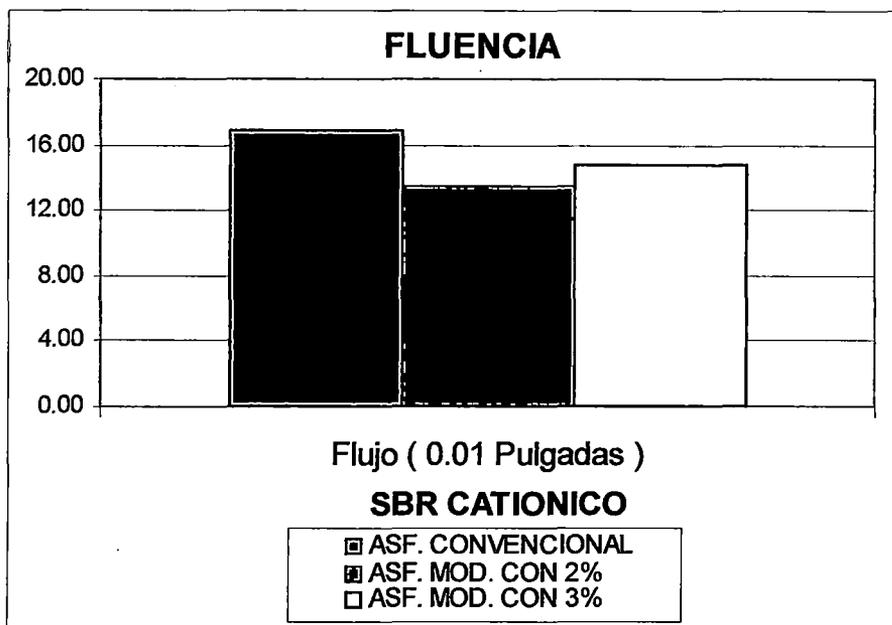


	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
Porcentaje de Vacios llenos con C.A. (%)	73.5	73.3	80.4

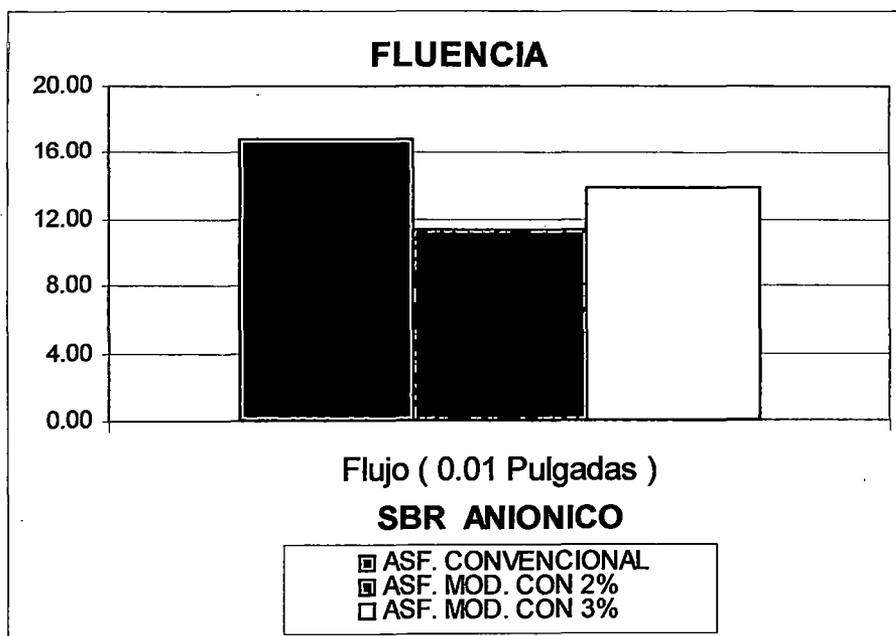


FLUENCIA

	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
Flujo (0.01 Pulgadas)	16.8	13.4	14.8

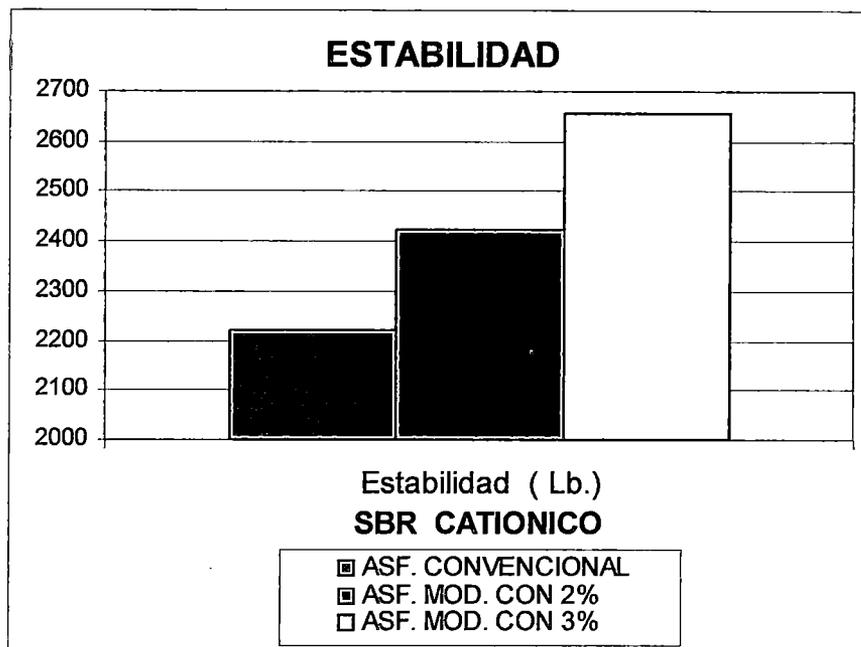


	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
Flujo (0.01 Pulgadas)	16.8	11.4	13.9

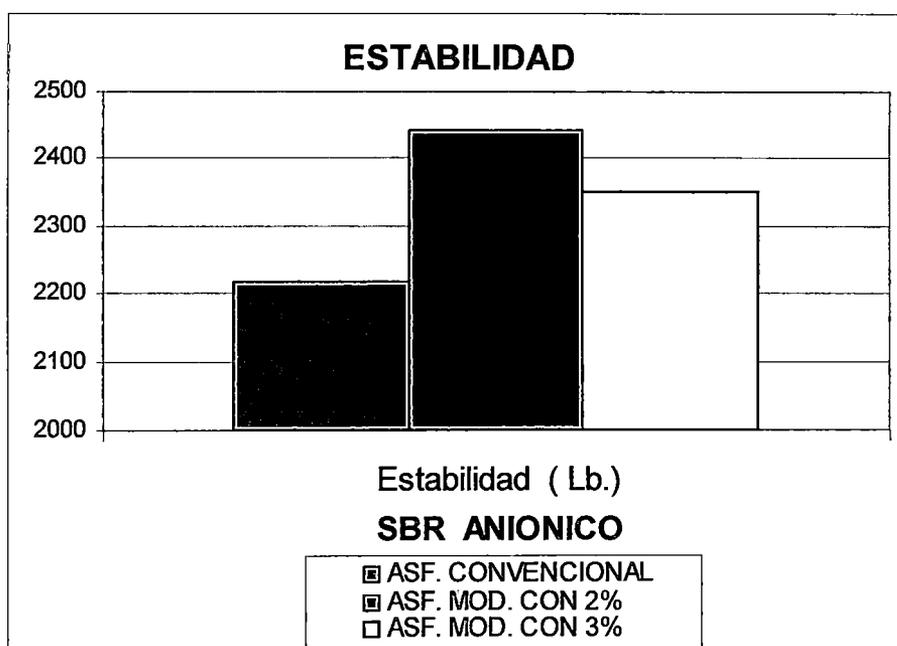


ESTABILIDAD

	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
Estabilidad (Lb.)	2218	2423.2	2653.9



	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
Estabilidad (Lb.)	2218	2442.2	2350.5



- b. Para el caso del análisis por grupos se han determinado dos grupos tomando en consideración el tipo de polímero SBR ya sea Catiónico ó Aniónico, en este aspecto se verán las diferencias de las tendencias de los valores según sea el tipo y cantidad de polímero agregado en la modificación del asfalto.

En este análisis así como en el anterior se ha tomado como punto de partida referencial los valores de la mezcla con asfalto convencional como se podrá apreciar en los gráficos.

Tenemos en Peso Especifico, este valor baja para la mezcla con polímero tipo Catiónico, pero baja más para la mezcla con tipo Aniónico lo cual indica que la mezcla se hace mas densa para el polímero tipo Catiónico.

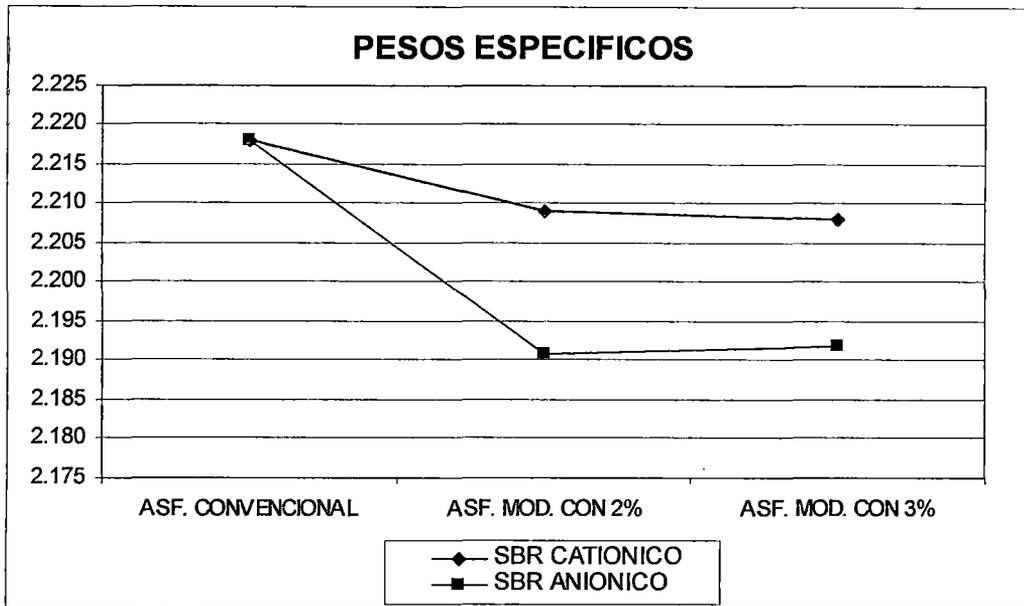
En Porcentaje de Vacíos, para un 2% de polímero, el tipo Aniónico presenta mas vacíos y a 3% de polímero el tipo Catiónico presenta mas vacíos.

Para los Vacíos en la Mezcla Asfáltica, la mezcla con polímero tipo Aniónico presenta mas vacíos en la mezcla asfáltica que con polímero tipo Catiónico. Para Vacíos Llenos con Cemento Asfáltico, se tiene que en las mezclas con 2% es mayor para el polímero tipo Catiónico, y para 3% esta es mucho mayor para el tipo Aniónico.

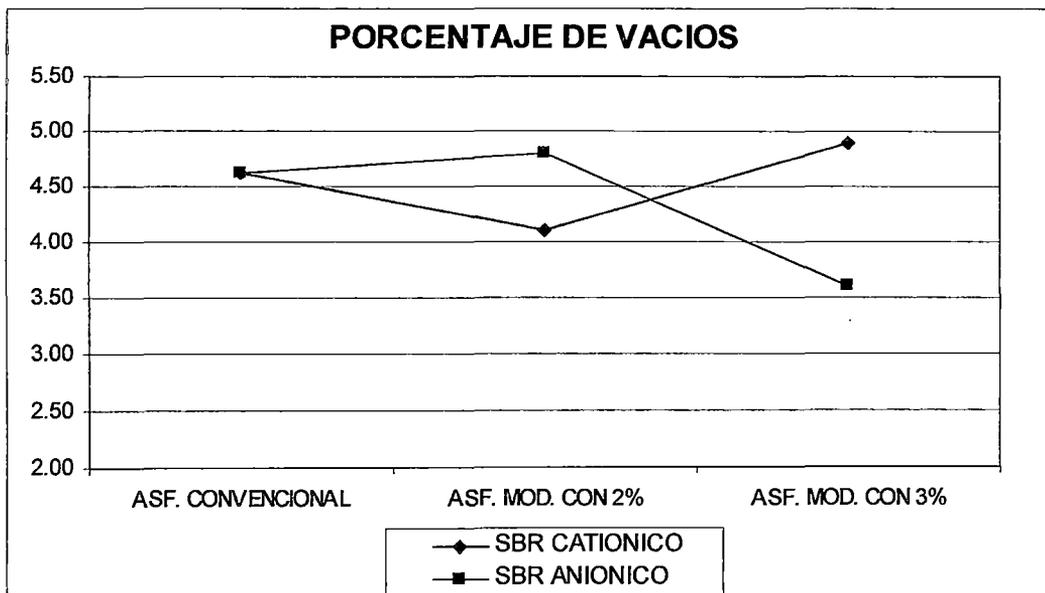
La Fluencia es mayor para la mezclas con tipo Catiónico.

La Estabilidad, para el tipo Aniónico se eleva para un 2% y luego baja para un aumento a 3%; para el tipo Catiónico se presenta un comportamiento ascendente uniforme, elevando su valor cuando se eleva el porcentaje de polímero.

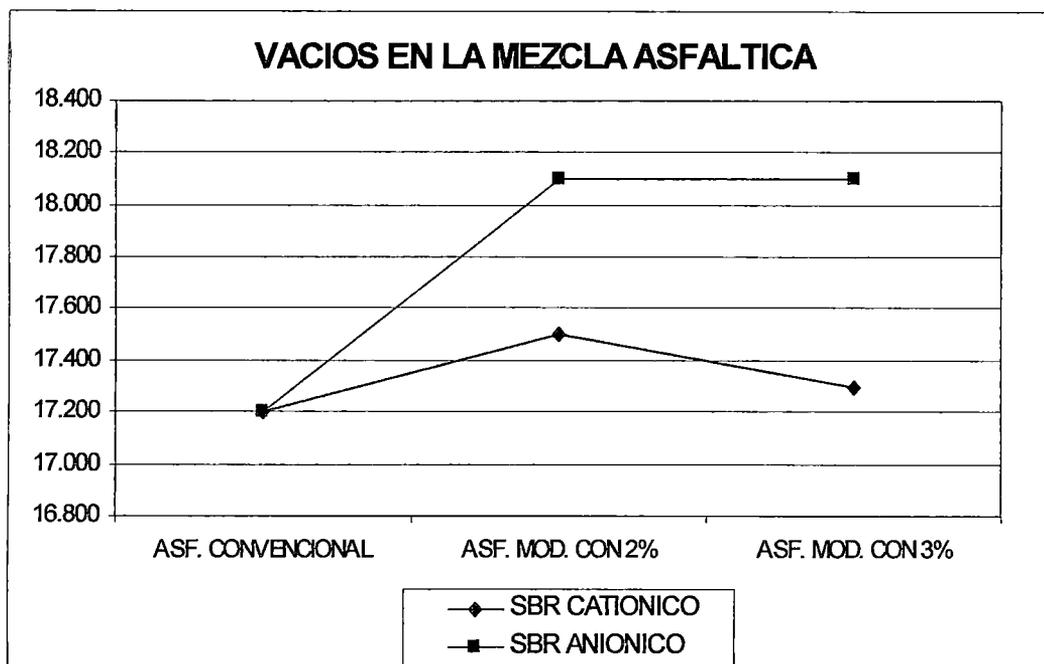
	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
SBR CATIONICO	2.218	2.209	2.208
SBR ANIONICO	2.218	2.191	2.192



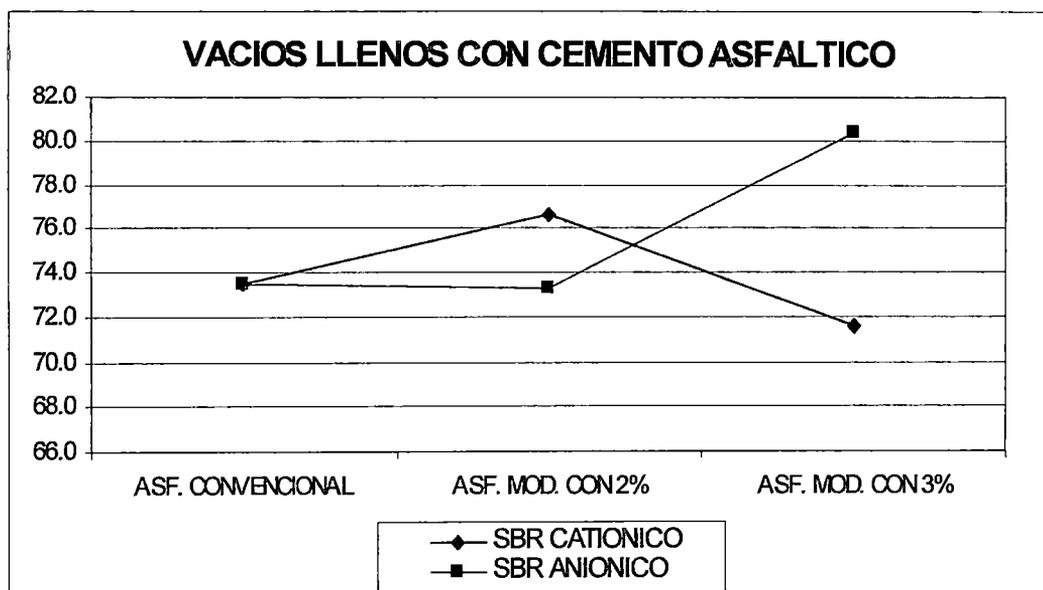
	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
SBR CATIONICO	4.62	4.1	4.9
SBR ANIONICO	4.62	4.8	3.6



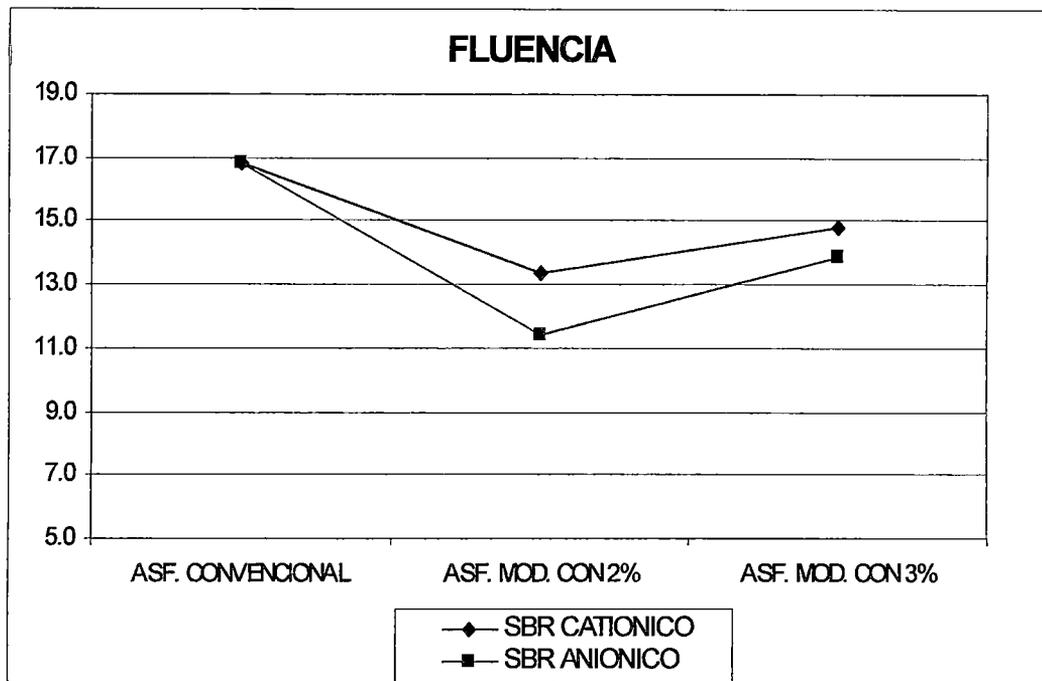
	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
SBR CATIONICO	17.2	17.5	17.3
SBR ANIONICO	17.2	18.1	18.1



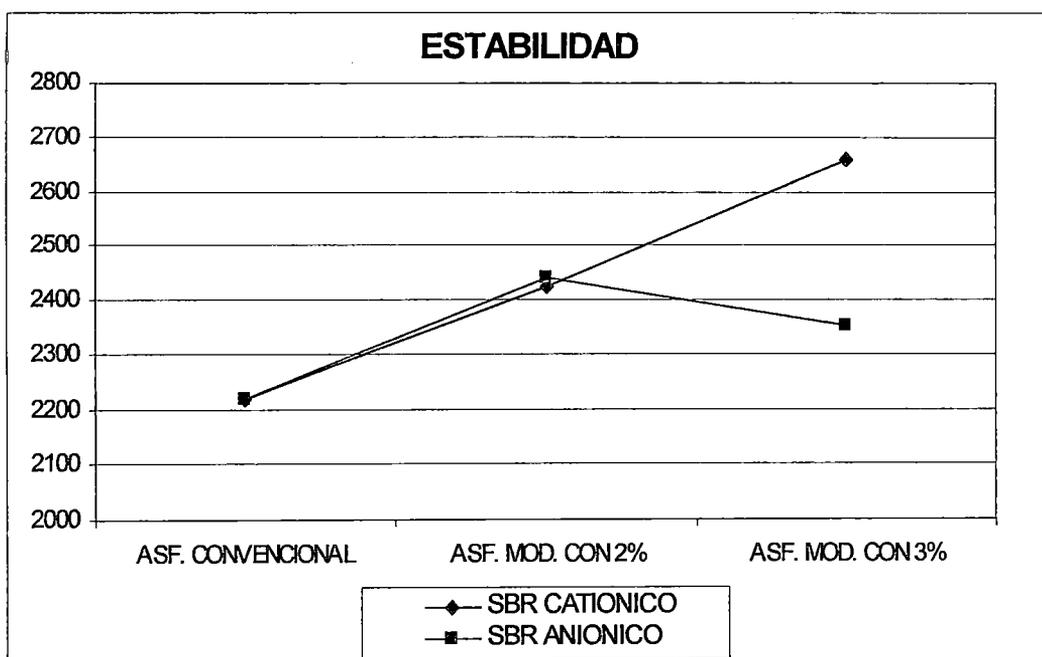
	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
SBR CATIONICO	73.5	76.6	71.6
SBR ANIONICO	73.5	73.3	80.4



	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
SBR CATIONICO	16.8	13.4	14.8
SBR ANIONICO	16.8	11.4	13.9

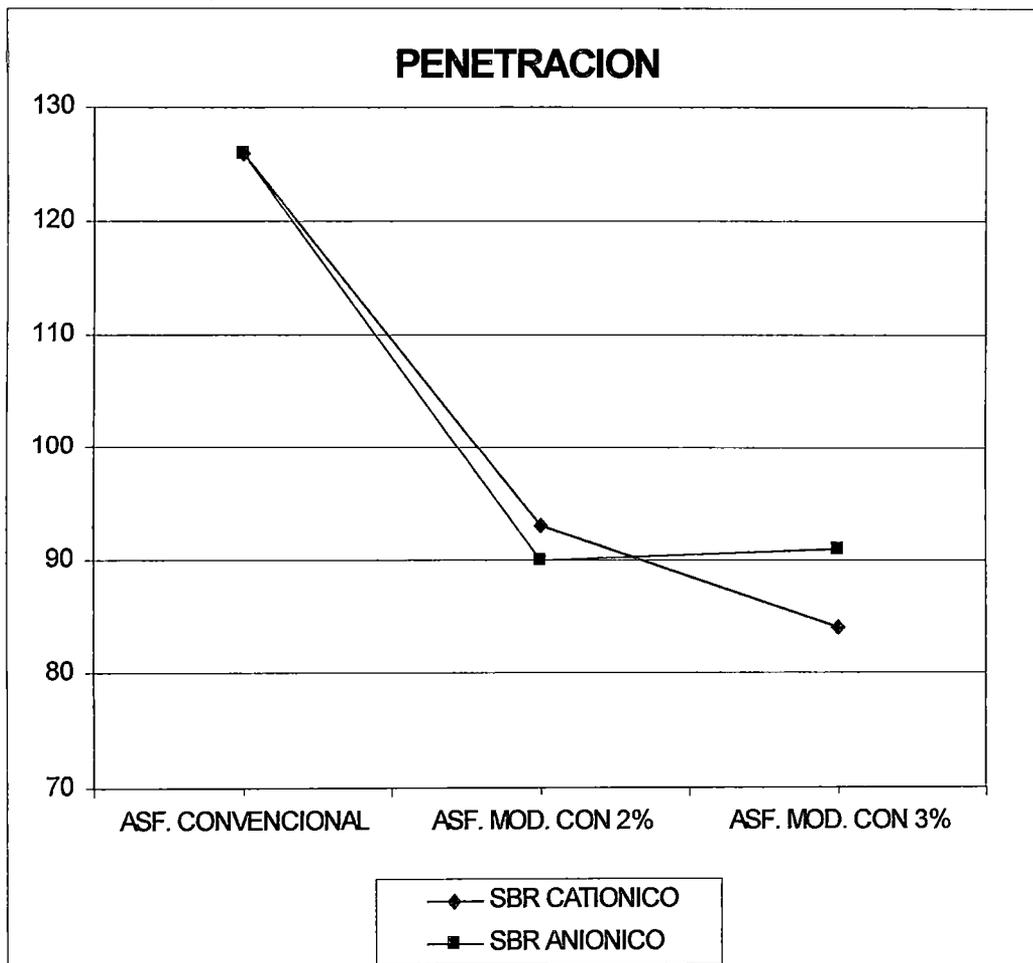


	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
SBR CATIONICO	2218	2423.2	2656.9
SBR ANIONICO	2218	2442.2	2350.5

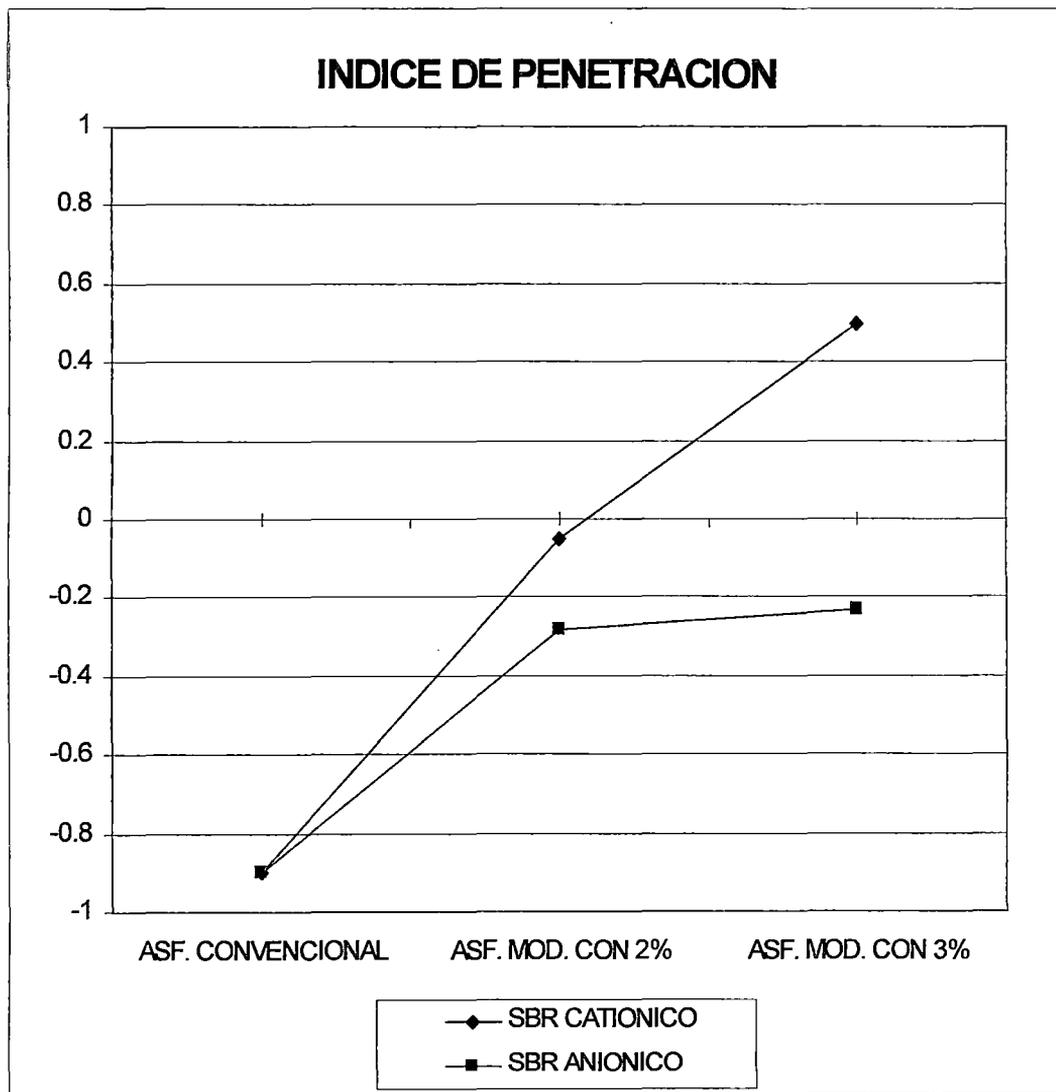


c. También se tienen gráficos comparativos para otros casos que no son los parámetros del diseño Marshall, como lo es respecto al ensayo de Penetración y al valor del Índice de Penetración, en los cuales se pueden ver las diferentes tendencias de los valores obtenidos. Como es claro la adición de polímero a la mezcla asfáltica lo vuelve mas viscoso por lo que la penetración es menor en los asfaltos modificados, así mismo el Índice de Penetración presenta un valor mas alto para la mezcla con polímero tipo catiónico que con aniónico lo cual es un indicativo que la Susceptibilidad Térmica es mucho mejor para la mezcla con polímero tipo catiónico.

	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
SBR CATIONICO	126	93	84
SBR ANIONICO	126	90	91



	ASF. CONVENCIONAL	ASF. MOD. CON 2%	ASF. MOD. CON 3%
SBR CATIONICO	-0.9	-0.05	0.5
SBR ANIONICO	-0.9	-0.28	-0.23



CAPITULO V: EXPERIENCIAS DE UTILIZACIÓN DE POLIMEROS EN OTROS PAISES

5.1 PROYECTOS DONDE SE HAN UTILIZADO MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE CON ASFALTO MODIFICADO

EXPERIENCIAS EN EL USO DE ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO PARA CARPETA ASFÁLTICA, EN LA CARRETERA GUAQUI-DESAGUADERO (BOLIVIA)

Resumen

Este trabajo presenta las experiencias obtenidas en un proyecto a escala real, sobre el uso de un asfalto modificado con polímero para la construcción de la carpeta de rodadura de un pavimento flexible, en la carretera Guaqui-Desaguadero, ubicada por encima de los 3,800 metros de altitud y perteneciente a la red vial fundamental de la República de Bolivia. El uso del polímero se recomendó a fin de mitigar los efectos de la climatología agresiva, propia del altiplano boliviano, en la durabilidad y comportamiento del pavimento, así como para lograr una alternativa económicamente factible.

La experiencia esta referida a los aspectos relacionados con el diseño del pavimento realizado utilizando ex-profesamente la alternativa de una carpeta asfáltica con polímero, durante la fase de los estudios, y posteriormente, los detalles sobre el diseño de la mezcla, la producción de la misma y la construcción de la capa asfáltica. Por requerimientos propios del proyecto también fue elaborada mezcla asfáltica sin polímero, por lo que ha sido

posible efectuar comparaciones entre las características de las mezclas “con” y “sin” polímero.

Los resultados obtenidos y el comportamiento observado del pavimento, luego de mas de un año de concluida su construcción (Julio 2000), permite concluir sobre la factibilidad y simplicidad de la aplicación de los asfaltos con polímeros, haciendo uso de los recursos empleados para la producción de mezclas convencionales, y sobre las ventajas técnicas y económicas sustanciales que implica su uso, para el caso de pavimentos en zonas de altura y climas fríos, y que pueden hacerse extensivas a los casos de vías de alto volumen de tráfico, redes concesionadas, o pavimentos en zonas con clima subtropical o tropical, y, en general, en donde se requiera mezclas asfálticas de larga duración, baja capacidad de deformación y gran resistencia a la fatiga.

1. INTRODUCCION

La carretera Guaqui-Desaguadero se encuentra ubicada en provincia de Ingavi, departamento de La Paz, de la República de Bolivia. El Trazo, que sigue una dirección este-oeste, se encuentra comprendido entre el Puerto de Guaqui, a orillas del Lago Titicaca, con punto de inicio en el km 72+750 de la demarcación de la carretera Río Seco-Desaguadero, y la localidad de Desaguadero, con punto final en el ingreso del nuevo puente internacional sobre el río del mismo nombre (frontera con Perú), a la altura del km 98+200.

La vía en cuestión pertenece a Ruta N°1 de la Red Vial Fundamental, que a su vez hace parte de la Carretera Panamericana que une a Bolivia

con Perú y Argentina. Asimismo, el tramo Guaqui-Desaguadero se ubica dentro del corredor interoceánico Ilo-Desaguadero-La Paz-Santa Cruz-Puerto Suárez-Corumbá-Sao Paulo-Santos, que uniendo las Repúblicas de Perú, Bolivia y Brasil, conecta el puerto de Ilo, sobre el océano Pacífico, con el puerto de Santos, sobre el océano Atlántico.

El trazado de la vía se desarrolla por las riberas meridionales del Lago Titicaca, sobre terrenos de topografía plana y a una altura promedio por encima de los 3,800 metros sobre el nivel del mar. La mayor parte del tramo se desarrolla sobre secciones de relleno, salvo una pequeña parte hacia el final, en donde existen algunas secciones de cortes cerrados y cortes a media ladera.

Las condiciones hidro-meteorológicas del área del proyecto corresponden a las propias de la zona del altiplano, en donde, además del problema de las temperaturas extremas, gradiente térmico y radiación solar, se tiene el problema hídrico relacionado con la cercanía del lago, existiendo puntos críticos entre las progresivas km 89+500 y km 92+000, con riesgo de inundación y/o nivel freático elevado.

Los estudios para el diseño del pavimento, materia del presente trabajo, se realizaron entre los meses de Febrero y Mayo de 1998. El proyecto fue sometido a la consideración y aprobación del Servicio Nacional de Caminos, y de los entes financiadores, el Banco Mundial y la Corporación Andina de Fomento (CAF). La construcción del pavimento empezó en el mes de Agosto de 1999 y concluyó en el mes de Julio del 2000.

2. DISEÑO DEL PAVIMENTO

Para el diseño del pavimento del tramo Guaqui-Desaguadero se empleó el método de la Asociación Americana de Funcionarios Estatales de Carreteras y Transportes (AASHTO), versión 1993. El diseño del pavimento se realizó tomando en consideración, además de los factores relacionados con el suelo y el tráfico, aquellos que afectan el comportamiento de los pavimentos ubicados en zonas de altura y clima frío, como son las características hidro-meteorológicas del ámbito del proyecto, toda vez que el efecto dañino de estos factores superan en ocasiones los efectos de los otros, aspectos descritos y estudiados por el autor en publicaciones anteriores ⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾.

2.1 Capacidad de soporte del suelo

El suelo del proyecto está compuesto en su mayoría por materiales finos, arcillas de baja a media plasticidad, limos no plásticos y arenas limosas no plásticas, clasificados como CL (A-6), ML (A-4) y SM (A-2-4), respectivamente, de acuerdo al sistema SUCS y AASHTO (entre paréntesis). La capacidad de soporte de diseño, evaluada mediante la ejecución de ensayos de CBR de laboratorio fue 6.8%, equivalente a un Módulo de Resiliencia igual a 10.2 ksi.

2.2 Tráfico de diseño

La categoría e importancia geopolítica de la vía se reflejan en el tráfico pesado que transcurre a través de ella, cuyo componente internacional es el más importante. Por la el tramo Guaqui-Desaguadero se transporta la producción boliviana proveniente de la zona de Santa Cruz, con destino a

los puertos de Ilo y Matarani, en el océano Pacífico. Igualmente, ingresan a través de dicha vía las exportaciones peruanas que abastecen los mercados de La Paz, Oruro, Cochabamba y Santa Cruz, fundamentalmente.

En el estudio de tráfico realizado para determinar el parámetro de diseño requerido para la aplicación del método AASHTO, se encontró un Número Total de Ejes Equivalentes a 18,000 libras (EAL), para un período de diseño de 10 años, igual a 1'847,869 ejes.

Para fines del diseño del pavimento se adoptó un período de diseño de 10 años, toda vez que se trataba de una vía enripiada, cuya transitabilidad era mala, y por lo tanto, una vía con un tráfico no consolidado, con un comportamiento del crecimiento hacia el futuro bastante incierto, situación que recomendó adoptar un período de diseño moderado. Se tomó en consideración, en la estimación del volumen de tráfico, la repercusión de la conclusión del asfaltado, casi al mismo tiempo, de la vía Ilo-Desaguadero de la red vial peruana.

2.3 Parámetros del modelo

Nivel de Confiabilidad (R)	:	85%
Standard Normal Deviate (Z_R)	:	-1.037
Standard Deviation (S_o)	:	0.45
Serviciabilidad inicial (p_i)	:	4.0
Serviciabilidad final (p_t)	:	2.5

2.4 Características de los materiales

Coeficiente estructural para la carpeta asfáltica (a_1)	:	0.65
Coeficiente estructural para la base granular (a_2)	:	0.14
Coeficiente estructural para la subbase (a_3)	:	0.11
Módulo de resiliencia para la base granular (M_R)	:	30 ksi
Módulo de resiliencia para la subbase (M_R)	:	15 ksi
Coeficiente de drenaje para la base granular(m_2)	:	0.9
Coeficiente de drenaje para la subbase (m_3)	:	0.9

2.5 Estructuración del pavimento

La aplicación directa del método arrojó los valores del Número Estructural Total requerido (SN_{TOTAL}) y los Números Estructurales requeridos por cada una de las capas (SN_{REQ}). En función a los coeficientes estructurales de los materiales y sus respectivos coeficientes de drenaje, se planteó la estructuración que se presenta en el Cuadro N°1.

En consecuencia, la estructura del pavimento se conformó de la siguiente manera:

Carpeta con asfalto modificado tipo SBS (mín. 3%)	:	10 cm de espesor
Capa de base granular (CBR \geq 100%)	:	15 cm de espesor
Capa de sub-base granular (CBR \geq 30%)	:	15 cm de espesor
Capas de mejoramiento de sub-rasante (CBR \geq 20%)	:	40 cm de espesor

Cuadro N°1
ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO Y BALANCE DE NUMEROS ESTRUCTURALES

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO	ESPEJOR (pulgadas)	SN _{ACTUAL}	SN _{REQ}
Carpeta de rodadura ⁽¹⁾	4.0	2.6	2.2
Capa de base granular	6.0	0.76	0.6
Capa de súbese	6.0	0.59	0.4
NUMERO ESTRUCTURAL TOTAL (SN_{TOTAL})		4.0	3.4

(1) Mezcla en caliente con asfalto modificado con un mínimo de 3% de polímerSBS.

La solución estructural propuesta se complementó con la incorporación de un geotextil tratado con un riego de saturación con asfalto, colocado entre la capa de base imprimada y la carpeta asfáltica, cumpliendo la función de membrana impermeabilizante, absorbedor de tensiones, que en la eventualidad de producirse fisuramientos en la carpeta de rodadura, evitará la propagación de la grieta, protegiendo y manteniendo estancas las capas granulares del pavimento. La Figura N° 1, muestra la sección típica del pavimento, con la solución planteada.

2.6 Criterios empleados para la selección del ligante

La limitación principal de las mezclas asfálticas, trabajando en zonas frías y en altura, es su reducida capacidad de resistencia a la tracción. Los esfuerzos producidos por el alto gradiente térmico en un lapso muy corto (de -10°C a +45°C, aproximadamente), superan largamente la capacidad intrínseca de cualquier mezcla, por muy bien elaborada que sea. Adicionalmente a la limitación propia del material, los asfaltos

producidos mediante procesos de destilación al vacío, que son los disponibles en la región, demuestran una alta susceptibilidad térmica, lo que determina que a temperaturas bajas se comportan muy rígidos, aumentando su propensión al fisuramiento.

La solución planteada al problema de los fisuramientos térmicos de las estructuras asfálticas, trabajando en climas fríos y zonas de altura, consiste en dotar al ligante bituminoso de características tales que, se extienda el rango térmico (el Performance Grade-PG de SUPERPAVE), en el cuál las mezclas sean capaces de desempeñar una resistencia a la tracción igual o superior a los esfuerzos producidos al interior de la estructura.

Un ligante bituminoso puede mejorar sus características de susceptibilidad térmica, propensión al envejecimiento, ductilidad a baja temperatura, etc, mediante el uso de modificadores elastoméricos o polímeros. La investigación y ejecución de proyectos en el mundo desarrollado, durante la última década, ha puesto a punto productos que mejoran las características termo-elásticas de los ligantes, favoreciendo el comportamiento a la fatiga térmica y fisuramientos a baja temperatura de las mezclas.

Aunque en la actualidad los asfaltos modificados se expenden ya preparados, el tema de la adición de un polímero al bitumen se efectúa en forma similar al uso de cualquier aditivo. El polímero actúa modificando las características de rigidez (Creep Stiffness, S) y susceptibilidad de envejecimiento (m-value) del cemento asfáltico, para mencionar dos de

los factores que están directamente relacionados con el fenómeno de fisuramiento térmico, y que son conceptos utilizados por las Especificaciones SUPERPAVE™ para la caracterización de ligantes asfálticos, establecidas como consecuencia del Programa Strategic Highway Research Program -SHRP⁽⁴⁾.

El uso de un polímero, asimismo, promueve la afinidad asfalto-agregado, actuando como un aditivo mejorador de adherencia, lo que garantiza una mayor impermeabilidad de la capa. Para efectos estructurales, con el uso de un polímero se mejora el comportamiento a la fatiga de la capa asfáltica, por cargas de tráfico, lo que se traduce en un incremento del coeficiente estructural del material.

Estudios de investigación efectuados en Brasil indican que, en forma conservadora, puede considerarse un coeficiente estructural de 0.65/pulgada, para una mezcla asfáltica modificada con 3% de polímero tipo SBS ⁽⁵⁾. Esta conclusión es sumamente importante, ya que significa que el empleo de un polímero, además de incidir en el aspecto técnico de la obra, determina la obtención de una solución económica bastante mas ventajosa. De hecho, si se hubiese considerado el uso de un asfalto convencional, con coeficiente estructural igual a 0.44/pulg., el espesor requerido para la carpeta asfáltica del pavimento diseñado, hubiese sido 6 pulgadas.

3.0 DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA

3.1 Materiales empleados

3.1.1 Agregados pétreos

Los materiales pétreos empleados para la fabricación de la mezcla asfáltica han provenído del yacimiento ubicado en el lecho del río Chilla, cuyo curso atraviesa el trazo de la carretera a la altura del km 67+640. El depósito aluvial se encuentra ubicado hacia el lado izquierdo de la vía, a una distancia de aproximadamente 500 m. El material integral procesado estaba compuesto por cantos rodados y arenas derivados del meteorismo de andesitas, areniscas y rocas de tipo calcáreo.

Los materiales, luego del proceso de triturado y clasificación, presentaron características físico-mecánicas aceptables, así como porcentajes de absorción de agua superiores a 2%. Las partículas presentaron superficies ásperas y desarrollaban buena adherencia con el cemento asfáltico. La granulometría de los agregados pétreos producidos se presentan en el Cuadro N°2.

Cuadro N°2
GRANULOMETRIA DE AGREGADOS
PARA MEZCLA ASFÁLTICA

TAMICES	PORCENTAJE PASANTE	
	Agregado Grueso	Agregado Fino
1/2"	100	
3/8"	90.5	100
N° 4	22.2	99.7
N° 8	2.0	78.1
N° 16	1.0	51.7
N° 30	0.8	38.1
N° 50	0.7	29.0
N° 100	0.6	19.6
N° 200	0.4	11.6

3.1.2 Cemento asfáltico modificado

El cemento asfáltico modificado empleado, fue adquirido directamente del productor y transportado a obra en camiones termo-tanques, en forma similar como se realiza el transporte del asfalto convencional.

Se empleó un cemento asfáltico elastomérico, con un contenido de polímero tipo SBS de 5% mezclado en refinería. De acuerdo a los certificados de control de calidad proporcionados por el fabricante, las propiedades del material suministrado fueron:

Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1 mm	74
Punto de ablandamiento, °C	76
Ductilidad 25°C, 5 cm/min, cm	103
Ductilidad 5°C, 5 cm/min, cm	76.5
Índice de Pfeiffer, IP	5.1
Índice de Fraass, °C	-18
Recuperación elástica a 13°C, 20 cm, 1h, %	85
Punto de inflamación, °C	229

De acuerdo a la carta viscosidad-temperatura, confeccionada con resultados de ensayos efectuados en obra, se verificó que la temperatura de mezcla óptima era 160°C y la temperatura de compactación entre 150°C y 155°C (Ver Figura N°2).

3.2 Diseño Marshall

3.2.1 Combinación de agregados

Para la selección de la óptima combinación de agregados se empleó dos criterios:

- a. Dosificación en base a la franja granulométrica recomendada por el Instituto del Asfalto, para un agregado de tamaño máximo $\frac{1}{2}$ pulgada (Ver Cuadro N°3).
- b. Dosificación en base a la línea de máxima densidad, puntos de control y zona restringida de la metodología SUPERPAVE, para un tamaño nominal de 9.5mm (Ver Cuadro N°4).

La combinación óptima de diseño se estableció considerando una mezcla de 51% de agregado grueso T.M. $\frac{1}{2}$ " y 49% de agregado fino T.M. $\frac{3}{8}$ ".

3.2.2 Características de la mezcla y óptimo contenido de asfalto

Se realizaron mezclas de prueba variando el contenido de asfalto modificado entre 5.4% y 6.9%. Se moldearon 4 probetas por cada contenido de asfalto y estas se sometieron a los ensayos del método Marshall, empleando los procedimientos convencionales, pero utilizando las temperaturas de mezcla y compactación establecidos mediante la carta viscosidad-temperatura.

Cuadro N°3
ESPECIFICACIONES PARA GRANULOMETRIA DE AGREGADOS
CRITERIO INSTITUTO DEL ASFALTO (ASTM D 3515)

ABERTURA TAMIZ		% PASA
12.7 mm	½"	100
9.5 mm	3/8"	90-100
4.75 mm	N°4	55-85
2.36 mm	N°8	32-67
1.18 mm	N°16	23-52
0.6 mm	N°30	15-37
0.3 mm	N°50	7-23
0.15 mm	N°100	5-16
75 µm	N°200	2-10

Cuadro N°4
ESPECIFICACIONES PARA GRANULOMETRIA DE AGREGADOS
SEGÚN SUPERPAVE
(Tamaño Nominal 9.5 mm)

ABERTURA TAMIZ		PUNTOS DE CONTROL (% pasa)		ZONA RESTRINGIDA	
				Mínimo	Máximo
12.5 mm	½"		100		
9.5 mm	3/8"	90	100		
4.75 mm	N°4				
2.36 mm	N°8	32	67	47.2	47.2
1.18 mm	N°16			31.6	37.6
0.6 mm	N°30			23.5	27.5
0.3 mm	N°50			18.7	18.7
0.15 mm	N°100				
75 µm	N°200	2	10		

Siguiendo los criterios recomendados para el diseño del mezclas para el caso de pavimentos en altura⁽³⁾ se determinó un contenido óptimo de bitumen igual 6.8%. Las características de la mezcla producida con este contenido de ligante fueron:

Estabilidad, 60°C, 30 min., kg

1,200

Flujo, 60°C, 30 min., mm	5.0
Peso unitario, kg/m ³	2,480
Vacíos de aire, %	1.5
Vacíos en el agregado mineral, %	17.0
Vacíos llenos de asfalto, %	92.0
Relación Estabilidad/Flujo, kg/cm	2,400

Siguiendo los mismos conceptos y criterios fue efectuado el diseño de la mezcla asfáltica con asfalto sin polímero, para el cual se determinó igualmente un contenido óptimo igual a 6.8%.

4.0 PRODUCCION Y CONTROL DE CALIDAD DE LA MEZCLA

4.1 Planta de asfalto

La producción de la mezcla asfáltica se realizó en una planta convencional de tipo continuo de 120 ton/h de capacidad, a la cual se efectuaron únicamente dos modificaciones:

- a. Se cambió la tubería original del sistema de impulsión de asfalto, de 4 pulgadas de diámetro, por una de 6 pulgadas, a fin de aliviar el flujo en razón a la mayor inercia que presenta el asfalto modificado al inicio de las operaciones o cuando la temperatura del líquido baja de un determinado rango.
- b. Se incorporó un sistema de circulación de circuito cerrado en los tanques de almacenamiento de asfalto, a fin de homogenizar el material durante su calentamiento e inmediatamente antes de su empleo.

4.2 Control de calidad en planta

El control rutinario en planta se realizó siguiendo los mismos métodos y procedimientos que se emplean en el caso de las mezclas asfálticas convencionales.

Al inicio de cada jornada de trabajo se tomaban muestras del material producido, para determinar el contenido de asfalto de la mezcla mediante centrifugado, y el análisis granulométrico del agregado. Posteriormente, concluidos los ensayos iniciales, se moldeaban probetas y se efectuaba el ensayo Marshall. El Cuadro N°5 presenta una muestra de los resultados obtenidos en dichos controles.

4.3 Mezcla asfáltica con polímero versus mezcla asfáltica con polímero

El Cuadro N°6 presenta los resultados del análisis estadístico de los datos obtenidos en los controles efectuados a las mezclas asfálticas, en un caso “sin polímero”, es decir, usando un asfalto convencional, y en otro “con polímero”, es decir, utilizando un asfalto modificado con polímero tipo SBS.

Con los parámetros calculados se ha efectuado la prueba estadística de la “hipótesis nula”, a fin de establecer las semejanzas o diferencias entre las propiedades y comportamiento de ambos materiales.

Los resultados más importantes del análisis comparativo efectuado son:

- a. La granulometría de los agregados empleados es semejante en ambos casos, lo cuál es una conclusión de Perogrullo ya que el material empleado fue el mismo.
- b. El contenido de asfalto empleado en la fabricación de ambas mezclas es estadísticamente igual.
- c. El peso unitario de la mezcla sin polímero es superior al de la mezcla con polímero.
- d. El contenido de vacíos de aire en ambas mezclas es estadísticamente semejante, sin embargo este resultado, contradictorio con las cifras obtenidas, se debe a la alta dispersión que presentan las muestras, cuyos parámetros estadísticos han sido ensayados matemáticamente.
- e. El contenido de vacíos en el agregado mineral de la mezcla con polímero es superior al de la mezcla sin polímero.
- f. La estabilidad de la mezcla con polímero es mayor que la de la mezcla sin polímero.
- g. El flujo o fluidez de la mezcla con polímero es superior al de la mezcla sin polímero.

Puede concluirse que, para condiciones iguales de tipo y cantidad de agregados, y contenido de bitumen, la mezcla sin polímero ha demostrado una mayor capacidad de compactación en laboratorio, lo que ha incidido en los valores obtenidos en las relaciones de vacíos. Sin embargo, a pesar de esta aparente desventaja, que obedeció a cuestiones operacionales (temperatura de compactación), la mezcla con polímero presenta un mejor comportamiento mecánico, ya que su estabilidad es estadísticamente superior al de la mezcla sin polímero. Por otro

lado, la capacidad de deformación de la mezcla con polímero es mayor que el de la mezcla sin polímero, lo que determina que sea más flexible; de hecho, la mezcla sin polímero resulta mas rígida que la fabricada con asfalto modificado con polímero, a la luz de los resultados obtenidos para la relación estabilidad/flujo (kg/cm).

5.0 PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS

Los procedimientos que fueron empleados para el extendido y compactación de la mezcla asfáltica con polímero fueron los que convencionalmente se emplean en los trabajos con las mezclas asfálticas normales. Los cuidados especiales que fueron observados en la construcción de la carpeta, fueron:

- a. La temperatura de compactación fue observada rigurosamente, debido a que una mezcla con polímero se diferencia fundamentalmente de una mezcla convencional en que la viscosidad del asfalto esta gobernada también por el polímero y si se enfría mas de lo debido la mezcla no admite mas compactación.

- b. Se observaron cuidados especiales para procurar que las huellas que dejaban los rodillos metálicos fuesen eliminadas antes del enfriamiento de la mezcla, para ello se estableció el traslape adecuado para la eliminación de las marcas longitudinales, y un desplazamiento con trayectoria curva al final de la pasada de los rodillos, a fin de borrar las marcas transversales.

5.0 CONCLUSIONES

La conclusión mas importante, en el aspecto técnico, es que el empleo de una mezcla con polímero, para el caso de la carretera Guaqui-Desaguadero, ha constituido una solución al problema del fisuramiento de origen térmico, si se juzga en forma comparativa con el comportamiento de otras vías similares, construidas empleando mezclas convencionales, las que presentan siempre algún tipo de deterioro luego del primer año de servicio.

De acuerdo a la experiencia relatada en este trabajo, una mezcla con polímero presenta mejores características mecánicas en laboratorio que una mezcla convencional, lo que justifica plenamente el empleo de un coeficiente estructural mayor, en el diseño del pavimento, aspecto que corrobora los resultados de la investigación especializada en el tema.

Finalmente, el empleo de una mezcla asfáltica con polímero constituye una solución mas económica, incluso como inversión inicial, para el caso de proyectos similares al del presente trabajo, y, en general, para proyectos de vías de primer orden en donde se requiera mezclas de gran durabilidad y resistencia a las deformaciones permanentes.

Empleo del Polímero SBR en la Fabricación
de Mezclas Asfálticas para Zonas de Altura

CARRETERA RIO SECO-DESAGUADERO
TRAMO GUAQUI-DESAGUADERO

CUADRO N°6
RESULTADOS DE LOS CONTROLES EN PLANTA DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

FECHA	ANALISIS GRANULOMETRICO									ENSAYO MARSHALL					
	(Porcentaje que pasa malla)									C.A. %	P.UNITARIO kg/m3	VACIOS %	VMA %	ESTABIL. kg	FLUJO mm
	1/2"	3/8"	N°4	N°8	N°30	N°50	N°100	N°200							
MEZCLA SIN POLIMERO															
N°DATOS	19	19	19	19	19	19	19	19	12	9	9	9	9		
PROMEDIO	100	93.2	64.5	44.4	21.4	16.3	11.0	6.2	6.8	2472	1.5	15.5	1209	4	
DESV.STD.	0	1.42	2.60	2.42	1.41	1.66	0.83	0.60	0.09	14.80	0.66	0.50	126.52	0.2	
C.VAR.	0	1.5	4.0	5.5	6.6	10.2	7.5	9.6	1.4	0.6	45.1	3.2	10.5	11	
MAXIMO	100	95.9	68.1	48.2	23.5	18.4	12.4	7.0	6.9	2498	2.5	16.2	1512	5	
MINIMO	100	90.7	58.7	39.6	18.2	11.3	9.4	5.0	6.6	2451	0.6	14.8	1050	3	
MEZCLA CON POLIMERO															
N°DATOS	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
PROMEDIO	100	94.6	64.2	43.0	21.9	17.1	11.9	6.8	6.8	2453	2.2	18.5	1281	5	
DESV.STD.	0	11.41	9.00	3.19	1.73	1.18	0.82	0.55	0.09	16.50	0.68	0.66	124.34	0.2	
C.VAR.	0	12.1	14.0	7.4	7.9	6.9	6.9	8.1	1.3	0.7	30.5	3.6	9.7	9	
MAXIMO	100	98.6	74.0	51.5	27.6	20.5	14.1	8.5	6.9	2478	3.7	19.7	1620	7	
MINIMO	100	8.5	1.8	32.2	19.1	15.1	10.4	5.8	6.5	2420	1.2	15.8	1050	4	

CARRETERA RIO SECO-DESAGUADERO
SECTOR GUAQUI-DESAGUADERO

FIGURA N°1
SECCION TIPICA DEL DISEÑO DEL PAVIMENTO

Carpeta asfáltica con asfalto modificado

Geotextil

Base Granular

Sub Base

Mejoramiento de

Sub Rasante

Terraplen y/o

Pedraplen

APLICACIÓN DE ASFALTO MODIFICADO EN ARGENTINA

En Argentina como en otros países del mundo se vienen desarrollando estudios más profundos y experiencias constructivas con aplicación de polímeros, siempre preocupados en lograr pavimentos de mejor calidad y que aseguren una vida útil mayor que la alcanzada por los pavimentos construidos con mezclas asfálticas convencionales.

Tal como lo manifiesta el *Ingeniero Argentino Marcos Devoto* en los últimos años de la década de los '90 se ha gestado en Argentina el desarrollo del mercado de los Asfaltos Modificados con Polímeros, aunque con un importante retraso respecto de los países desarrollados.

Para tal efecto, se ha recabado información sobre las obras, las especificaciones del producto, las toneladas utilizadas, el tipo de mezcla aplicado, etc. Estos datos permiten estudiar el comportamiento de este naciente mercado y arriesgar un análisis de las expectativas del futuro de los asfaltos modificados con polímeros.

De este modo, se trata de formar una imagen actualizada de lo que sucede hoy en Argentina y facilitar su comparación con otros países del mundo donde el mercado tiene un mayor desarrollo

Ante las situaciones mencionadas, además de apelar a nuevas tecnologías constructivas y del resto de los materiales, una solución evidente fue mejorar algunas características de los asfaltos para lograr un mejor

comportamiento de los pavimentos. Ello dio origen a nuevos asfaltos que genéricamente fueron denominados "Asfaltos Modificados".

Existen entonces asfaltos modificados por:

Elastómeros,

Plastómeros y

Otros

Además de los Asfaltos Modificados con polímeros, algunos países emplean asfaltos especiales y multigrados, comúnmente denominados Alto Índice. Los polímeros del tipo SBS son, por lejos, los mas utilizados siguiéndole en las preferencias los plastómeros del tipo EVA. El uso de asfaltos especiales o de alto índice no ha alcanzado hasta el momento el mismo crecimiento que los asfaltos modificados con polímeros pero se observan buenas perspectivas de crecimiento.

En la Argentina también se utilizan otros tipos de modificadores en la siguiente relación durante los ensayos y constructivos realizados durante los últimos tres años:

Relación entre los modificadores empleados:

Modificados con Elastómeros: 34% SBS

Modificados con Plastomeros: 12% EVA

Modificados con Asfaltita: 54%

Asfaltos Multigrados o Alto Indice

Este material que de acuerdo a la bibliografía presentan muy buenas cualidades para enfrentar el problema de las deformaciones permanentes, con costos intermedios entre los asfaltos convencionales y los modificados con polímeros, son de reciente desarrollo en nuestro país. Pese a ello ya se han llevado a cabo estudios de base a nivel de laboratorio y un par de tramos experimentales con el fin de analizar el problema de las deformaciones permanentes (ahuellamiento).

Soluciones implementadas en Argentina.....

Mezclas Drenantes:

Son mezclas caracterizadas por un alto contenido de vacíos, superior al 20%, que se emplean como carpeta de rodamiento. Su alta porosidad permite que el agua fluya a través de forma tal que en épocas lluviosas se evita la formación de una película continua de agua sobre la superficie del pavimento. Adicionalmente los pavimentos porosos absorben parte del ruido producido en el contacto neumático-pavimento por lo que la sonoridad, tanto en el interior de los vehículos como en el exterior, se ve claramente disminuida.

Micropavimentos:

Son mezclas de granulometría discontinua destinadas a ser empleadas como finas carpetas de rodamiento inferiores a 3 centímetros. Se debe tener un gran cuidado en la selección del tipo y tamaño de los áridos. Estas mezclas por lo reducido de su espesor y los esfuerzos tangenciales que han de soportar, necesitan cementos asfálticos con capacidad de deformación elástica.

Riegos de Sellado, de Impermeabilización o de Liga:

Similares a los sellados tradicionales, los asfaltos modificados permiten alcanzar mejores niveles de modificación del cemento asfáltico por lo que su empleo está indicado en situaciones donde la exigencia del tránsito son extremas.

Mezclas de Modulo Elástico más Alto:

Son mezclas asfálticas de constitución similar a las convencionales en las que el cemento asfáltico empleado les confiere un módulo elástico superior al normal. La principal ventaja que se deriva del empleo de estas mezclas es que para un mismo espesor de capa aportan una mayor capacidad portante.

Mezclas Resistentes a las Deformaciones Plásticas:

Son mezclas asfálticas de constitución similar a las convencionales donde el cemento asfáltico empleado minimiza el problema de las deformaciones plásticas, esto es de la formación de ahuellamientos.

Mezclas Resistentes a la Fatiga:

La mejora de la resistencia a la fatiga es una calidad buscada en todo tipo de mezclas, dado que implica directamente una mayor durabilidad. Para mejorar esto, el método más adecuado es aumentar el contenido de asfalto en las mezclas y disminuir la viscosidad del cemento asfáltico.

Soluciones Antireflexión de Fisuras:

Constituyen un conjunto de técnicas de interposición destinadas a eliminar o minimizar el problema de la reflexión de las fisuras de las capas inferiores a través de las capas asfálticas superiores.

Riegos de impregnación de geotextiles

Sellado de fisuras por técnicas de puentado y/o colmatacion

Tratamientos superficiales, simples o dobles

Lechadas asfálticas y microaglomerados en frío

Capas de rodamiento de macrotextura profunda y Juntas elásticas de puentes

APLICACIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS EN COSTA RICA

Estudio del Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente de la Carretera Panamericana de San Ramón - Barranca en Costa Rica

1. Antecedentes

En el año 1,999 al Oeste de Costa Rica, se pudo comprobar que los problemas mayores en el desempeño de las carreteras con mezclas asfálticas en caliente son la Susceptibilidad a la Humedad (desprendimiento) y la Deformación Permanente (ahuellamiento y deslizamiento). Ante esta situación el gobierno de Costa Rica proyecta reparar una parte de la Carretera Panamericana entre San Ramón y

Barranca. El agregado local es grava de río. Debido a la escasez de agregados buenos en la región se hace deseable la necesidad de desarrollar un diseño de mezcla asfáltica en caliente que pueda evitar el uso de este agregado. Basados en esta inspección se determinó que si el proyecto propuesto proveyese una mayor vida de servicio de las carreteras con mezclas asfálticas en caliente, los problemas de susceptibilidad a la humedad y deformación permanente deberían ser resueltos. Hay algunos modificadores que pueden agregarse a la mezcla asfáltica en caliente que pueden proveer una solución a estos problemas. Por muchos años líquidos antidespredimiento y cal hidratada han sido usados para encaminar los problemas de susceptibilidad a la humedad. Este trabajo presenta el fondo sobre el uso de estos materiales para solucionar dichos problemas y los resultados de un estudio en el laboratorio de métodos diferentes que pueden utilizarse para resolverlos.

La deformación observada en las carreteras del oeste de Costa Rica se debe al gran volumen de tránsito de camiones pesados y por razones económicas se determinó el uso de áridos de procedencia local para la construcción de la mezcla asfáltica en caliente, (HMA) cuyo resultado fue problemas de susceptibilidad a la humedad del pavimento y consecuentemente la disgregación en la superficie trayendo como consecuencia la aparición de infinidad de "baches" , deformación permanente y problemas de retención de agua. Se pensó que con la adición de un modificador químico o una combinación de éstos a la mezcla asfáltica fabricados con agregados (áridos) locales podría obtenerse la solución al problema.

2. Trafico Pesado en la Carretera Panamericana

En los últimos años se ha visto incrementado el interés en el uso de modificadores químicos para mejorar las propiedades del cemento asfáltico en pavimentos de HMA debido a:

Haber aumentado los problemas de deformación permanente de los pavimentos construidos con HMA debido a un mayor volumen de tránsito y el aumento de presión de los neumáticos actualmente observado en América Central.

Problemas relacionados al incremento de la incidencia de la humedad debido a la utilización de agregados marginales y un mayor volumen de tránsito hoy comprobado en América Central.

La nueva especificación SUPERPAVE para ensayos de ligantes permitirá al usuario evaluar la reología de los mismos.

El convencimiento de las agencias públicas a pagar un mayor costo inicial por un pavimento con posibilidades de mayor vida de servicio y el deseo de reducir la probabilidad de fallas de la superficie pavimentada.

Los líquidos "anti-desprendimiento" y cal hidratada son aditivos que han sido utilizados para reducir los problemas de susceptibilidad a la humedad. Ellos alteran la superficie química en la interfase entre el

agregado y el cemento asfáltico resultando en un mejoramiento de la aglutinación del cemento asfáltico con el agregado.

Son utilizados polímeros para modificar los cementos asfálticos e incrementar la rigidez a temperaturas altas de la mezcla del HMA el cual puede reducir la probabilidad del ahuellamiento, drenaje y flujo.

3. Diseño de Mezcla Superpave

El plan de estudio para la investigación fue desarrollado utilizando el sistema de diseño de mezcla de especificación SUPERPAVE. Tomando como base las observaciones del lugar realizadas en Costa Rica fue decidido que el primer problema a ser resuelto prioritariamente era la susceptibilidad a la humedad, en consecuencia fue lo primero a ser investigado. Una vez completado los ensayos de susceptibilidad a la humedad, fueron evaluadas las más promisorias y mejores técnicas para determinar que procedimiento debería adoptarse para obtener la mejor resistencia a la deformación permanente.

La especificación Superpave del ligante asfáltico tiene como base procedimientos de ensayos que han demostrado tener relación directa al desempeño en campo de los pavimentos de mezclas asfálticas en caliente HMA. Se usa el Reómetro de Corte Dinámico (DSR) para caracterizar la alta e intermedia rigidez del ligante. El DSR mide el Módulo Complejo G^* y un Bajo Angulo de Fase δ .

Cuanto mayor sea el valor de G^* aumentará la rigidez, de este modo la resistencia al ahuellamiento del ligante asfáltico será mayor. El menor valor del ángulo de fase "d" indicará un ligante asfáltico más elástico. Estos dos valores se combinan para desarrollar el parámetro de $G^*/\sin d$, o rigidez a alta temperatura. Ha sido señalado que mayor rigidez a alta temperatura significará menor ahuellamiento. Se desea tener una rigidez a alta temperatura que sea mayor a 1 kPa a la temperatura de la carretera en servicio. La propiedad a baja temperatura del ligante asfáltico es evaluada usando el Reómetro de Viga a Flexión (BBR). El reómetro a flexión se caracteriza por el uso de una carga transitoria "creep" aplicada a una pequeña viga de asfalto simplemente apoyada en sus extremos y mantenida a una temperatura baja constante.

El BBR es utilizado para determinar la rigidez a la fluencia del ligante asfáltico y del valor "m". El valor "m" es una línea recta inclinada del logaritmo de la fluencia-rigidez "versus" tiempo de la curva resultante. Una baja rigidez, por debajo de 300 Mpa y un valor "m" (mayor que 0,300) es deseado. Las propiedades del agregado especificado en el sistema Superpave están dirigidas directamente a proveer agregados cuya angularidad resistirán a los efectos destructivos del proceso de construcción y a los efectos del clima.

La angularidad es evaluada colocando un requerimiento, que la angularidad del agregado grueso tenga un alto porcentaje de caras trituradas y requiriendo también agregados finos triturados, estos evaluados por el ensayo de angularidad fina. Los efectos destructivos del proceso de construcción y los efectos del clima son evaluados por

medio del uso del ensayo de abrasión Los Angeles y del ensayo de durabilidad del Sulfato de Sodio.

El componente clave del sistema SUPERPAVE del diseño de mezcla es el Compactador Giratorio Superpave (Superpave Gyratorio Compactador) SGC. El SGC fue diseñado para compactar muestras de HMA a una densidad similar a aquélla obtenida en campo por la acción del tránsito.

Este tipo de compactador también tiende a orientar partículas del agregado muy parecido a lo observado en el campo. Una mezcla asfáltica en caliente, HMA, se compacta por medio de la aplicación de una presión vertical y una acción giratoria simultánea. La presión vertical es fijada en 600 kPa y un ángulo de giro de 1,25°. Los giros se aplican a una velocidad de 30 r.p.m. (revoluciones por minuto). Se varía el número de giros para simular el nivel de tránsito. El SGC se usa para compactar muestras cuyas dimensiones se han fijado en 150 mm de diámetro y alrededor de 115 mm de altura. Los tres parámetros que se evalúan con el compactador giratorio Superpave (SGC) son: N inicial (Número de giro inicial) N diseño (Número de giro de diseño) N máximo (Número de giro máximo)

Estos son los giros requeridos para producir la densidad en la mezcla que es equivalente a la densidad esperada en campo. En el proceso de diseño de la mezcla el contenido de asfalto es seleccionado a fin de proveer 4 % de vacíos de aire cuando la mezcla es compactada a "N diseño". N inicial es una medida de la compactibilidad de la muestra.

Las mezclas que se compactan rápidamente se cree que serán "blandas" durante la construcción y podrían ser inestables cuando son sometidas al tránsito. Las mezclas que contienen 4% de vacíos de aire en N diseño deberían tener al menos 11% (o un máximo de 89 % del máximo de la densidad teórica (Gmm) en N inicial.

N máximo es el número de giros requeridos para producir en el laboratorio una densidad que desde ningún punto de vista debería ser excedido en el campo.

Los vacíos de aire en N máximo son al menos 2 % (o un máximo de 98 % de la densidad teórica máxima Gmm). Mezclas que tengan menos de 2 % de vacíos de aire en N máximo (o más que 98 % de la densidad máxima teórica) se piensa que serán más susceptibles a los problemas a la deformación permanente que las mezclas que exceden 2 % de vacíos de aire.

4. Cemento Asfáltico.

El cemento asfáltico utilizado en este proyecto fue un AC-30 suministrado por la Refinería Costarricense de Petróleo S.A. (Recope). El cemento asfáltico fue probado para determinar sus propiedades a altas temperaturas tanto del asfalto original como del cemento asfáltico después de haber sido envejecido en el RTFO. Los resultados de los ensayos obtenidos de acuerdo al asfalto modificado utilizado en el estudio se encuentran en el Cuadro de Rigideces a alta temperatura ($G^*/\text{Sen } d$)

5. Polímero :

El Polímero utilizado en este estudio es un producto fabricado por Eastman Chemical Company. Es un polímero olefínico modificado. El nombre de marca del producto es (Polímero Eastman EE-2). Cuando fue utilizado el EE-2 en este estudio fue adicionado en la proporción del 3 % en peso con respecto al cemento asfáltico.

6. Conclusión

Basados en los trabajos realizados en laboratorio se recomienda al departamento correspondiente del gobierno Costarricense utilizar 1,5 % de cal hidratada adicionada al agregado húmedo, (3 a 5 % de humedad por peso del agregado) más el uso de cemento asfáltico que haya sido modificado con 3 % de EE-2. Se recomienda también que el contratista y el gobierno Costarricense sigan las recomendaciones hechas en este estudio con respecto al control de calidad del Proyecto San Ramón.

UTILIZACIÓN DE POLIMEROS EN LAS CARRETERAS DEL PERÚ

Como es conocido en el Perú la preparación de Mezclas de Concreto Asfáltico, preparadas con cementos asfálticos modificados con polímeros es incipiente a tal punto que hasta la fecha no se ha ejecutado obra alguna con materiales mejorados, a pesar que nuestro país por tener zonas geográficas muy diversas exige la búsqueda de mejorar la performance de nuestros pavimentos utilizando técnicas de avanzada

como se viene haciendo en la mayoría de países de todo el mundo y desde hace muchos años atrás.

Existen obras donde se ha utilizado Emulsiones Asfálticas modificadas con polímero, pero tan solo a nivel de mantenimiento de carreteras como son tratamiento de fisuras y grietas, sellos asfálticos, morteros arena-emulsión y mezclas asfálticas para obras de mantenimiento; sobre las cuales debe hacerse un monitoreo permanente a fin de determinar su comportamiento en el tiempo. Entre estas obras tenemos las carreteras Cocachacra-Maturana, Pativilca-Huaraz, Puno-Juliaca-Desaguadero, Arequipa-Matarani.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES

El objetivo de este trabajo consiste en establecer en que forma la incorporación de Polímeros a los ligantes bituminosos afecta sus parámetros reológicos y las propiedades Físico – Mecánicas de las mezclas asfálticas para poder usarse en regiones establecidas como Zonas de Altura.

En base a los resultados de los ensayos realizados puede concluirse lo siguiente:

1. Es de gran importancia que exista una buena compatibilidad entre el asfalto y el polímero para poder asegurar que cada una de las propiedades adquiridas por adición del polímero al asfalto se den en toda su extensión. En nuestro caso se tiene que la mezcla asfáltica con polímeros SBR tipo Cationica, presenta una mejor Compatibilidad y Estabilidad al Almacenamiento en caliente que la mezcla realizada con el polímero SBR tipo Aniónico.
2. Los valores del Índice de Penetración se incrementan conforme aumenta el porcentaje de polímero en la mezcla; esto quiere decir que el Asfalto Modificado con Polímero posee mejor Susceptibilidad Térmica que el Asfalto Convencional. La modificación de asfaltos mediante la incorporación de Polímeros, provoca la reducción de la Susceptibilidad Térmica en los asfaltos, por lo que es posible esperar una menor sensibilidad a las deformaciones permanentes (Ahuellamientos).
3. Los resultados obtenidos revelan un incremento en la Temperatura del Punto de Ablandamiento con las concentraciones establecidas (2% y 3% en peso del asfalto) del polímero en la mezcla, este

- incremento es un indicador de aumento en la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas.
4. La penetración disminuye con el incremento de la concentración de polímero; la viscosidad del asfalto se incrementa y el ensayo de ductilidad a 5°C nos permite deducir que las mezclas de asfalto – polímero tendrán mejor comportamiento a bajas temperaturas.
 5. La Resistencias de las mezclas elaboradas con ligantes modificados (Asfaltos modificados) se ve notablemente favorecida, al aumentar la adherencia del par Arido – Ligante, esto se verifica con los valores obtenidos en las medidas del ensayo de Estabilidad Marshall, donde se tiene que se incrementa a medida que se aumenta el porcentaje de Polímero SBR Cationico en nuestro caso de 2% a 3% en peso del asfalto, mientras que para el SBR Aniónico aumenta ligeramente para un 2% y luego disminuye para 3%.
 6. La Recuperación Elástica de los asfaltos modificados es incrementada al añadir el polímero, obteniéndose mejores resultados que el asfalto base. Esto se mantiene incluso después del ensayo de envejecimiento. Específicamente están relacionados a la naturaleza elástica e estos productos, entendiéndose como recuperación elástica no solo a la capacidad de elongación sino también de recuperación a su estado original frente a un esfuerzo determinado.
 7. Para la determinación del porcentaje optimo de polímero, hay gráficos que pueden ofrecer una útil orientación (parámetros del método Marshall), pero hay que tener en cuenta que un desmesurado aumento de Polímero puede mejorar alguna propiedad notablemente pero a su vez a menudo produce efectos perjudiciales en otras propiedades por lo que se debe llegar al final a un equilibrio de la mezcla Asfalto – Polímero.

8. Mejor comportamiento a la fatiga con respecto a las mezclas con asfalto convencional, presentando mayor vida útil y por consiguiente menores costos en mantenimiento dada la mayor duración de los pavimentos.
9. Los Asfaltos Modificados deben emplearse en construcciones de carreteras, sobre todo en aquellos casos específicos en que las propiedades de los ligantes tradicionales son insuficientes para cumplir con éxito la función que tienen encomendadas: es decir en la fabricación de mezclas bituminosas especiales para pavimentos que estén sometidos a solicitudes excesivas, bien sea por efecto del tráfico, por temperaturas extremas, agentes atmosféricos, etc.
10. Por tener un clima variable con temperaturas extremas durante todo el día, y añadiéndole a esto el problema de una fuerte radiación solar (rayos ultravioleta) hacen que la vida útil del pavimento sea corta, por lo que se puede AFIRMAR que adicionando polímero a los asfaltos (modificándolos) mejoraremos el comportamiento de estos a bajas temperaturas en regiones de altitud, logrando prolongar la vida de los pavimentos en dichas regiones.
11. Facilidad y simplicidad de la aplicación de los asfaltos modificados con polímero tipo SBR, haciendo uso de los recursos empleados para la producción de mezclas convencionales.
12. Su uso implica ventajas técnicas y económicas sustanciales, para el caso de pavimentos en Zonas de Altura y climas fríos. Estos pueden hacerse extensivos a los casos de vías de alto volumen de tráfico, redes concesionadas ó pavimentos en zonas de clima subtropical ó tropical y en donde se requieren mezclas asfálticas de larga duración, baja capacidad de deformación y gran resistencia a la fatiga.

13. Los Asfaltos Modificados suponen un avance notable en la tecnología de los ligantes asfálticos. Mediante su empleo se pueden abordar tratamientos que no se pueden realizar con los asfaltos convencionales. Así mismo con su uso se incrementa el rango de temperaturas de servicio.
14. Finalmente el empleo de una mezcla asfáltica Modificada con polímero constituye una solución más económica, incluso como inversión inicial para proyectos de vías de primer orden en donde se requieren mezclas de gran durabilidad y resistencia a las deformaciones permanentes.

RECOMENDACIONES

1. El uso de asfaltos modificados con Polímeros se viene incrementando en el mundo, por lo que el usuario y los proyectistas precisan conocer las alternativas existentes con sus ventajas y limitaciones, de modo que puedan hacer una mejor elección en cada caso.
2. En lugares donde existen grandes fluctuaciones de temperatura y donde el transporte es de alto tráfico los pavimentos se deterioran considerablemente, y el uso de asfaltos modificados con polímeros resulta ser una solución viable.
3. De los resultados obtenidos, los Asfaltos Modificados con polímero SBR poseen gran flexibilidad a Bajas Temperaturas, esto se vio reflejado en los valores de Recuperación Elástica a 5°C, por consiguiente, son ideales para Zonas de Clima Frío (Zonas de Altura), ya que con dicho polímero el asfalto no se fractura tan fácilmente debido a que a bajas temperaturas predominan las propiedades elásticas del SBR. Sin embargo cabe resaltar que es muy

importante la naturaleza del asfalto para lograr buenos resultados con este polímero, pues contribuirá a la formación de una fase homogénea. Los resultados óptimos también dependerán del asfalto base, evaluando los resultados en Compatibilidad, Estabilidad al Almacenamiento y Resistencia al Envejecimiento.

4. Una primera forma de análisis de las características de los asfaltos modificados con polímero puede hacerse con los ensayos tradicionales para ligantes de uso vial, sin embargo para conseguir una mejor caracterización se deben contemplar otros ensayos como el de Recuperación Elástica y Ductilidad a 5 °C. En la que se puede verificar que los asfaltos modificados presentan mayor Ductilidad y mayor Elasticidad.
5. Los Asfaltos Modificados con Polímero SBR presentan valores mas altos en el ensayo de Punto de Ablandamiento, lo cual es un indicador de la gran resistencia a la formación de Ahuellamiento, por esto son ideales par Zonas de Clima Cálido y de Transito Pesado. El SBR es un polímero que fácilmente se dispersa en el asfalto y no pone limitaciones del mismo para poder modificarlo satisfactoriamente.
6. Finalmente con el objetivo de comprobar los resultados obtenidos en el Laboratorio, se sugiere como segunda etapa de este estudio, un programa de aplicaciones, mediante la ejecución de Tramos Experimentales con Asfaltos Modificados, a modo de evaluar su comportamiento frente a la acción real del tráfico y de los agentes del imtemperismo.

ANEXOS

COMPARACIÓN DE COSTOS

Empleo del Polímero SBR en la Fabricación
de Mezclas Asfálticas para Zonas de Altura

COMPARACIÓN DE COSTOS

MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL

Rendimiento	240,00 M3/DIA		Costo Unitario Directo por: M3			225.75
Codigo	Descripcion Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470103	Oficial	HH	2.00	0.0667	8.37	0.56
470104	Peon	HH	10.00	0.3333	7.50	2.50
470121	Capataz	HH	1.00	0.0333	11.14	0.37
						3.43
Materiales						
200103	Cemento Asfáltico	GLN		28.0000	5.12	143.36
040006	Filler Mineral	TON		0.0000	527.07	0.00
290175	Polimero SBR para Asfalto	KG		0.0000	70.00	0.00
						143.36
Equipos						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3.0000	3.43	0.10
491505	Grupo Electrogeno	HM	1.00	0.0333	55.22	1.84
492606	Planta de Asfalto en Caliente de 90 - 120 Ton/Hora	HM	1.00	0.0333	1226.82	40.92
						42.86
Insumo Partida						
910112	Arena para Mezcla Asfáltica	M3		0.5000	24.16	12.08
910117	Piedra Chancada para Mezcla Asfáltica	M3		0.8000	30.02	24.02
						36.10
					TOTAL:	225.75

MEZCLA ASFÁLTICA MODIFICADA

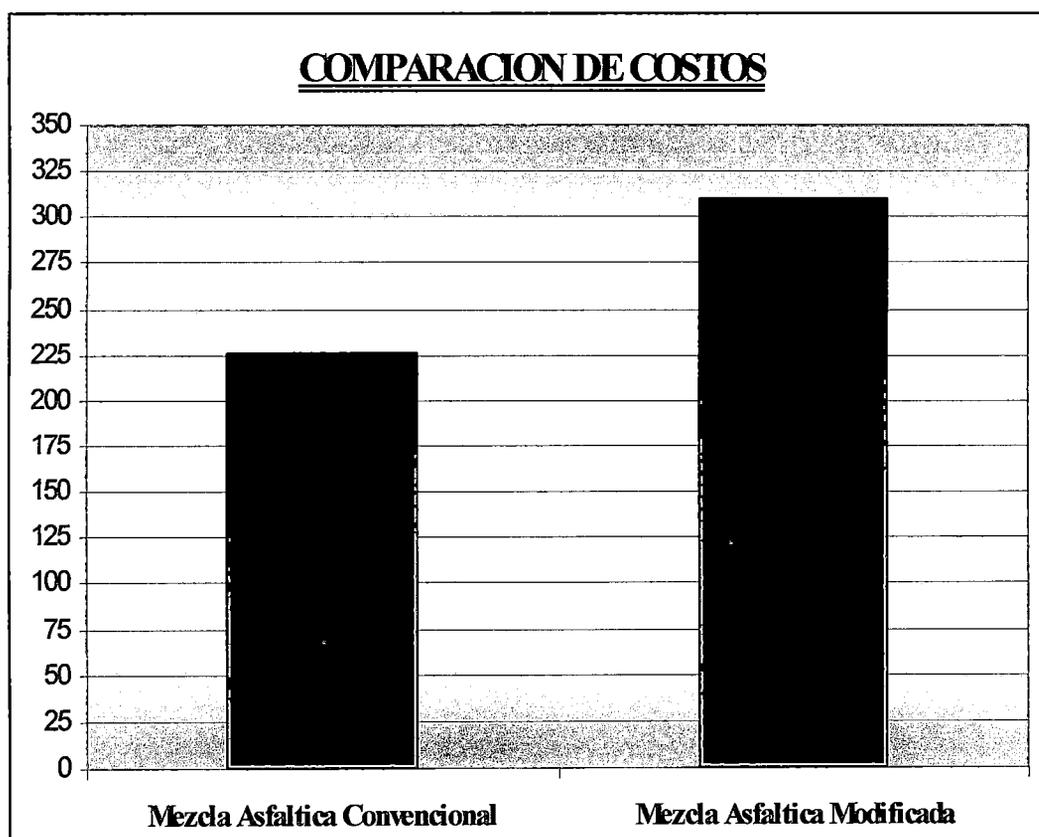
Rendimiento	240,00 M3/DIA		Costo Unitario Directo por: M3			319.08
Codigo	Descripcion Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio	Parcial
Mano de Obra						
470103	Oficial	HH	2.00	0.0667	8.37	0.56
470104	Peon	HH	10.00	0.3333	7.50	2.50
470121	Capataz	HH	1.00	0.0333	11.14	0.37
						3.43
Materiales						
200103	Cemento Asfáltico	GLN		28.0000	5.12	143.36
040006	Filler Mineral	TON		0.0000	527.07	0.00
290175	Polimero SBR para Asfalto	KG		1.3333	70.00	93.33
						236.69
Equipos						
370101	Herramientas Manuales	%MO		3.0000	3.43	0.10
491505	Grupo Electrogeno	HM	1.00	0.0333	55.22	1.84
492606	Planta de Asfalto en Caliente de 90 - 120 Ton/Hora	HM	1.00	0.0333	1226.82	40.92
						42.86
Insumo Partida						
910112	Arena para Mezcla Asfáltica	M3		0.5000	24.16	12.08
910117	Piedra Chancada para Mezcla Asfáltica	M3		0.8000	30.02	24.02
						36.10
					TOTAL:	319.08

De los cuadros de Precios Unitarios de las partidas de Mezcla de Concreto Asfáltico, con asfalto convencional y asfalto modificado, se puede establecer la diferencia entre los costos por metro cúbico de mezcla asfáltica preparado en planta, esta diferencia es solo de planta, no incluye los costos de transporte ni colocación en obra. Se tienen los precios de cada tipo de mezcla que son:

Mezcla con Asfalto Convencional : 225.75 Soles/M3

Mezcla con Asfalto Modificado : 319.08 Soles/M3

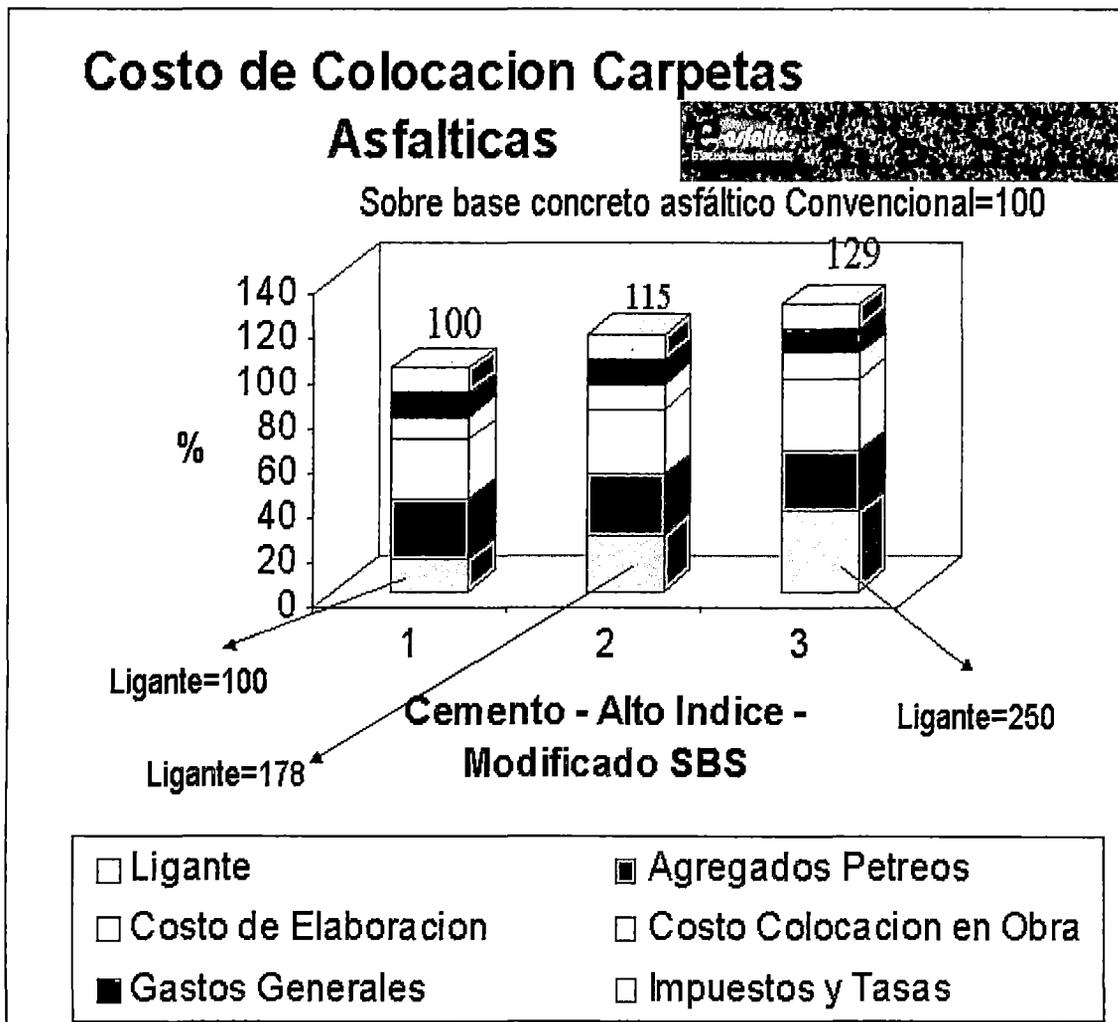
De los resultados obtenidos se puede establecer que la variación en el costo de producción de la mezcla asfáltica convencional con respecto a la mezcla con asfalto modificado es de 42% más, lo que significa que el uso de polímeros en la modificación de asfaltos requiere de una mayor inversión inicial, pero que a largo plazo compensa y resulta más económico.



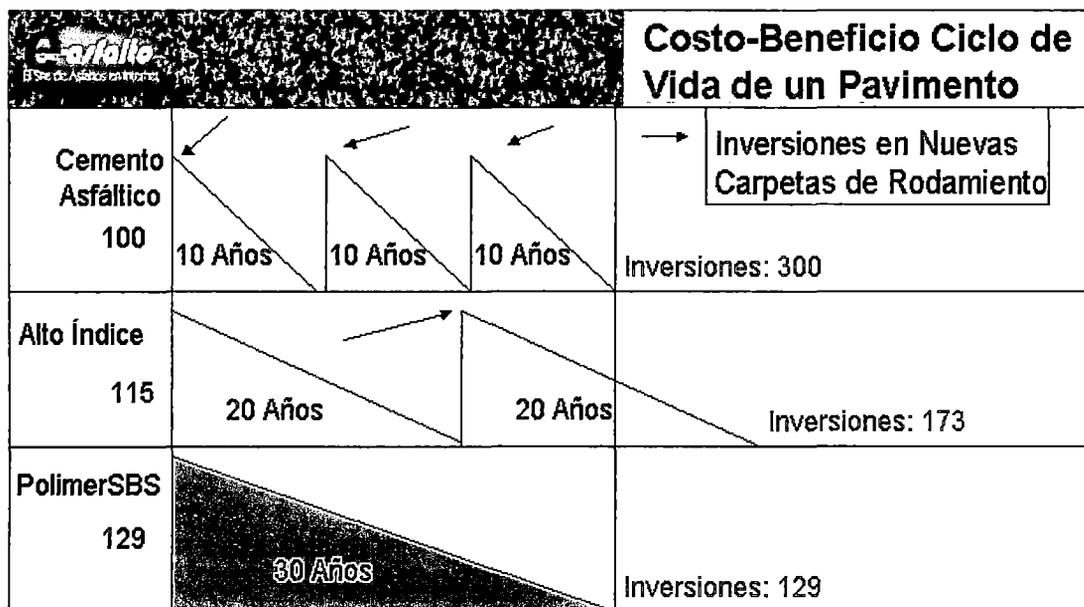
CUADRO COMPARATIVO DE COSTOS Y BENEFICIO OBTENIDOS EN
LOS PAVIMENTOS CON LA UTILIZACIÓN DE POLIMEROS
(ARGENTINA)

Costo de un concreto asfáltico con diferentes ligantes								
	%p	Cemento convencional		Alto Índice		Polimerizado S BS		
		US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	US\$/ton	
			mezcla	mezcla	mezcla	mezcla	mezcla	
Ligante	5%	180	9,00	320	16,00	450	22,50	
Piedra	40%	21	8,40	21	8,40	21	8,40	
Arena de trituración	40%	18	7,20	18	7,20	18	7,20	
Arena silicia	15%	9	1,35	9	1,35	9	1,35	
Concreto Asfáltico	100%		25,95		32,95		39,45	
Incremento en el concreto asfáltico					27%	52%		
Costo de elaboración	Incremento:			0%	10%	20%		
Calentar material, Energía, M. Obra, Amortización, R de liga Flete a obra			17,00		18,70		20,40	
Costo de colocación en obra (16% costo concreto asfáltico)			6,35		6,92		7,55	
COSTO:			49,30		51,65		59,85	
Gastos generales (15% concreto asf.)			6,90		6,90		6,90	
Impuestos y Tasas (16% sobre c. Asf)			7,00		7,00		7,00	
TOTAL:			63,20		65,55		73,75	
Los costos se incrementan específicamente en tres ítems:								
Ligante	Aunque la operatoria de mezclado y construcción de pavimentos usando asfaltos mejorados es similar a las de operaciones con asfaltos convencionales, los costos se aumentan debido al almacenamiento y mezclado en planta constructiva							
Costo de producción								
Costo de colocación								
	Cemento convencional		Alto Índice		Polimerizado S BS			
	US\$/ton	%	US\$/ton	%	Aumento	US\$/ton	%	Aumento
Ligante	9,00	14,2%	16,00	22,1%		22,50	27,7%	
Agregados Petreos	16,95	26,8%	16,95	23,4%		16,95	20,8%	
Costo de elaboración	17,00	26,9%	18,70	25,8%		20,40	25,1%	
Costo de colocación en obra	6,35	10,0%	6,92	9,5%		7,55	9,3%	
Gastos generales	6,90	10,9%	6,90	9,5%		6,90	8,5%	
Impuestos y Tasas	7,00	11,1%	7,00	9,7%		7,00	8,6%	
Costo Total:	63,20	100,0%	72,47	100,0%	114,67	81,30	100,0%	128,64

En el cuadro se puede apreciar que el costo de la colocación de las carpetas asfálticas varia en forma creciente, debido a la mejora progresiva del ligante asfáltico. Tenemos que solo varia el costo del ligante asfáltico, mientras que para las demás actividades involucradas en la colocación de carpeta asfáltica estos se mantienen constantes ya que el proceso de colocación es igual para todos los casos.



En el siguiente cuadro se tiene una relación del Costo – Beneficio del ciclo de vida de un Pavimento Asfáltico, con respecto a la utilización de asfaltos mejorados. Se tiene que para los pavimentos con asfaltos convencional el tiempo de vida es de 10 años, para un pavimento con asfalto mejorado (alto índice) el tiempo de vida se da para 20 años, y para un pavimento con asfalto modificado con polímero el tiempo de vida se da para 30 años. Esto es un indicador para establecer la diferencia entre los costos de mantenimiento ó reparación del pavimento, en el cual se concluye que para una inversión inicial elevada, esto resulta un ahorro a largo plazo.



<p>Tiempo de Vida de un concreto asfáltico en años elaborado con: Cemento Asfáltico: 10 Asfalto Alto Índice: 20 Modificado SBS: 30</p>
--

Tasa de amortización anual pavimento: 7%	
Los ahorros que se producen son	Reducción Costos
Ciclo de vida de 30 años con inversiones:	-
Cemento Asfáltico: $100 \cdot 3.0 = 300$	42%
Asfalto Alto Índice: $115 \cdot 1.5 = 173$	57%
Modificado SBS: $129 \cdot 1.0 = 129$	

CERTIFICADOS DE LABORATORIO



CALIDAD DE AGREGADOS

PROYECTO : **TESIS DE GRADO** REGISTRO N° : 514 (23.08.2002)
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO ING° RESP : PABLO ANTICONA
UBICACIÓN : AREQUIPA PROYECTO YURA - PATAHUASI TECNICO : VITALICIO ROQUE
MATERIALES : DE CANTERA km 53+000 FECHA : Agosto-02

IDENTIFICACION		PIEDRA DE 3/4"		PIEDRA DE 1/4"		ARENA CHANCADA		ARENA NATURAL	
DESCRIPCION		% RET.	% PASA	% RET.	% PASA	% RET.	% PASA	% RET.	% PASA
Malla Serie Americana	Abertura (mm.)								
2"	50.800								
1 1/2"	38.100								
1"	25.400								
3/4"	19.050		100						
1/2"	12.700	28	72		100				
3/8"	9.525	24	48	5	95		100		
1/4"	6.350	30	18	47	48	1	99		100
N° 4	4.760	11	7	29	19	4	95	1	99
N° 6	3.360	6	1	17	2	11	84	5	94
N° 8	2.380	1	-	2	-	14	70	8	86
N° 10	2.000	-	-	-	-	6	64	4	82
N° 16	1.190	-	-	-	-	15	49	13	69
N° 20	0.840	-	-	-	-	6	43	6	63
N° 30	0.590	-	-	-	-	7	36	10	53
N° 40	0.426	-	-	-	-	5	31	9	44
N° 50	0.297	-	-	-	-	6	25	10	34
N° 80	0.177	-	-	-	-	6	19	11	23
N° 100	0.149	-	-	-	-	1	18	3	20
N° 200	0.074	-	-	-	-	3	15	6	14
-200		-	-	-	-	15	-	14	-
Límite Líquido (Malla -N°200)	(%)								
Índice Plasticidad (Malla -N°200)	(%)					N.P.		N.P.	
Peso Unitario Seco Suelto	(Kg/m3)	1355.0		1256.0		1335.0		1339	
Peso Unitario Seco Varillado	(Kg/m3)	1478.0		1427.0		1542.0		1540	
Peso Específico Bulk (Base seca)		2.463		2.486		2.598		2.628	
Peso Específico Bulk (Base saturada)		2.520		2.557		2.632		2.643	
Peso Específico Aparente (Base seca)		2.611		2.676		2.880		2.667	
Absorción de Agua	(%)	2.72		2.57		2.08		2.39	
Módulo de Fineza		5.9		5.8		3.1		4.16	
Abrasión	(%)	26.0		28.5		--		0	
Impurezas Orgánicas				Aceptable		Aceptable		Aceptable	
Partículas chatas y alargadas	(%)	14.0		--		--		--	
Caras de fractura (1 o más)	(%)	74.0		--		--		--	
Caras de fractura (2 o más)	(%)	69.0		--		--		--	
Sales Solubles Totales	(%)	0.0085		0.0120		0.0135		0.0160	
Equivalente de Arena	(%)			87.0		78.0		75	
Durabilidad	(%)	6.22		6.47		8.05		11.08	

NOTA : La interpretación de los resultados de ensayo son de exclusiva responsabilidad del usuario; salvo recomendaciones expresas adjuntas.

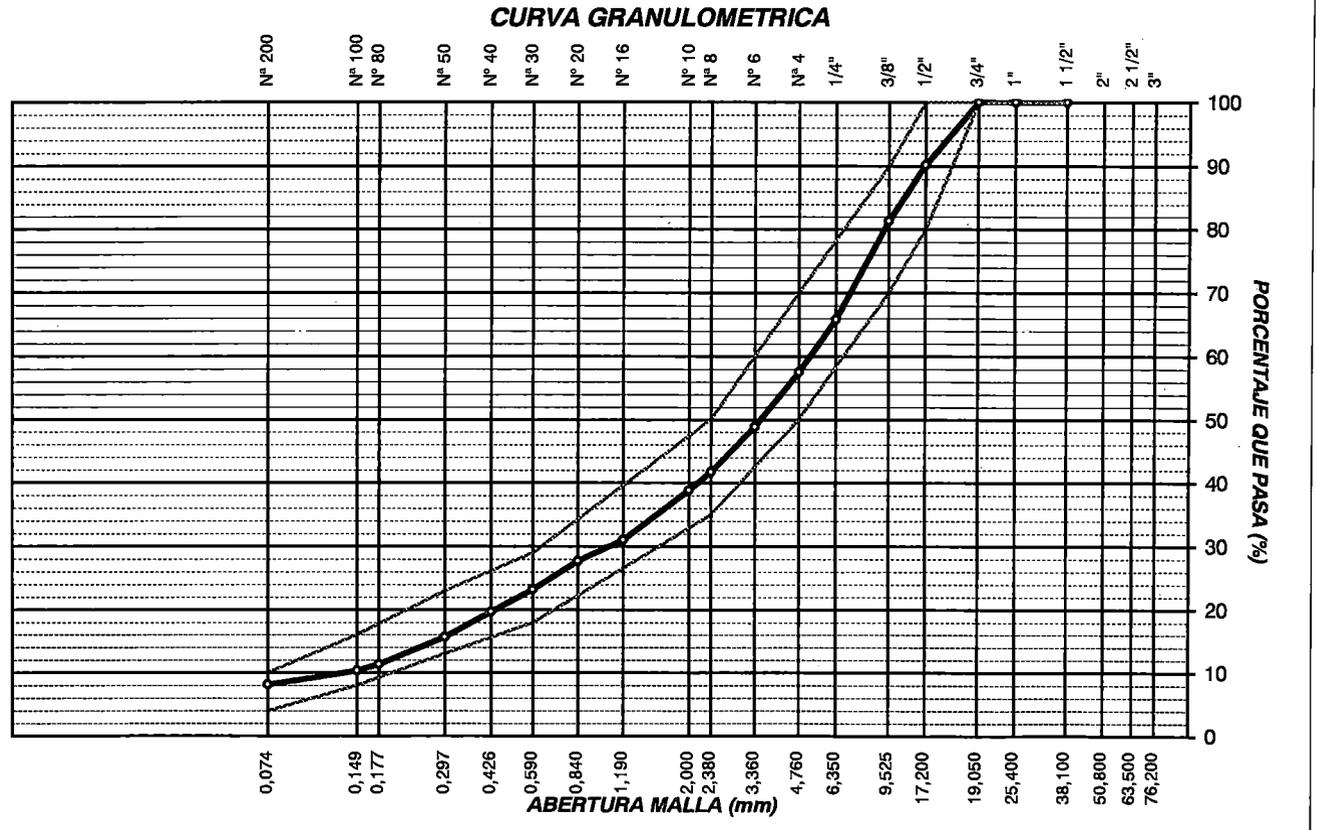
ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



GRANULOMETRIA RESULTANTE DE MEZCLA DE AGREGADOS

PROYECTO	: CARRETERA YURA - PATAHUASI	REGISTRO N°	: 514 (23.08.2002)
SOLICITADO	: BACH. ROBERT MARTÍNEZ DONGO	ING° RESP	: EZEQUIEL RIVAS D.
UBICACIÓN	: AREQUIPA (QUEIROZ - GALVAO)	TECNICO	: CARLOS PELAEZ
MUESTRA	: CANTERA KM. 53+000	FECHA	: 13-Nov-02

MALLAS SERIE AMERICANA	ANALISIS GRANULOMETRICO			
	ABERTURA (mm)	RET (%)	PASA (%)	ESPECIFICACIONES
3"	76.200			INST. ASFALTO
2 1/2"	63.500			GRAD. = IV-b
2"	50.800			
1 1/2"	38.100			
1"	25.400			
3/4"	19.050		100.0	100
1/2"	12.700	9.8	90.2	80 - 100
3/8"	9.525	8.9	81.3	70 - 90
1/4"	6.350	15.5	65.8	
N° 4	4.760	8.3	57.5	50 - 70
N° 6	3.360	8.7	48.8	
N° 8	2.380	7.1	41.7	35 - 50
N° 10	2.000	2.9	38.8	
N° 16	1.190	7.8	31.0	
N° 20	0.840	3.3	27.7	
N° 30	0.590	4.5	23.2	18 - 29
N° 40	0.426	3.5	19.7	
N° 50	0.297	4.1	15.6	13 - 23
N° 80	0.177	4.3	11.3	
N° 100	0.149	1.0	10.3	8 - 16
N° 200	0.074	2.2	8.1	4 - 10
-200		8.1	-	



PROPORCIONES DE MEZCLA :

- PIEDRA 3/4" = 35%
- CONFITILLO 3/8" = 10%
- ARENA CHANCADA = 35%
- ARENA NATURAL = 20%


 ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO DIVISION DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

IDENTIFICACIÓN : CEMENTO ASFALTICO PEN 120 - 150
SOLICITADO POR : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
PROCEDENCIA : REFINERIA LA PAMPILLA - REPSOL
PROYECTO : TESIS DE GRADO
REGISTRO N° : 752-A(19.11.2002)

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO : TEC. EDUARDO DALL'ORTO M.
MUESTREADO : INTERESADOS
EFFECTUADO : TEC. JOSE MUÑOZ - L. CESPEDES
FECHA : DICIEMBRE 2002

INFORME SOBRE MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO

E N S A Y O S	RESULTADO DE ENSAYO	ESPECIFICACIONES	
		Mín.	Max.
ASTM D - 946			
PENETRACIÓN A 25 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm ASTM D-5	126.0	120	150
PUNTO DE INFLAMACIÓN COPA ABIERTA, °C ASTM D-92	292.0	218	--
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm ASTM D-113	+100	100	--
SOLUBILIDAD TRICLORO ETILENO, % ASTM D-2042	99.75	99	--
PENETRACIÓN DEL RESIDUO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, % DE LA ORIGINAL	51.6	42	--
DUCTILIDAD DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, a 25 °C, 5 cm/min, cm	+100	100	--
AASHTO M - 20			
PÉRDIDA % MASA (PELICULA FINA)	0.4	--	1.3
ENSAYO DE LA MANCHA (OLIENSIS):			
Solvente Nafta - Stándard	Negativo	NEGATIVO	
Solvente Nafta - Xileno, % Xileno	--	--	
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno	--	--	
REFERENCIA FRANCESA			
ÍNDICE DE PENETRACIÓN (Suceptibilidad Térmica)	-0.9	- 1	+ 1
ASTM D - 36			
PUNTO DE ABLANDAMIENTO O ANILLO Y BOLA (°C)	40	35	45
GRAVEDAD ESPECÍFICA A 25 °C, g/cm3	1.010		
CONTENIDO DE AGUA, %			
VISCOSIDAD :			
Cinematica, 135 °C (275 °F), cSt	228.9		
Cinematica, 145 °C (293 °F), cSt	133.8		
PENETRACIÓN A 10 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	25.0		
PENETRACIÓN A 30 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	211.0		
ASTM D 6084			
RECUPERACION ELASTICA A 5°C (%)	11.3		
ASTM D 113			
DUCTILIDAD A 4°C, 5cm/min, cm	11.5	10	

Observaciones:

- No presenta Espuma Espuma cuando es Calentado a la Temperatura de aplicación de 175°C
- La muestra ensayada Cumple con exigencias dadas en las Normas ASTM D-946 y AASHTO M-20 para un Asfalto PEN 120 - 150
- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



ING. EZEQUIEL RIVAS DURAN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO



Trabajo de peruanos



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

IDENTIFICACIÓN : ASFALTICO MODIFICADO AL 2% SBR CATIONICO
SOLICITADO POR : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
PROCEDENCIA : PEN 120/150 REFINERIA LA PAMPILLA - REPSOL
OBRA : TESIS DE GRADO
REGISTRO N° : 752-A(19.11.2002)

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO : TEC. EDUARDO DALL'ORTO M.
MUESTREADO : INTERESADOS
EFFECTUADO : TEC. JOSE MUÑOZ - L. CESPEDES
FECHA : DICIEMBRE 2002

INFORME SOBRE MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO

E N S A Y O S	RESULTADO DE ENSAYO	ESPECIFICACIONES	
		Mín.	Max.
ASTM D - 946			
PENETRACIÓN A 25 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	93.0	85	--
PUNTO DE INFLAMACIÓN COPA ABIERTA, °C	297.0	232	--
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm	+100	100	--
PENETRACIÓN DEL RESIDUO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, % DE LA ORIGINAL 25°C	63.4	42	--
DUCTILIDAD DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, a 4 °C, 5 cm/min, cm ASTM D 113	+10	10	--
AASHTO M - 20			
PERDIDA % MASA (PELICULA FINA)	0.2	--	1.3
REFERENCIA FRANCESA			
ÍNDICE DE PENETRACIÓN (Suceptibilidad Térmica)	-0.05	- 1	+ 1
ASTM D - 36			
PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C	48	--	--
PUNTO DE ABLANDAMIENTO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA. °C	60	--	--
GRAVEDAD ESPECÍFICA A 25 °C, g/cm3	1.010		
CONTENIDO DE AGUA, %	--		
VISCOSIDAD :			
Cinematica, 155 °C (311 °F), cSt	358		
Cinematica, 165 °C (329 °F), cSt	182.1		
PENETRACIÓN A 15 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	36.0	--	--
PENETRACIÓN A 35 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	217.0	--	--
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO ASFALTOS MODIFICADOS	MTC E319 - 1999		
DIFERENCIA PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C	2.7		
ASTM D 6084			
RECUPERACION ELASTICA A 5°C (%)	59.0		
ASTM D 113			
DUCTILIDAD A 4°C, 5cm/min, cm	+25	25	

Asfalto PEN 120 - 150 MODIFICADO AL 2% SBR CATIONICO BUTONAL NX 1118

- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



ING. EZEQUIEL RIVAS D'DRAN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Trabajo de peruanos



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

IDENTIFICACIÓN : ASFALTICO MODIFICADO AL 3% SBR CATIONICO **ING° RESPONSABLE :** JOSÉ MELCHOR ARECHE
SOLICITADO POR : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO **RECIBIDO :** TEC. EDUARDO DALL'ORTO M.
PROCEDENCIA : PEN 120/150 REFINERIA LA PAMPILLA - REPSOL **MUESTREADO :** INTERESADOS
OBRA : TESIS DE GRADO **EFFECTUADO :** TEC. JOSE MUÑOZ - L. CESPEDES
REGISTRO N° : 752-A(19.11.2002) **FECHA :** DICIEMBRE 2002

INFORME SOBRE MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO

E N S A Y O S	RESULTADO DE ENSAYO	ESPECIFICACIONES	
		Mín.	Max.
ASTM D - 946			
PENETRACIÓN A 25 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	84.0	80	
PUNTO DE INFLAMACIÓN COPA ABIERTA, °C	301.0	232	--
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm	+100	100	--
PENETRACIÓN DEL RESIDUO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, % DE LA ORIGINAL 25°C	65.0	--	--
DUCTILIDAD DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, a 4 °C, 5 cm/min, cm ASTM D 113	+10	10	--
AASHTO M - 20			
PÉRDIDA % MASA (PELICULA FINA)	0.2	--	1.3
REFERENCIA FRANCESA			
ÍNDICE DE PENETRACIÓN (Suceptibilidad Térmica)	+0.5	- 1	+ 1
ASTM D - 36			
PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C	55.1	--	--
PUNTO DE ABLANDAMIENTO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA. °C	65.5	--	--
GRAVEDAD ESPECÍFICA A 25 °C, g/cm3	1.010		
CONTENIDO DE AGUA, %			
VISCOSIDAD :			
Cinematica, 168 °C (334 °F), cSt	498.5		
Cinematica, 178 °C (352 °F), cSt	353.7		
PENETRACIÓN A 15 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	33.0	--	--
PENETRACIÓN A 35 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	186.0	--	--
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO DE ASFALTOS MODIFICADOS	MTC E 319 - 1999		
DIFERENCIA DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO	3.3		
ASTM D 6084			
RECUPERACION ELASTICA A 5°C (%)	56.0	--	--
ASTM D 113			
DUCTILIDAD A 4°C, 5cm/min, cm	+25	25	--

Asfálto PEN 120 - 150 MODIFICADO AL 3% SBR CATIONICO BUTONAL NX 1118

- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



ING. EZEQUEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Trabajo de peruanos



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

IDENTIFICACIÓN : ASFALTICO MODIFICADO AL 2% SBR ANIONICO
SOLICITADO POR : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
PROCEDENCIA : PEN 120/150 REFINERIA LA PAMPILLA - REPSOL
OBRA : TESIS DE GRADO
REGISTRO N° : 752-A(19.11.2002)

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO : TEC. EDUARDO DALL'ORTO M.
MUESTREADO : INTERESADOS
EFFECTUADO : TEC. JOSE MUÑOZ - L. CESPEDES
FECHA : DICIEMBRE 2002

INFORME SOBRE MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO

E N S A Y O S	RESULTADO DE ENSAYO	ESPECIFICACIONES	
		Mín.	Max.
ASTM D - 946			
PENETRACIÓN A 25 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	90.0	85	
PUNTO DE INFLAMACIÓN COPA ABIERTA, °C	294.0	232	--
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm	+100	100	--
PENETRACIÓN DEL RESIDUO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, % DE LA ORIGINAL 25°C	70.0		--
DUCTILIDAD DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, a 4 °C, 5 cm/min, cm ASTM D 113	+10	10	--
AASHTO M - 20			
PÉRDIDA % MASA (PELICULA FINA)	0.4	--	1.3
REFERENCIA FRANCESA			
ÍNDICE DE PENETRACIÓN (Suceptibilidad Térmica)	-0.28	- 1	+ 1
ASTM D - 36			
PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C	52.0	--	--
PUNTO DE ABLANDAMIENTO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA. °C	52.8	--	--
GRAVEDAD ESPECÍFICA A 25 °C, g/cm3	1.010		
CONTENIDO DE AGUA, %			
VISCOSIDAD :			
Cinematica, 160 °C (320 °F), cSt	167.7		
Cinematica, 170 °C (338 °F), cSt	95.89		
PENETRACIÓN A 10 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	23.0	--	--
PENETRACIÓN A 30 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	157.0	--	--
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO ASFALTOS MODIFICADOS	MTC E 319 - 1999		
DIFERENCIA DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C	31.5		
ASTM D 6084			
RECUPERACION ELASTICA A 5°C (%)	62.0	--	--
ASTM D 113			
DUCTILIDAD A 4°C, 5cm/min, cm	+25	25	--

Asfálto PEN 120 - 150 MODIFICADO AL 2% SBR ANIONICO BUTONAL NX 1129

- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO



Gobierno del Perú
Trabajo de peruanos



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLOGICO DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES

IDENTIFICACIÓN : ASFALTICO MODIFICADO AL 3% SBR ANIONICO
SOLICITADO POR : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
PROCEDENCIA : PEN 120/150 REFINERIA LA PAMPILLA - REPSOL
OBRA : TESIS DE GRADO
REGISTRO N° : 752-A(19.11.2002)

ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO : TEC. EDUARDO DALL'ORTO M.
MUESTREADO : INTERESADOS
EFECTUADO : TEC. JOSE MUÑOZ - L. CESPEDES
FECHA : DICIEMBRE 2002

INFORME SOBRE MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO

E N S A Y O S	RESULTADO DE ENSAYO	ESPECIFICACIONES	
		Mín.	Max.
ASTM D - 946			
PENETRACIÓN A 25 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	91.0	85	
PUNTO DE INFLAMACIÓN COPA ABIERTA, °C	308.0	232	--
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm	+100	100	--
PENETRACIÓN DEL RESIDUO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, % DE LA ORIGINAL 25°C	64.8		--
DUCTILIDAD DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, a 4 °C, 5 cm/min, cm ASTM D 113	+10	10	--
AASHTO M - 20			
PÉRDIDA % MASA (PELICULA FINA)	0.6	--	1.3
REFERENCIA FRANCESA			
ÍNDICE DE PENETRACIÓN (Suceptibilidad Térmica)	-0.23	- 1	+ 1
ASTM D -36			
PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C	55.5	--	--
PUNTO DE ABLANDAMIENTO DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA. °C	56.2	--	--
GRAVEDAD ESPECÍFICA A 25 °C, g/cm ³		1.010	
CONTENIDO DE AGUA, %			
VISCOSIDAD :			
Cinematica, 168 °C (334 °F), cSt		134.6	
Cinematica, 175 °C (347 °F), cSt		89.7	
PENETRACIÓN A 10 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	22.0	--	--
PENETRACIÓN A 30 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	147.0	--	--
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO ASFALTOS MODIFICADOS		MTC E 319 - 1999	
DIFERENCIA DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C		35.0	
ASTM D 6084			
RECUPERACIÓN ELÁSTICA A 5°C (%)	60.0	--	--
ASTM D 113			
DUCTILIDAD A 4°C, 5cm/min, cm	+25	25	--

Asfalto PEN 120 - 150 MODIFICADO AL 3% SBR ANIONICO BUTONAL NX 1129

- La interpretación ajena de los resultados de ensayos, es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Trabajo de peruanos



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO POR : TÉC. NABIT PINTO FUENTES
EFECTUADO : TÉC. LUTZGARDO VÁSQUEZ VÁSQUEZ
REGISTRO : 419 (12-07-.2002)
FECHA : LIMA, NOVIEMBRE 14 DEL 2002

ENSAYO DE ADHERENCIA (ARENA) RIEDEL WEBER MTC E-220-2000

IDENTIFICACIÓN (*) : Arena (material pasante malla N° 30 y retenido malla 70°),
producto de la mezcla:
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150 REFINERIA LA PAMPILLA – REPSOL

SOLUCIÓN DE ENSAYO	ÍNDICE DE ADHESIVIDAD	CALIFICACIÓN DEL DESPRENDIMIENTO
Agua Destilada	0	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/256 – 0.414	1	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/128 – 0.828	2	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/64 – 1.656	3	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/32 – 3.312	4	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/16 – 6.625	5	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/8 – 13.25	6	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/4 – 26.50	7	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/2 – 53.00	8	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/1 – 106.0	9	PARCIAL

(*) Identificación proporcionada por el solicitante

(**) proporcionada por el solicitante

ADHERENCIA AGREGADO BITUMEN: 6 - 10

Nota: la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas adjuntas.




ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUFLOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO POR : TÉC. NABIT PINTO FUENTES
EFECTUADO : TÉC. LUTZGARDO VÁSQUEZ VÁSQUEZ
REGISTRO : 419 (12-07-2002)
FECHA : LIMA, NOVIEMBRE 14 DEL 2002

ENSAYO DE ADHERENCIA (ARENA) RIEDEL WEBER MTC E-220-2000

IDENTIFICACIÓN (*) : Arena (material pasante malla N° 30 y retenido malla 70°),
producto de la mezcla:
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150 MODIFICADO CON POLIMERO AL 2%
SBR CATIONICO (BUTONAL NX – 1118)

SOLUCIÓN DE ENSAYO	ÍNDICE DE ADHESIVIDAD	CALIFICACIÓN DEL DESPRENDIMIENTO
Agua Destilada	0	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/256 – 0.414	1	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/128 – 0.828	2	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/64 – 1.656	3	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/32 – 3.312	4	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/16 – 6.625	5	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/8 – 13.25	6	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/4 – 26.50	7	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/2 – 53.00	8	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/1 – 106.0	9	PARCIAL

(*) Identificación proporcionada por el solicitante

(**) proporcionada por el solicitante

ADHERENCIA AGREGADO BITUMEN:

7 - 10

Nota: la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas adjuntas.




ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : **TESIS DE GRADO**
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO POR : TÉC. NABIT PINTO FUENTES
EFECTUADO : TÉC. LUTZGARDO VÁSQUEZ VÁSQUEZ
REGISTRO : 419 (12-07-.2002)
FECHA : LIMA, NOVIEMBRE 14 DEL 2002

ENSAYO DE ADHERENCIA (ARENA) RIEDEL WEBER MTC E-220-2000

IDENTIFICACIÓN (*) : Arena (material pasante malla N° 30 y retenido malla 70°),
producto de la mezcla:
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150 MODIFICADO CON POLIMERO AL 3%
SBR CATIONICO (BUTONAL NX – 1118)

SOLUCIÓN DE ENSAYO	ÍNDICE DE ADHESIVIDAD	CALIFICACIÓN DEL DESPRENDIMIENTO
Agua Destilada	0	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/256 – 0.414	1	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/128 – 0.828	2	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/64 – 1.656	3	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/32 – 3.312	4	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/16 – 6.625	5	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/8 – 13.25	6	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/4 – 26.50	7	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/2 – 53.00	8	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/1 – 106.0	9	PARCIAL

(*) Identificación proporcionada por el solicitante

(**) proporcionada por el solicitante

ADHERENCIA AGREGADO BITUMEN:

8 - 10

Nota: la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas adjuntas.



ING. EZEQUEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO POR : TÉC. NABIT PINTO FUENTES
EFECTUADO : TÉC. LUTZGARDO VÁSQUEZ VÁSQUEZ
REGISTRO : 419 (12-07-.2002)
FECHA : LIMA, NOVIEMBRE 14 DEL 2002

ENSAYO DE ADHERENCIA (ARENA) RIEDEL WEBER MTC E-220-2000

IDENTIFICACIÓN (*) : Arena (material pasante malla N° 30 y retenido malla 70°),
producto de la mezcla:
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150 MODIFICADO CON POLIMERO AL 2%
SBR ANIONICO (BUTONAL NX – 1129)

SOLUCIÓN DE ENSAYO	ÍNDICE DE ADHESIVIDAD	CALIFICACIÓN DEL DESPRENDIMIENTO
Agua Destilada	0	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/256 – 0.414	1	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/128 – 0.828	2	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/64 – 1.656	3	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/32 – 3.312	4	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/16 – 6.625	5	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/8 – 13.25	6	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/4 – 26.50	7	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/2 – 53.00	8	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/1 – 106.0	9	PARCIAL

(*) Identificación proporcionada por el solicitante

(**) proporcionada por el solicitante

ADHERENCIA AGREGADO BITUMEN: 5 - 10

Nota: la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas adjuntas.




ING. EZEQUEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO POR : TÉC. NABIT PINTO FUENTES
EFECTUADO : TÉC. LUTZGARDO VÁSQUEZ VÁSQUEZ
REGISTRO : 419 (12-07-2002)
FECHA : LIMA, NOVIEMBRE 14 DEL 2002

ENSAYO DE ADHERENCIA (ARENA) RIEDEL WEBER MTC E-220-2000

IDENTIFICACIÓN (*) : Arena (material pasante malla N° 30 y retenido malla 70°),
producto de la mezcla:
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150 MODIFICADO CON POLIMERO AL 3 %
SBR ANIONICO (BUTONAL NX – 1129)

SOLUCIÓN DE ENSAYO	ÍNDICE DE ADHESIVIDAD	CALIFICACIÓN DEL DESPRENDIMIENTO
Agua Destilada	0	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/256 – 0.414	1	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/128 – 0.828	2	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/64 – 1.656	3	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/32 – 3.312	4	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/16 – 6.625	5	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/8 – 13.25	6	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/4 – 26.50	7	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/2 – 53.00	8	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/1 – 106.0	9	PARCIAL

(*) Identificación proporcionada por el solicitante

(**) proporcionada por el solicitante

ADHERENCIA AGREGADO BITUMEN: 6 - 10

Nota: la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas adjuntas.



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : **TESIS DE GRADO**
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO POR : TÉC. E. DALL'ORTO MENESES
MUESTREADO : TEC. BORIS YUCRA
EFECTUADO : TÉC. LUZTGARDO VAZQUEZ V.
REGISTRO : 419 (12-07-2002)
FECHA : Lima, Noviembre 14 del 2002

ENSAYO DE ADHERENCIA AGREGADO GRUESO - BITUMEN ASTM D-1664

IDENTIFICACIÓN : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO" Km. 53+000
PROYECTO YURA-PATAHUASI (AREQUIPA)
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150 ASFALTO CONVENCIONAL
REFINERÍA LA PAMPILLA - REPSOL

REVESTIMIENTO (%)	DESPRENDIMIENTO (% RETENIDO)
+ 100	+ 95

Nota : la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas.




ING. EZEQUIEL BIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Gobierno
del Perú
Trabajo de peruanos



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : **TESIS DE GRADO**
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO POR : TÉC. E. DALL'ORTO MENESES
MUESTREADO : TEC. BORIS YUCRA
EFECTUADO : TÉC. LUZTGARDO VAZQUEZ V.
REGISTRO : 419 (12-07-2002)
FECHA : Lima, Noviembre 14 del 2002

ENSAYO DE ADHERENCIA AGREGADO GRUESO - BITUMEN ASTM D-1664

IDENTIFICACIÓN : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO" Km. 53+000
PROYECTO YURA-PATAHUASI (AREQUIPA)
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150 ASFALTO MODIFICADO AL 2 %
SBR CATIONICO (BUTONAL NX - 1118)

REVESTIMIENTO (%)	DESPRENDIMIENTO (% RETENIDO)
+ 100	+ 95

Nota : la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas.




ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Gobierno
del Perú
Trabajo de peruanos



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : **TESIS DE GRADO**
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO POR : TÉC. E. DALL'ORTO MENESES
MUESTREADO : TEC. BORIS YUCRA
EFECTUADO : TÉC. LUZTGARDO VAZQUEZ V.
REGISTRO : 419 (12-07-2002)
FECHA : Lima, Noviembre 14 del 2002

ENSAYO DE ADHERENCIA AGREGADO GRUESO - BITUMEN ASTM D-1664

IDENTIFICACIÓN : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO" Km. 53+000
PROYECTO YURA-PATAHUASI (AREQUIPA)
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150 ASFALTO MODIFICADO AL 3%
SBR CATIONICO (BUTONAL NX - 1118)

REVESTIMIENTO (%)	DESPRENDIMIENTO (% RETENIDO)
+ 100	+ 95

Nota : la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas.



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Gobierno
del Perú

Trabajo de peruanos



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : **TESIS DE GRADO**
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO POR : TÉC. E. DALL'ORTO MENESES
MUESTREADO : TEC. BORIS YUCRA
EFECTUADO : TÉC. LUZTGARDO VAZQUEZ V.
REGISTRO : 419 (12-07-2002)
FECHA : Lima, Noviembre 14 del 2002

ENSAYO DE ADHERENCIA AGREGADO GRUESO - BITUMEN ASTM D-1664

IDENTIFICACIÓN : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO" Km. 53+000
PROYECTO YURA-PATAHUASI (AREQUIPA)
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150 ASFALTO MODIFICADO AL 2%
SBR ANIONICO (BUTONAL NX - 1129)

REVESTIMIENTO (%)	DESPRENDIMIENTO (% RETENIDO)
+ 100	+ 95

Nota : la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas.




ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Gobierno
del Perú
Trabajo de peruanos



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : **TESIS DE GRADO**
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
RECIBIDO POR : TÉC. E. DALL'ORTO MENESES
MUESTREADO : TEC. BORIS YUCRA
EFECTUADO : TÉC. LUZTGARDO VAZQUEZ V.
REGISTRO : 419 (12-07-2002)
FECHA : Lima, Noviembre 14 del 2002

ENSAYO DE ADHERENCIA AGREGADO GRUESO - BITUMEN ASTM D-1664

IDENTIFICACIÓN : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO" Km. 53+000
PROYECTO YURA-PATAHUASI (AREQUIPA)
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150 ASFALTO MODIFICADO AL 3%
SBR ANIONICO (BUTONAL NX - 1129)

REVESTIMIENTO (%)	DESPRENDIMIENTO (% RETENIDO)
+ 100	+ 95

Nota : la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas.




ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO REGISTRO : 752A (19-11-2002)
 SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO ING. RESP. : JOSE MELCHOR
 UBICACIÓN : AREQUIPA CARRETERA YURA - PATAHUASI EFECTUADO : L. CESPEDES - B. YUCRA
 PROCEDENCIA : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO", Km. 53+000 FECHA : Nov-02
 MUESTRA : PEN 120/150 ASFALTO CONVENCIONAL

N° DE BRIQUETAS	1A	1B	1C	2A	2B	2C
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	5.5			6.0		
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	40.16			39.95		
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	54.34			54.05		
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	--			--		
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.01			1.01		
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.455			2.455		
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.521			2.521		
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	--			--		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.2	7.2	7.2	7.0	7.0	6.9
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,217.8	1,218.8	1,223.1	1,226.2	1,226.6	1,230.0
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,227.9	1,230.1	1,232.1	1,236.5	1,235.6	1,237.0
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	642.2	640.8	647.7	661.3	667.6	668.7
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	585.7	589.3	584.4	575.2	568.0	568.3
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	10.1	11.3	9.0	10.3	9.0	7.0
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)	11.5	12.9	10.3	11.8	10.3	8.0
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	574.2	576.4	574.1	563.4	557.7	560.3
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.121	2.115	2.130	2.176	2.199	2.115
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.369			2.352		
19 PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	10.5	10.7	10.1	7.5	6.5	6.7
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.493			2.493		
21 V.M.A. (%)	19.6	19.8	19.3	18.0	17.1	17.2
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	46.6	45.9	47.6	58.3	61.9	61.2
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.570			2.570		
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	1.15			1.14		
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	4.35			4.86		
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	11.8	14.0	17.2	16.7	15.2	15.6
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR (Kg)	2,014.0	1,728.0	1,955.0	2,828.0	2,343.0	2,459.0
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	0.8	0.8	0.8	0.9	0.9	0.9
29 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	1,671.6	1,434.2	1,622.7	2,432.1	2,085.3	2,114.7


 ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Gobierno del Perú

Trabajo de peruanos



ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO REGISTRO : 752A (19-11-2002)
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO ING. RESP. : JOSE MELCHOR
UBICACIÓN : AREQUIPA CARRETERA YURA - PATAHUASI EFECTUADO : L. CESPEDES - B. YUCRA
PROCEDENCIA : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO", Km. 53+000 FECHA : Nov-02
MUESTRA : PEN 120/150 ASFALTO CONVENCIONAL

N° DE BRIQUETAS		3A	3B	3C	4A	4B	4C
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.50			7.00		
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	39.74			39.53		
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	53.76			53.47		
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	--			--		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.01			1.01		
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.455			2.455		
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.521			2.521		
8	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	--			--		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.0	6.9	6.9	6.9	6.9	6.9
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,234.3	1,234.3	1,232.8	1,240.5	1,239.2	1,236.3
11	PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,240.2	1,241.1	1,240.0	1,247.2	1,245.8	1,243.4
12	PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	667.8	673.4	676.4	680.8	678.4	677.8
13	VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	572.4	567.7	563.6	566.4	567.4	565.6
14	PESO DE LA PARAFINA (gr.)	5.9	6.8	7.2	6.7	6.6	7.1
15	VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)	6.7	7.8	8.2	7.7	7.5	8.1
16	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	565.7	559.9	555.4	558.7	559.9	557.5
17	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.182	2.204	2.220	2.220	2.213	2.218
18	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.336			2.320		
19	PORCENTAJE DE VACÍOS	6.6	5.7	5.0	4.3	4.6	4.4
20	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.493			2.493		
21	V.M.A.	18.2	17.3	16.7	17.2	17.4	17.3
22	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.	63.7	67.4	70.3	74.9	73.6	74.5
23	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.571			2.571		
24	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	1.14			1.14		
25	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5.36			5.86		
26	FLUJO (0.01 Pulgada)	14.4	17.4	20.4	15.3	14.9	15.8
27	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	2,296.0	2,880.0	2,611.0	2,570.0	2,414.0	2,727.0
28	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.86	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
29	ESTABILIDAD CORREGIDA	1,974.6	2,563.2	2,323.8	2,287.3	2,148.5	2,427.0





ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Gobierno del Perú

Trabajo de peruanos



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO REGISTRO : 752A (19-11-2002)
 SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO ING. RESP. : JOSE MELCHOR
 UBICACIÓN : AREQUIPA CARRETERA YURA - PATAHUASI EFECTUADO : L. CESPEDES - B. YUCRA
 PROCEDENCIA : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO", Km. 53+000 FECHA : Nov-02
 MUESTRA : PEN 120/150 ASFALTO CONVENCIONAL

N° DE BRIQUETAS	5A	5B	5C			
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	7.50					
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	39.31					
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	53.19					
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	--					
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.01					
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1ª)	2.455					
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.521					
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	--					
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.9					
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,245.5					
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,251.5					
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	686.2					
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm.³)	565.3					
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	6.0					
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm.³)	6.9					
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	558.4					
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm.³)	2.230					
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.304					
19 PORCENTAJE DE VACÍOS	3.2					
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm.³)	2.493					
21 V.M.A.	17.3					
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.	81.4					
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.571					
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	1.14					
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6.36					
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	16.6					
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	2,859.0					
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	0.89					
29 ESTABILIDAD CORREGIDA	2,544.5					

ING. EZEQUEL RIVAS DURAN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Gobierno del Perú

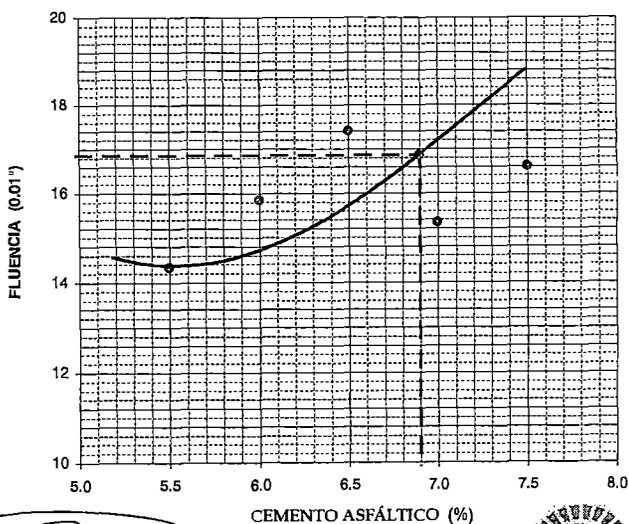
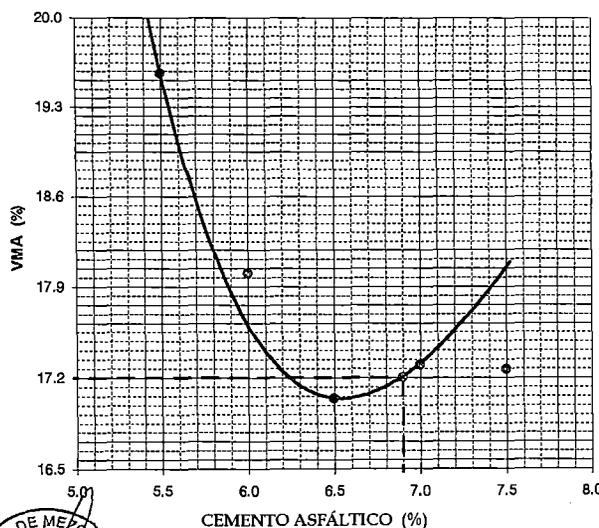
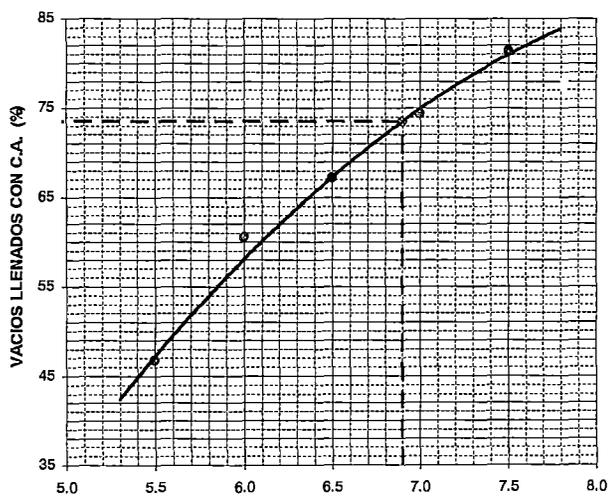
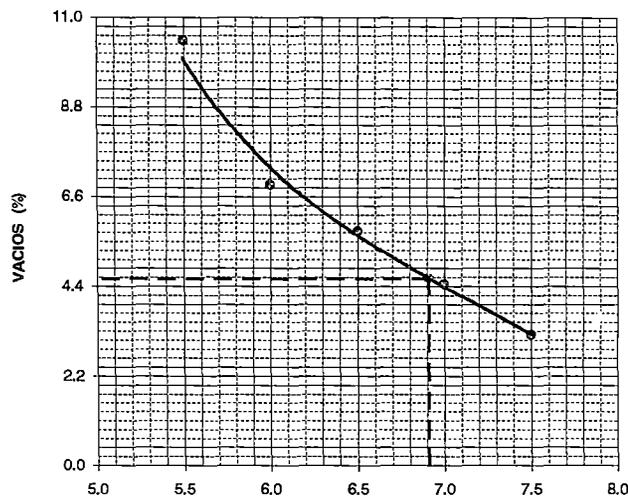
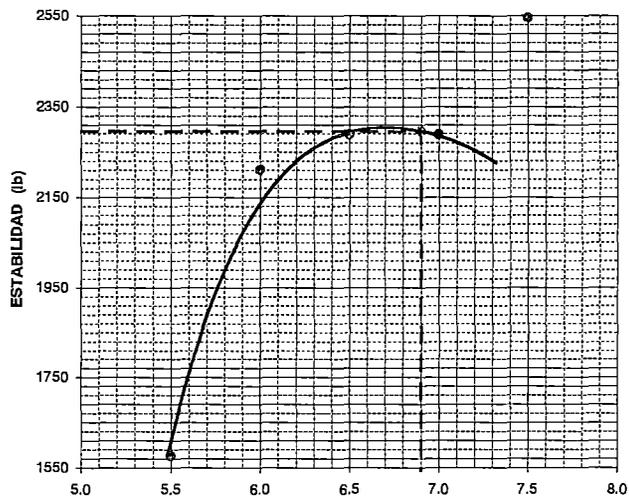
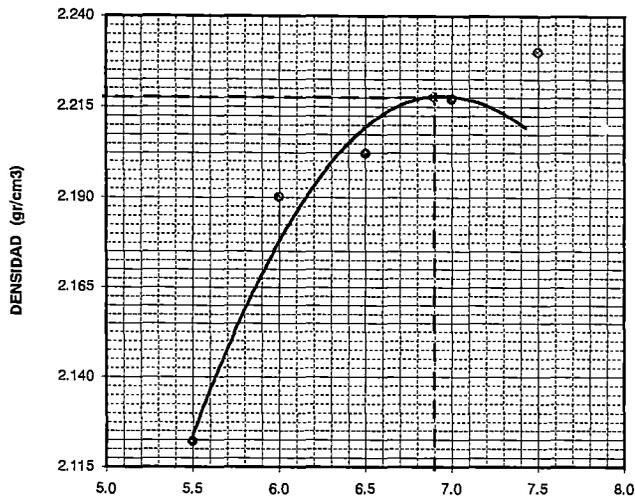
Trabajo de peruanos



GRÁFICO ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO
 SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
 PROCEDENCIA : AREQUIPA (QUEIROZ - GALVAO) CANTERA KM. 53+000
 MUESTRA : PEN 120/150 ASFALTO CONVENCIONAL

REGISTRO : 752A (19-11-2002)
 ING. RESP : JOSE MELCHOR
 EFECTUAL : L. CESPEDES - B. YUCRA
 FECHA : Noviembre - 2002



Ezequiel Rivas Durán
 ING. EZEQUEL RIVAS DURAN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO REGISTRO : 752A (19-11-2002)
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO ING. RESP. : JOSE MELCHOR
UBICACIÓN : AREQUIPA CARRETERA YURA - PATAHUASI EFECTUADO : L. CESPEDES - B. YUCRA
PROCEDENCIA : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO", Km. 53+000 FECHA : Nov-02
MUESTRA : PEN 120/150 ASFALTO CONVENCIONAL

RESULTADOS DE DISEÑO DE MEZCLA CON CEMENTO ASFALTICO CONVENCIONAL

CONTENIDO DE ASFALTO (%)	6.9
PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.218
PORCENTAJE DE VACIOS (%)	4.62
V.M.A. (%)	17.2
PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A. (%)	73.5
FLUJO (0.01 Pulgada)	16.8
ESTABILIDAD CORREGIDA (Lb.)	2218.0




ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO REGISTRO : 752A (19-11-2002)
 SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO ING. RESP. : JOSE MELCHOR
 UBICACIÓN : AREQUIPA CARRETERA YURA - PATAHUASI EFECTUADO : L. CESPEDES - B. YUCRA
 PROCEDENCIA : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO", Km. 53+000 FECHA : Nov-02
 MUESTRA : PEN 120/150 ASF. MODIF. 2% SBR CATIONICO

N° DE BRIQUETAS	1A	1B	1C	2A	2B	2C
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.9			6.9		
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	41.90			41.9		
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	51.21			51.2		
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	--			--		
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.0			1.0		
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.455			2.5		
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.521			2.521		
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	--			--		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.9	7.0	7.0	6.9	6.9	7.0
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,230.2	1,232.7	1,233.1	1,228.6	1,236.0	1,236.4
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,238.6	1,240.7	1,241.6	1,236.5	1,244.4	1,244.8
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	673.1	671.0	672.6	674.4	677.1	676.5
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	565.5	569.7	569.0	562.1	567.3	568.3
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	8.4	8.0	8.5	7.9	8.4	8.4
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)	9.6	9.1	9.7	9.0	9.6	9.6
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	555.9	560.6	559.3	553.1	557.7	558.7
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.213	2.199	2.205	2.221	2.216	2.213
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.301			2.301		
19 PORCENTAJE DE VACÍOS (%)		4.4	4.2	3.5	3.7	3.8
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.491			2.491		
21 V.M.A. (%)		17.8	17.6	17.0	17.2	17.3
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)		75.1	76.3	79.5	78.5	77.9
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.547			2.547		
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.9			0.9		
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6.1			6.1		
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	12.7	13.3	14.9	12.4	11.9	14.0
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR (Kg)	2,877.0	2,597.0	2,623.0	2,791.0	2,969.0	2,595.0
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
29 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	2,560.5	2,233.4	2,334.5	2,484.0	2,642.4	2,309.6



ING. EZEQUIEL HIVAS DURÁN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Gobierno del Perú

Trabajo de peruanos



ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO REGISTRO : 752A (19-11-2002)
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO ING. RESP. : JOSE MELCHOR
UBICACIÓN : AREQUIPA CARRETERA YURA - PATAHUASI EFECTUADO : L. CESPEDES - B. YUCRA
PROCEDENCIA : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO", Km. 53+000 FECHA : Nov-02
MUESTRA : PEN 120/150 ASF. MODIF. 2% SBR CATIONICO

N° DE BRIQUETAS	3A	3B	3C	4A	4B	4C
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.90					
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	41.90					
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	51.21					
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	--					
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.010					
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1°)	2.455					
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.521					
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	--					
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.0	7.0	7.0			
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,238.2	1,236.2	1,233.9			
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,246.3	1,244.6	1,243.8			
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	674.5	673.6	673.3			
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	571.8	571.0	570.5			
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	8.1	8.4	9.9			
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)	9.3	9.6	11.3			
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	562.5	561.4	559.2			
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.201	2.202	2.207			
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.301					
19 PORCENTAJE DE VACÍOS	4.4	4.3				
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.491					
21 V.M.A.	17.7	17.7				
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.	75.5	75.7				
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.542					
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.8					
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO	6.2					
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	14.9	12.8	13.7			
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	2,516.0	2,652.0	2,881.0			
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	0.90	0.90	0.90			
29 ESTABILIDAD CORREGIDA	2,264.4	2,386.8	2,592.9			




ING. EZEQUEL HIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO REGISTRO : 752A (19-11-2002)
 SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO ING. RESP. : JOSE MELCHOR
 UBICACIÓN : AREQUIPA CARRETERA YURA - PATAHUASI EFECTUADC : L. CESPEDES - B. YUCRA
 PROCEDENCIA : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO", Km. 53+000 FECHA : Nov-02
 MUESTRA : PEN 120/150 ASF. MODIF. 3% SBR CATIONICO

	N° DE BRIQUETAS	1A	1B	1C	2A	2B	2C
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.9			6.9		
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	41.90			41.9		
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	51.21			51.2		
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	--			--		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.0			1.0		
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.455			2.455		
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.521			2.521		
8	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	--			--		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.9	7.0	7.0	6.9	6.9	7.0
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,229.3	1,235.5	1,229.9	1,232.2	1,234.1	1,229.5
11	PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,237.8	1,243.4	1,238.4	1,240.5	1,243.7	1,237.7
12	PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	669.4	679.6	670.7	671.5	672.5	675.4
13	VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	568.4	563.8	567.7	569.0	571.2	562.3
14	PESO DE LA PARAFINA (gr.)	8.5	7.9	8.5	8.3	9.6	8.2
15	VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)	9.7	9.0	9.7	9.5	11.0	9.4
16	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	558.7	554.8	558.0	559.5	560.2	552.9
17	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.200	2.227	2.204	2.202	2.203	2.224
18	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.326			2.326		
19	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)		4.3	5.3	5.3	5.3	4.4
20	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.491			2.491		
21	V.M.A. (%)		16.8	17.6	17.7	17.7	16.9
22	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)		74.6	70.2	69.9	70.0	74.0
23	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.580			2.580		
24	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	1.4			1.4		
25	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	5.6			5.6		
26	FLUJO (0.01 Pulgada)	14.9	14.7	13.6	13.1	15.7	13.5
27	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (Kg)	2,951.0	2,858.0	2,918.0	2,970.0	3,083.0	3,088.0
28	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
29	ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	2,626.4	2,543.6	2,597.0	2,643.3	2,651.4	2,748.3



ING. EZEQUIEL HIVAS DURÁN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Gobierno del Perú

Trabaja de peruanos



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : **TESIS DE GRADO** REGISTRO : 752A (19-11-2002)

SOLICITADO : **BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO** ING. RESP. : **JOSE MELCHOR**

UBICACIÓN : **AREQUIPA CARRETERA YURA - PATAHUASI** EFECTUAD: **L. CESPEDES - B. YUCRA**

PROCEDENCIA : **CANTERA "QUEIROZ-GALVAO", Km. 53+000** FECHA : **Nov-02**

MUESTRA : **PEN 120/150 ASFALTO MODIFICADO 3% SBR**

N° DE BRIQUETAS	3A	3B	3C	4A	4B	4C
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.90					
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	41.90					
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	51.21					
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	--					
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.010					
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.455					
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.521					
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	--				--	
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.0	7.0	7.0			
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,235.3	1,230.5	1,237.3			
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,244.9	1,239.1	1,246.0			
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	674.7	671.9	673.0			
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	570.2	567.2	573.0			
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	9.6	8.6	8.7			
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)	11.0	9.8	9.9			
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	559.2	557.4	563.1			
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.209	2.208	2.197			
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.326					
19 PORCENTAJE DE VACÍOS	5.0	5.1				
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.491					
21 V.M.A.	17.4	17.5				
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.	71.1	71.0				
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.575					
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	1.3					
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO	5.7					
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	14.6	14.7	18.4			
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	3,143.0	2,890.0	2,939.0			
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	0.90	0.90	0.90			
29 ESTABILIDAD CORREGIDA	2,828.7	2,601.0	2,645.1			



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Gobierno del Perú

Trabajo de peruanos



ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO REGISTRO : 752A (19-11-2002)
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO ING. RESP. : JOSE MELCHOR
UBICACIÓN : AREQUIPA CARRETERA YURA - PATAHUASI EFECTUADO : L. CESPEDES - B. YUCRA
PROCEDENCIA : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO", Km. 53+000 FECHA : Nov-02
MUESTRA : PEN 120/150 ASFALTO MODIFICADO

RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO DE MEZCLA CON POLIMERO AL 2 % SBR CATIONICO

PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.209
PORCENTAJE DE VACIOS	4.1
V.M.A.	17.5
PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A.	76.6
FLUJO (0.01 Pulgada)	13.4
ESTABILIDAD CORREGIDA	2423.2

RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO DE MEZCLA CON POLIMERO AL 3 % SBR CATIONICO

PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.208
PORCENTAJE DE VACIOS	4.9
V.M.A.	17.3
PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A.	71.6
FLUJO (0.01 Pulgada)	14.8
ESTABILIDAD CORREGIDA	2653.9




ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO REGISTRO : 752A (19-11-2002)
 SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO ING. RESP. : JOSE MELCHOR
 UBICACIÓN : AREQUIPA CARRETERA YURA - PATAHUASI EFECTUADO : L. CESPEDES - B. YUCRA
 PROCEDENCIA : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO", Km. 53+000 FECHA : Nov-02
 MUESTRA : PEN 120/150 ASF. MODIF. 2% SBR ANIONICO

N° DE BRIQUETAS		1A	1B	1C	2A	2B	2C
1	% DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.9			6.9		
2	% DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	41.90			41.9		
3	% DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	51.21			51.2		
4	% DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	--			--		
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.0			1.0		
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.455			2.455		
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.521			2.521		
8	PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	--			--		
9	ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	7.1	7.0	7.2	7.0	7.1	
10	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,239.3	1,235.7	1,232.9	1,236.7	1,243.1	
11	PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,246.9	1,243.0	1,241.8	1,245.0	1,250.2	
12	PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	670.4	675.7	664.0	672.6	674.6	
13	VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	576.5	567.3	577.8	572.4	575.6	
14	PESO DE LA PARAFINA (gr.)	7.6	7.3	8.9	8.3	7.1	
15	VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)	8.7	8.3	10.2	9.5	8.1	
16	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	567.8	559.0	567.6	562.9	567.5	
17	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.183	2.211	2.172	2.197	2.191	
18	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.303			2.303		
19	PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	5.2	4.0	5.7	4.6	4.9	
20	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.491			2.491		
21	V.M.A. (%)	18.4	17.4	18.8	17.9	18.1	
22	PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	71.7	77.0	69.8	74.3	73.2	
23	PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.549			2.549		
24	ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.9			0.9		
25	PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6.1			6.1		
26	FLUJO (0.01 Pulgada)	12.1	11.3	10.3	12.6	10.7	
27	ESTABILIDAD SIN CORREGIR (Kg)	2,707.0	3,076.0	2,530.0	3,232.0	2,712.0	
28	FACTOR DE ESTABILIDAD	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
29	ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	2,328.0	2,737.6	2,175.8	2,779.5	2,332.3	



ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Gobierno del Perú

Trabajo de peruanos



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

DIRECCIÓN GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES

OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO REGISTRO : 752A (19-11-2002)
 SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO ING. RESP. : JOSE MELCHOR
 UBICACIÓN : AREQUIPA CARRETERA YURA - PATAHUASI EFECTUADC : L. CESPEDES - B. YUCRA
 PROCEDENCIA : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO", Km. 53+000 FECHA : Nov-02
 MUESTRA : PEN 120/150 ASF. MODIF. 3% SBR ANIONICO

N° DE BRIQUETAS	1A	1B	1C	2A	2B	2C
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL	6.9			6.9		
2 % DE AGREGADO GRUESO (> N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	41.90			41.9		
3 % DE AGREGADO FINO (< N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	51.21			51.2		
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	--			--		
5 PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO - APARENTE	1.0			1.0		
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.455			2.455		
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.521			2.521		
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	--			--		
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA (cm)	6.9	7.0	6.9	7.0	7.1	
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1,233.1	1,237.9	1,235.4	1,240.1	1,241.8	
11 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1,241.2	1,245.8	1,243.5	1,250.1	1,250.5	
12 PESO DE LA BRIQUETA + PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	674.8	677.6	675.1	667.4	668.8	
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA + PARAFINA (cm. ³)	566.4	568.2	568.4	582.7	581.7	
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	8.1	7.9	8.1	10.0	8.7	
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF./P.E. PARAF.) (cm. ³)	9.3	9.0	9.3	11.4	9.9	
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm. ³)	557.1	559.2	559.1	571.3	571.8	
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.213	2.214	2.209	2.171	2.172	
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.273			2.273		
19 PORCENTAJE DE VACÍOS (%)	2.6	2.6	2.8	4.5	4.4	
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm. ³)	2.491			2.491		
21 V.M.A. (%)	17.3	17.2	17.4	18.9	18.8	
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A. (%)	84.7	84.9	83.8	76.2	76.4	
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.510			2.510		
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL (%)	0.3			0.3		
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO (%)	6.6			6.6		
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	13.5	12.1	16.2	15.9	12.0	
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR (Kg)	2,966.0	2,966.0	3,041.0	2,240.0	2,502.0	
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	
29 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	2,639.7	2,639.7	2,706.5	1,926.4	2,151.7	





ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
 JEFE DE DEPARTAMENTO
 DE LABORATORIO
 OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



Gobierno del Perú

Trabajo de peruanos



ENSAYO MARSHALL (ASTM D-1559)

PROYECTO : TESIS DE GRADO REGISTRO : 752A (19-11-2002)
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO ING. RESP. : JOSE MELCHOR
UBICACIÓN : AREQUIPA CARRETERA YURA - PATAHUASI EFECTUADO : L. CESPEDES - B. YUCRA
PROCEDENCIA : CANTERA "QUEIROZ-GALVAO", Km. 53+000 FECHA : Nov-02
MUESTRA : PEN 120/150 ASFALTO MODIFICADO

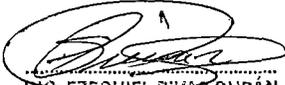
RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO DE MEZCLA CON POLIMERO AL 2 % SBR ANIONICO

PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.191
PORCENTAJE DE VACIOS	4.8
V.M.A.	18.1
PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A.	73.3
FLUJO (0.01 Pulgada)	11.4
ESTABILIDAD CORREGIDA	2442.2

RESULTADOS PROMEDIOS DE ENSAYO DE MEZCLA CON POLIMERO AL 3 % SBR ANIONICO

PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm. ³)	2.192
PORCENTAJE DE VACIOS	3.6
V.M.A.	18.1
PORCENTAJE DE VACIOS LLENADOS CON C.A.	80.4
FLUJO (0.01 Pulgada)	13.9
ESTABILIDAD CORREGIDA	2350.5




ING. EZEQUEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO





OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : **TESIS DE GRADO**
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
MUESTREADO POR : INTERESADOS
RECIBIDO POR : TÉC. EDUARDO A. DALLÓRTO M.
EFECTUADO : TÉC. LUZGARDO VASQUEZ V.
REGISTRO : 752 A (19.11.2002)
FECHA : LIMA, DICIEMBRE 06 DEL 2 002

INFORME SOBRE MUESTRA DE MEZCLAS ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLIMERO AL 2 % DE SBR CATIONICO (BUTONAL NX 1118)

IDENTIFICACIÓN (*)	CONTENIDO DE ASFALTO	6.9 %
	GRAVA	41.9 %
	ARENA	51.2%
PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE), kg/cm ³ ASTM D-2041		2.301

(*) proporcionada por el solicitante

Nota: la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas adjuntas.




ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO
DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : **TESIS DE GRADO**
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
MUESTREADO POR : INTERESADOS
RECIBIDO POR : TÉC. EDUARDO A. DALLÓRTO M.
EFECTUADO : TÉC. LUZGARDO VASQUEZ V.
REGISTRO : 752 A (19.11.2002)
FECHA : LIMA, DICIEMBRE 06 DEL 2 002

**INFORME SOBRE MUESTRA DE MEZCLAS ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA
CON POLIMERO AL 3 % DE SBR CATIONICO (BUTONAL NX 1118)**

IDENTIFICACIÓN °	CONTENIDO DE ASFALTO	6.9 %
	GRAVA	41.9 %
	ARENA	51.2%
PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE), kg/cm ³ ASTM D-2041		2.326

(*) proporcionada por el solicitante

Nota: la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas adjuntas.




ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO



OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : TESIS DE GRADO
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
MUESTREADO POR : INTERESADOS
RECIBIDO POR : TÉC. EDUARDO A. DALLÓRTO M.
EFECTUADO : TÉC. LUZGARDO VASQUEZ V.
REGISTRO : 752 A (19.11.2002)
FECHA : LIMA, DICIEMBRE 11 DEL 2 002

INFORME SOBRE MUESTRA DE MEZCLAS ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLIMERO AL 2 % DE SBR ANIONICO (BUTONAL NX 1129)

IDENTIFICACIÓN (*)	CONTENIDO DE ASFALTO	6.9 %
	GRAVA	41.9 %
	ARENA	51.2%
PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE), kg/cm ³ ASTM D-2041		2.303

(*) proporcionada por el solicitante

Nota: la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas adjuntas.





OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

DIVISIÓN DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYOS DE MATERIALES

PROYECTO : **TESIS DE GRADO**
SOLICITADO : BACH. ROBERT MARTINEZ DONGO
ING° RESPONSABLE : JOSÉ MELCHOR ARECHE
MUESTREADO POR : INTERESADOS
RECIBIDO POR : TÉC. EDUARDO A. DALLÓRTO M.
EFECTUADO : TÉC. LUZGARDO VASQUEZ V.
REGISTRO : 752 A (19.11.2002)
FECHA : LIMA, DICIEMBRE 11 DEL 2 002

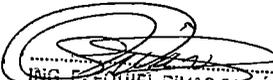
INFORME SOBRE MUESTRA DE MEZCLAS ASFÁLTICA EN CALIENTE MODIFICADA CON POLIMERO AL 3 % DE SBR ANIONICO (BUTONAL NX 1129)

IDENTIFICACIÓN (*)	CONTENIDO DE ASFALTO	6.9 %
	GRAVA	41.9 %
	ARENA	51.2%
PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE), kg/cm ³ ASTM D-2041		2.273

(*) proporcionada por el solicitante

Nota: la interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo recomendaciones expresas adjuntas.



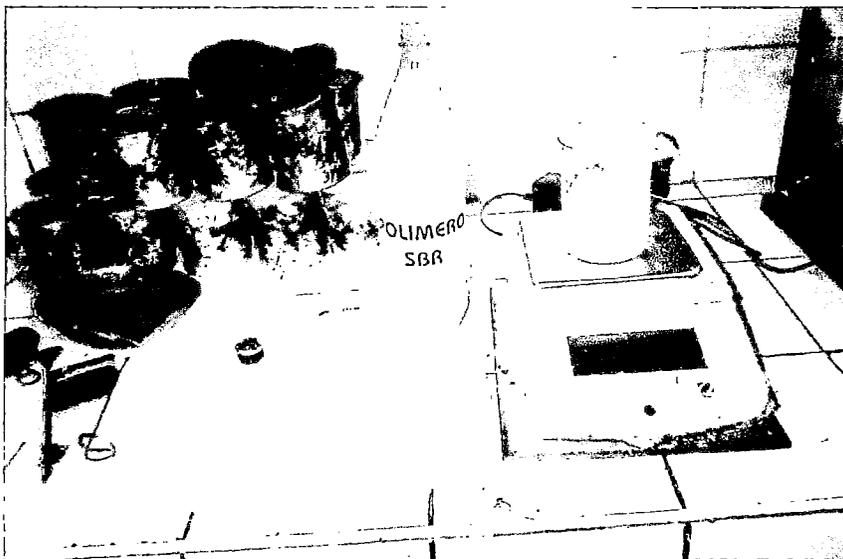

ING. EZEQUIEL RIVAS DURÁN
JEFE DE DEPARTAMENTO
DE LABORATORIO
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

PANEL FOTOGRAFICO DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYOS DE LABORATORIO

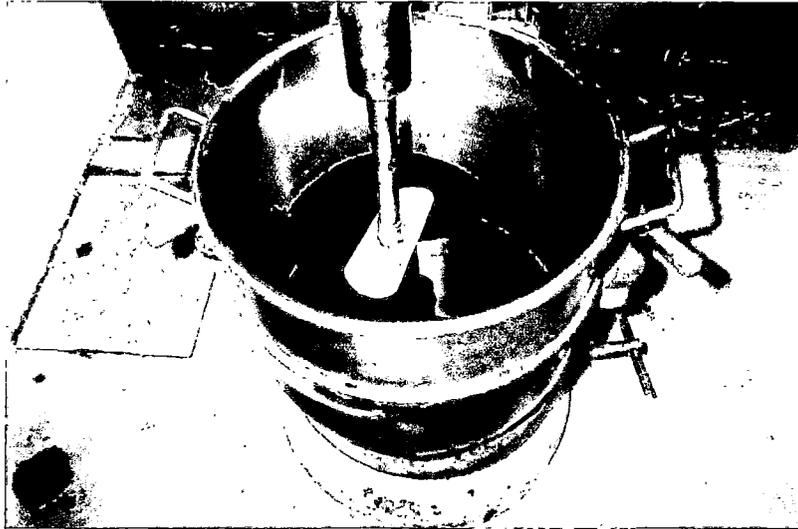


Polímero SBR en su presentación
antes de pesar para la mezcla



Pesando la cantidad de Polímero antes de la
mezcla con el Asfalto

ENSAYOS DE LABORATORIO

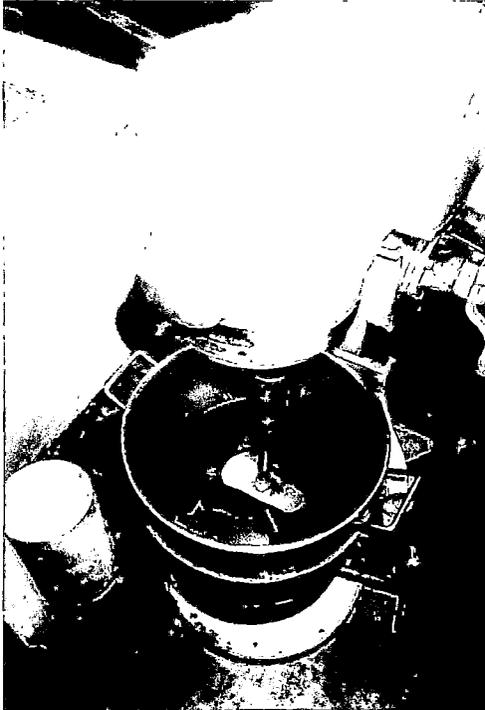


Mezcladora con Asfalto antes de Calentamiento

Mezclados con
Asfalto en proceso
de Calentamiento



ENSAYOS DE LABORATORIO

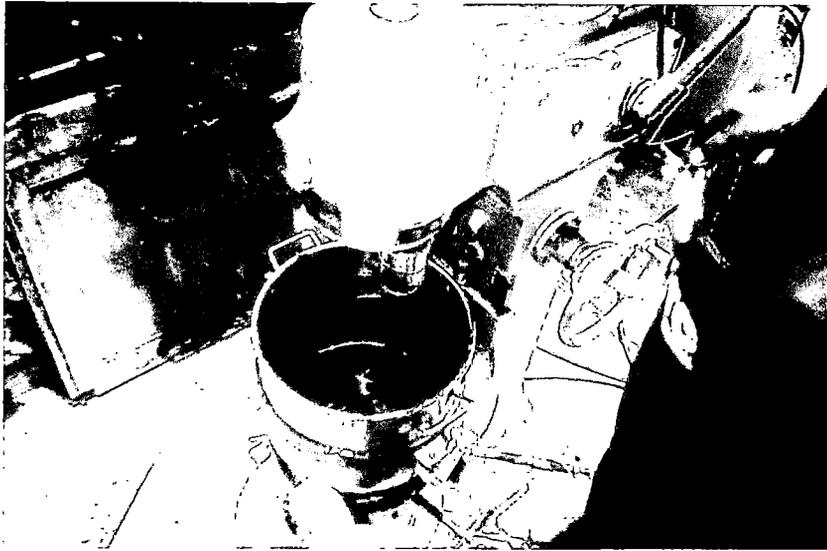


Mezcladora con Asfalto Caliente, tiene que llegar a 145 grados Centigrados

Tomando la Temperatura Del Asfalto, antes de verter El Polímero para la Mezcla



ENSAYOS DE LABORATORIO



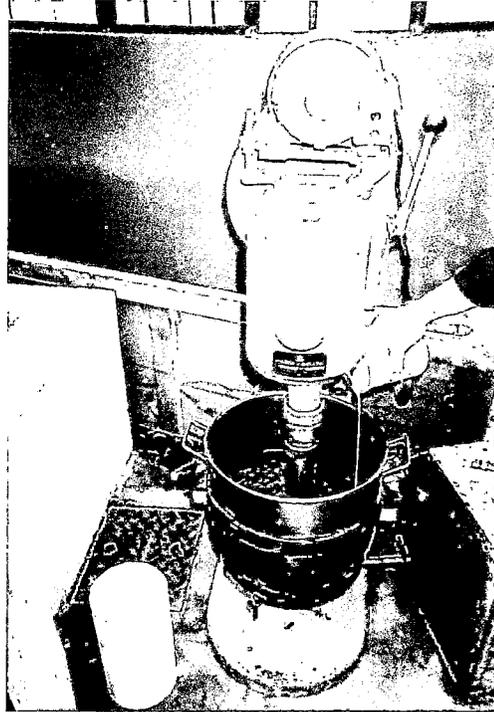
Subiendo el Nivel de la tina para proceder
Al batido del Asfalto Caliente para mezclar



Vertiendo el Polímero al Asfalto caliente para su mezcla
Este proceso se realiza lentamente

ENSAYOS DE LABORATORIO

Terminando de verter
El Polímero al Asfalto
Durante el proceso de
Mezclado



El Asfalto en Proceso de Mezclado, se puede apreciar como
Se evapora el agua de la fase acuosa del Polímero hasta que
no quede agua en la mezcla, este proceso llega hasta 160°C

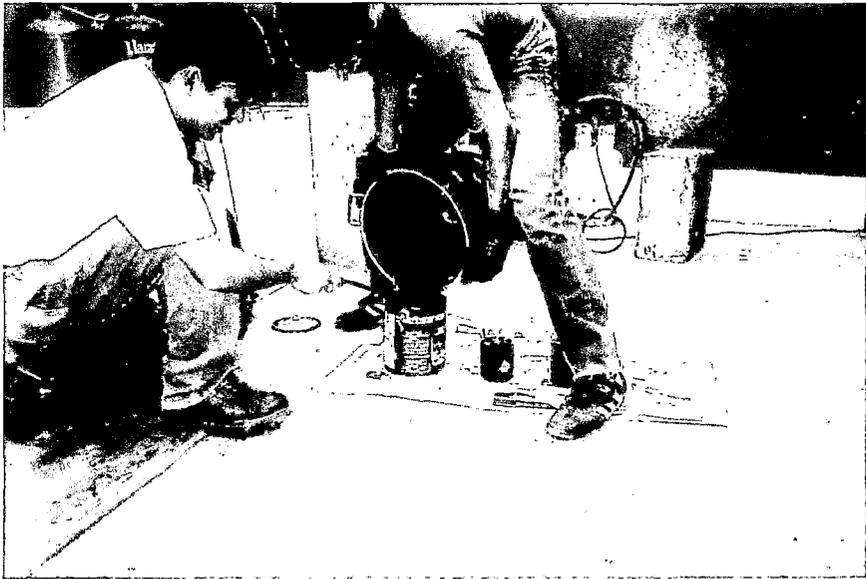
ENSAYOS DE LABORATORIO



Proceso de muestreo de la mezcla de Asfalto-Polímero
una vez transcurrido el tiempo de mezclado a la
temperatura indicada



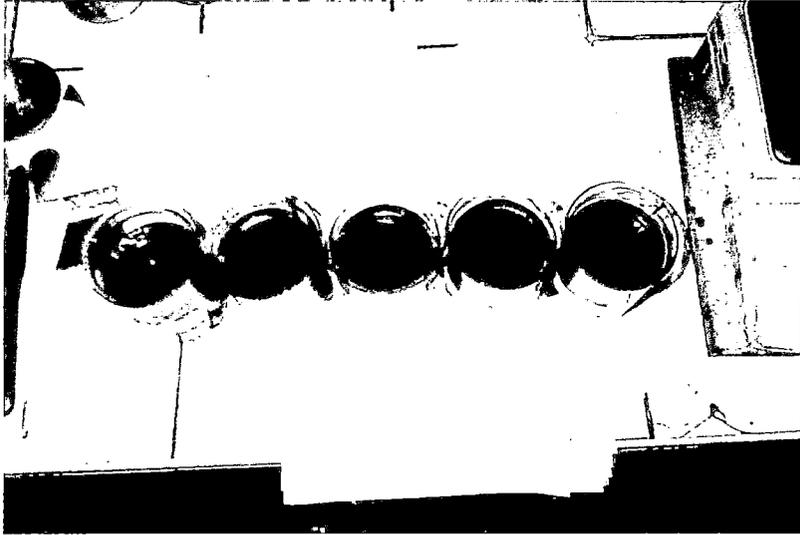
ENSAYOS DE LABORATORIO



Proceso de muestreo de la mezcla de Asfalto-Polímero
una vez transcurrido el tiempo de mezclado a la
temperatura indicada



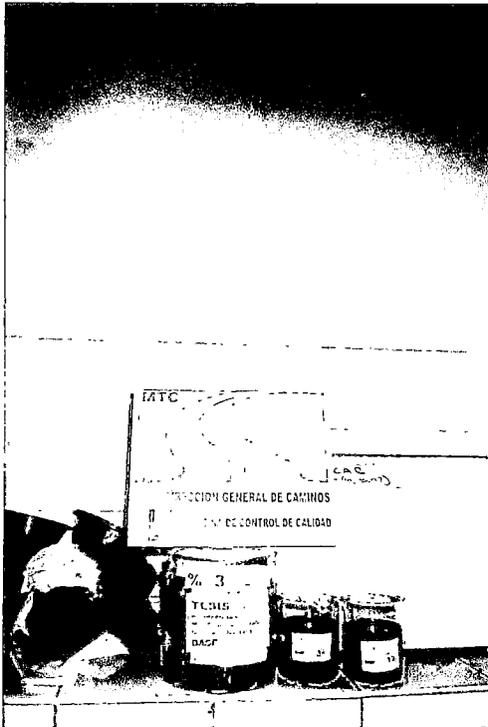
ENSAYOS DE LABORATORIO



Muestras de Asfalto Modificado con diferentes Porcentajes de Polímero, se hicieron 5 muestras con diferentes porcentajes de Polímero tipo Cationico



ENSAYOS DE LABORATORIO



Muestra de Asfalto
Modificado con 2%
de Polímero SBR
Tipo Anionico



Muestra de Asfalto
Modificado con 3%
de Polímero SBR
Tipo Anionico

ENSAYOS DE LABORATORIO



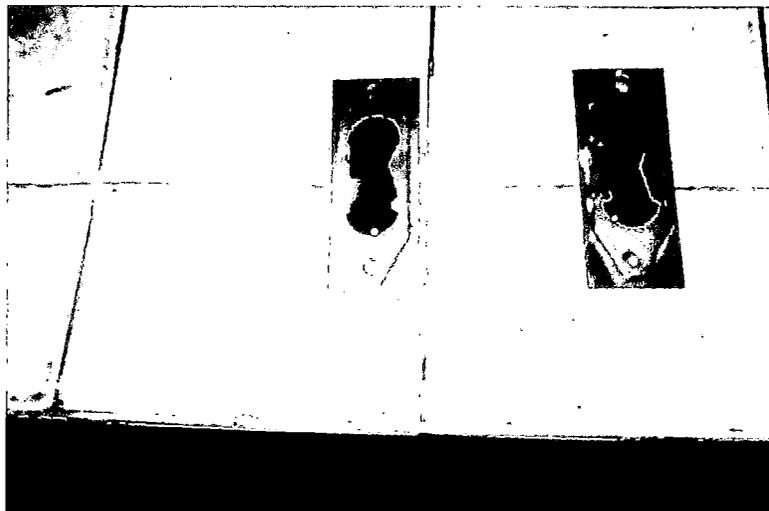
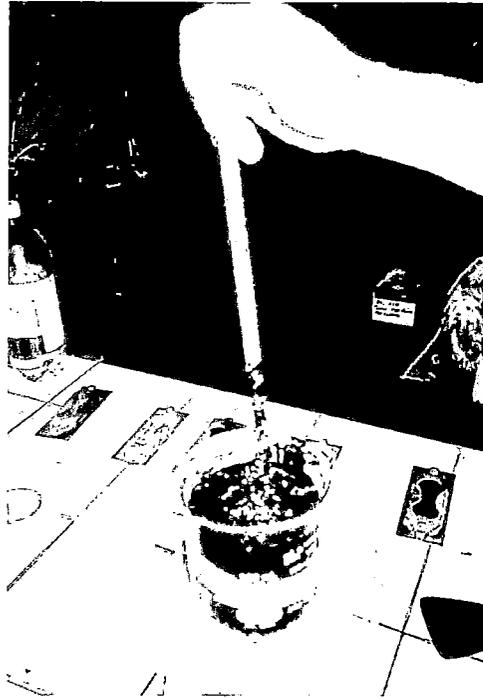
Calentamiento del Asfalto
Modificado para moldeo y
Preparación de la mezcla
Asfáltica

Controlando la Temperatura
de Calentamiento del Asfalto
Modificado, se tiene que realizar
En forma progresiva y uniforme



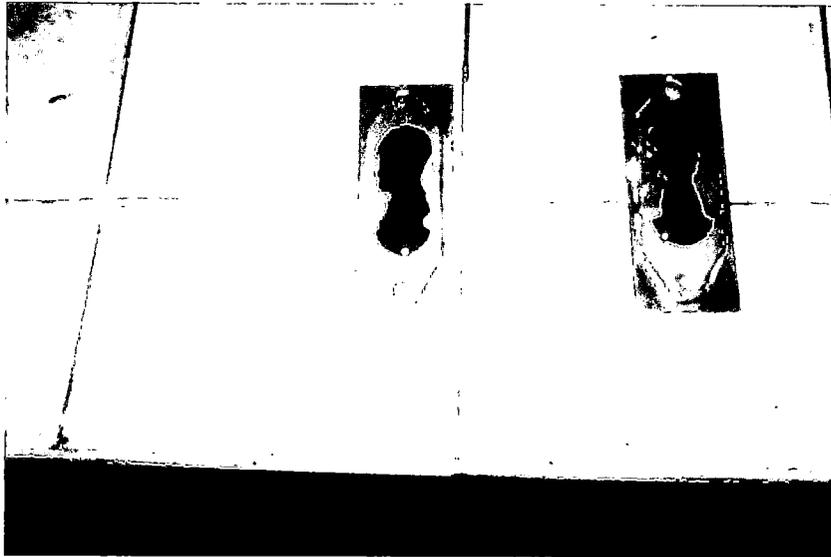
ENSAYOS DE LABORATORIO

Controlando la Temperatura de Calentamiento del Asfalto Modificado, se tiene que realizar En forma progresiva y uniforme



Moldeo del Asfalto para el Ensayo de Ductilidad y Recuperación Elástica (Asfalto Modificado)

ENSAYOS DE LABORATORIO

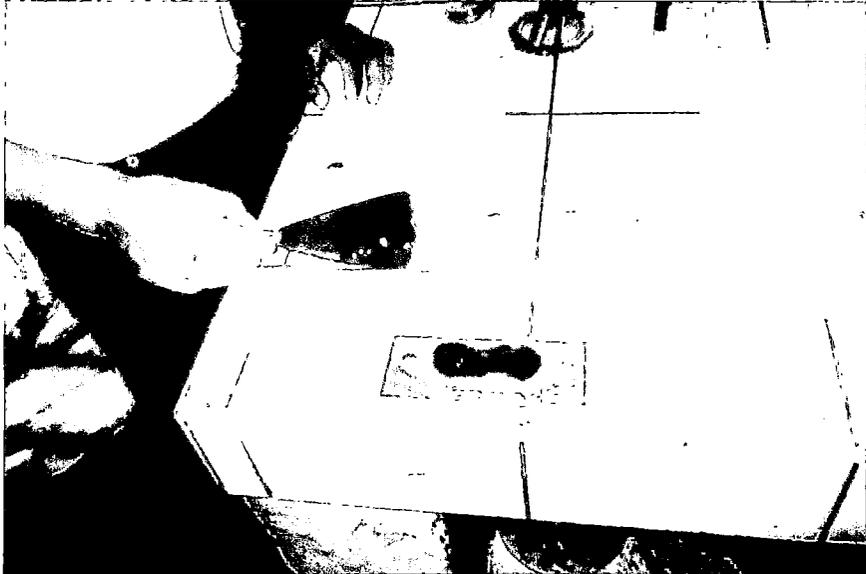


Moldeo del Asfalto para el Ensayo de Ductilidad y Recuperación Elástica (Asfalto Modificado)

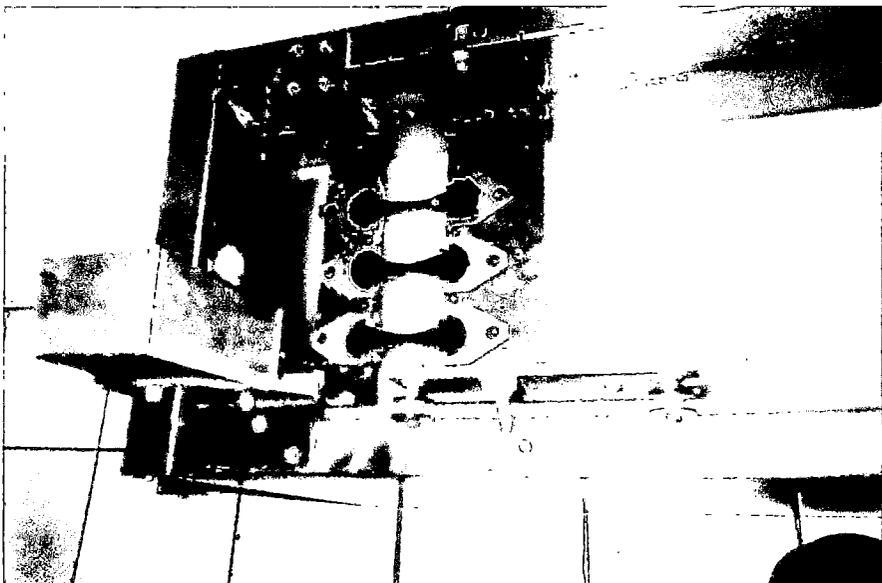


Proceso de Enrasado de la muestra de asfalto
Para el ensayo de Ductilidad

ENSAYOS DE LABORATORIO

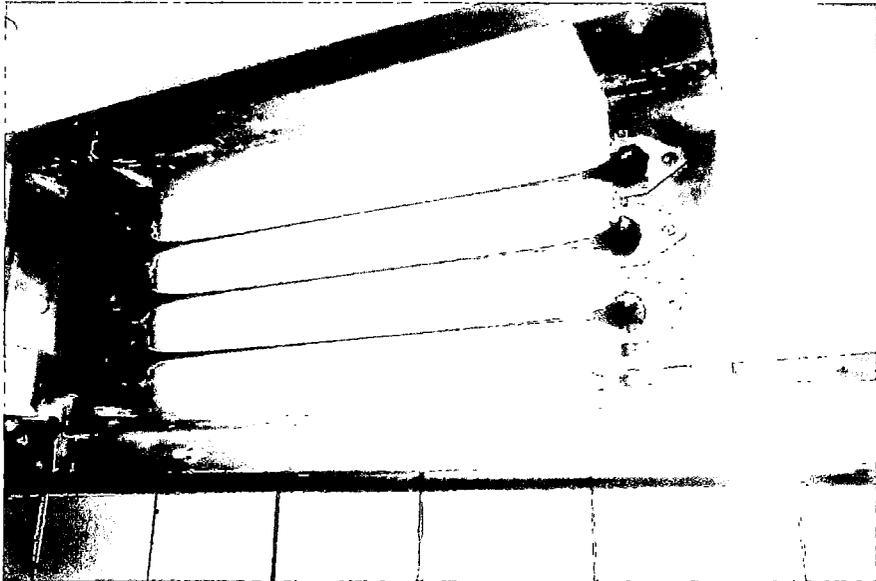


Proceso de Enrasado de la muestra de asfalto
Para el ensayo de Ductilidad



Iniciando el Ensayo de Ductilidad de muestras de Asfalto
Modificado, se tienen con diferentes contenidos de
Polímero

ENSAYOS DE LABORATORIO



Ensayo de Ductilidad de muestras de Asfalto Modificado en proceso, se tienen con diferentes contenidos de Polímero

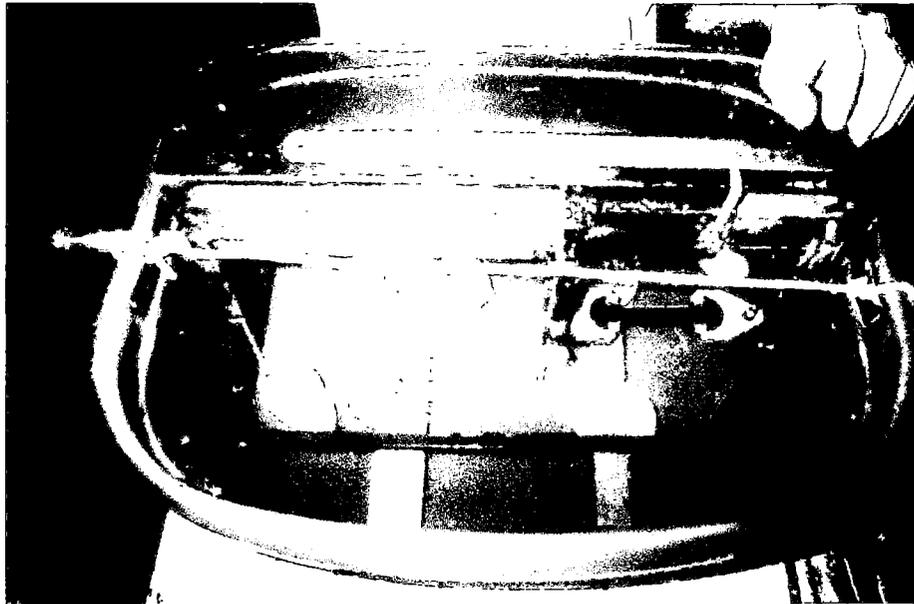


Muestra para el ensayo de Recuperación Elástica
Se tiene en baño a 5 °C

ENSAYOS DE LABORATORIO

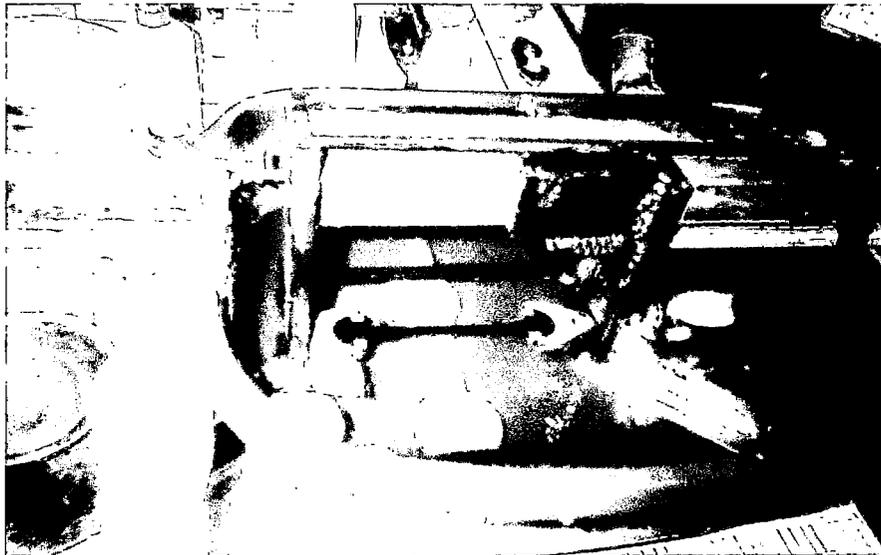


Muestra para el ensayo de Recuperación Elástica
Se tiene en baño a 5 °C

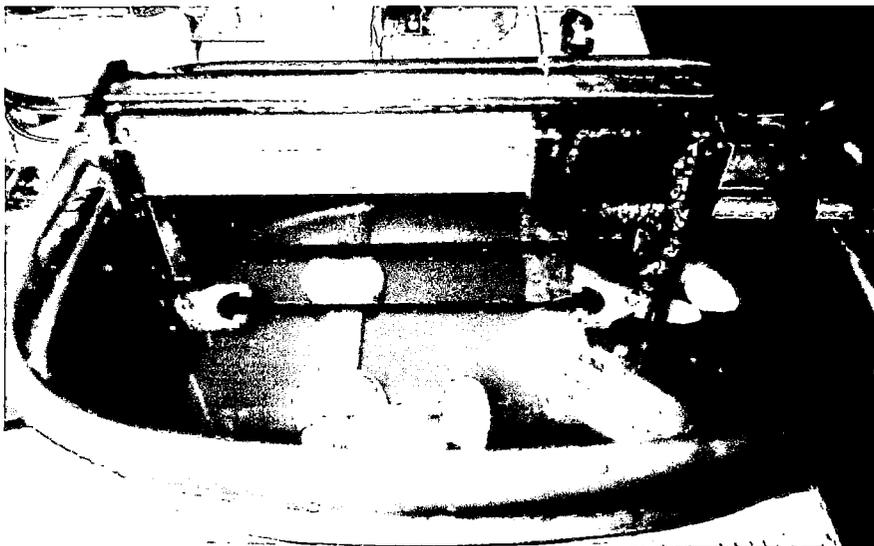


Ensayo de Recuperación Elástica del Asfalto
Modificado, este se realiza a 5 °C y a una
Velocidad de 5 cm/min.

ENSAYOS DE LABORATORIO

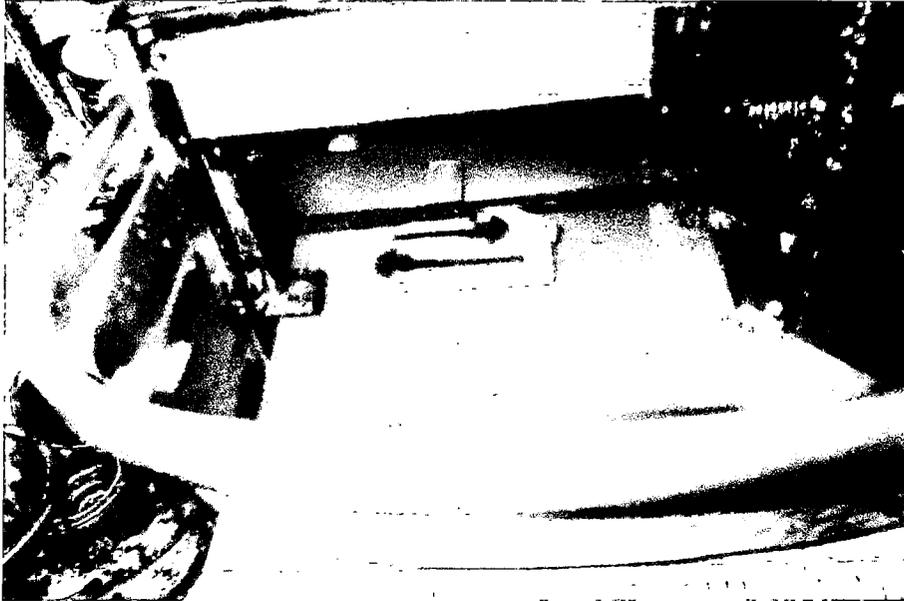


Ensayo de Recuperación Elástica del Asfalto Modificado, este se realiza a 5 °C y a una Velocidad de 5 cm/min.

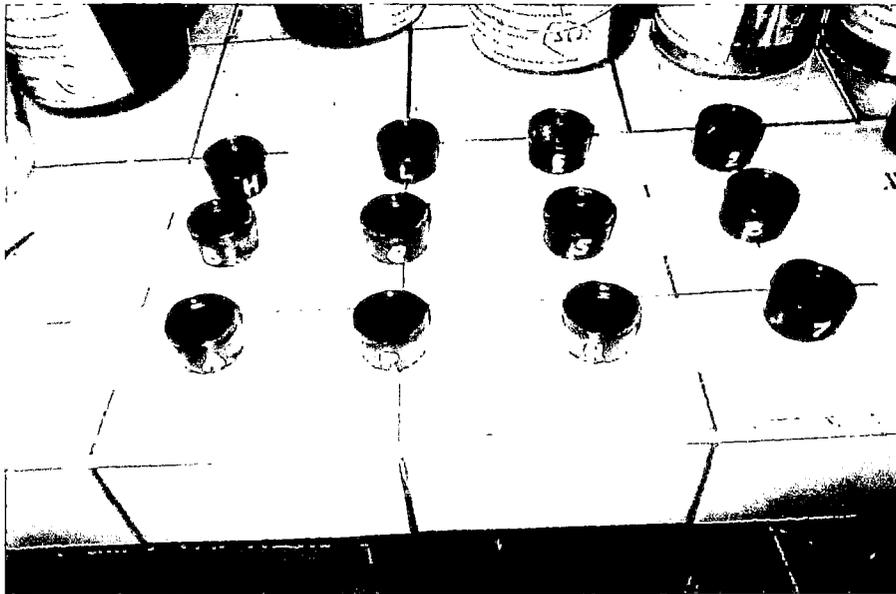


Ensayo de Recuperación Elástica del Asfalto Modificado, este se realiza a 5 °C y a una Velocidad de 5 cm/min. Hasta llegar a 20 cm

ENSAYOS DE LABORATORIO

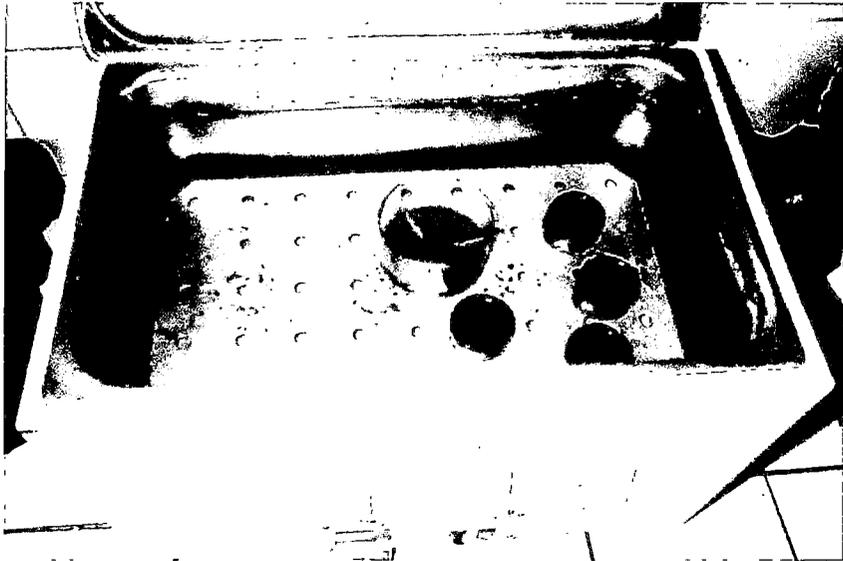


Ensayo de Recuperación Elástica del Asfalto Modificado, llegado a los 20 cm este se corta y se mide la longitud que se recupera



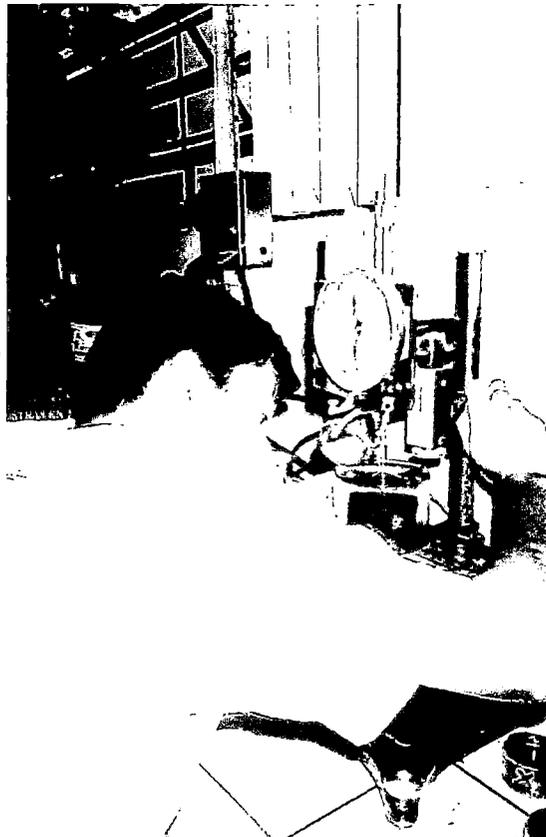
Moldes con muestras de Asfalto modificado Para el ensayo de Penetración

ENSAYOS DE LABORATORIO

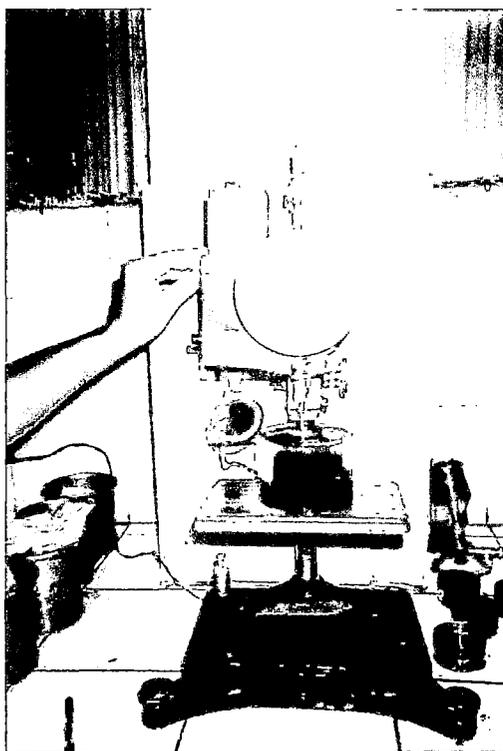


Moldes con muestras de Asfalto modificado para el ensayo de Penetración en Baño Maria a 30 °C

Ensayo de Penetración
En proceso, se esta colocando la aguja en la Superficie de la muestra

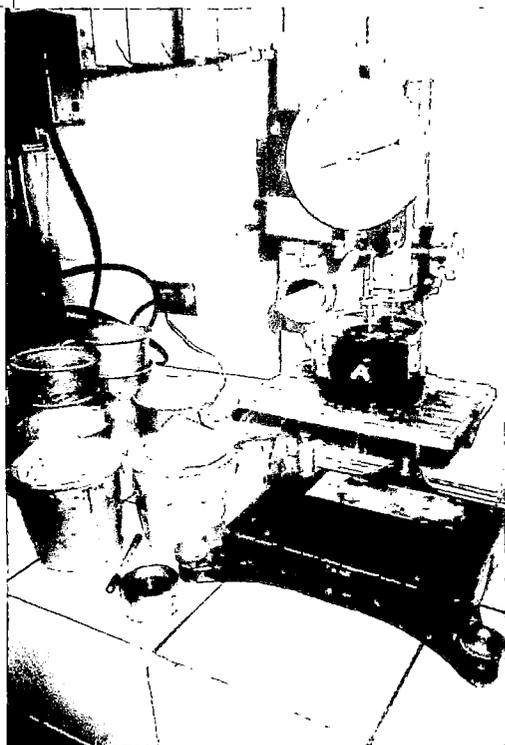


ENSAYOS DE LABORATORIO

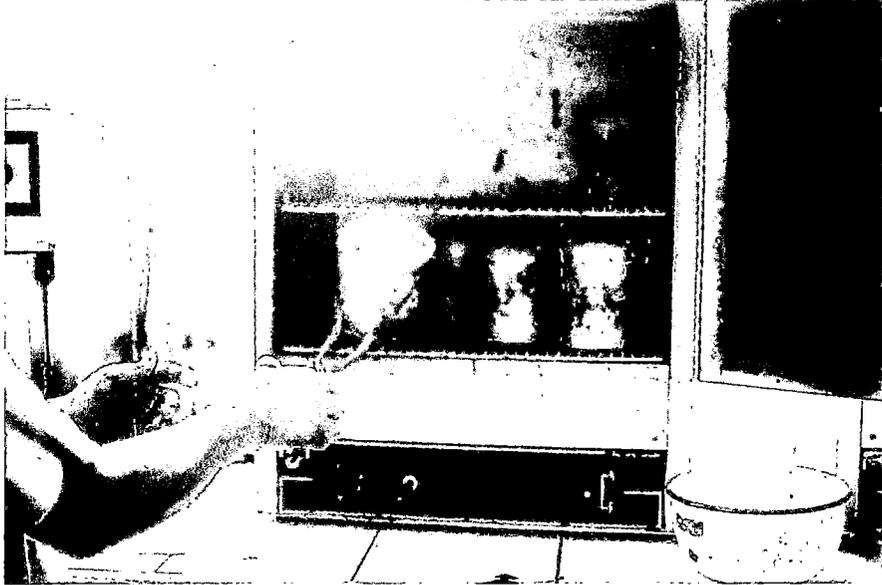


Ensayo de Penetración
Iniciando el ensayo, una
vez colocado la aguja
sobre la superficie de la
muestra

Ensayo de Penetración
Terminado el ensayo, se puede
ver como la aguja marca
la medida de la penetración
en la muestra



ENSAYOS DE LABORATORIO



Calentando la muestra del agregado en la estufa, este se encuentra ya dosificado y pesado



Pesado de la muestra de agregado para corregir su peso por secado (evaporación de humedad)

ENSAYOS DE LABORATORIO



Pesado de la cantidad de asfalto dosificado para la mezcla



Pesado de la cantidad de asfalto dosificado para la mezcla, se puede apreciar como queda antes de proceder a su mezcla

ENSAYOS DE LABORATORIO



Proceso de mezclado de los agregados con el Asfalto, esta se realiza a alta temperatura

Se puede apreciar como va quedando la mezcla, de color homogéneo cuando esta bien mezclado



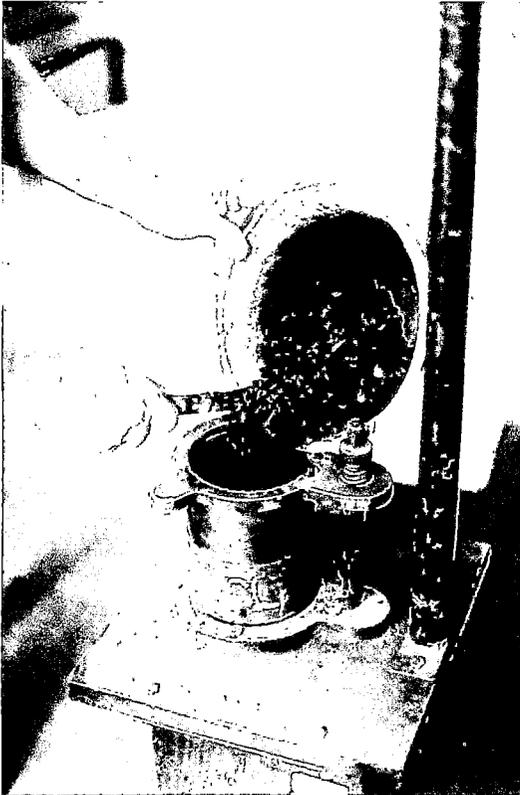
ENSAYOS DE LABORATORIO

Se puede apreciar como
va quedando la mezcla,
de color homogéneo
cuando esta bien
mezclado



Se puede apreciar ya una mezcla bien homogénea
esta lista para colocarla en el molde

ENSAYOS DE LABORATORIO



Vaciado de la mezcla al molde o briqueta que también esta caliente,

Chuceado de la mezcla en la briqueta, esta se realiza 25 veces en toda la muestra

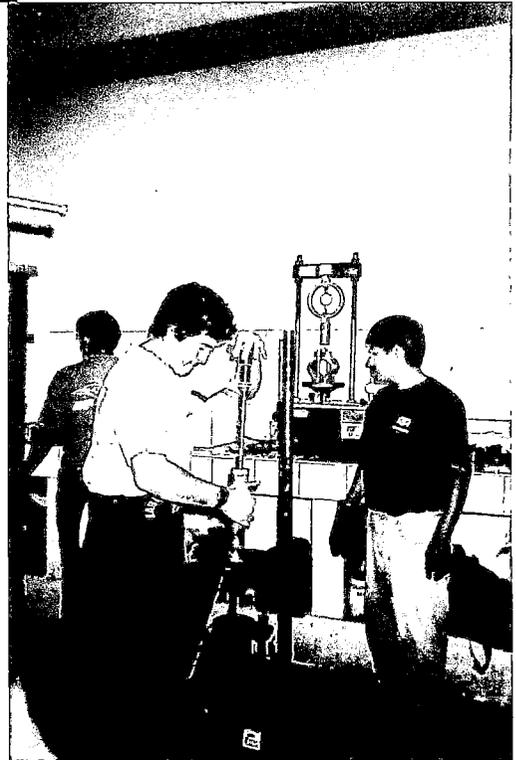


ENSAYOS DE LABORATORIO



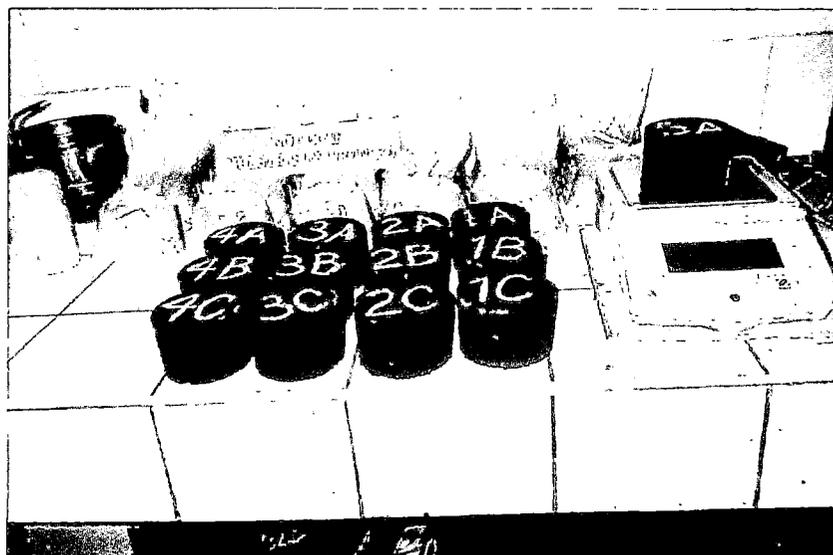
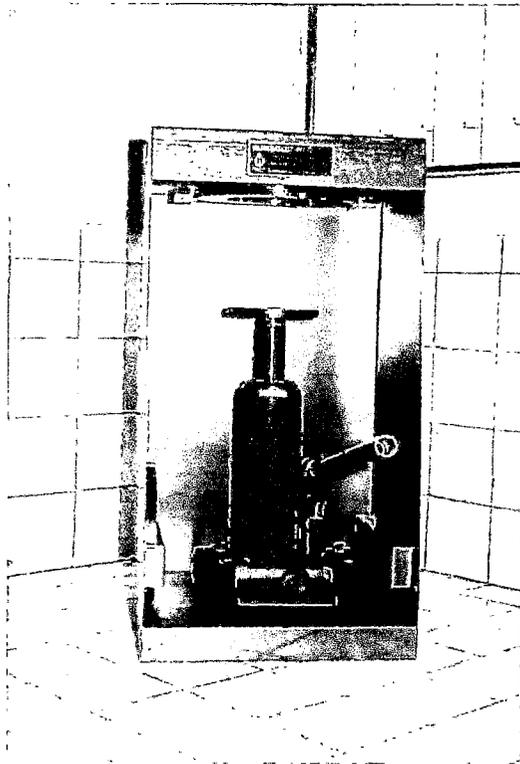
Compactado de la mezcla en la briqueta, esta se realiza con 75 golpes en cada lado de la briqueta

Compactado de la mezcla en la briqueta, esta se realiza con 75 golpes en cada lado de la briqueta



ENSAYOS DE LABORATORIO

Equipo para desmoldar las muestras compactadas de la briquetas, una vez que se hayan enfriado



Se muestran las briquetas desmoldadas e identificadas antes de proceder a pesarlas

ENSAYOS DE LABORATORIO

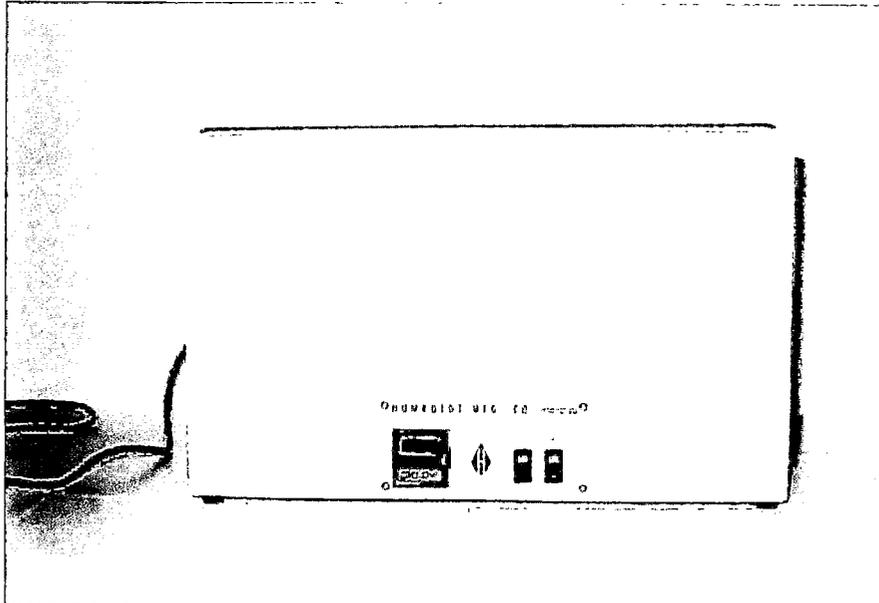


Proceso de parafinado de las briquetas identificadas,
para pesarlas en agua

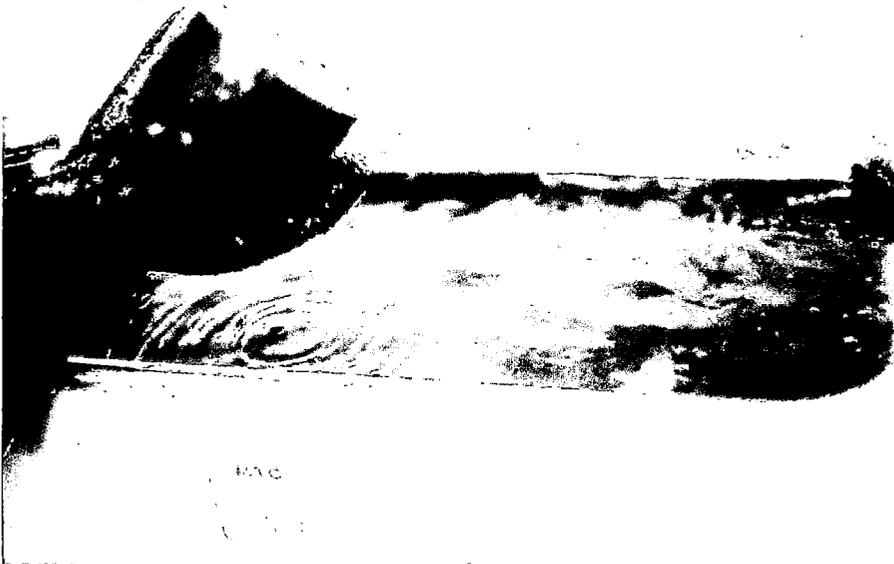


Briquetas parafinadas listas para pesarlas en agua
y luego para ponerlas en Baño María a 60 °C.

ENSAYOS DE LABORATORIO

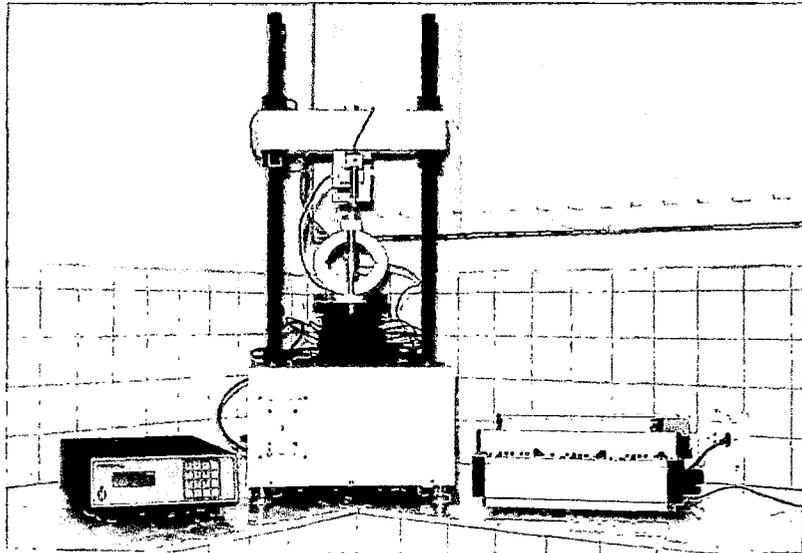


Equipo para Baño Maria, este es regulable a la temperatura deseada, para el caso de las briquetas de mezclas asfáltica es de 60 °C



Briquetas saliendo del Baño Maria, luego de 30 minutos para el ensayo Marshall

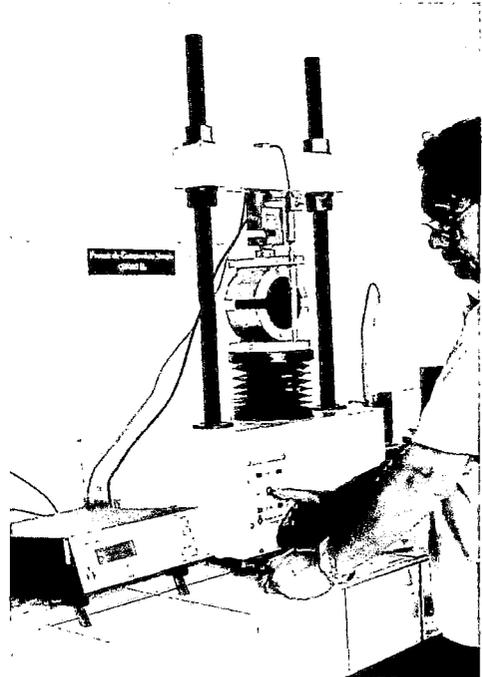
ENSAYOS DE LABORATORIO



Equipo Marshall

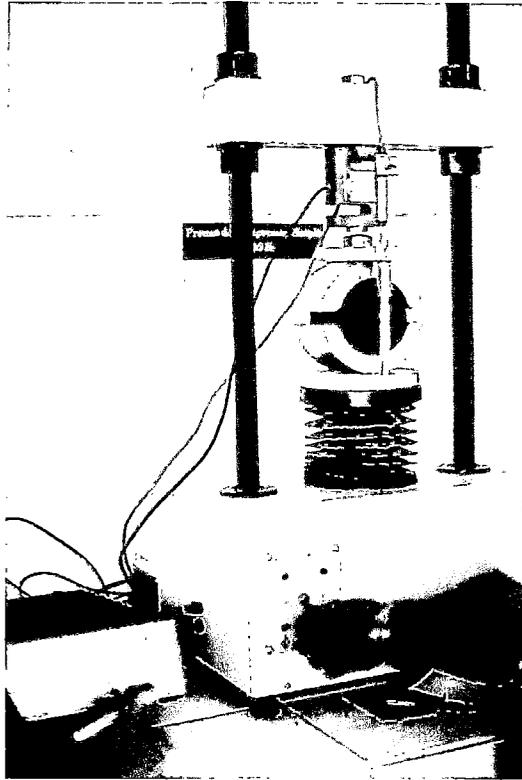


Colocacion de la Briqueta en el equipo antes del ensayo

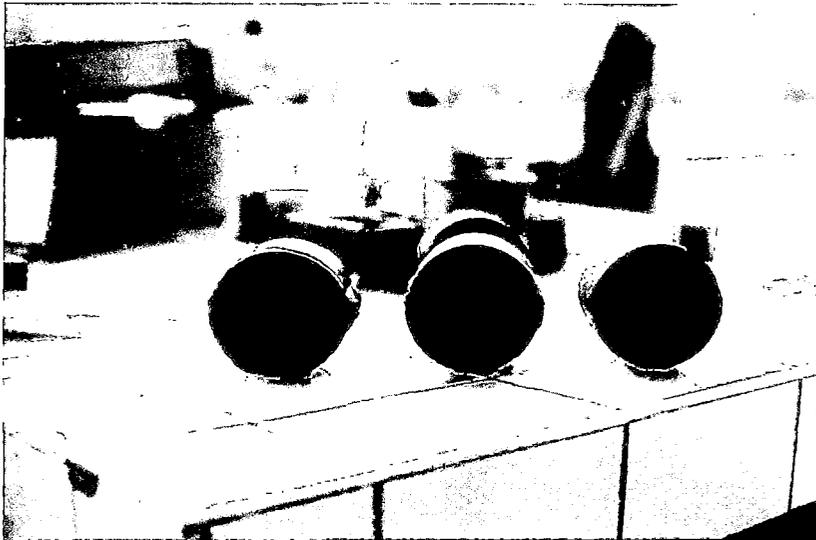


Ensayo Marshall en proceso

ENSAYOS DE LABORATORIO



Ensayo Marshal en su fase final, se apaga el equipo cuando la lectura de la estabilidad no cambia



Briquetas después del ensayo Marshall, se puede apreciar la deformación que sufren.

ENSAYOS DE LABORATORIO



Mezcla asfáltica para la determinación del Peso Especifico Máximo (RICE), en proceso de enfriado

RICE
Peso de la fiola antes
de pesar las partes de
la mezcla según su
granulometría



ENSAYOS DE LABORATORIO



RICE
Peso de la mezcla
Asfáltica, en proporción
de su granulometría

Echando agua destilada
en la fiola



ENSAYOS DE LABORATORIO



Sacando los vacíos que
quedan entre las partículas
de la mezcla, mediante la
Bomba de Vacíos



ENSAYOS DE LABORATORIO

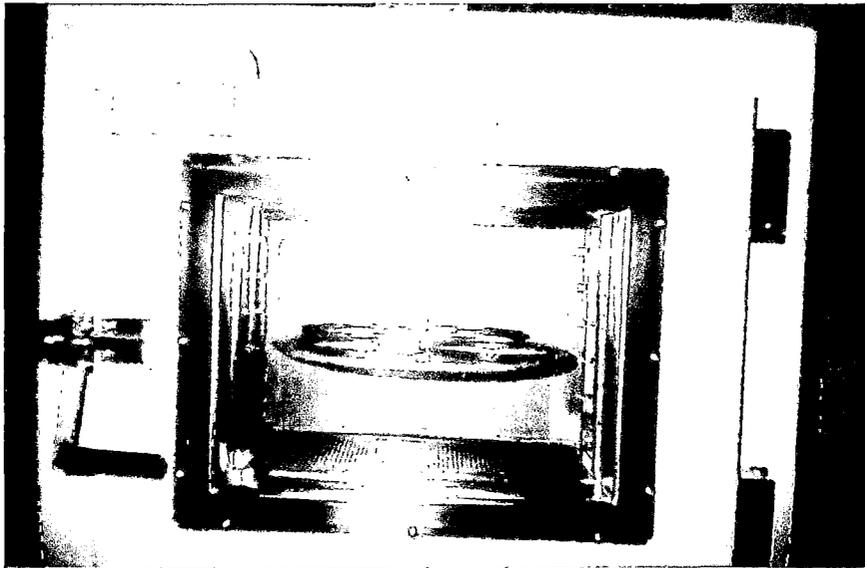


Midiendo el nivel del
Agua en la fiola, debe
quedar en el nivel
determinado en ella

Fase final del Rice
Peso de la fiola más
agua más la mezcla

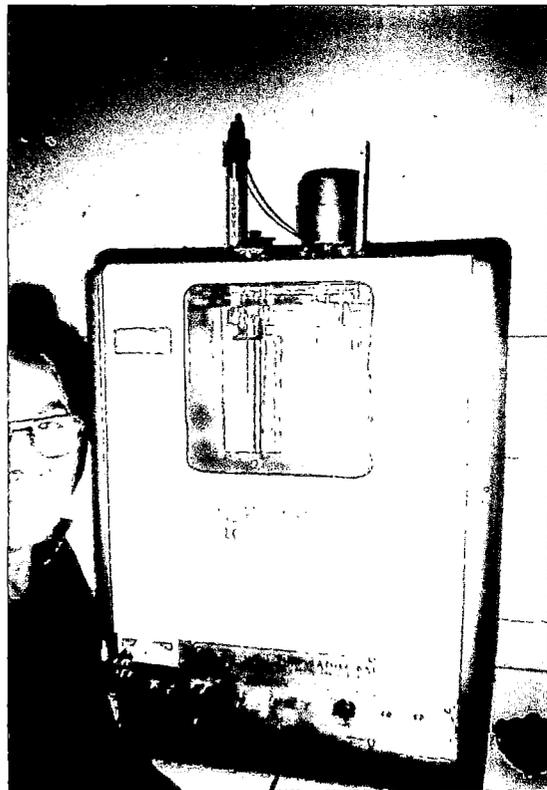


ENSAYOS DE LABORATORIO

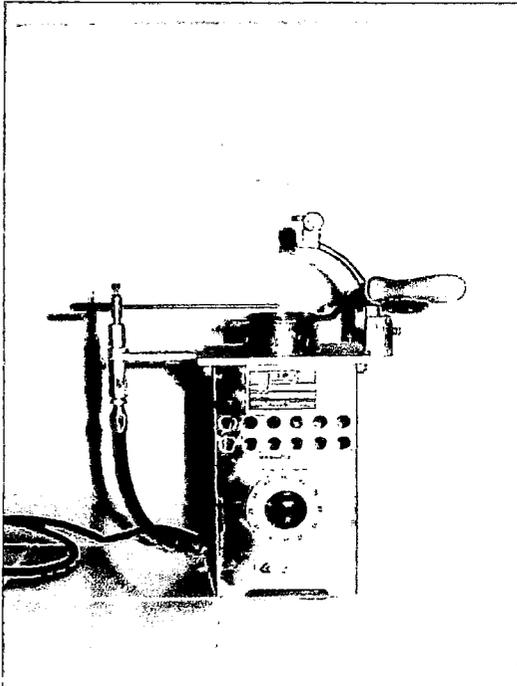


Equipo para el ensayo de pérdida por calentamiento
Horno Rotativo

Viscosímetro Absoluto
Equipo para la determinación
de la viscosidad de los
Cementos Asfálticos

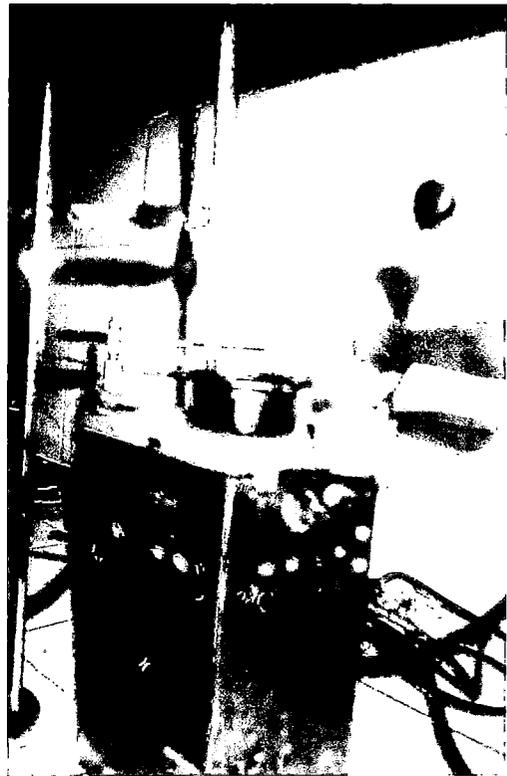


ENSAYOS DE LABORATORIO



Equipo para ensayo
del punto de
Inflamación
Copa Abierta

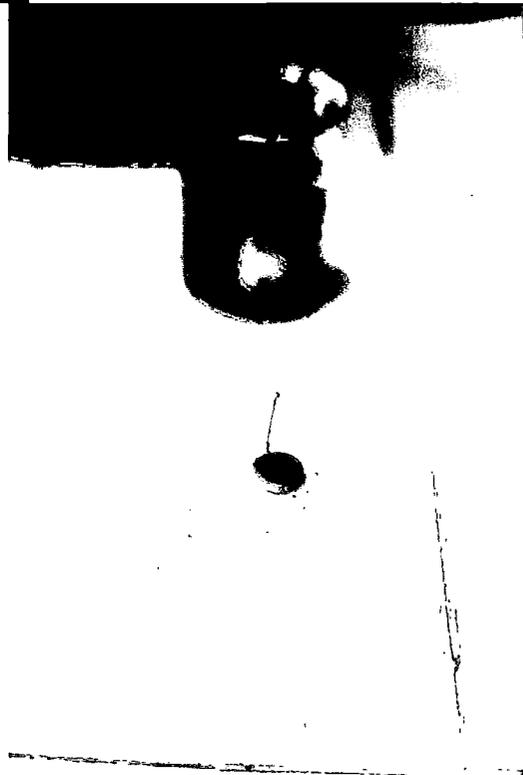
Ensayo para determinar
el punto de Inflamación
de los cementos asfálticos



ENSAYOS DE LABORATORIO

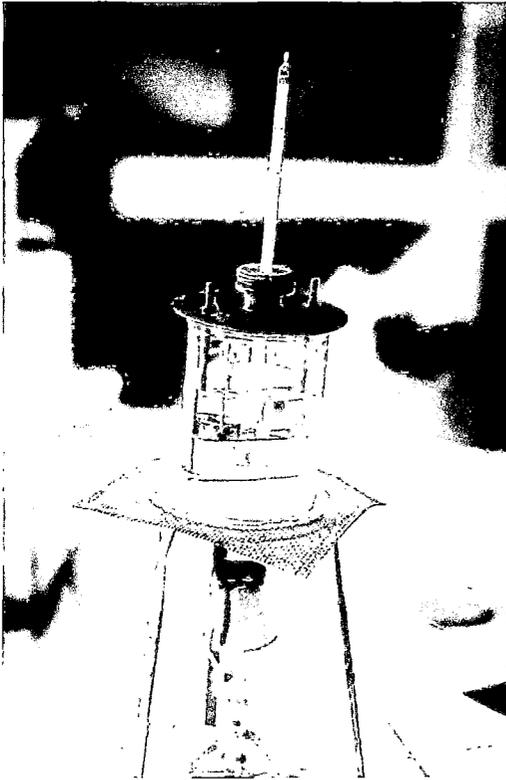


Moldeo de cemento
Asfáltico para el ensayo
del punto de Ablandamiento



Molde muestreado listo
y enrasado para el ensayo
del punto de ablandamiento

ENSAYOS DE LABORATORIO

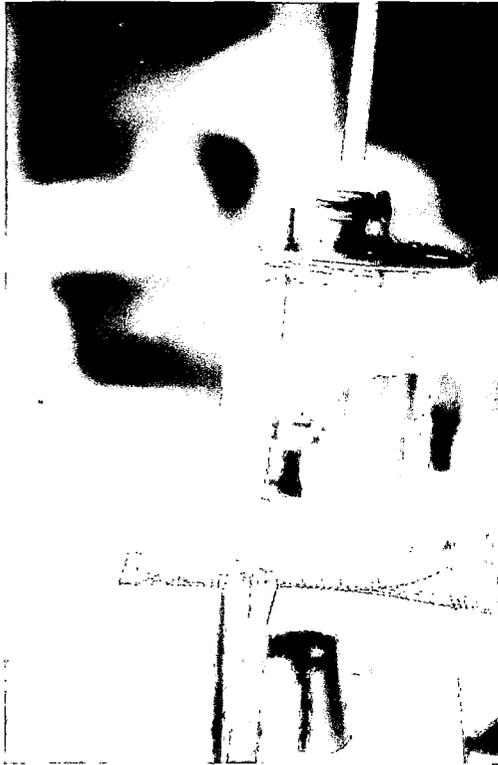


Punto de Ablandamiento
Equipo listo, el ensayo se
encuentra en proceso

Punto de Ablandamiento
Se puede apreciar como
cae la bolilla con asfalto
cuando se calienta a una
determinada temperatura



ENSAYOS DE LABORATORIO



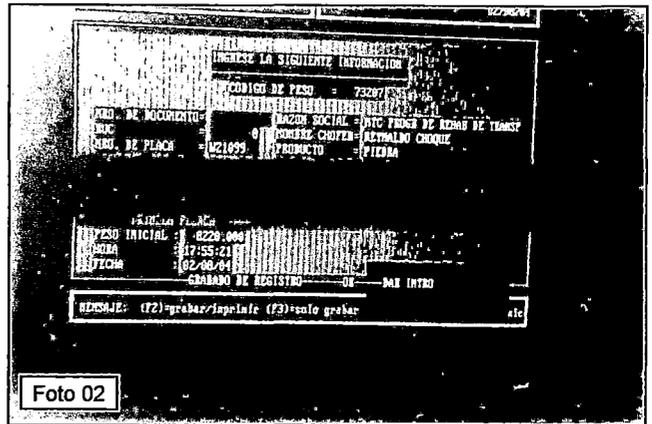
Punto de Ablandamiento
Se puede apreciar como
cae la bolilla con asfalto
cuando se calienta a una
determinada temperatura

Punto de Ablandamiento
Se puede apreciar como
la bolilla con asfalto llega
a caer en la platina, llegando
a la fase final del ensayo

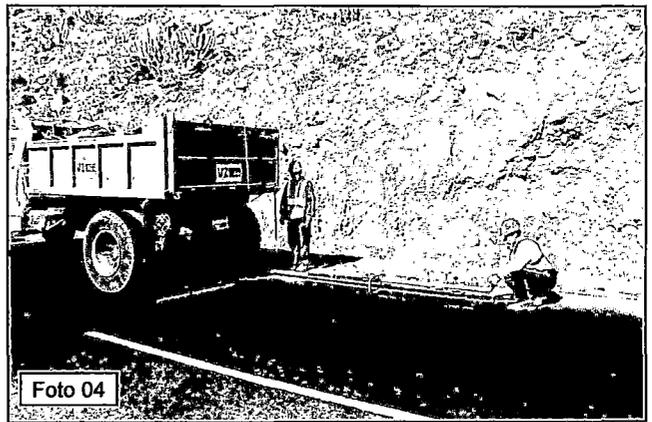
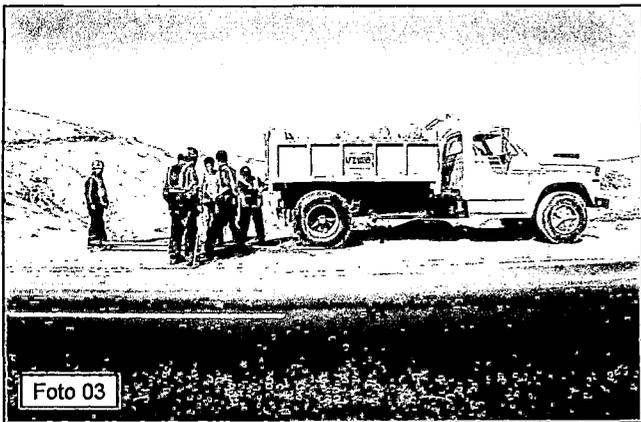


**PANEL FOTOGRÁFICO DE
FALLAS TÍPICAS DE LOS
PAVIMENTOS**

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336
Evaluación del Pavimento



Pesaje de vehículo (volquete) empleado para la medición de deflexiones en el tramo km 0+000 – km 25+000.



Instalación y acondicionamiento del equipo (Viga Benkelman).

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336
Evaluación del Pavimento

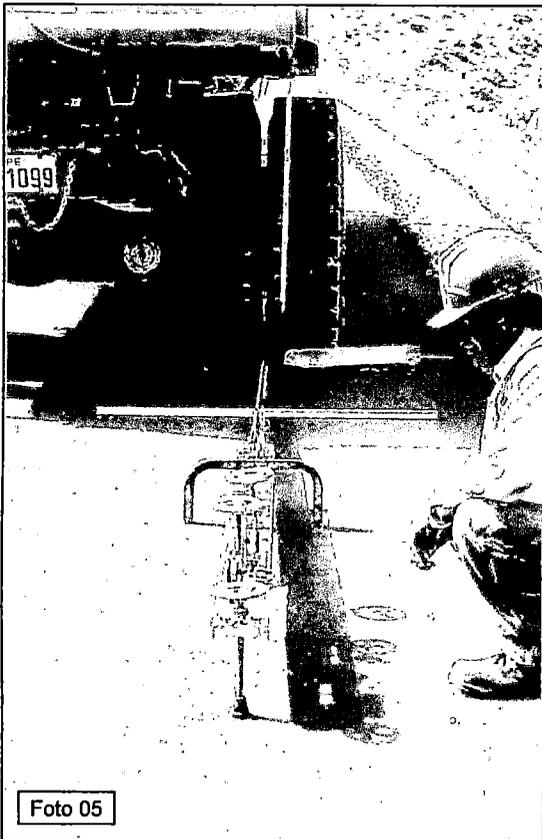


Foto 05

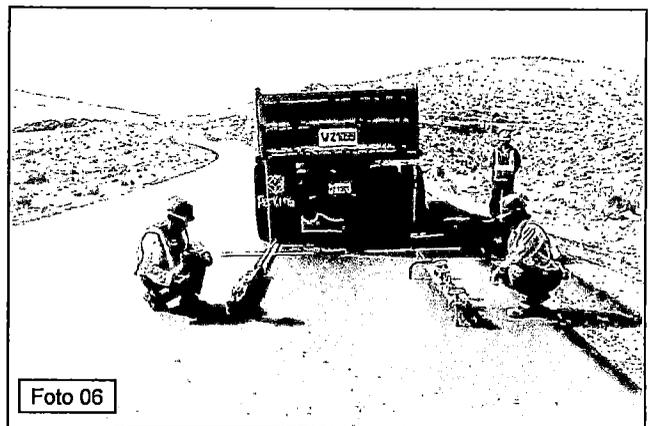


Foto 06

Puesta a punto de equipo (Viga Benkelman) y verificación de calibración de los mismos.



Foto 07



Foto 08

Medición de Deflexiones (km 0+000 – km 25+000). Nótese las medidas de seguridad adoptadas.

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336
Evaluación Superficial del Pavimento



Foto 09

Vistas de sectores con fisuras tratadas en el tramo km 0+000 – km 25+000, nótese que las áreas tomadas comprenden toda la superficie de rodadura (100%).

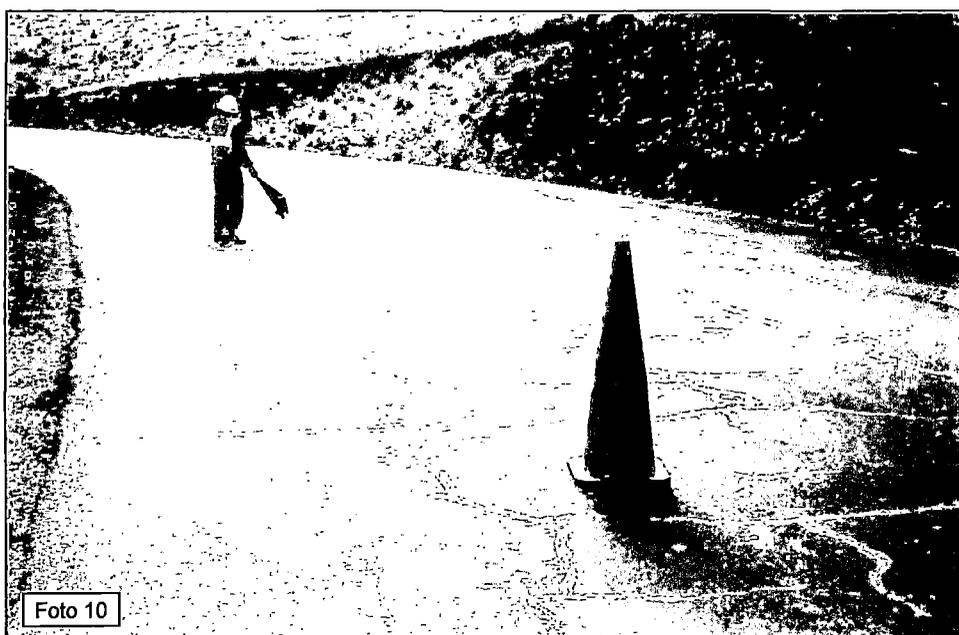
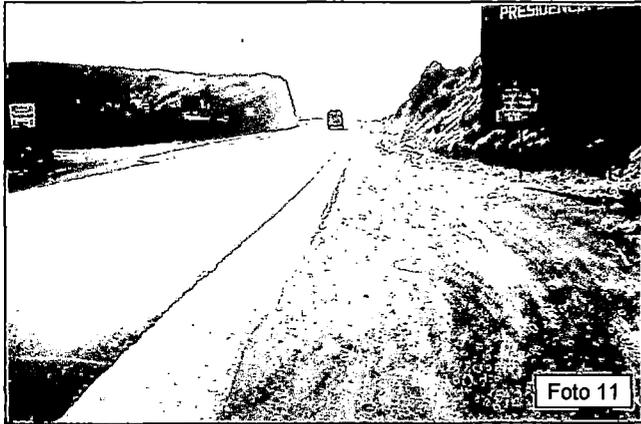


Foto 10

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336

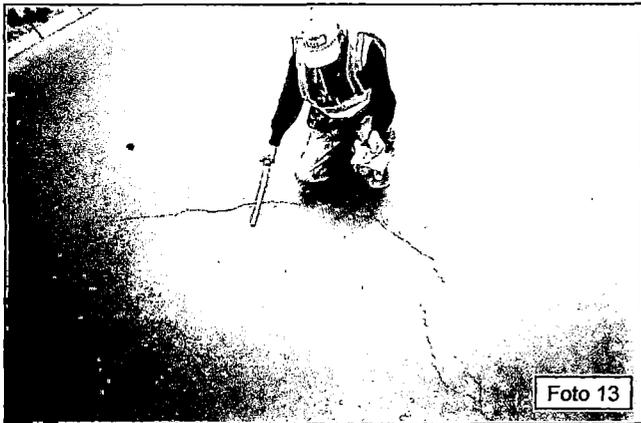
Evaluación Superficial del Pavimento



Progresiva	Km 0+000
Tipo Falla	Inicio del tramo a evaluar.



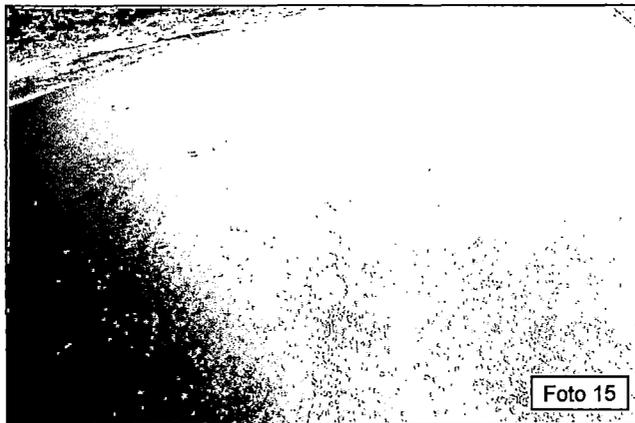
Progresiva	Km 0+210 – km 0+260
Tipo Falla	Sector de pavimento con una capa asfáltica de 5cm.



Progresiva	Km 17+950
Tipo Falla	2S, 2M; centro de la calzada, grieta de 1 a 3cm en el carril izquierdo.



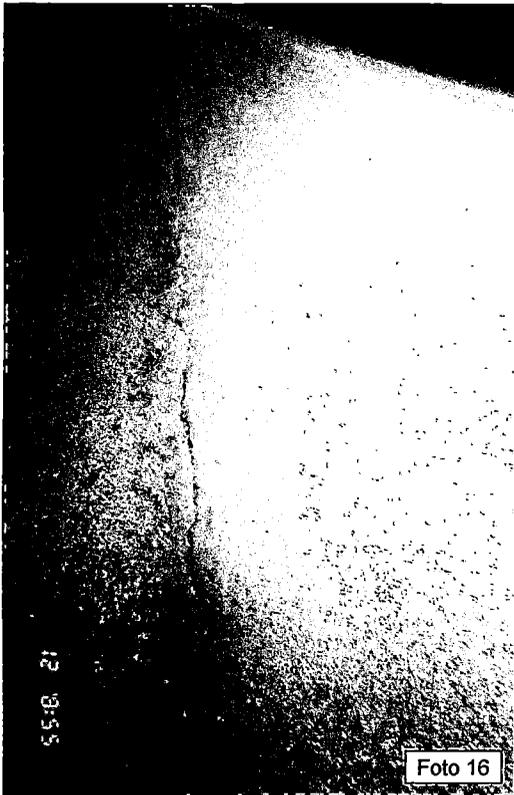
Progresiva	Km 18+600
Tipo Falla	2E transversal carril derecho, longitudinal en el eje.



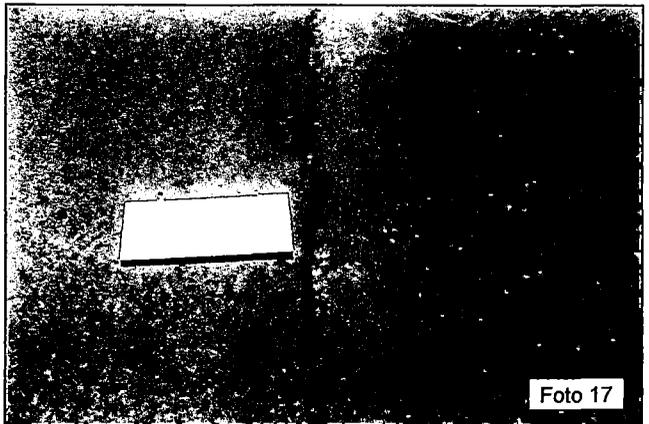
Progresiva	Km 21+240
Tipo Falla	2E.

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336

Evaluación Superficial del Pavimento



Progresiva	Km 21+685
Tipo Falla	2M, 2S eje



Progresiva	Km 22+200
Tipo Falla	2M, eje.



Progresiva	Km 24+450
Tipo Falla	2E eje



Progresiva	Km 24+080
Tipo Falla	2E, 2M eje.

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336

Evaluación Superficial del Pavimento



Foto 20

Progresiva	Km 26+820
Tipo Falla	2S, transversal y longitudinal 100%, reflejada en toda la calzada

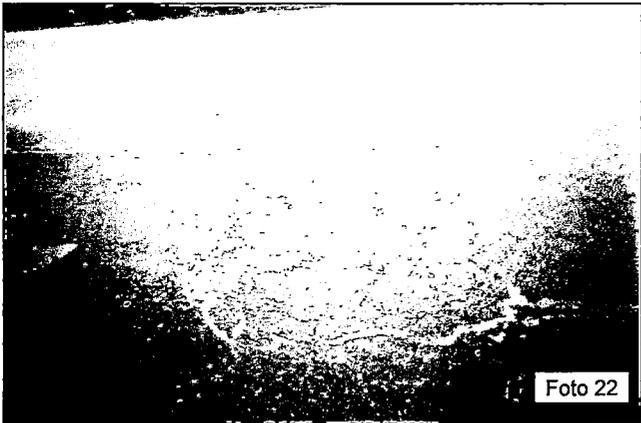


Foto 22

Progresiva	Km 26+970
Tipo Falla	Nótese las fisuras selladas y la evolución hacia fisuras tipo 8E.

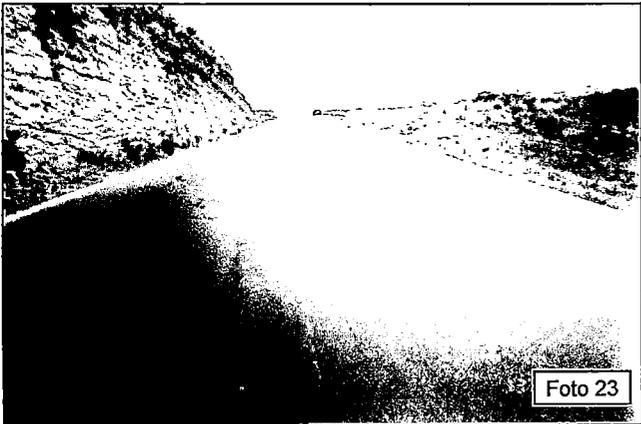


Foto 23

Progresiva	Km 27+000
Tipo Falla	Fisuras selladas 100% reflejadas. Nótese la aparición de nuevas fisuras.



Foto 21

Progresiva	Km 26+875
Tipo Falla	2S, transversal, sellado 100% reflejado carril izquierdo.

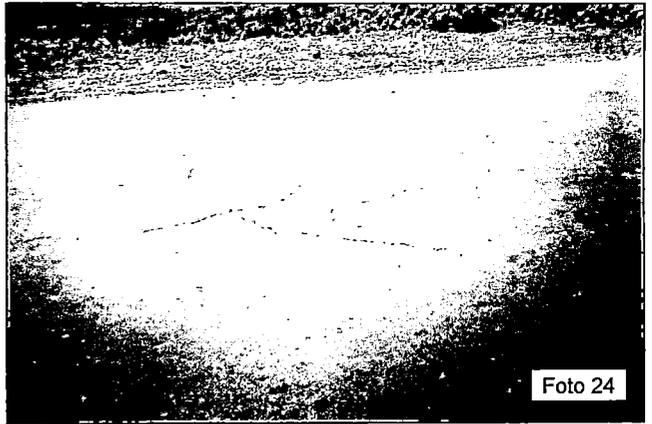
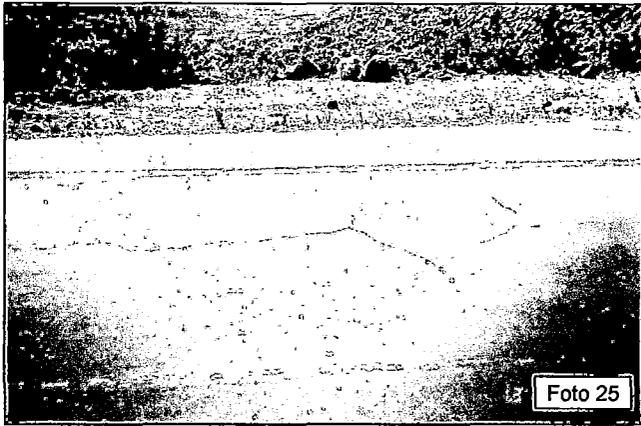


Foto 24

Progresiva	Km 28+360
Tipo Falla	4S carril izquierdo

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336

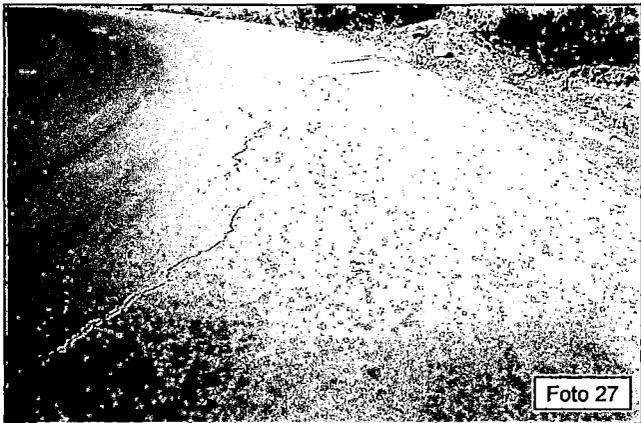
Evaluación Superficial del Pavimento



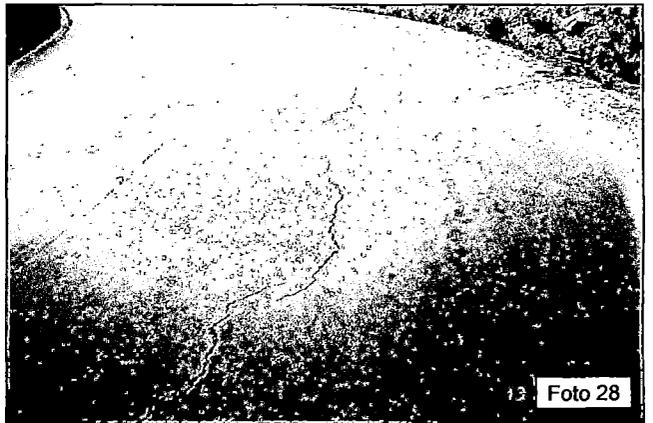
Progresiva	Km 28+395
Tipo Falla	4S, carril izquierdo



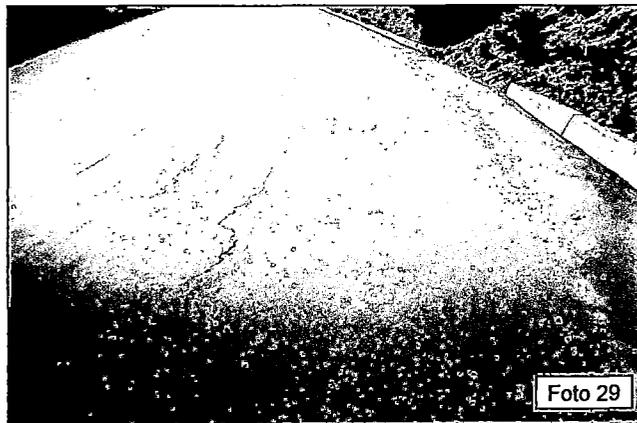
Progresiva	Km 28+430
Tipo Falla	Grieta ramificada 10-30mm de abertura carril izquierdo.



Progresiva	Km 28+440
Tipo Falla	Grieta longitudinal 10-30mm de abertura calzada derecha



Progresiva	Km 28+450
Tipo Falla	Grietas longitudinales de 10-30mm de abertura calzada derecha



Progresiva	Km 28+460
Tipo Falla	2S, 4S, calzada derecha

**PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA**

TRAMO: km 0+000 – km 53+336

Evaluación Superficial del Pavimento

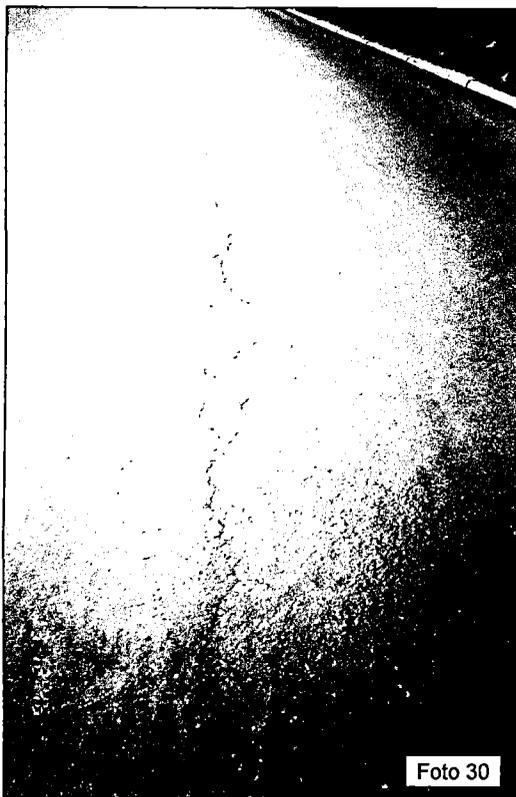


Foto 30

Progresiva	Km 28+480
Tipo Falla	2S, 4S centro calzada



Foto 31

Progresiva	Km 29+810
Tipo Falla	2S, eje.



Foto 32

Progresiva	Km 29+860
Tipo Falla	2S eje, 4M carril izquierdo.



Foto 33

Progresiva	Km 29+910
Tipo Falla	8M carril izquierdo.

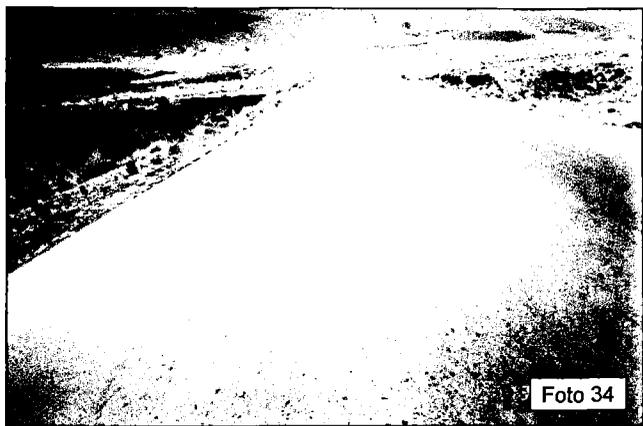


Foto 34

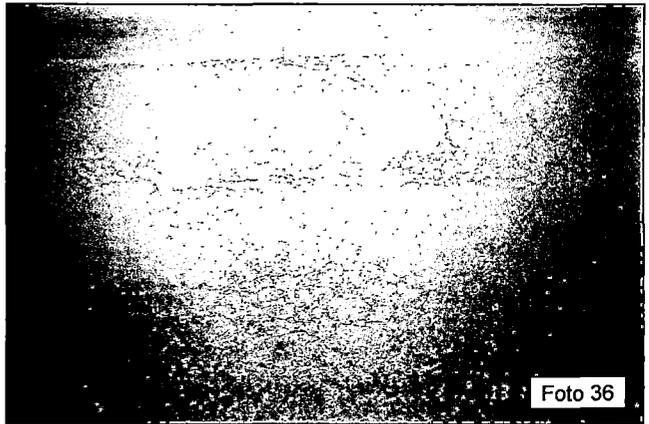
Progresiva	Km 33+350 – km 33+500
Tipo Falla	Zona de terraplen fallado.

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336

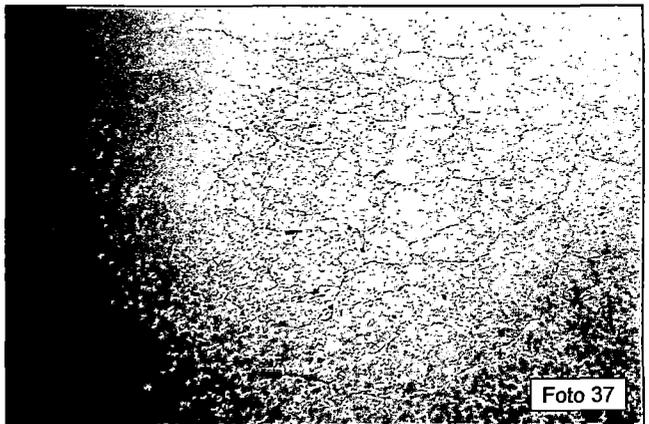
Evaluación Superficial del Pavimento



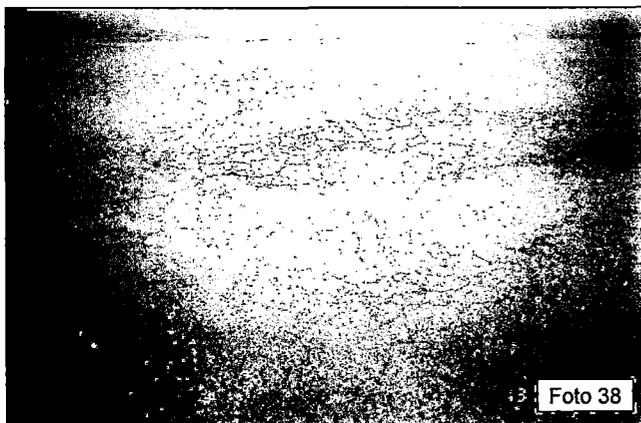
Progresiva	Km 33+350 – km 33+500
Tipo Falla	Zona de terraplen fallado.



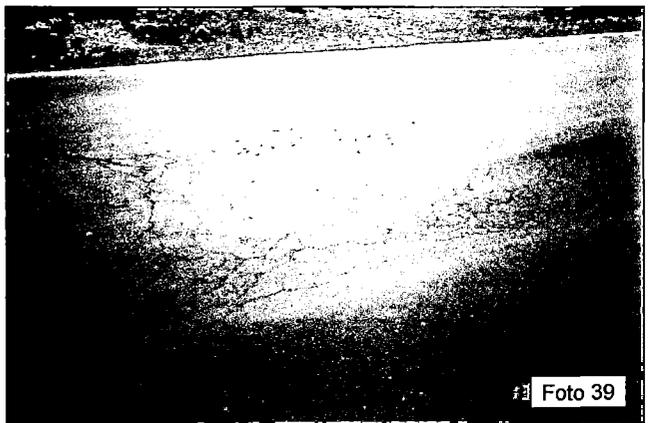
Progresiva	Km 36+220
Tipo Falla	8M carril derecho



Progresiva	Km 35+900
Tipo Falla	8S carril izquierdo



Progresiva	Km 36+900
Tipo Falla	8S toda la calzada



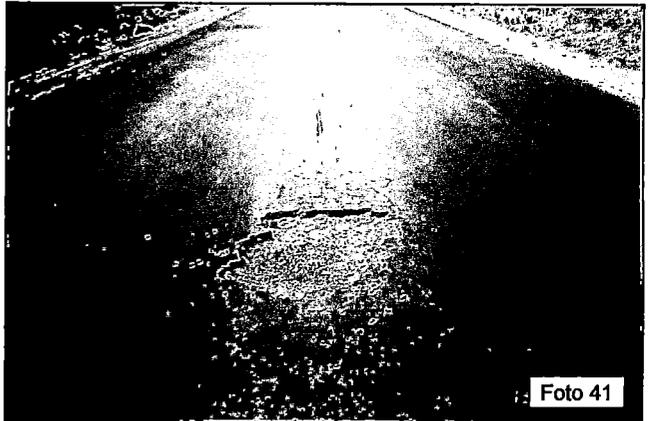
Progresiva	Km 36+980
Tipo Falla	8M carril izquierdo.

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336

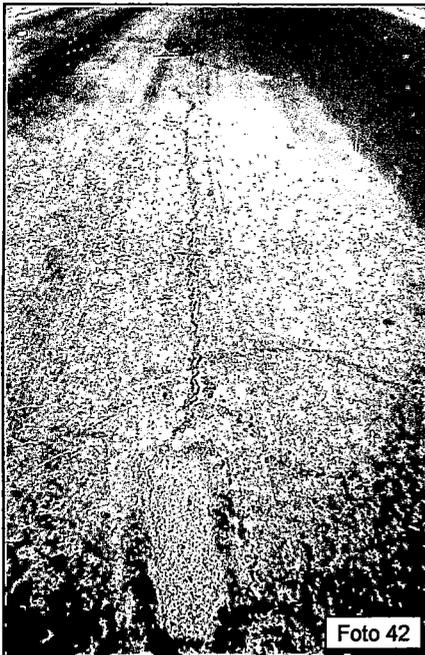
Evaluación Superficial del Pavimento



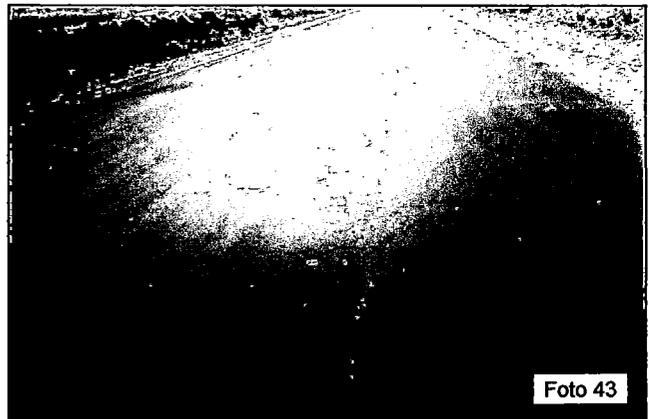
Progresiva	Km 37+500
Tipo Falla	2S eje reflejado



Progresiva	Km 38+800
Tipo Falla	Bache de 2m2. Nótese alrededor, fallas tipo 8S, que abarcan toda la calzada.



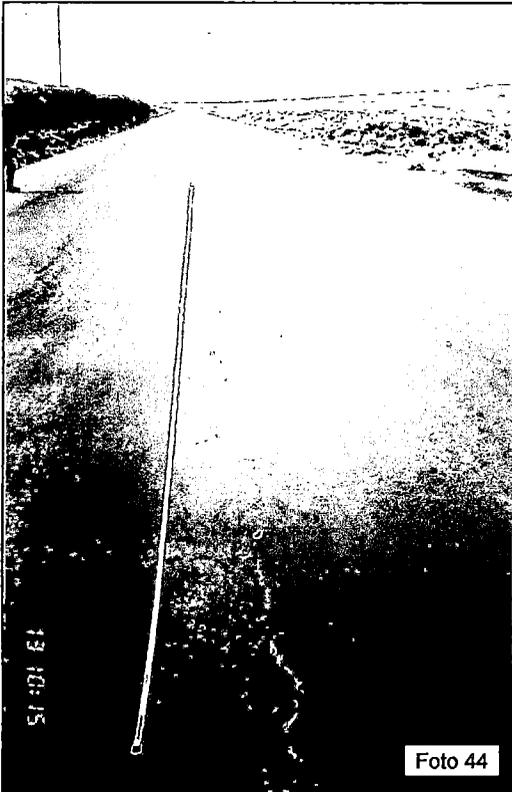
Progresiva	Km 39+740
Tipo Falla	Grietas de 10 a 20mm en el centro de la calzada. Nótese los trabajos de parche ejecutados.



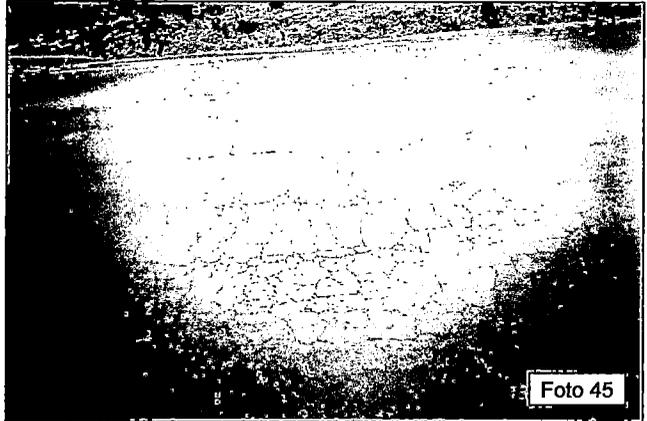
Progresiva	Km 38+810
Tipo Falla	8M, 8S toda la calzada

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336

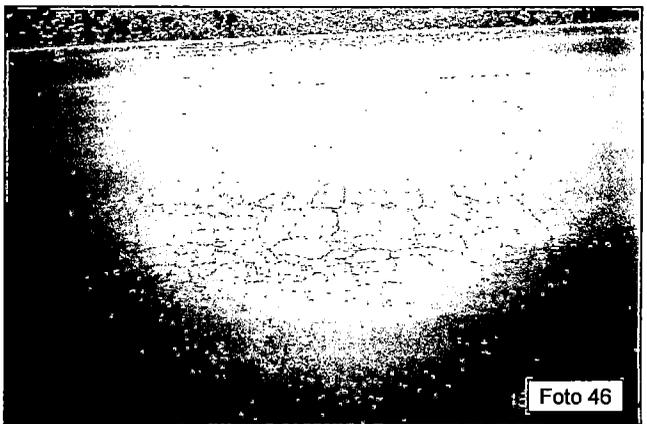
Evaluación Superficial del Pavimento



Progresiva	Km 40+450
Tipo Falla	2S, 4S centro calzada



Progresiva	Km 41+000
Tipo Falla	2S, 8M, 8S reflejada en toda la calzada.



Progresiva	Km 41+000
Tipo Falla	8M, 8S reflejado en toda la calzada.



Progresiva	Km 41+100
Tipo Falla	8M reflejado carril derecho.

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
 TRAMO: km 0+000 – km 53+336

Evaluación Superficial del Pavimento

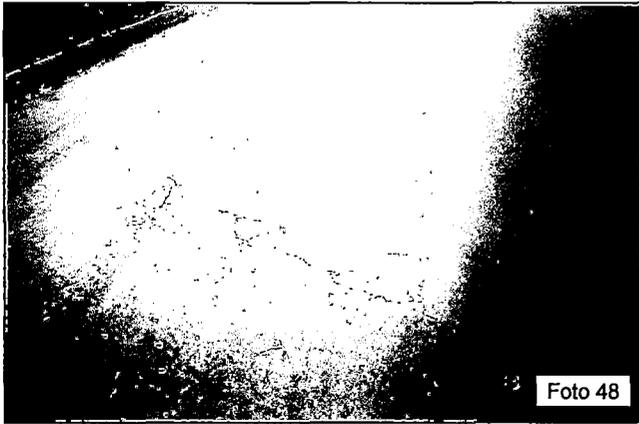


Foto 48

Progresiva	Km 41+920
Tipo Falla	8M reflejado carril derecho.



Foto 49

Progresiva	Km 42+040
Tipo Falla	2S transversal toda la calzada. Nótese al fondo depósito natural de arena.

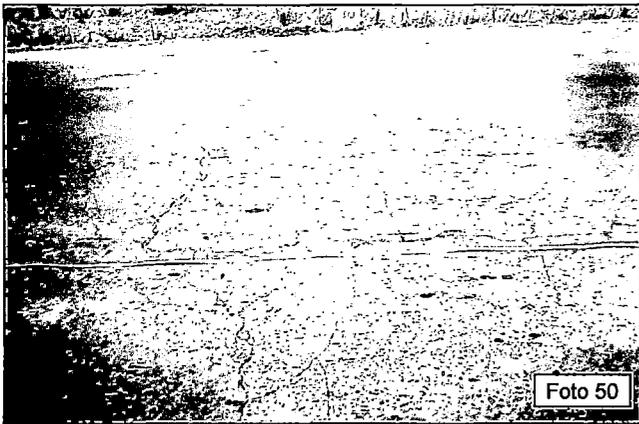


Foto 50

Progresiva	Km 42+480
Tipo Falla	6S toda la calzada.

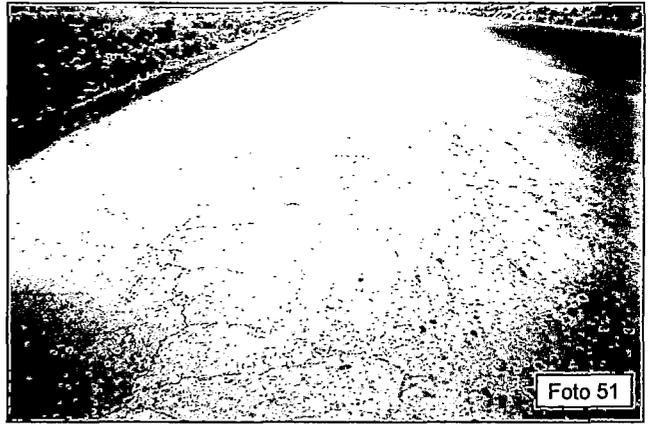


Foto 51

Progresiva	Km 42+500
Tipo Falla	2S, 6S, 8M toda la calzada.



Foto 52

Progresiva	Km 42+550
Tipo Falla	2S transversal; 4S carril izquierdo.

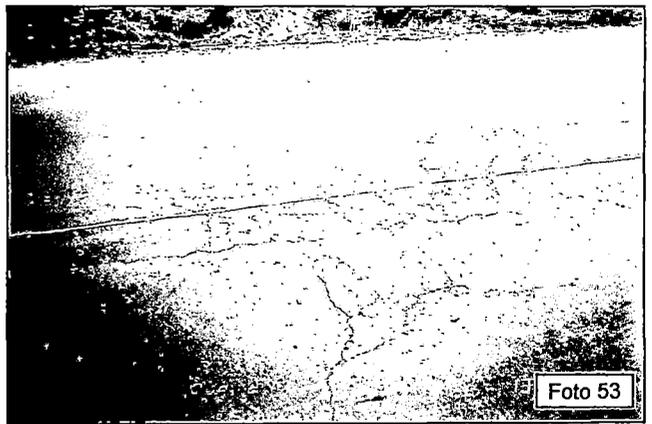


Foto 53

Progresiva	Km 44+000
Tipo Falla	6S carril derecho; 8M carril izquierdo.

**PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA**

TRAMO: km 0+000 – km 53+336

Evaluación Superficial del Pavimento

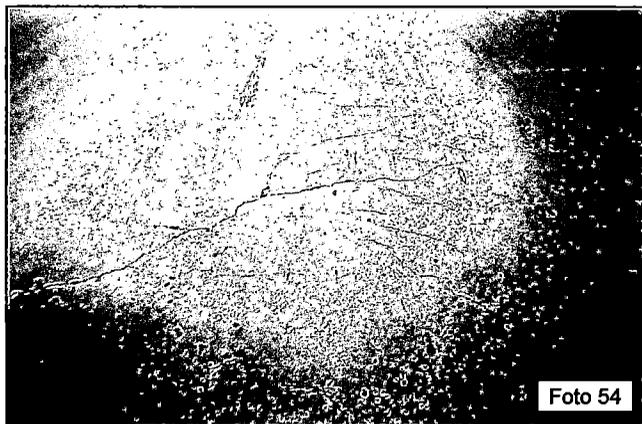


Foto 54

Progresiva	Km 44+080
Tipo Falla	2E, 2M, 2S, 4M; longitudinales y transversales toda la calzada.

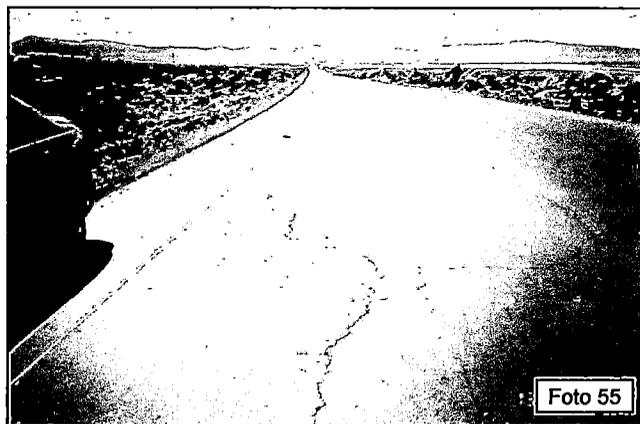


Foto 55

Progresiva	Km 44+300
Tipo Falla	2S eje; 4S carril derecho; 8S carril izquierdo.



Foto 56

Progresiva	Km 44+700
Tipo Falla	4S carril izquierdo.

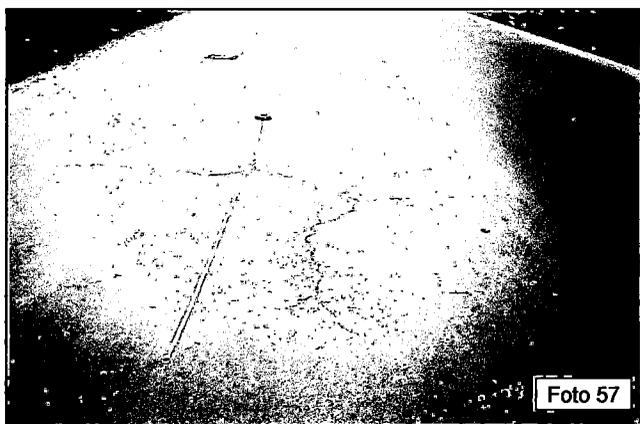
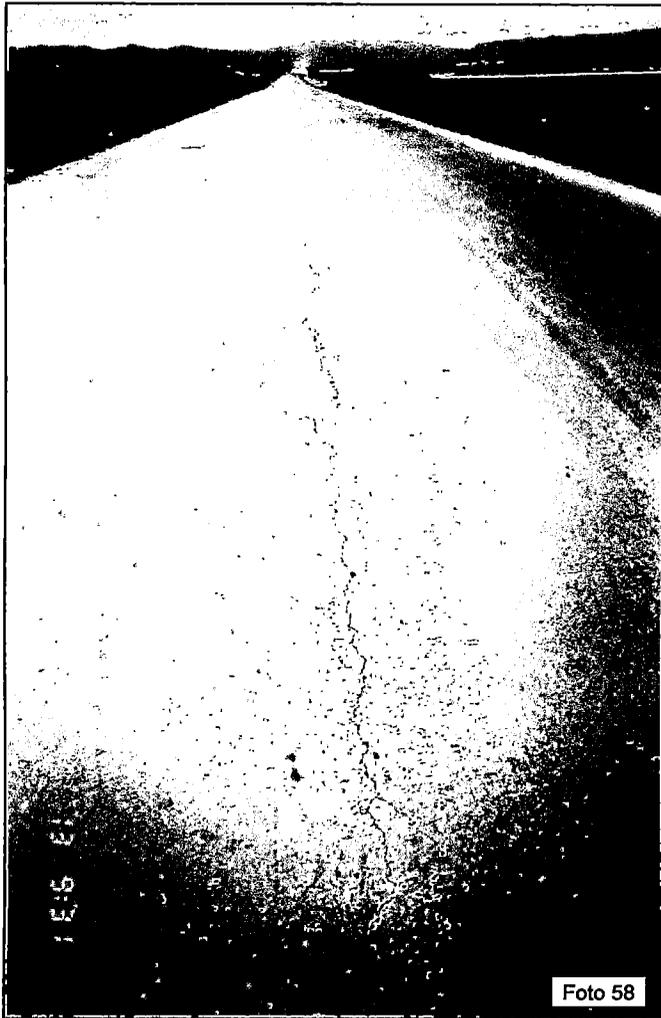


Foto 57

Progresiva	Km 45+200
Tipo Falla	6S.

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336

Evaluación Superficial del Pavimento

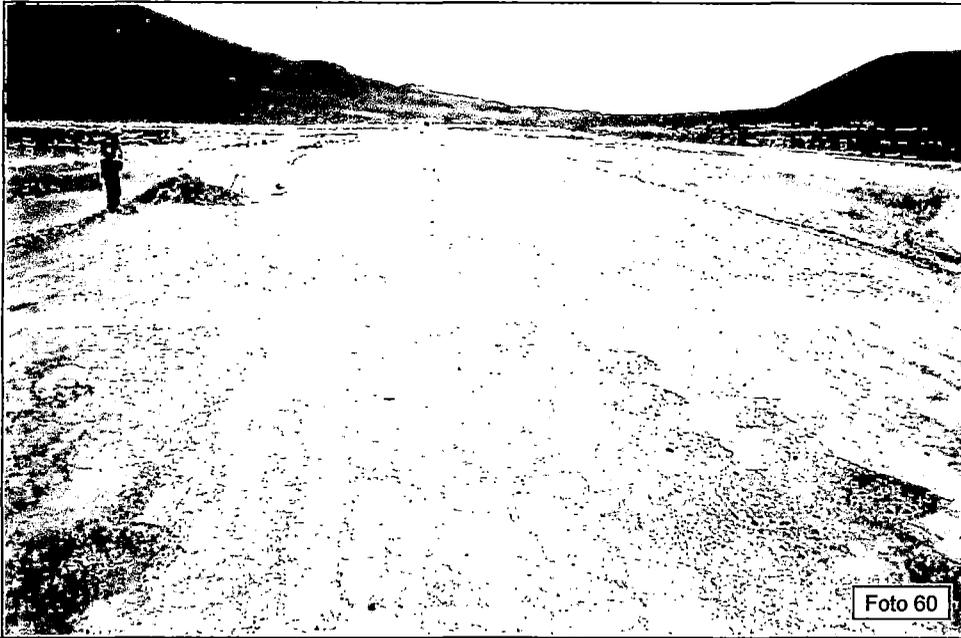


Progresiva	Km 45+200
Tipo Falla	2S eje, 4S centro de calzada.

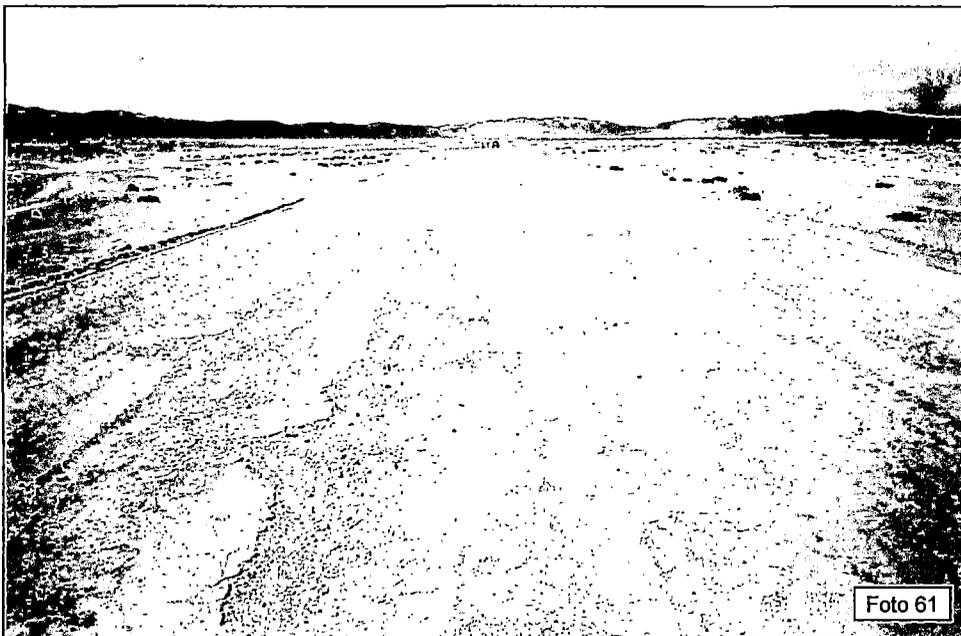


Progresiva	Km 45+300
Tipo Falla	2S, 2M carril izquierdo.

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336
Evaluación Superficial del Pavimento



Vistas panorámicas del tramo km 46+000 – km 53+300, véase la pérdida de agregados (baches) y vestigios de imprimación asfáltica.



PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336
Evaluación Superficial del Pavimento



Vistas panorámicas del inicio y final del tramo (km 46+000 – km 53+300), nótese la formación de baches y agregados sueltos por falta de cohesión de los agregados.



PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336

Estudio de Canteras

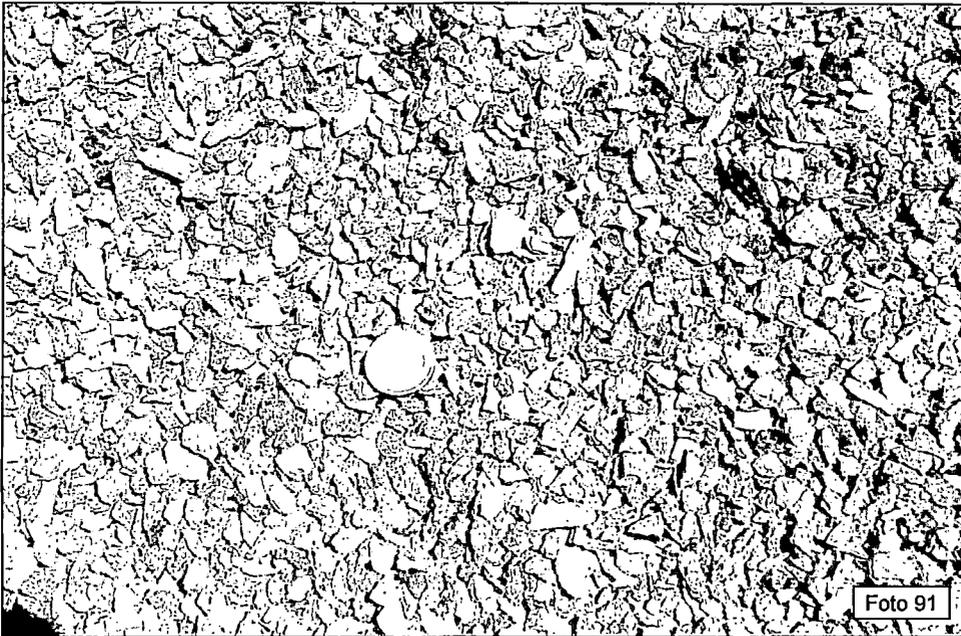


Foto 91

Vistas de los agregados de la Cantera km 53+000
Arriba (agregados triturados)
Abajo (agregados zarandeados)

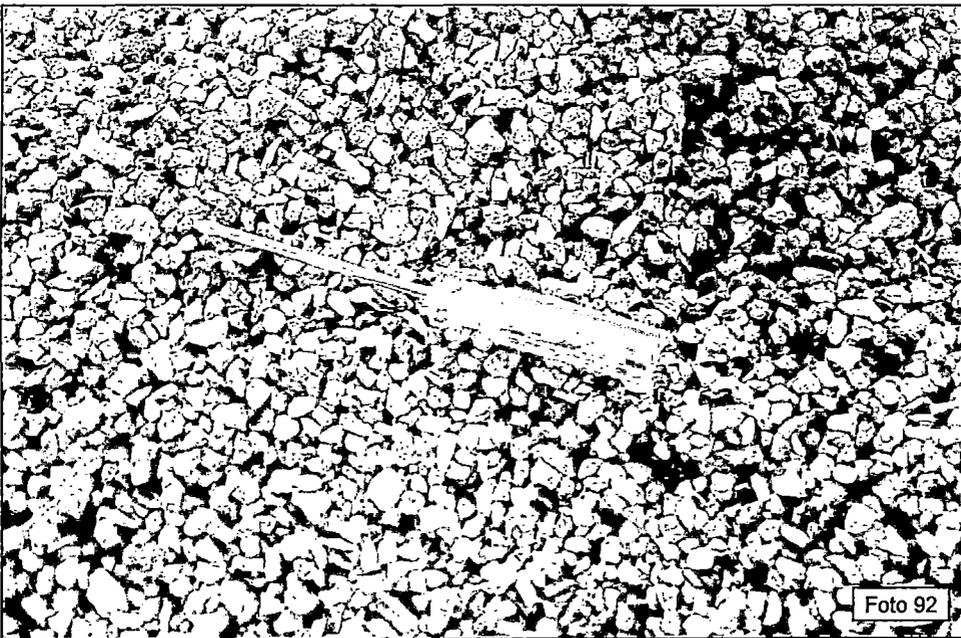


Foto 92

PANEL FOTOGRÁFICO
CARRETERA YURA – PATAHUASI – SANTA LUCÍA
TRAMO: km 0+000 – km 53+336

Estudio de Canteras



Foto 93

Muestreo de agregados procesados (grava y arena) de la Cantera "km 53+000".



Foto 94

BIBLIOGRAFÍA

- 1 Ing. Mariano A. Berdiñas “Sobre la acción de los Polímeros en los Cementos Asfálticos”, Vigésima Octava reunión del Asfalto. Argentina
- 2 Dr. J. Agnusdei “Caracterización de Asfalto Modificado con Polímero”. Vigésima Octava Reunión del Asfalto. Buenos Aires - Argentina 1995
- 3 Arenas Lozano, “Características Reológicas del Asfalto Modificado con Polímero”, Noveno Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Paraguay 1997
- 4 Ing. Néstor Huaman Guerrero “Polímeros para Pavimentos Flexibles”, ¿Para qué y Cuando Utilizarlo? Tercer Congreso Nacional del Asfalto Lima – Perú 1999
- 5 Ing. José H. Meléndez Palma, “Influencia de la Temperatura en el Deterioro de Carpetas Asfálticas en Zonas de Altura”, UNI – MTC, Lima – Perú 2000
- 6 Ing. Néstor Huaman Guerrero “Utilización de Polímeros para Modificación de Mezclas Asfálticas en el Perú y otros Países de América” 11° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. Lima – Perú 2001
- 7 Ing. Mary Mercedes Sancho Ponce, “Efectos Térmicos en Mezclas Asfálticas con Asfaltos Peruanos Modificados con Polímeros”; OCC – MTC. Décimo Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. España 1999
- 8 Ing. Pablo del Águila Rodríguez, “Experiencias sobre el Diseño y Criterios para la Construcción de Pavimentos en Zonas de Altura”; Décimo Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto. España 1999

- 9 Servicio Nacional de Caminos de Bolivia, “Comparación Económica de Carpetas Asfálticas con Ligantes Modificados y Convencionales”; 11° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Lima – Perú 2001
- 10 Ing. Pablo del Águila Rodríguez, “Experiencias en el Uso de Asfalto Modificado con Polímero para Carpeta Asfáltica, en la Carretera Guaqui – Desaguadero” (Bolivia) 11° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Lima – Perú 2001
- 11 Basf Peruana SA, “Modificación de Asfaltos Mediante el Uso de Látex Estireno-Butadieno (SBR)”; 11° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto, Lima – Perú 2001
- 12 Ing. Néstor Huaman G. “Utilización de Mezclas Asfálticas Modificadas con Polímeros, Experiencia Peruana” V Congreso Nacional del Asfalto - 2002
- 13 Manual de Ensayos de Laboratorio, Oficina de Control de Calidad DGC-MTC
- 14 Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras DGC-MTC.