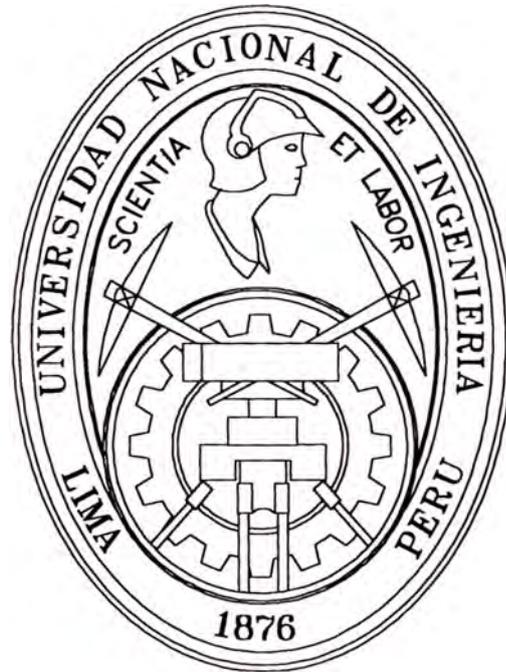


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



MEJORAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS
CON EL USO DE POLIMEROS

INFORME DE SUFICIENCIA

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

Misael Ciro Zevallos Carhuaz

LIMA – PERÚ

2005

A Dios:

Por brindarme su infinito amor,
amor que sobrepasa la multitud
de todo conocimiento.

A mis padres:

Félix y Tomasa

Por enseñarme que a pesar de la adversidad
con sacrificio, esfuerzo y perseverancia se
puede alcanzar el éxito.

A mis hermanos:

*Freddy, Edson, Luis,
Braulio, Juan, Silvia y Pilar*

Por sus consejos y alientos en los momentos
difíciles, gracias hermanos por comprender
mis ausencias.

A quienes les dedico la presente tesis como
una pequeña muestra de mi amor y gratitud

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial a toda mi familia; por que sé, que donde ellos están, yo estoy presente; y donde estoy ellos están; a ellos mi especial agradecimiento.

A mi Asesor el Ing. Néstor Huaman Guerrero, por su constancia en la asesoría del presente trabajo, gracias a su disposición, siempre me brindo su apoyo incondicional, complementando mis conceptos e información básica necesaria para el conocimiento de los Asfaltos Modificados con Polímeros.

A mi Ps. Javier Loayza, Ps Ruth Crisóstomo y hermanos en la Fé, por sus enseñanzas, por su comprensión y por sus oraciones, pues siempre me ayudaron y estimularon ¡A Seguir Adelante!

A todas aquellas personas que de alguna u otra manera colaboraron en la ejecución del presente trabajo de investigación, a mis amigos por su aliento, a todos aquellos catedráticos de la Facultad de Ingeniería Civil que en su debido momento me transmitieron sus conocimientos adquiridos para desenvolverme en el ámbito profesional. ¡*Gracias Dios!* por permitir conocer a personas tan buenas y colaboradoras, las que he conocido a lo largo de toda mi vida.

No quiero dejar de mencionar a la **Arq. Rosa Maria Aranda y la Ing. Teresa Vergaray Aliaga**; quienes me alentaron a desarrollar mi tesis y me brindaron la oportunidad de desarrollarme profesionalmente en la Dirección de Infraestructura y Obras Publicas de la Municipalidad Distrital de Los Olivos.

INDICE

•	INTRODUCCIÓN	1
•	CAPITULO I GENERALIDADES	3
•	CAPITULO II LOS POLÍMEROS COMO ADITIVO	7
	2.1 Definición de Polímeros.	8
	2.2 Características Básicas de los Polímeros.	9
	2.2.1 Estructura	9
	2.2.2 Peso Molecular.	10
	2.2.3 Enlaces.	10
	2.2.4 Transiciones de Fase.	11
	2.2.5 Parámetros de Solubilidad.	12
	2.3 Tipos de Polímeros Modificadores	13
	2.3.1 Polímeros Plastómeros	13
	a).EVA	15
	b).EMA	15
	c).PE	15
	d).PP	15
	2.3.2 Polímeros Elastómeros	16
	a).SBS/SIS .	18
	b).SBR	19
	c). EPDM	22
	2.3.3 Polímeros Termoendurecibles	23
	2.4 Propiedades de los Polímeros	23
	2.5 Ensayos y Caracterización de los Polímeros	26
	2.5.1 Ensayos Físicos:	27
	a). Resistencia a la Tracción	27
	b). Resistencia a la Flexión	28
	c). Resistencia a la Compresión	29
	d). Resistencia al Impacto.	29
	e). Dureza	30
	f). Resistencia a la Cortadura	30
	g). Ensayo de Punto de Ablandamiento	33
	h). Ensayo de Penetración	33
	i). Ensayo de Ductilidad	34
	j). Ensayo de Recuperación Elástica	34
	k). Otros Ensayos	35
	2.6 Polímeros Usados en Modificación de Cementos Asfálticos	36

2.7	Impacto de la Química en la preparación de nueva biotecnología	37
2.8	Impacto Social y Ambiental generado por Uso de los Polímeros	39
•	CAPITULO III ASFALTOS MODIFICADOS CON POLÍMEROS	40
3.1	Concepto.	41
3.2	Compatibilidad Asfalto – Polímero.	41
3.3	Preparación de Mezclas de Asfaltos con Polímeros	43
3.4	Preparación de Asfaltos Modificados con Polímeros Elastómeros.	44
3.5	Parámetros que Influyen en la de Modificación de Asfaltos	44
	• Naturaleza del Polímero.	46
	• Forma Física del Polímero	47
	• Naturaleza y Grado del Asfalto	48
	• Tipos de Equipo	48
	• Temperatura de Mezclado	48
3.6	Cambios en las Propiedades del Asfalto.	51
3.7	Mecanismos de Modificación	51
3.8	Cambios en las Mezclas Asfálticas	52
3.9	Resultados en el Pavimento	52
3.10	Estudios Experimentales	53
	• A nivel Mundial	53
	• En el Perú	55
3.11	Otros Usos	58
•	CAPITULO IV DETERIORO DE LA CARPETA ASFÁLTICA EN ZONAS DE ALTURA POR EFECTOS TERMICOS	59
4.1	Problemáticas de los Pavimentos en zonas de altura.	61
4.2	Consideraciones de medio ambiente utilizados por los métodos de diseño.	67
	a. Procedimiento de diseño del Instituto del asfalto MS -/91.	67
	b. Procedimiento de diseño Guia AASHTO – 93.	68
4.3	Investigación a la Carpeta Asfáltica zonas de altura (San Mateo-Huayre).	74
	4.3.1 Datos de clima.	80
	4.3.2 Propiedades del Asfalto.	82
	4.3.3 Características de la Mezcla.	87

4.4 Evaluación de los resultados.	90
4.4.1 Agrietamiento por baja temperatura.	101
4.4.2 Agrietamiento por fatiga térmica.	105
4.5 Criterios para mitigar agrietamientos.	111
• CAPITULO V APLICACIÓN DE ASFALTOS CON POLIMEROS EN BUENOS AIRES ARGENTINA.	121
5.1 Resumen.	122
5.2 Descripción del trabajo a Desarrollar.	123
• Especificaciones para el desarrollo del proyecto	128
• Ligante.	131
• Dosificación de la Mezcla	131
• Colocación de la Mezcla	132
• Elaboración de la Mezcla Asfáltica	133
• Control de la Calidad	134
• Plan de ensayos de autocontrol de calidad para la fabricación y colocación del micro aglomerado en caliente.	135
• Resultados obtenidos e implementación de la evaluación de comportamiento	137
5.3 Comparación de los asfaltos convencionales con los asfaltos modificados.	140
5.3.1 Asfaltos Convencionales	140
5.3.2 Asfaltos Modificados	140
5.3.3 Agregados Pétreos	141
5.4 Ensayos Realizados.	141
5.5 Envejecimiento de los Polímeros.	142
5.5.1 Envejecimiento a corto plazo (short aging oven)	142
5.5.2 Envejecimiento a largo plazo: Itao (long term aging oven)	144
5.5.3 Envejecimiento de la planta Asfáltica	147
5.6 Comentarios Finales del Proyecto.	148
• CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	151
• BIBLIOGRAFÍA	159
• ANEXOS	161

1. INTRODUCCION

INTRODUCCION

La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular). En un país como el Perú donde existe gran variedad de climas. Es necesario contar con una mejor infraestructura vial, en razón a esto en los últimos años solo se llevo avanzar un 3% del total de vías existentes en nuestro medio. Una alternativa viable que viene siendo utilizada en otros países es el uso de Cementos Asfálticos Modificados con Polímeros, estos ofrecen un avance notable en la tecnología de los Ligantes Asfálticos, dichos compuestos orgánicos mejoran las características mecánicas y reológicas prolongando la vida útil del pavimento en servicio. Esta orientación del uso de cementos asfálticos modificados involucra un necesario cambio y/o modificación de las infraestructuras ya existentes, tanto para la fase de producción y transporte hasta las instalaciones de uso, como para la aplicación y regulaciones sobre la construcción de carreteras. Por tanto, estudios de investigación enfocados a este tema resultan ser de valiosa importancia.

OBJETIVO

Mostrar que con el uso de los polímeros en la carpeta asfáltica, obtendríamos asfaltos con ligantes de mejores propiedades adhesivas; por ende se llegaría a reducir las deformaciones por ahuellamiento, el agrietamiento por efectos térmico a altas y bajas temperaturas.

CAPITULO 1 : GENERALIDADES

CAPITULO I

GENERALIDADES

La más antigua referencia que se encuentra está en las patentes británicas publicadas en el año de 1843, siendo una de las más requeridas la del señor Thomas Handcock, famoso por descubrir la vulcanización del caucho. En 1943 se listaron más de 116 referencias entre patentes y artículos técnicos acerca de mezclas asfálticas-elastómeros. El mayor uso de mezclas en capas de rodadura, juntas sellantes e impermeabilizaciones.

En términos de vías pavimentadas con adiconamiento de plásticos para aumentar la resistencia podemos nombrar varias construidas en Ámsterdam, Holanda, en 1936, las cuales soportaron todo el tráfico pesado de la invasión a Alemania y su posterior retirada en la guerra mundial, la cual impresionó por su perfecto desempeño hasta el punto de crear exhaustivas recomendaciones para su construcción posterior en Europa y Estados Unidos.

La caída del precio del caucho en la década del treinta aceleró el desarrollo de mezclas asfálticas con incorporación de caucho a través de numerosas asociaciones, grupos económicos, laboratorios y centros de investigación públicos y privados.

Durante el XVIII Congreso Mundial de Vías, realizado en Sydney, Australia, en octubre de 1983, fue presentada la utilización de látex en cada país, debido principalmente al precio del petróleo.

Australia, Bélgica, Francia, Gran Bretaña, Portugal, Estados Unidos, España y Alemania han desarrollado procesos de modificación de los cementos asfálticos

con la incorporación de polímeros (elastómeros) de manera tal que han mejorado las propiedades y obtenido resultados más económicos.

En Francia el empleo ha sido cada vez mayor, a partir de la “Jornada de Estudios de Asfalto-Caucho” realizada en LCPC en 1964, siendo adoptadas las normas técnicas, después de quince años de estudio sobre modificaciones más favorables obtenidas a través de compuestos macromoleculares para el refuerzo de carreteras.

En España se usa látex en las capas asfálticas, especialmente para mejorar las características del ligante entre los agregados y con ello aumentar la resistencia mecánica, la susceptibilidad térmica y las condiciones reológicas generales. Varios estudios fueron realizados en el año de 1985 en España por el ingeniero Miguel Ángel Del Val, donde se sustituía un porcentaje de betún por desperdicio plástico doméstico y era probado en el ensayo de pista de laboratorio, con una rueda maciza de 10 centímetros de radio y 5 centímetros de ancho que aplica una carga fija sobre una probeta prismática de 30 centímetros de ancho por 30 centímetros de largo y 5 centímetros de alto y contenida en un molde de acero. Los resultados obtenidos fueron de que la susceptibilidad a las deformaciones permanentes de la mezcla asfáltica en las que el asfalto se ha sustituido parcialmente por desperdicio plástico.

En Brasil, las primeras experiencias fueron realizadas por el ingeniero Jean Claude Vogt, en Bahía, en 1968, con concreto asfáltico al introducirle látex SBR en forma manual a un mezclador. En 1969 el mismo ingeniero, con la colaboración de Farra, creó un tramo experimental entre dos poblaciones e introdujo el látex como parte del betún.

**Cantidades empleadas anualmente (en Tn) de Cemento Asfáltico Modificado.
Periodo 1996 – 1999**

País	Elastómeros	Plastómeros	Polvo de Caucho	Otros ligantes	Total
Francia	200	50	1	0	251
Alemania	230	15	5	0	250
Japón	s/d	s/d	s/d	s/d	182
España	72	36	0	0	110
Italia	80	0	0	0	80
Australia	30	15	22.5	0	67.5
Reino Unido	45	5	4	12	66
Canadá	19		30		49
Austria	31	0	2.5	7	40.5
Argentina	17.603	4.576	0	12.112	34.291
Benelux	s/d	s/d	s/d	s/d	18
Rusia	13.2				13.2
Polonia	12	0	350	0	12.35
Portugal	7	3.5	150	0	10.65
Irlanda					10
Malasia	2	0	5	0	7
Dinamarca					6
Hungría	2.8	500			3.3
Brasil	2.8				2.8
Suecia	1.5				1.5
Ucrania	950				1.45
Noruega	1				1
Marruecos					0
Suiza					0

Por su parte, la relación entre los diferentes tipos de modificadores es:

Ligantes modificados con Elastómeros	75%
Ligantes modificados con Plastómeros	15%
Otros	10%

CAPITULO 2 : LOS POLIMEROS COMO ADITIVOS

CAPITULO II

LOS POLIMEROS COMO ADITIVO

2.1 DEFINICION DE POLIMEROS.-

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.

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 muy buena 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. Las más comunes, denominadas Fuerzas de Van der Waals.

COPOLIMERO.- Un copolímero es un polímero formado por dos diferentes tipos de monómeros.

2.2 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LOS POLIMEROS

2.2.1 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.

2.2.2 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.

2.2.3 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.

2.2.4 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.



2.2.5 PARAMETROS 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 solvatarse para dar un gel hinchado.

2.3 TIPOS DE POLIMEROS MODIFICADORES

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 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.

2.3.1 POLIMEROS PLASTOMEROS

Polietileno, 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.

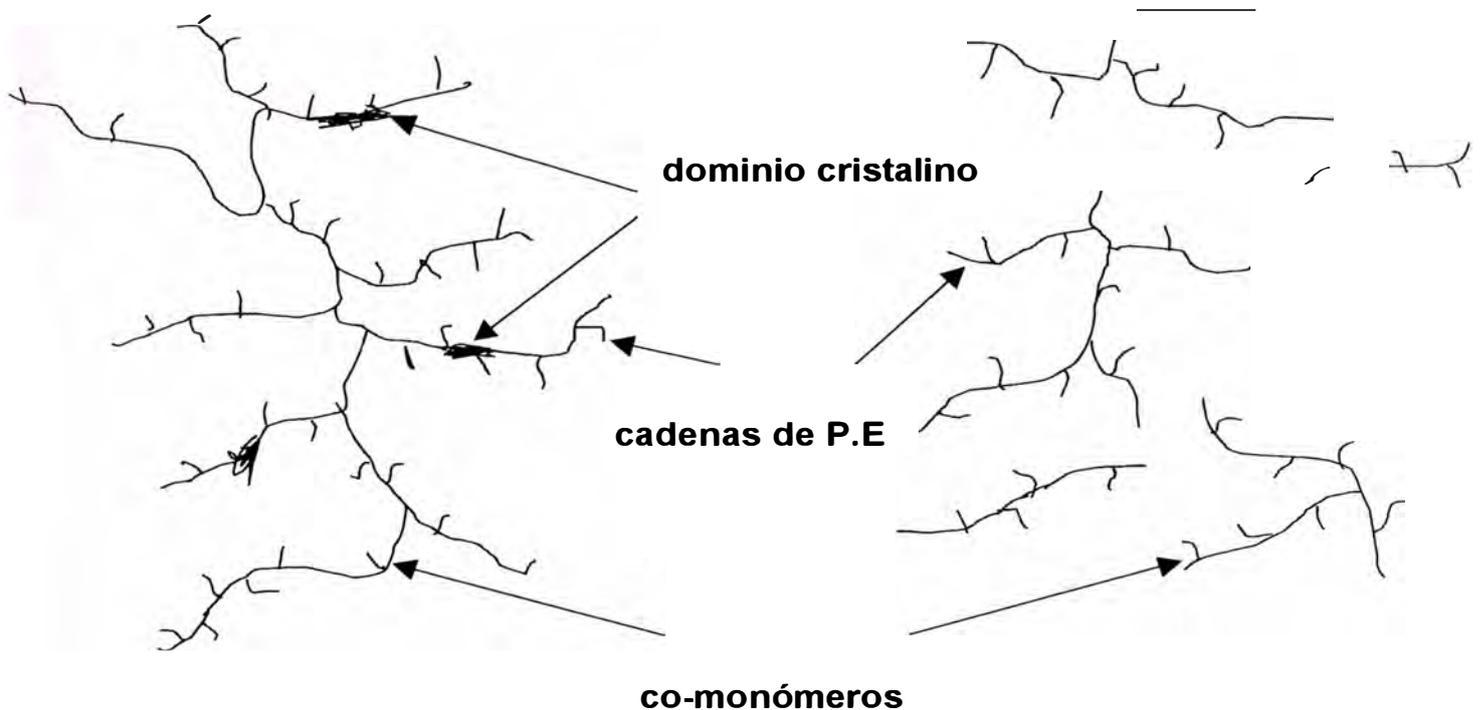
Los copolímeros del etileno son macromoléculas ramificadas, obtenidas por polimerización vía radicales libres a alta presión del etileno con un comonomero.

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.

La cristalinidad está directamente relacionada con el contenido del monómero. Los fenómenos de cristalización y fusión son termoreversibles.

**Temperatura ambiente:
sólido viscoelástico**

**Alta Temperatura.
líquido fundido**



ESQUEMA DE TERMOREVERSIBILIDAD DE LOS COPOLIMEROS 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, modificando el drenaje del material.

Sus mayores ventajas son la resistencia a la flexión y la estabilidad térmica, además de un costo razonable.

Los Polímeros Plastómeros al estirarlos se sobrepasa la tensión de fluencia, no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación. Tienen deformaciones pseudoplásticas con poca elasticidad.

Dentro de estos tenemos:

- a) EVA: etileno-acetato de vinilo.
- b) EMA: Etileno-acrilato de metilo
- c) PE: (polietileno) tiene buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas.
- d) PP: (Polipropileno).

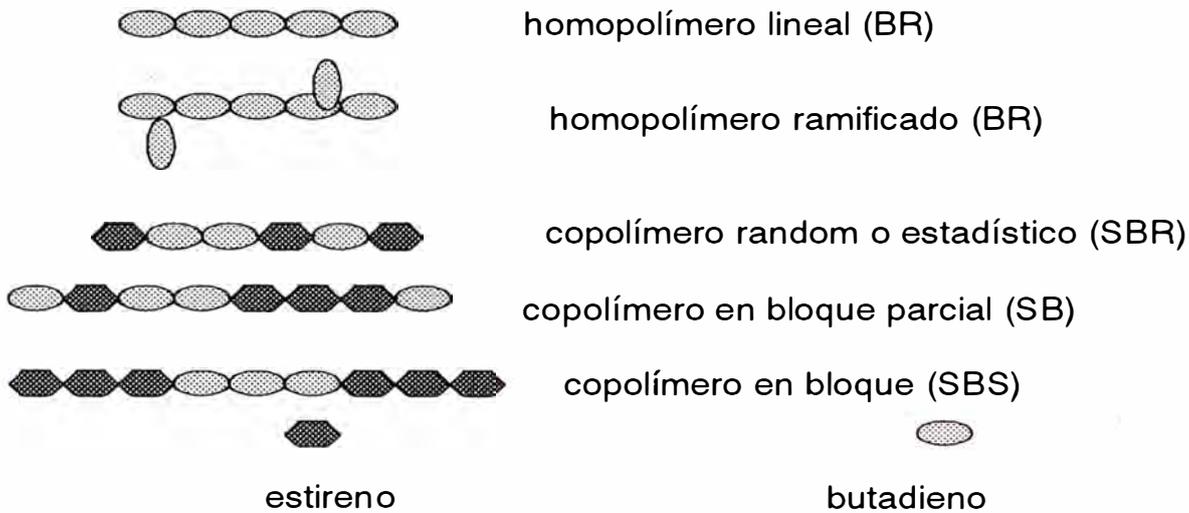
e) Poliestireno: no son casi usados.

f) 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.

2.3.2 POLIMEROS 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 copolimeros pueden ser usados. Los más comunes son copolimeros 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.



REPRESENTACIÓN DE VARIOS ELASTOMEROS

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 micro separación 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 reticulación. Cuando el SBS es disuelto en un cemento asfáltico apropiado, una porción estirenica será solvatada por los compuestos aromáticos de los asfaltos, formando 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.

Las industrias que producen los modificadores afirman que estos aditivos minimizan los aspectos mencionados anteriormente, eliminando la variabilidad en los cementos asfálticos aumentando la vida útil de los pavimentos y la seguridad vial.

Aditivos Viscoelásticos

Básicamente producidos para la reducción de agrietamientos por cambios bruscos de temperatura o por fatiga; la propiedad viscoelástica del polímero crea una mezcla final flexible con un flujo reológico óptimo sin provocar el rompimiento de las complejas moléculas de las mezclas asfálticas.

Adhesividad de los Modificadores

Con el uso de los modificadores **SBR** se mejora la adhesividad así como la cohesividad de los agregados. Esto se observa especialmente en tratamientos superficiales de capas delgadas con emulsiones asfálticas.

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.

Las industrias que producen los modificadores afirman que estos aditivos minimizan los aspectos mencionados anteriormente, eliminando la variabilidad en los cementos asfálticos aumentando la vida útil de los pavimentos y la seguridad vial.

Aditivos Viscoelásticos

Básicamente producidos para la reducción de agrietamientos por cambios bruscos de temperatura o por fatiga; la propiedad viscoelástica del polímero crea una mezcla final flexible con un flujo reológico óptimo sin provocar el rompimiento de las complejas moléculas de las mezclas asfálticas.

Adhesividad de los Modificadores

Con el uso de los modificadores **SBR** se mejora la adhesividad así como la cohesividad de los agregados. Esto se observa especialmente en tratamientos superficiales de capas delgadas con emulsiones asfálticas.

Impermeabilidad y minimización del desprendimiento de agregados

Con los polímeros **SBR** se produce una adherencia óptima con los agregados que forman una barrera protectora contra la humedad y a la vez reducen el desprendimiento de los agregados de la mezcla asfáltica.

Viscosidad a altas Temperaturas

Los polímeros **SBR** tienen una característica y comportamiento muy ventajoso con relación a altas temperaturas. Las mezclas asfálticas tienden a mantener una viscosidad alta a pesar de la temperatura alta, lo cual minimiza los problemas de desmoronamiento y acanalamiento. Estas propiedades se han demostrado en lugares de clima cálidos. El Estireno Butadieno ayuda a reducir la frecuencia y severidad de la deformación permanente de los pavimentos. El aumento de la elasticidad del polímero permite al sistema recuperar rápidamente de la deformación en comparación con los asfaltos no modificados.

Reducción de rigidez a bajas temperaturas

En comparación con lo mencionado en el punto anterior las mezclas asfálticas con polímero Estireno Butadieno también se comportan de una forma que evitan la rigidez de las estructuras asfálticas y rompimiento de las cadenas complejas de moléculas a bajas temperaturas. Las propiedades viscoelásticas son óptimas cuando se construyen vías en zonas de altura y de temperaturas medias / bajas. Se mantienen elasticidades que en asfaltos sin aditivos no se logran.

Resistencia al envejecimiento proceso de oxidación lento

La adición de un modificador Estireno Butadieno reduce los efectos de envejecimiento en un cemento asfáltico en forma notable. La experiencia lo ha demostrado a través del tiempo.

Envejecimiento y proceso de oxidación son sinónimo y por lo tanto al agregar un Estireno Butadieno el proceso es mas lento y por lo tanto se aumenta la vida de las estructuras asfálticas.

C). EPDM

Son copolímeros del etileno, propileno y un dieno. Presentan buena resistencia al oxígeno, al ozono, al calor y a la luz, además de presentar buenas propiedades mecánicas de flexibilidad al frío. La compatibilidad con relación al asfalto dependerá mucho de la composición del asfalto.

Los Polímeros Elastómeros al estirarlos, a diferencia de los anteriores, estos vuelven a su posición original, es decir, son elásticos.

Dentro de estos tenemos:

- Natural: caucho natural, celulosa, glucosa, sacarosa, ceras y arcillas son ejemplos de polímeros orgánicos e inorgánicos naturales
- SBS:(estireno-butadieno-estireno) o caucho termoplástico. Este es el más utilizado de los polímeros para la modificación de los asfaltos, ya que este es el que mejor comportamiento tiene durante la vida útil de la mezcla asfáltica.
- SBR: Cauchos sintéticos del 25% de Estireno y 75% de butadieno; para mejorar su adhesividad se le incorpora ácido acrílico
- EPDM: (polipropileno atáctico) es muy flexible y resistente al calor y a los agentes químicos.

2.3.2 POLIMEROS TERMOENDURECIBLES:

Estos tienen muchos enlaces transversales que impiden que puedan volver a ablandarse al calentarse nuevamente. Son ejemplos de estos las resinas epóxi; estas se usan en grandes porcentajes, mayores al 20%, son muy costosas y se utilizan para casos especiales (ejemplo: playa de camiones)

2.4 PROPIEDADES DE LOS POLIMEROS

Para que los asfaltos con polímeros consigan las prestaciones óptimas, hay que seleccionar cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatible con el material asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje. Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de esta el polímero solo actúa como un filler; y por debajo de esta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia.

Sobre la idoneidad de un polímero para una aplicación dada, generalmente comprende una combinación compleja de propiedades. Algunas 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

Coefficiente 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	+	+	+	+
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
<p>Temperatura de transición vítrea</p> <p>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</p>
<p>Solubilidad</p> <p>Favorecida por longitudes bajas de cadena Aumento del contenido amorfo Fuerzas reducidas entre cadenas Desorden y disimetría Aumentos de temperatura Disolventes compatibles</p>
<p>Cristalinidad</p> <p>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</p>

2.5 ENSAYOS Y CARACTERIZACION DE LOS POLIMEROS

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.

2.5.1 ENSAYOS FISICOS

a) RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

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

$$\textit{Resistencia Tracción (Pa) = Fuerza (N) / Área (m2)}$$

Es la medida de la capacidad de un polímero a resistir los esfuerzos de estiramiento, normalmente se mide aplicando un esfuerzo a una probeta, tal

como se muestra en la **Fig. 1**, 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 FLEXION

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 se ve en la **Fig.2**. 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, como se muestra en la **Fig.3**. 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. **La Fig.4** representa dos ensayos de caída de masa comunes. 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), que se muestra en la **Fig.5**, 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.

Fig. 1 **Ensayo de Tracción**

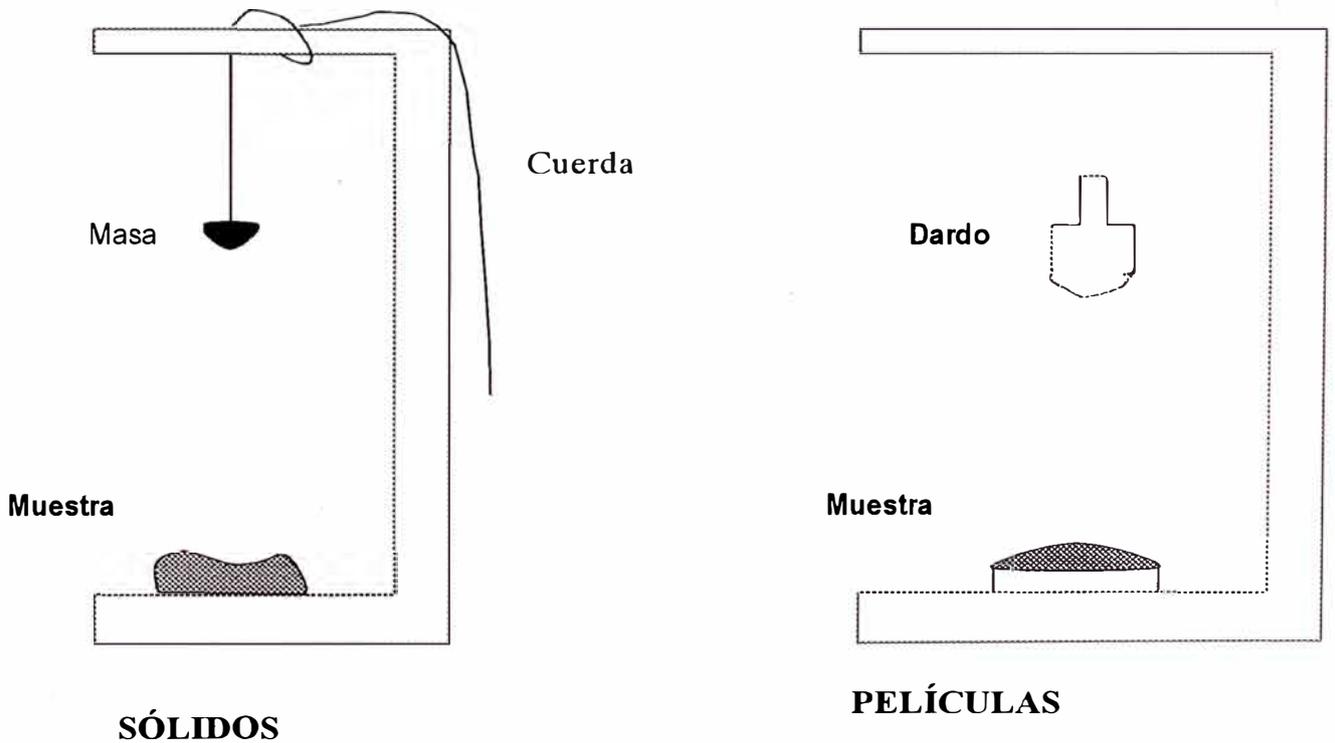
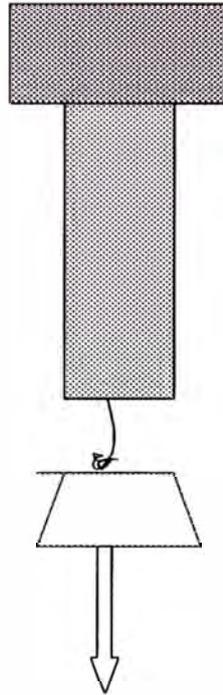


Fig. 4 **Ensayo de Resistencia al Impacto**

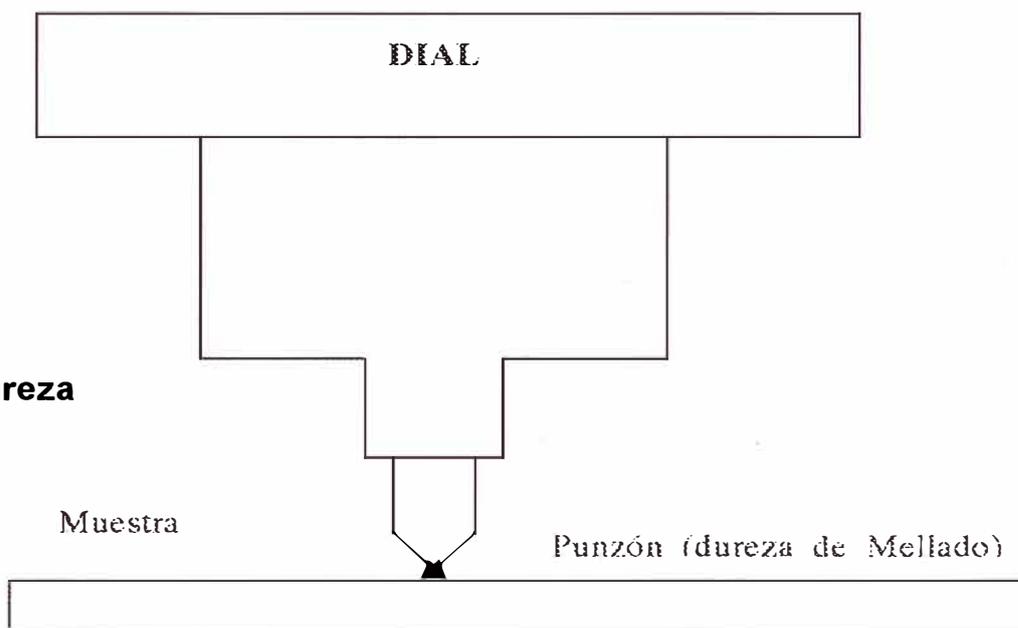


Fig. 5 Ensayo de Dureza

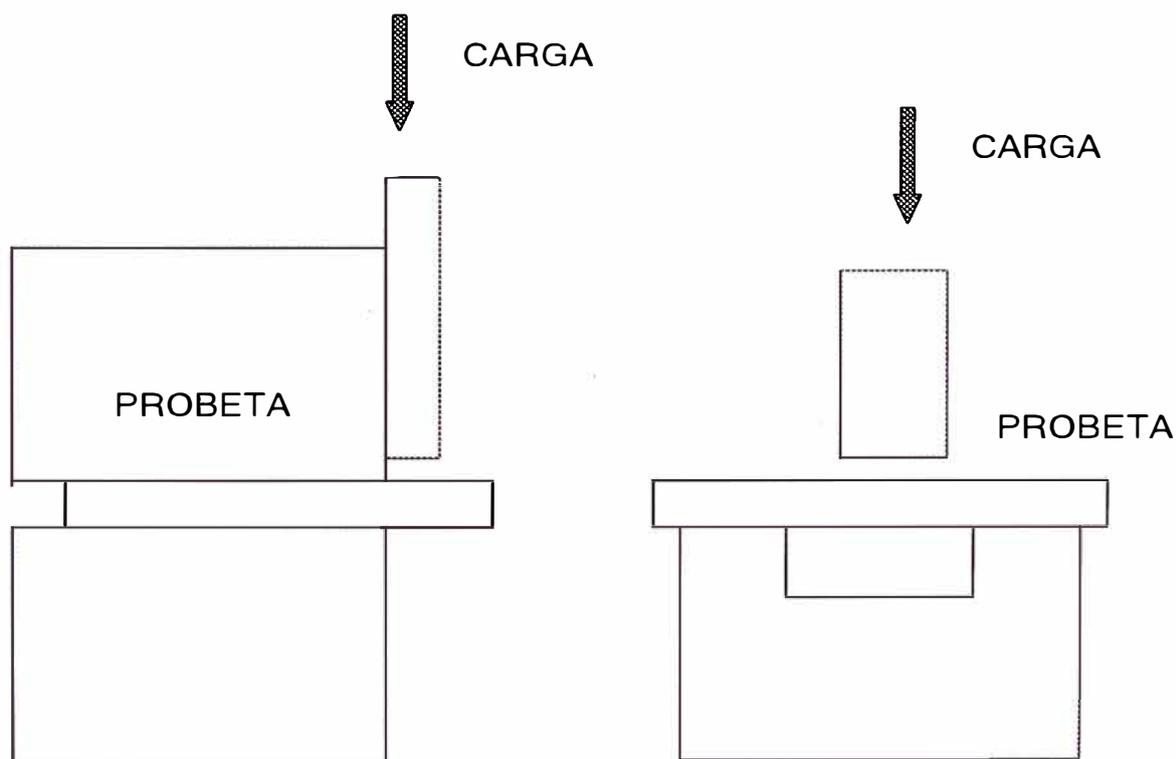


Fig.6 Ensayo de Resistencia a la Cortadura

g) ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO.

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

h) ENSAYO DE PENETRACION.

Este Modo Operativo está basado en las Normas D 5 y AASHTO T 49, las mismas que se han adaptado al nivel de implementación y a las condiciones propias de nuestra realidad. Cabe indicar que el modo operativo esta sujeto a revisión y actualización continua.

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

i) ENSAYO DE DUCTILIDAD.

Determina la ductilidad de los materiales asfálticos de consistencia sólida y semisólida. Consiste en someter una probeta del material asfáltico a un ensayo de tracción, en condiciones determinadas de velocidad y temperatura, en un baño de agua de igual densidad, siendo la ductilidad la distancia máxima en cm, que se estira la probeta hasta el instante de la rotura. Normalmente, el ensayo se realiza con una velocidad de tracción de 5 cm./min 5.0% y la temperatura de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ($77 \pm 1.0^{\circ}\text{F}$); aunque puede realizarse en otras condiciones de temperatura y velocidad de acuerdo a especificaciones.

j) ENSAYO DE RECUPERACIÓN ELÁSTICA.

Describe el procedimiento que se debe seguir para determinar el grado de elasticidad que presentan los asfaltos modificados, en particular con polímeros, de aplicación en construcción de carreteras.

En Casos particulares de clima, orografías de tránsito, se pueden utilizar los productos generalmente polímeros, que incorporados al ligante asfáltico modifican las características de este con el objeto de mejorarlo funcionalmente. La incorporación al ligante de algunos tipos de polímeros proporciona a aquel una elasticidad mayor que la que presenta sin el polímero.

En el procedimiento que se describe, un cilindro de dimensiones especificadas se sumerge en la muestra del ligante bituminoso modificado.

Mediante un dispositivo de torsión se gira el cilindro 180° y se determina, después de 30 minutos, el ángulo recuperado por él.

k) OTROS

ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO DE ASFALTOS MODIFICADOS

En circunstancias especiales climáticas, orografías o de tránsito se pueden utilizar productos generalmente polímeros que adicionados al ligante asfáltico modifican algunas o varias de las características de este con el objeto de mejorarlo funcionalmente.

Durante el almacenamiento a temperaturas elevadas se pueden producir, en los ligantes modificados, fenómenos de cremados o de sedimentación, enriqueciéndose al ligante en polímeros en la parte inferior o superior del tanque en función de sus densidades respectivas. Este fenómeno puede ser propiciado por dispersión incorrecta del polímero en el ligante o por incompatibilidad entre ambos.

Además tenemos las últimas Normas Técnicas Peruanas (Ver Anexos):

NTP 321.146-2003 "PETROLEO Y DERIVADOS. Cemento Asfáltico Modificados con Polímeros Tipo I para uso en Construcción de Pavimentos. Especificaciones."

NTP 321.147-2003 "PETROLEO Y DERIVADOS. Cemento Asfáltico Modificados con Polímeros Tipo II para uso en Construcción de Pavimentos. Especificaciones."

NTP 321.149-2003 "PETROLEO Y DERIVADOS. Cemento Asfáltico Modificados con Polímeros Tipo IV para uso en Construcción de Pavimentos. Especificaciones."

NTP 321.151-2002 "PETROLEO Y DERIVADOS. Cementos Asfálticos Especificaciones."

2.6 POLIMEROS USADOS EN MODIFICACION 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
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	---

POLIMEROS COMERCIALES EN EL PERU

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 POLIMEROS:

Emulsiones Asfálticas Con Polímeros SBR:

- Emulsiones Asfálticas E.I.R.L
- Bituper S.A.
- Asfaltos Especiales del Perú S.R.L.

Cemento Asfáltico Modificado Con Polímero:

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

2.7 IMPACTO DE LA QUÍMICA EN LA PREPARACIÓN DE NUEVA BIOTECNOLOGÍA

La Química influye en nuestra vida de muy diversas formas. Cuando una persona (o animal) está enferma, el médico (o el veterinario) le prescribe ciertos medicamentos que han sido descubiertos por los químicos.

Por otra parte, investigaciones químicas han permitido descubrir fibras, plásticos y cauchos sintéticos como los que se usan en los neumáticos y en otras partes de los automóviles y maquinarias. En los laboratorios químicos se han desarrollado fertilizantes sintéticos que incrementan la producción de alimentos de los terrenos cultivados.

La Química en su constante proceso de experimentación también ha producido y produce hormonas, que ayudan a un mejor funcionamiento del organismo. Entre estas hormonas sintéticas se tienen las píldoras anticonceptivas, hormona sexual masculina y la hormona sexual femenina, insulina, hormonas suprarrenales, hormonas tiroideas, y antitiroideas, hormona contra la esterilidad y muchas otras más. Así mismo, la biotecnología química ha conducido a la preparación de vitaminas, tales como la A, B (y sus diferentes variantes), D, C, E y K y el ácido desoxirribonucleico.

2.8 IMPACTO SOCIAL Y AMBIENTAL GENERADO POR EL USO DE LOS POLÍMEROS

ASPECTOS POSITIVOS

Un gran número de materiales están contruidos por polímeros y muchos de ellos son irremplazables en el actual mundo tecnológico.

ASPECTOS NEGATIVOS

La inadecuada eliminación de los polímeros contribuye en buena parte a la degradación ambiental por acumulación de basura.

Muchos artículos de plástico son peligrosas armas destructivas. Por ejemplo, las bolsas plásticas pueden ser causantes de asfixia si se recubre la cabeza con ellas y no se logra retirarlas a tiempo.

Especies como la tortura gigante, mueren al ingerir bolsas plásticas que flotan en el mar, confundiéndolas con esperma de peces, su alimento habitual.

La no biodegradación impide su eliminación en relleno sanitario y además disminuye notablemente la presencia de colonias bacterianas en torno a los plásticos.

La incineración puede generar compuestos venenosos. Por ejemplo, HCl (g) y HCN (g)

Los envases plásticos empleados para alimentos no pueden volver a usarse ya que no existen métodos efectivos de esterilización.

CAPITULO III : ASFALTO MODIFICADO CON POLIMEROS

CAPITULO III

ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS

3.1 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.

3.2 COMPATIBILIDAD ASFALTO – POLIMERO

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 Vítreo, 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 estabilidades 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

3.3 PREPARACION DE MEZCLAS DE ASFALTOS CON POLIMEROS

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.

3.4 PREPARACION DE ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS 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.

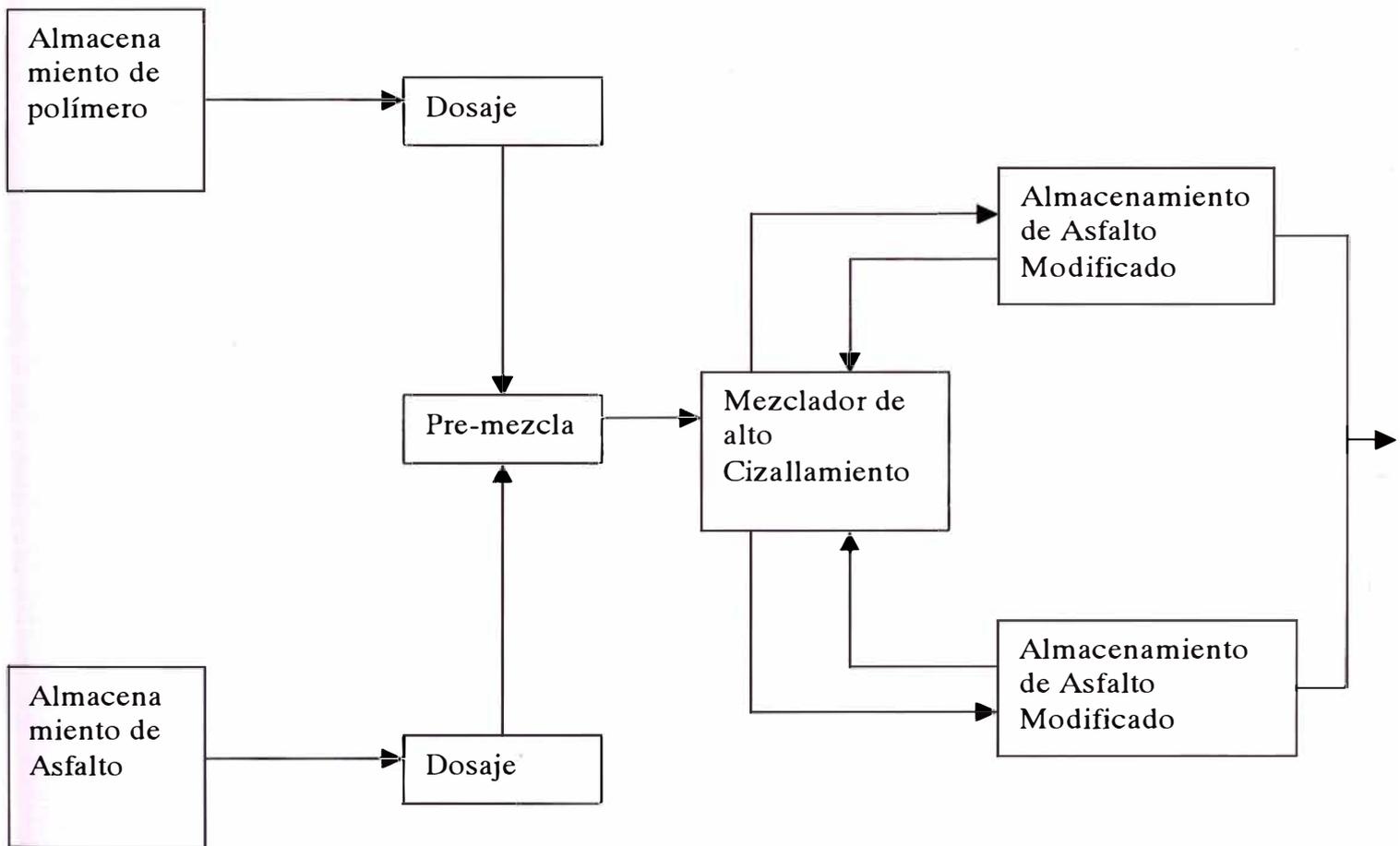


Fig. DIAGRAMA DE PRODUCCIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS CON ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS ESTIRENICOS

3.5 PARAMETROS QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE MODIFICACION 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:

Naturaleza del Polímero

Forma Física del Polímero

Naturaleza y Grado del Asfalto

Tipo de Equipo

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.

3.5.1 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.

3.5.2 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.

3.5.3 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 asfaltenos.

Los maltenos además de mantener en dispersión a los asfaltenos 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 asfaltenos podría resultar tarde o temprano, durante el mezclado o durante el servicio, en la segregación de los asfaltenos y/o el polímero.

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

Sin embargo, es arriesgado que la selección del asfalto sea hecha únicamente sobre la base de su curva de viscosidad / temperatura o 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.

3.5.4 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.

3.5.5 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.

Propiedades y especificaciones de los asfaltos modificados con polímeros.

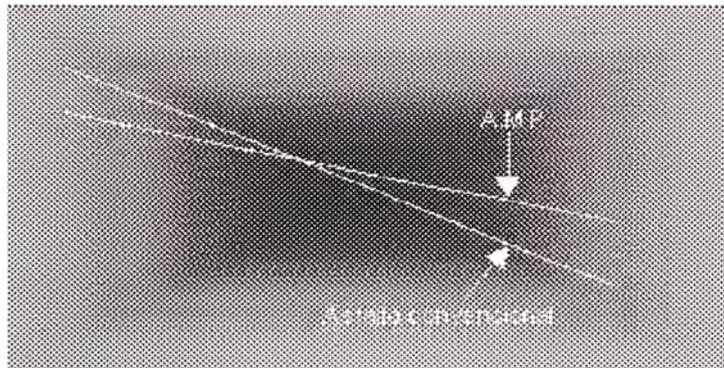
Propiedades

Polímeros utilizados con asfaltos	
Tipo de modificador	Grado de modificación

Los asfaltos modificados con polímeros están constituidos por dos fases, una formada por pequeñas partículas de polímero hinchado y la otra por asfalto. En las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella.

Esta micromorfología bifásica y las interacciones existentes entre las moléculas del polímero y los componentes del asfalto parecen ser la causa del cambio de propiedades que experimentan los asfaltos modificados con polímeros.

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



Otras propiedades que el asfalto modificado mejora respecto del asfalto convencional son:

- Mayor intervalo de plasticidad (diferencia entre el punto de ablandamiento y el Fraass)
- Mayor cohesión.
- Mejora de la respuesta elástica.
- Mayor resistencia a la acción del agua.
- Mayor resistencia al envejecimiento.

Las propiedades que estos imparten dependen de los siguientes factores:

- Tipo y composición del polímero incorporado.
- Característica y estructura coloidal del asfalto base.

- Proporción relativa de asfalto y polímero.

3.6 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

3.7 MECANISMOS DE MODIFICACIÓN

PRIMERA ETAPA

El polímero está completamente encogido en estado en reposo (fracciones estireno y butadieno).

SEGUNDA ETAPA

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.

TERCERA ETAPA

El polímero se extiende, disolviéndose completamente dentro del asfalto por su geometría y por su anclaje con otros elementos.

3.8 CAMBIOS EN LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Una mezcla con polímero presenta mejores características mecánicas en laboratorio que una mezcla convencional.

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.

En ensayos Marshall, las mezclas asfálticas modificadas con SBR han demostrado una estabilidad mayor, que refleja la “Fuerza Adhesiva”.

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.

3.9 RESULTADOS EN EL PAVIMENTO

Mejora la resistencia a la fatiga.

Mejora la resistencia a la deformación permanente.

Mejora el desempeño a altas temperaturas.

Reduce la formación de Roderas.

Reduce significativamente los costos de mantenimiento.

Aumenta la durabilidad de la carretera a largo plazo

3.10 ESTUDIOS EXPERIMENTALES

3.10.1 A NIVEL MUNDIAL

Efecto del Modificador de Asfaltos Conaflex en el Comportamiento Reológico del Cemento Asfáltico de Colombia.

Ing. Jorge Peña Caicedo, ing. Luisa Avalos Peralta -Colombia.

En el estudio de laboratorio se evaluó la influencia del modificador Conaflex en las propiedades físicas, químicas y reológicas del asfalto que produce la refinería de Barrancabermeja (Colombia). Para ello se mezcló el Cemento Asfáltico original con tres diferentes porcentajes en peso de Conaflex (2%, 3%, 4%), calentando el asfalto a una temperatura entre 160 y 175°C, en un tiempo aproximado de dos horas con agitación constante.

Conclusiones:

En porcentajes mayores al 1% de Conaflex, se presenta una disminución en la susceptibilidad térmica. El asfalto, a medida que recibe mayor porcentaje del polímero, se hace más consistente, más rígido, menos deformable a altas temperaturas de servicio y menos manejable para contenidos de polímero superiores al 2%. Mejoran las características elásticas del asfalto si se aumenta el grado de recuperación hasta un 3% de Conaflex incorporado, a partir del cual se nota un incremento de la rigidez. El aumento de la tenacidad se hace más significativa para el 4%.

-Primeras Experiencias con Asfaltos de Características Anticarburentes en Argentina.

Ing. Jair, Mario Roberto, Dr. Agnusdei, Jorge - Argentina

Se comentan las primeras experiencias realizadas en Argentina, con ligantes especiales “Resistentes a los combustibles”, que contraresten el efecto agresivo de los combustibles sobre los pavimentos asfálticos en sectores considerados críticos, como cabeceras y calles de rodajes en aeropuertos, zonas de estacionamiento, etc.

-Envejecimiento de Asfaltos Modificados por el método del Rotavapor.

Ing. Diego Larsen, Ing. Hugo Bianchetto, Ing. Rodolfo Nosetti.

Se analizaron seis asfaltos modificados, dos de ellos con EVA y los restantes con SBS. La evaluación se realizó con la inyección de distintos gases inertes, como el nitrógeno, el aire y el oxígeno, a partir del estudio de las características originales de los asfaltos y las que se obtienen después de los procesos de envejecimientos. Al inyectar el nitrógeno se observa en los asfaltos modificados, la estabilidad del polímero a altas temperaturas, como así también la estabilidad ligante-polímero y el comportamiento del asfalto base por pérdida de sus componentes volátiles.

-Desarrollo de Mezclas de Alto Módulo en Argentina.

Ing. Jair, Mario Roberto, Dr Agnusdei, Jorge, Ing. Marcozi, Rosana. – Argentina.

Son mezclas asfálticas que poseen un alto módulo de rigidez, el cual puede resultar 2 a 3 veces superior al de las mezclas convencionales densas.

Además, presentan una mayor resistencia a la fatiga y un comportamiento muy superior frente a las deformaciones plásticas.

A nivel mundial se han realizando innumerables trabajos con ligantes especiales los cuales a continuación simplemente procederemos a enumerar.

-Estudie Prepara e Caracterizacao de Asfaltos Modificados por Polímeros - Ieni f.m. Ieite. (1999).

-Avaliacao da faixa de Plasticidade e Viscoelasticidade de Asfaltos Modificados por Polimeros.

Ieite I. f.m, Constantino (1998).

-Recycling of Post – Consumer Polymer as Bitumen Modifiers and Applications – Bellio e. (1998).

-Thermoplastic Elastomer and Bitumen Blends for Roof and Road – a.I. bull and w.c (1994).

-Heating, Mixing and Storing Modified Asphalt

Jim May & Tom Wilkey (1946).

-Rheological Performance of Aged Polymer Modified Bitumens brown s.f. (1998).

3.10.2 EN EL PERU

Efectos Térmicos en Mezclas Asfálticas con Asfaltos Modificados.

Ing. Mercedes Sancho Ponce. (1998).

El objetivo de esta investigación consistió en establecer en que forma la incorporación del polímero cambia las propiedades físico-mecánicas y los parámetros reológicos de los asfaltos bituminosos con ellos elaborados.

Los materiales empleados para los ensayos fueron:

-Los polímeros S (Látex sintético ó resina en solución acuosa), polímero E (Copolímero de olefina); cada uno en concentraciones diferentes.

-Los asfaltos de penetración 60-70, 85-100, y 120-150 procedentes de la Refinería Conchan.

Concluyéndose que la estabilidad Marshall de las mezclas elaboradas con estos asfaltos modificados, se incrementan notablemente, a medida que aumenta el porcentaje del polímero incorporado.

Las condiciones de adherencia de la mezcla de áridos a la mezcla de asfalto-polímero de tipo “E” y “S” han sido óptimas.

La resistencia a la acción deteriorante del agua, se ve favorecida por la incorporación del polímero.

La modificación de asfaltos mediante la incorporación de los polímeros “E” y “S” conduce a la reducción de la susceptibilidad térmica.

Modificación de Asfaltos con Polimeros.

Ing. Wendy Herencia Peña – FIQM –UNI. (2001)

En la búsqueda de ligantes bituminosos con mejores cualidades físicas y químicas que los actuales asfaltos convencionales, fueron preparados y evaluados en laboratorio, un total de veintisiete formulaciones asfálticas modificadas utilizando cuatro polímeros distintos: Polietileno (PE), Copolímero Etil-Vinil Acetato (EVA), Copolímero Estireno-Butadieno-Estireno

(SBS) y Copolímero Estireno-Butadieno (SB), dando los siguientes resultados:

Los asfaltos modificados con PE, presentaron la mejor compatibilidad y estabilidad al almacenamiento de todas las formulaciones preparadas; aumentando además ligeramente su viscosidad. La resistencia al envejecimiento fue ligeramente superior.

Los asfaltos modificados con EVA, presentaron mejor compatibilidad con el asfalto PEN 120/150, sin embargo, la estabilidad al almacenamiento no fue positiva en ninguna de las formulaciones preparadas, la resistencia al envejecimiento fue ligeramente superior a los asfaltos sin modificar.

Los asfaltos con SBS, presentaron buena compatibilidad y estabilidad al almacenamiento, con 4% y 5% de polímero en la mezcla, alta resistencia al envejecimiento, altos valores de recuperación elástica y gran flexibilidad a bajas temperaturas.

Los asfaltos con SB, sólo obtuvieron buen resultado en compatibilidad y estabilidad al almacenamiento con 5% de polímero.

Modificación de Asfaltos Mediante el Uso de Látex Estireno-Butadieno (SBR).

César Ostos, Robert Racz, Koichitakamura – BASF(USA).

Experiencias Sobre el Uso de Asfalto Modificado con Polímero Para Carpeta Asfáltica, en la Carretera Guaqui-Desaguadero.

Ing. Pablo Del Águila.

Asesoría a Empresas Constructoras y Tesistas, en trabajos de Investigación.

Ing. Néstor Huaman Guerrero.

Técnicas de Diseño de Slurry Seal con Emulsión Modificada.

Ing. Iván Chávez Roldán – BITUPER SAC.

VI.10 OTROS USOS

Los asfaltos modificados se deben emplear en construcción de carreteras, en aquellos casos específicos en que las propiedades de los ligantes tradicionales son insuficientes para cumplir con éxito la función que tienen encomendada.

Los campos de aplicación más frecuentes de estos materiales son:

- Mezclas drenantes.
- Mezclas en caliente en capas delgadas (Microaglomerados en caliente).
- Mezclas bituminosas altamente resistentes para cada de rodadura.
- Tratamientos superficiales mediante riego con gravilla.
- Lechadas bituminosas.
- Membranas absorbentes de tensiones.
- Mezclas de alto módulo.
- Emulsiones asfálticas..

***CAPITULO IV : DETERIORO DE LA CARPETA
ASFÁLTICA EN ZONAS DE ALTURA POR EFECTOS
TERMICOS***

CAPITULO IV

DETERIORO DE LA CARPETA ASFÁLTICA EN ZONAS DE ALTURA POR EFECTOS TERMICOS

Debido a la necesidad de integración en nuestro país, las carreteras se han constituido en el principal eje de articulación entre las regiones de la costa, sierra y selva; presentando este hecho uno de los mayores retos de la Ingeniería nacional al paso forzado por la difícil geomorfología de los andes peruanos, significando este sector, una de las mayores desventajas en el desempeño de las carreteras, debido a los niveles de diferencial térmico, exposición solar, vientos, presencia de agua superficial y agua subterráneo. A ello se le suma la falta de materiales adecuados para las construcción, equipo y tecnología propia.

En todos estos casos donde las vías han sido pavimentadas, el material utilizado 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 constatado que los pavimentos construidos 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 a la falta de tecnología que represente el comportamiento de los pavimentos en estas regiones. Sin embargo, se ha ido implementado 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 constructores y consultores nacionales.

4.1. PROBLEMÁTICAS DE LOS PAVIMENTOS EN ZONAS 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 1993. 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 mas importantes se puede mencionar: a) Que los cementos asfálticos usados no cumplían con las especificaciones ASTM, AASHTO:

- A) Recomendando el uso del asfalto de penetración PEN 85-100, con especial cuidado en el sobrecalentamiento, debido a la baja ductibilidad y valores de residuo observados.
- B) Mejoramiento de los procesos constructivos y control de calidad.
- C) Se relaciona los valores bajos de modulo de subrasante y superficie de rodadura con las grietas y deterioro de la carpeta, a partir de mediciones de deflexión bajo carga.

Sin embargo luego de 5 a 8 meses de colocada la carpeta asfáltica, se observo 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 después de 5 a 8 meses de colocado, también se presentaron los mismos tipos de agrietamiento.

FIGURA N° 01 Muestra de un Pavimento en proceso de enfriamiento, Esfuerzo Térmico como respuesta del gradiente térmico

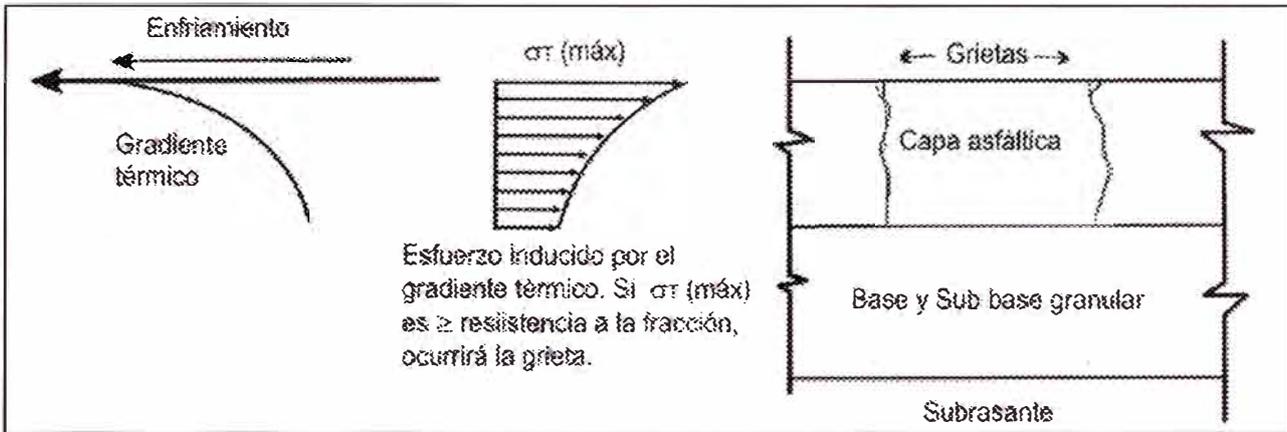
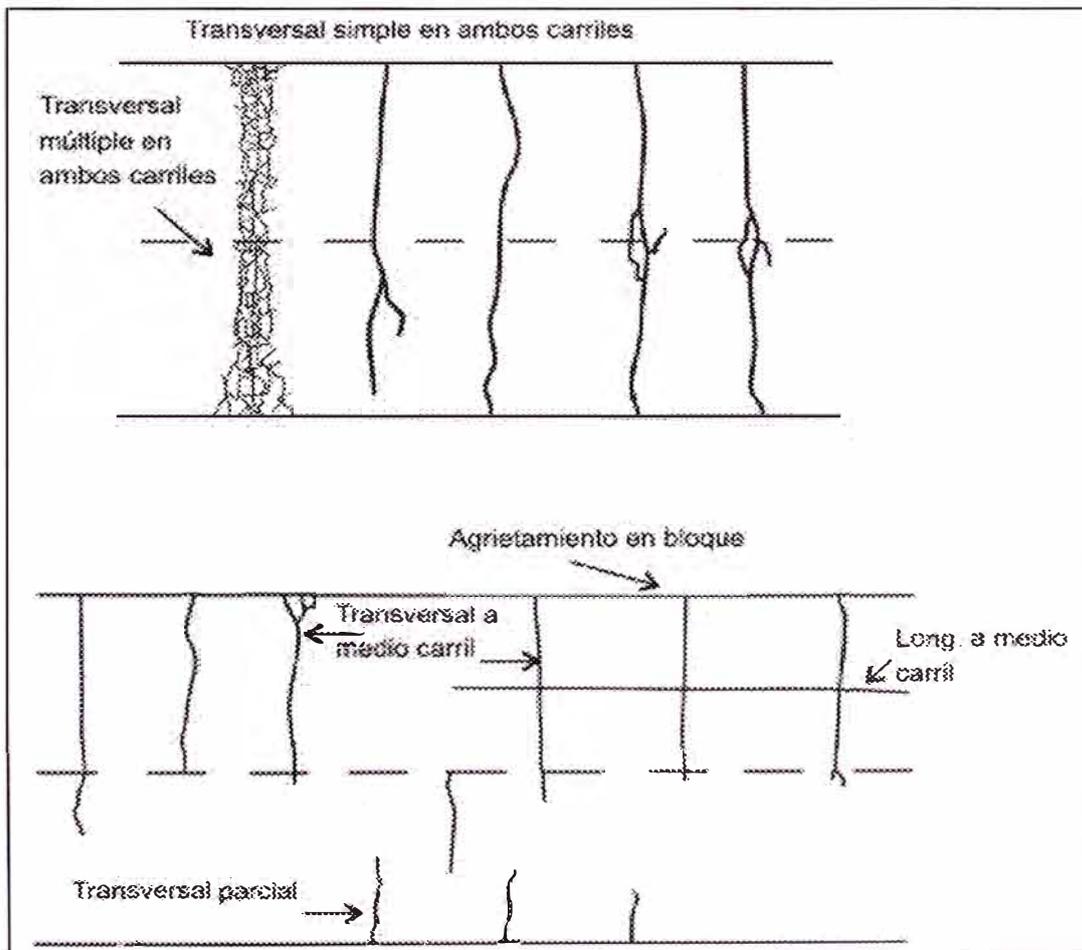


FIGURA N° 02 Tipos de agrietamientos por efectos térmicos



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

1. Los severos cambios de temperatura causaban cambios en la rigidez de las capas del asfalto, relacionando estos cambios de rigidez en el pavimento con su índice de penetración.
2. Los cambios extremos en la rigidez ocurrían a grandes altitudes (3,700msnm), por lo tanto se utilizó temperaturas extremas como -5°C a $+20^{\circ}\text{C}$, para el cálculo de mínimas y máximas rigideces de asfalto de la carretera: La Oroya-Cerro de Pasco.
3. La rigidez del cemento asfáltico original y residual luego del ensayo de calentamiento sobre la película delgada (ECSPD), para periodos de carga de 0.01 y 0.1 seg. Indicaron que en la superficie de un pavimento ocurrirían grietas debido a:
 - a) Valores de índice de penetración, superiores a 0.9
 - b) Cambio de la rigidez luego del ECSPD mayores de $4,000\text{ kg/cm}^2$; sensiblemente ocurriría menor agrietamiento cuando los cambios de rigidez luego del ECSPD fueron menores de $3,000\text{ kg/cm}^2$.

CUADRO N° 01: Cuadro Comparativo, entre los métodos de cuantificación de la rigidez del asfalto

METODOS DIRECTOS	METODOS 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 trata de correlacionar con temperaturas reales de agrietamiento. - En el sistema SUPERPAVE, no existe resultados concretos a medianos y a largo plazo por el momento. - Requiere de equipos sofisticados, 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 para estimar la rigidez (S). - 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.

Fuente: Elaboración según referencia (1)

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 en los asfaltos, sugiriendo el uso del criterio del Pen Vis Number (PVN) desarrollado por McLeod (1976).

Por consiguiente se reconoce que 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.

Posteriormente entre 1986 y 1988, se intervinieron nuevamente estos tramos debido al deterioro alcanzado. Se toma en cuenta las conclusiones de la rehabilitación anterior; teniendo especial cuidado en el comportamiento de las mezclas, mejorando los controles de calidad, materiales, proceso constructivo y control de temperaturas.

En 1992 nuevamente se rehabilita la Carretera Central, dado su deterioro avanzado. En esta oportunidad el MTC en cooperación técnica con el gobierno Finlandés interviene un tramo especial (San Mateo-Morococha), en el sector más alto de tramo (Ticlio 4818 m.s.n.m.), construyendo una estructura nueva de pavimento (Ver cuadro N° 02) 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 el control de calidad son efectuados de acuerdo a las especificaciones Finlandesas.

Posteriormente se interviene también en 1996 el tramo Morococha-La Oroya: el tramo La Oroya-Huayre en dos oportunidades (1997 y 1998-1999) y en 1997 el tramo Huayre – Chicrin. La composición respectiva de las estructuras de pavimento se indica se indica en el (cuadro N° 02).

En 1997 las carreteras Panamericanas 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 tráfico destinado. En este sentido el consorcio Italiano AIC PROGETTI/SIPROMA, por encargo del MTC, efectúa mediciones de PSI, a partir de lecturas de rugosidad con ayuda del vehículo ARAM (Automatic Road Analyzer), cuyos resultados promediados en la escala PSI se muestra en el cuadro N° 02.

Cuadro N° 02 Condición de servicio, estructura de pavimento-carretera central, tramos de altura.

Tramo de Estudio	IRI 1997	PSI 1997	Calidad	Edad Años	Carpeta Asfáltica (cm)	Base negra (cm)	Base/Sub base granular (cm)	CBR Subrasante (%)
San Mateo - Morococha	3.1	2.87	Medio	8	10	10	15	38
Morococha-La Oroya	2.72	3.10	Bueno	4	10	5-7.5	20	32
Huayre-Chicrin	1.66	3.72	Bueno	3	10	-	20/20	20

Fuente: Elaboración según referencia (1)

Como se puede apreciar la experiencia nacional sobre pavimentos en altura, se ha centrado por mas de 20 años en la carretera central, es por ello la presente investigación retoma la posta y considera como ámbito de estudio los tramos citados, al considerar que se continúan desarrollando agrietamientos prematuros, que suponemos tienen origen térmico, pese a las nuevas consideraciones mas rigurosas implementadas por los métodos de diseño mas utilizados en el medio (AASHTO-93 e Instituto del Asfalto-91).

4.2 CONSIDERACIONES DE MEDIO AMBIENTE UTILIZADOS POR LOS MÉTODOS DE DISEÑO.

Las consideraciones de medio ambiente se refiere a la influencia térmica. La presencia de agua superficial, agua subterránea y otros aspectos ambientales, no forman parte de esta evaluación, mas aun si en las conclusiones del ítem anterior: el trafico, materiales de base, sub-base y subrasante no han sido considerados como los principales responsables del deterioro de la superficie de rodadura.

Actualmente los criterios de influencia térmica manejados por las metodologías de diseño estructural para pavimentos asfálticos, más utilizados en nuestro medio son las siguientes:

a. Procedimiento de Diseño del Instituto del Asfalto MS –1/91.

Desde 1981 en que el Instituto de Asfalto (AI) publica su primera serie para diseño de pavimentos flexibles, caracterizando la función de los materiales componentes de la estructura del pavimento, considera que el modulo dinámico o resiliente del concreto asfáltico, depende en gran medida de la temperatura del pavimento. Desde la publicación del MS-1(1991), el desarrollo de las cartas de diseño ha incluido la relación del modulo de temperatura y de sus variaciones durante el año. Se utilizaron tres regiones climáticas de los Estados Unidos de Norteamérica. Los valores apropiados de módulos dinámicos fueron seleccionados exhaustivamente luego de compatibilizar las relaciones de modulo de temperatura y las propiedades del asfalto.

Adicionalmente a los efectos de las variaciones mensuales de la temperatura a lo largo del año sobre los módulos dinámicos de las mezclas de concreto asfáltico, el procedimiento considera también los efectos de la temperatura sobre los módulos de resiliente reducido para representar la época de deshielo.

Por consiguiente el procedimiento del Instituto del Asfalto MS-1/1991, establece tres grupos de alternativas ambientales representativas del rango de condiciones para las que debieran aplicarse el manual:

Efecto de Helada	Temperatura media anual del aire Representativa para un efecto de helada
Sí	< 7°
Posible	15.5°C
No	>24°C

Finalmente el procedimiento recomienda que las mezclas asfálticas debido a la susceptibilidad de la temperatura sean elegidas con asfaltos del grado más adecuado, de acuerdo a las condiciones prevalecientes de temperatura.

b. Procedimiento de Diseño Guía AASHTO-93.

La filosofía AASHTO para el diseño de pavimentos se basa en el concepto de servicio la cual representa la habilidad para servir a un tipo de tráfico destinado. Desde 1972, el procedimiento de diseño ha estado incorporando mayores argumentos de tipo ambiental, en busca de una mejor performance de sus diseños. Las consideraciones sobre la influencia del medio ambiente

son reconocidos por la guía, siendo las más importantes la expansión de suelos y el levantamiento por heladas. Plantea que la temperatura afectará las propiedades de influencia del concreto asfáltico; los esfuerzos térmicos inducidos en el concreto asfáltico generará agrietamientos a bajas temperaturas y ahuellamiento. Si se permite que las lluvias penetren en la estructura del pavimento esta afectará las propiedades de los materiales. La consecuencia de estos factores se traducen en una pérdida de Serviciabilidad en el pavimento.

El mayor valor térmico considerado está relacionado con el debilitamiento por deshielo que ocurrirá en la primavera. Sin embargo la solución a este problema se considera mediante el refuerzo de la subrasante con suelos no susceptibles a heladas (materiales granulares).

Sin embargo la guía AASHTO reconoce sus limitaciones, especialmente las de medio ambiente debido a que el clima en la Carretera Experimental en Ottawa, Illinois se considera representativo de una parte de los Estados Unidos, sujeta a temperaturas de congelamiento durante el invierno y con lluvias medias elevadas a lo largo de todo el año, haciendo un esfuerzo que permita estimar los efectos de las condiciones estacionales.

De las consideraciones antes citadas podemos inferir lo siguiente:

1. Las condiciones climáticas establecidas por el Instituto del Asfalto son representativas de tres regiones típicas de los EE.UU. que por su ubicación en el hemisferio Norte, están sujetas a estaciones bien marcadas en cuanto a etapas de congelamiento en el invierno y descongelamiento en la primavera.

Por lo tanto las temperaturas media anual representativa para un efecto de

helada consideradas en el manual, solo son compatibles al régimen climático de los EE.UU.

2. En el caso de la Guía AASHTO, se ha considerado un solo medio ambiente representativo para los EE.UU., así como un solo tipo de materiales y un solo tipo de suelo de fundación. En nuestro caso estas consideraciones de medio ambiente están sujetas a la variación del pisos ecológicos y formación geológica.
3. Los efectos ambientales en el caso de la Guía AASHTO, son tomados en cuenta en función de los conceptos de Confiabilidad y Perdidas de Serviciabilidad, que han sido calibradas para sus regiones, por lo tanto existe una diferencia sustancial de comportamiento térmico con las zonas de altura de nuestro país.
4. En ninguno de los procedimientos citados el gradiente térmico, ha sido incorporado como crítico, como es el caso de las zonas de altura, sin embargo sí son críticos el congelamiento y deshielo, que no ha sido reportado en nuestro medio. Se considera que para el congelamiento se requeriría por lo menos de 3 a 4 días a temperaturas bajo cero; y condiciones de drenaje críticos. Esta diferencia sustancial se debe a que el comportamiento térmico de las regiones del hemisferio norte presentan regímenes climáticos diferentes a las de nuestro medio.

Debido a consideraciones de orden económico, el método para el diseño de pavimentos utilizado en la mayoría de proyectos en el Perú, es la guía de diseño AASHTO, en sus diversas versiones, desde 1972 a 1993. Por lo tanto

se estima necesario ampliar el conocimiento sobre esta metodología a fin de incorporar variables como el gradiente térmico, consideradas como influyentes para las zonas de altura en nuestro país.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El problema de durabilidad de asfaltos y mezclas asfálticas bajo distintas condiciones de servicio, es bastante complejo, según lo resume J. Agnus, sin embargo luego de algunas experiencias e investigaciones en zonas de altura en nuestro país, se ha identificado a la temperatura como la variable más influyente en el deterioro de los pavimentos asfálticos, por lo tanto para comprender la implicancia que tiene la influencia térmica deberá buscarse resolver las siguientes preguntas.

¿Cómo es el comportamiento térmico en el ámbito de estudio?

¿Cuándo influye la temperatura a las propiedades de fluencia del concreto asfáltico?

¿Cómo se genera el agrietamiento térmico y como se desarrolla en el tiempo?

Para el conocimiento del comportamiento térmico del ámbito de estudio, es necesario la ayuda de estacionamiento climatológica que nos permitan registros históricos, los cuales sean capaces de representar mediante análisis estadísticos valores próximos al clima en la zona. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología SENAMHI, cuenta con la red de estaciones a nivel Nacional.

Las propiedades de fluencia del concreto asfáltico han sido investigadas en términos de la rigidez de asfalto o la rigidez de la mezcla a bajas

temperaturas. La evaluación más precisa requiere que esta sea medida directamente antes que estimada por métodos indirectos. Actualmente en los EE.UU. se ha desarrollado instrumentos dinámicos como los reómetros de la especificación SHRP, sin embargo instrumentos simples capaces de medir la rigidez del asfalto no son disponibles en nuestro país. La rigidez de una mezcla asfáltica también puede ser estimada usando uno de los métodos desarrollados por la Shell, a partir de la concentración de agregado y asfalto en la mezcla (Draat y Somer, 1964). Para el efecto son necesarias el conocimiento de las propiedades de los asfaltos y las condiciones climáticas de la zona de estudio.

Los requisitos de las propiedades de los cementos asfálticos se detallan en las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG-99) del MTC, en la tabla N° 400-2, "Especificaciones del Cemento Asfáltico por Penetración", donde se establecen los análisis necesarios para la evaluación de la susceptibilidad térmica del asfalto, a través de los ensayos como: prueba de calentamiento sobre película fina, 3,2 mm. 163°C 5hras. (Norma MTC-E-316, AASHTO-M20 y ASTM-D946); ensayos de penetración a 25°C, 100gr. 5 seg. 0.1 mm. (Norma MTC-E-304, AASHTO-M20 y ASTM-D946) e índice de penetración. Estos análisis deben efectuarse en forma continua desde su producción en la refinería, recepción en obra, mezclado en planta, colocación en pista y periódicamente por recuperación; con el objeto de conocer el grado de envejecimiento del asfalto durante el periodo de servicio del pavimento.

Los requisitos de la mezcla asfáltica son detalladas también por las especificaciones EG-99, en la tabla N° 410-9 “Requisitos para Mezclas de Concreto Bituminoso” y tabla N° 410-10 “Vacíos Mínimos en el Agregado Mineral”. El control estadístico durante la etapa de construcción nos permitirá conocer el comportamiento representativo de la mezcla colocada en servicio.

La influencia de la temperatura en las propiedades de fluencia del concreto asfáltico, se pueden evaluar mediante estimaciones de esfuerzos y deformaciones, ocasionados por la intervención del gradiente térmico, durante un tiempo dado. Estas estimaciones se pueden determinar por medio de métodos teórico, durante un tiempo dado. Estas estimaciones se pueden determinar por medio de métodos teórico experimentales, a partir de la información térmica de la zona de estudio; propiedades del asfalto y características de la mezcla. Por lo tanto, se requiere identificar un modelo de simulación que recoja las variables establecidas y se traduzca en niveles de deterioro compatibles con lo que se genera en campo.

Entre los modelos de deterioro térmico mecanísticos disponibles para simular niveles de agrietamiento y su evolución, se cuentan los desarrollados por Finn et. al. (1986), Ruth et. al. (1982), Lytton et. al. (1983) y Shahin y McCullough (1972). La salida de los primeros dos modelos, indican la temperatura crítica a la cual ocurrirá el agrietamiento. Mientras que los últimos dos modelos, consideran salidas expresadas términos de proporción de agrietamiento en el tiempo, analizando dos modos de agrietamiento , por baja temperatura y por fatiga térmica. En general todos los modelos usan la misma estructura básica para examinar la acumulación de daño pero con

acercamientos muy diferentes. El modelo desarrollado por Lytton es más teórico y se basa en los principios de la mecánica de fractura visco-elástica, por lo tanto se considera que el modelo de Shahin y McCullough, es más accesible al entendimiento del problema y las variables que se disponen.

Por consiguiente el problema plantea la necesidad de modelar la conducta de una superficie de rodadura para condiciones de altura, a partir de estimaciones indirectas del comportamiento mecánico de una carpeta asfáltica, posibles de determinar un función de las gradientes de temperatura como cargas cíclicas; propiedades de los asfaltos utilizados; composición de la mezcla, para de esta forma predecir y establecer relaciones en el periodo de vida de la carpeta asfáltica.

4.3 INVESTIGACION A LA CARPETA ASFÁLTICA ZONAS DE ALTURA (SAN MATEO – HUAYRE)

HIPÓTESIS

- a. El comportamiento de las carpetas asfálticas en zonas de altura puede ser prevista de modelos mecánicos que evalúen esfuerzos y deformaciones en el concreto asfáltico, considerando niveles de gradiente térmico, propiedades de asfaltos y características de mezclas empleadas; a fin de establecer relaciones en el periodo de vida en la carpeta asfáltica.
- b. De acuerdo con el concepto de diseño de la guía AASHTO-93, el comportamiento de un pavimento se traduce en el desempeño de la serviciabilidad durante un periodo dado, por lo tanto se puede establecer también pérdida de serviciabilidad por efectos térmicos para zonas de altura

de simulaciones de deterioro de la superficie asfáltica, bajo la influencia de la temperatura.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación es de tipo Teórica-Experimental, en la cual se efectuaron estimaciones indirectas de comportamiento pseudo-elástico en mezclas asfálticas sometidas a cargas de temperatura representadas por el gradiente térmico, para luego efectuar simulaciones de acuerdo con las variables identificadas. Los resultados preliminares encontrados en las simulaciones de acuerdo con las variables identificadas. Los resultados preliminares encontrados en las simulaciones fueron contrastadas con los fenómenos realmente ocurridos en campo. Las respuestas de las simulaciones se considera que constituyen modelos de deterioro por efecto térmico.

ESTRATEGIA

Se estableció como ámbito de estudio tres tramos de la carretera central, distribuidos del modo siguiente:

- San Mateo- Morococha, entre el Km 125+000-Km 135+000; y altitudes de 4818-4680 msnm
- Morococha-La Oroya, entre el Km 152+000-Km 162+000; y altitudes de 4310-3760 msnm
- Huayre- Chicrin, entre el Km 286+000 – Km296+000; y altitudes de 4100-4400 msnm

El criterio de distribución así formulado, se debe a la mejor proximidad encontrada en distancia a las estaciones climatológicas distribuidas por el SENAMHI, a lo largo del tramo de estudio.

Cuadro N° 03: Información revisada sobre el ámbito de estudio

Proyecto/ Carretera	Estudios		Construcción		Evaluación/ Supervisión	
	Entidad	Año	Entidad	Año	Entidad	Año
La Oroya- Huanuco			Tramos I, II, III y IV Tuzón-Villasol Asoc Cosapi-Massa	'81-'83	MTC, J. Greenstein MTC, J. Greenstein, y Herrera y A. García.	'82 '82
Morococha- La Oroya			Tuzón-Caceres- Vioselva	'86-'88	Consorcio vial Tarma	'86- '88
San Mateo- Morococha			MTC-Coop.Finlandesa	'92	GDC-MTC, M. Montalvo	'92
Morococha- La Oroya	Geotecnia- Alpha Consult	'92- '93	Ce. CeGe-Vioselva Asoc.	'95-'96	Asociación Motlims- ataypsa-Oist	'95- '96
La Oroya- Huayre	Geotecnia- Alpha Consult Badalisa	'95- '96 '97	Villasol SA. A Gutierrez-Johesa	'97 '98 '99	AIC-HOB Asoc. Control de Calidad- MTC Integral-SyZ Asoc	'97 '97 '98 '99
Huayre-Chicrin	EICA-HOB Consultores	'93 '94	Aramsa-Casa Asoc	'95 '97	AIC Progetti-Spa- HOB Asoc	'95 '97
Chicrin- Huanuco	EICA-HOB Consultores	'94	Villasol S.A.	'95 '96	AIC Progetti-Spa- HOB Asoc	'95 '96
Evaluación superficial Lima-La Oroya- Huanuco					AIC Progetti- Siproma	'97
Sistema de Gestión de Carreteras/ Carretera central					BCEOM-OIS Asoc	1999 2000

Fuente: Elaboración según referencia (1)

La revisión detallada nos permite un diagnóstico preliminar a fin de definir el problema de pavimentos asfálticos de altura, como también se efectúa una

revisión del estado del arte de las metodologías de diseño con implicancia al problema térmico de altura.

Evaluación de datos de clima

La variable temperatura se determinó a partir de las estaciones climatológicas, distribuidas por el SENAMHI alrededor de la carretera estudiada, para luego someterlas a los análisis estadísticos respectivos.

Reconocimiento de campo y extracción de muestras

El reconocimiento de campo ha permitido tener una ideas clara sobre el ámbito de estudio, e identificar algunos parámetro, para las fases posteriores del trabajo de campo.

La extracción de muestras se efectúa con el objeto de contar con información sobre las propiedades de mezcla y tipo asfalto usados, luego de un tiempo de la puerta en servicio, a fin de comparar y establecer las relaciones de envejecimiento con las propiedades encontradas antes y luego de la construcción.

Las mediciones de grietas de origen térmico se efectuaron de acuerdo con las consideraciones dadas con el objeto de compatibilizar los resultados analíticos y las fallas reales en campo.

El procedimiento y ubicación de las muestras, se han desarrollado de acuerdo con el criterio de elección de números al azar (Random), establecido por Instituto del Asfalto MS-17. El procedimiento de selección y muestreo en campo se puede apreciar en el Anexo n° 03 y Anexo n° 09.

Características de las Mezclas y determinación de las propiedades del asfalto

Los ensayos necesarios post construcción se detallan en el cuadro n° 04.

Cuadro N° 04: Toma de muestras y ensayos de asfalto recuperado

Ubicación del Muestreo	Toma de Muestras por Corte insitu		Lavado Asfáltico ASTM D-2172	Análisis Granulométrico Por tamizado	Asfalto Recuperado ASTM D-1856	Agregado Recuperado ASTM D-1856
	Nro de muestras	Peso Kg				
San Mateo-Morococha Km. 128+600 Km. 133+850 Km. 134+850	02 02 02	10 10 10	03 03 03	02 02 02	03 03 03	03 03 03
Morococha-La Oroya Km. 154+200 Km. 155+500 Km. 159+750	02 02 02	10 10 10	03 03 03	02 02 02	03 03 03	03 03 03
Huayre-Chicrin Km. 290+850 Km. 292+450 Km. 295+400	02 02 02	10 10 10	03 03 03	02 02 02	03 03 03	03 03 03

Fuente: Elaboración propia

Determinación del comportamiento elástico en mezclas asfálticas sometidas a cargas térmicas.

De acuerdo a la variación del modulo de rigidez como función de la temperatura, se estimo el nivel de deterioro en la carpeta asfáltica mediante el uso del modelo de Shahin y McCullough, (1972), con el objeto de calcular los esfuerzos y deformaciones por acción del gradiente térmico, expresados como proporción de agrietamiento en el tiempo. Las respuestas del modelo se contrastaron con mediciones de agrietamiento ocurridas en campo a fin de ser calibradas de Van Der Poel y las curvas de resistencia de Heuketom

como de Graw, Buerge&Young; así mismo se planteó ecuaciones de envejecimiento en el asfalto.

PROCESAMIENTO E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Debido a que las respuestas de las simulaciones representan el comportamiento mas próximo ante los fenómenos de altura, expresados como proporción de daño, estos se constituyen en un modelo de deterioro por efecto térmico. Por otra parte de acuerdo con el criterio de diseño AASHTO, se considera que existe perdida de Serviciabilidad por efectos ambientales (hinchamiento y levantamiento por heladas); y de acuerdo a las conclusiones se han identificado como críticos la presencia del gradiente térmico en las zonas de altura de nuestro país. De este modo bajo el concepto de la guía AASHTO y con la ayuda del retro-análisis es posible encontrar tendencias de comportamiento en pavimentos de altura, bajo el enfoque de perdida de Serviciabilidad. Por lo tanto las predicciones sobre el periodo de vida en la carpeta asfáltica influenciadas por el gradiente térmico, se puede cuantificar conocida la tendencia de perdida de Serviciabilidad por efecto térmico y tomar en cuenta estas consideraciones en el proceso de diseño del pavimento.

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

INTRODUCCIÓN

Debido a que la información recogida es del tipo Teórico-Experimental, se han tomado precauciones sobre las variables utilizadas y resultados obtenidos, los cuales se manejaron de acuerdo a indicadores que se sustentan en bases, teórica y experimentales.

Cuadro N° 05: Variables e indicadores considerados en la investigación

VARIABLES	INDICADORES
EN EL ANÁLISIS DE DATOS <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Gradiente térmico <input type="checkbox"/> Resultados de laboratorio <input type="checkbox"/> Lectura de áreas fisuradas equivalentes en el campo. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Temperatura máxima y mínima <input type="checkbox"/> Distribución de frecuencias <input type="checkbox"/> Desviación estándar <input type="checkbox"/> Promedio de valores de mayor frecuencia <input type="checkbox"/> Mediciones de grietas <input type="checkbox"/> Distribución de frecuencias <input type="checkbox"/> Desviación estándar <input type="checkbox"/> Promedio de valores de mayor frecuencia
EN LA RELACION ESFUERZO / TEMPER. <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Rigidez de asfalto <input type="checkbox"/> Rigidez de mezcla <input type="checkbox"/> Esfuerzo máximo de tracción. 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Tiempo de carga <input type="checkbox"/> Punto de ablandamiento <input type="checkbox"/> Índice de penetración <input type="checkbox"/> % de vacíos <input type="checkbox"/> % en volumen de agregados en la mezcla <input type="checkbox"/> % de volumen de asfalto en la mezcla <input type="checkbox"/> Rigidez de la mezcla <input type="checkbox"/> Coeficiente de contracción térmica
EN LA RELACION RESISTENCIA TEMPERATURA <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Resistencia a la tracción 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Rigidez de la mezcla
EN LOS RESULTADOS DE LA SIMULACION <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Pronóstico de la falla 	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Proporción de daño en el tiempo.

4.3.1 DATOS DE CLIMA

Las zonas de altura del país están sujetas durante el año a dos estaciones marcadamente definidas, la estación de verano y la estación de invierno. La primera estación se presenta entre los meses de Noviembre a abril con temperaturas bajas y presencia de lluvias. La segunda estación se presenta

entre los meses de Junio a Septiembre con presencia de temperaturas más frías y heladas superficiales.

El Servicio Nacional de Meteorología y Hidrología SENAMHI define a la zona de estudio, según el Método Thornthwaite, del tipo B(o,i)C'H₃ que corresponde a una zona fría, lluviosa, con deficiencias de lluvias en otoño e invierno, con humedad relativa definida como húmeda. La información con la que se cuenta corresponde a temperaturas máximas y mínimas diarias absolutas por años de las siguientes estaciones climatológicas.

Cuadro N° 06: *Relación de estaciones climatológicas próximas a los tramos estudiados*

Carretera Central Tramo Estudiado	Progresiva (Km)	Altitud (msnm)	Estación climatológica	Altitud (msnm)
San Mateo-Morococha	125+000-135+000	4818-4680	Marca-pomacocha	4413
Morococha-La Oroya	152+000-162+000	4310-3760	La Oroya	3750
Huayre-Chicrin	286+000-296+000	4100-4400	Cerro de Pasco	4400

Fuente: Elaboración propia, ejecutada a partir de información verificada en campo y datos proporcionados por el SENAMHI.

Los datos de temperatura corresponden a registros entre los años 1990 y 1999. la temperatura representativas se han obtenido por análisis estadísticos y de acuerdo con los indicadores citados en el Cuadro N° 05.

Considerando que el tamaño de la muestra es N=10 (años), se asumió que la distribución de las frecuentes sea del tipo Student, proponiendo intervalos de confianza del 90% a fin de estimar la media representativa de la población diaria, durante todo un año.

Las fluctuaciones de la temperatura para el año representativo se muestra en el Cuadro N° 07. Los resultados del análisis para las temperaturas diarias se pueden apreciar en el anexo 04.

Cuadro N° 07: Máximas y mínimas temperaturas para el año representativo.

Estación	Promedio anual (C°)		Promedio mes más frío(C°)		Máxima y mínima Observación (C°)	
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima
Marcapomacocha	11.6	-1.5	12.0	-4.5	12.9	-4.7
La Oroya	20.4	-0.3	20.4	-4.8	21.5	-7.1
Cerro de Pasco	12.3	-1.4	13.1	-4.4	14.3	-6.6

Fuente: Información analizada a partir de datos proporcionados por el SENAMHI.

4.3.2. PROPIEDADES DEL ASFALTO

Las propiedades del asfalto, necesarias en este tipo de investigaciones, debiera contemplar todo el historial sobre el comportamiento del asfalto, es decir el conocimiento de sus propiedades desde su fabricación en refinería, recepción en la planta de mezclado, luego del mezclado, luego de la colocación en pista y periódicamente luego de la puesta en servicio; lo cual no siempre es posible. Sin embargo a partir de la revisión de la documentación encontrada, según lo especifica el cuadro N° 03, se ha podido contar con información parcial de los asfaltos utilizados en los tres tramos estudiados, tanto en la fase original y luego de su colocación en pista. Por otra parte las propiedades del asfalto en la fase post construcción han sido obtenidas a través de ensayos de recuperación, según lo especifica el cuadro N° 04. el resumen de las propiedades de los asfaltos usados y resultados de análisis se muestra en el cuadro siguiente.

Cuadro N°08: Propiedades de los asfaltos usados en los tramos estudiados

Tramo: San Mateo-Morococha/Asfalto usado: PEN 120-150			
Reportes/Ensayos	1991/Original	1992/Residual	2000/Recuperado
Peso específico g/cc	1,020	-	1,030
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	122.5	55.13	41.0
Viscosidad cinemática a 135°C cSt	215	500	566.65
Punto de Ablandamiento °C	44	52.45	61.50
Índice de penetración	-0.46	-0.37	0.81
Tramo: Morococha-La Oroya/Asfalto usado: PEN 85-100			
Reportes/Ensayos	1995/Original	19996/Recuperado	2000/Recuperado
Peso específico g/cc	-	-	1,030
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	88.0	63.20	34.33
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	-	-	894.50
Punto de Ablandamiento °C	46.09	50.51	61.50
Índice de Penetración	-0.83	-0.51	0.47
Tramo: Huayre-Chicrin /Asfalto usado: PEN 120-150			
Reportes/Ensayos	1995/Original	19996/Residual	2000/Recuperado
Peso específico g/cc	1,019	-	1,020
Penetración a 25°C, 100g, 5 seg.	137.0	68.50	57.0
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	166.40	-	483.53
Punto de Ablandamiento °C	40.78	49.39	53.05
Índice de Penetración	-0.88	-0.59	-0.16

Fuente: Elaboración según referencia (1)

El índice de Penetración, en todos los casos ha sido calculado por la expresión de Pheiffer y Van Doormaal.

$$PI=[20-500A]/[1+50A] \quad \dots(13)$$

Donde A es la susceptibilidad térmica y expresa la pendiente de la línea recta entre el logaritmo de penetración y la temperatura.

$$A= \frac{\text{Log}(\text{pen aT1})-\text{log}(\text{pen a T2})}{T1-T2} \quad \dots(14)$$

T1 y T2 son temperaturas de ensayos de penetración. Sin embargo una temperatura conveniente de uso general, es la temperatura del punto de ablandamiento ($T_{R\&B}$) como lo especifica la prueba AASHTO-89 T53-84. esta es una temperatura de referencia en la cual todos los asfaltos tienen la misma viscosidad o penetración de aproximadamente 800. T2 reemplazado en la ecuación (14). Por ($T_{R\&B}$) y penetración a T2 por 800.

$$A= \frac{\text{Log}(\text{pen aT})-\text{log}(800)}{T1-T_{R\&B}} \quad \dots(15)$$

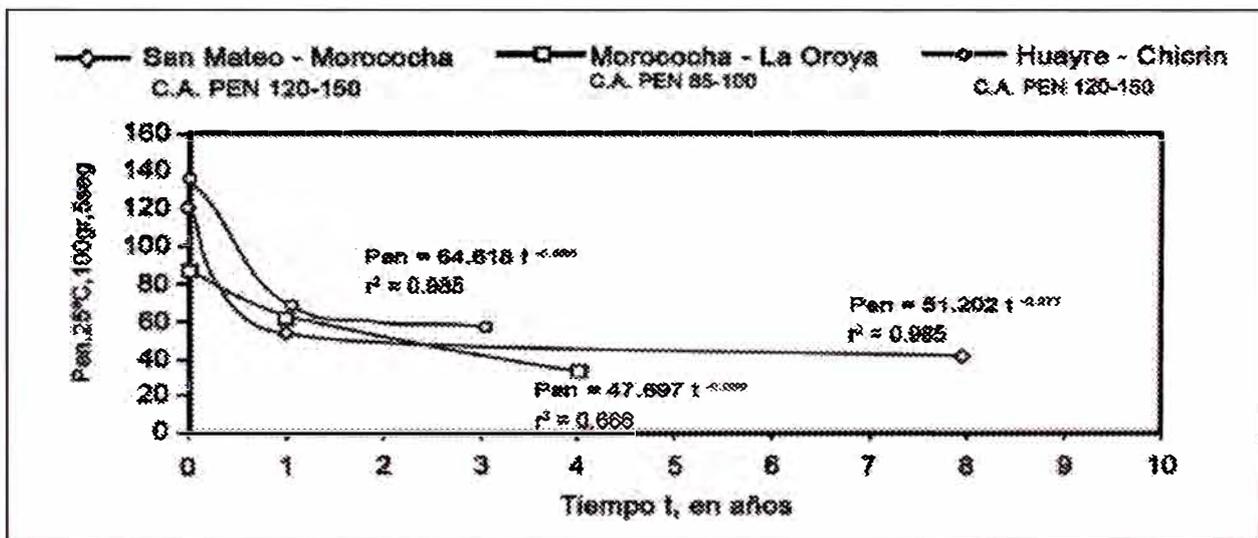
En el caso de las propiedades de asfaltos residuales, se ha considerado, las certificaciones de los ensayos en los asfaltos originales a partir de la prueba de calentamiento sobre la película delgada a 163°C, 5 horas, expresada como penetración del residuo a 25°C, 100gr, 5 seg., (0.1mm). El punto de ablandamiento ($T_{R\&B}$), para esta consideración puede ser estimado a partir de la expresión de Duriez y Arrambide.

$$\text{Log}(T_{R\&B})= [7.96-\text{log}(\text{PEN}_{25^{\circ}\text{C}})]/ 3.616 \quad \dots(16)$$

Las propiedades de los asfaltos recuperados han sido tomados de los resultados de recuperación asfáltica efectuados en el Laboratorio de Control de Calidad del MTC; erl resumen se muestra en el anexo 05. Uno de los aspectos importantes en

esta Sección, se refiere al acercamiento de efecto del envejecimiento en las propiedades del asfalto, desde su puesta al servicio a la fecha de evaluación, dado que la edad de un pavimento tiene influencia sobre el inicio del agrietamiento y será capaz de resistir ciertas bajas temperaturas en los años iniciales de servicio, pero a futuro tendrá dificultades bajo las mismas temperaturas. Una forma de representar esta efecto, se muestra en la figuras siguientes, las cuales han sido obtenidas a partir de los resultados del cuadro 08.

Figura N° 06: Efecto del envejecimiento en la penetración



En las figuras 06, 07 y 08, el efecto del tiempo analizado, muestran que la razón de envejecimiento, para los asfaltos (Pen 120-150) usados en condiciones climáticas adversas (ver cuadro N° 07), son menores que los asfaltos (Pen 85-100) usados en condiciones climáticas más críticas; en las tres figuras, se aprecia en el tramo Morococha-La Oroya, existe una mayor tendencia a la caída de la penetración, mayor temperatura de punto de ablandamiento y mayor índice de penetración. En el caso de los tramos San Mateo-Morococha y Huayre- Chicrin, el comportamiento es algo moderado respecto al tramo anterior y se muestran casi

paralelos, lo cual se podría atribuir a las condiciones climáticas similares y la diferencia entre uno y otro se debería a factores como la producción en refinería, procesos constructivos, etc. En los tres casos (figuras 06,07 y 08) se muestran las ecuaciones de correlación las cuales son referenciales.

Figura N° 07: Efecto del envejecimiento en el Punto de Ablandamiento

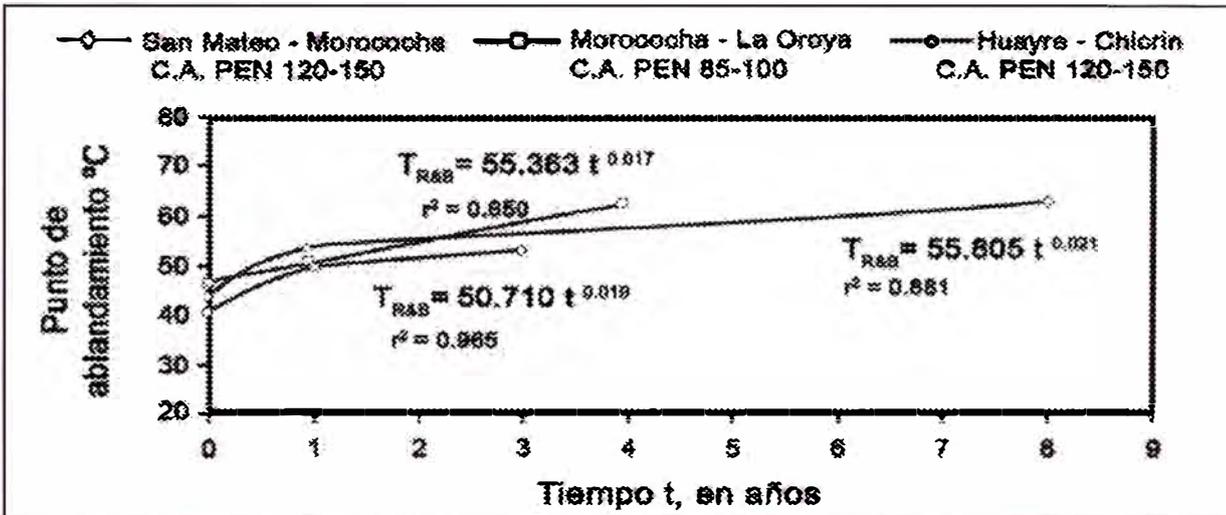
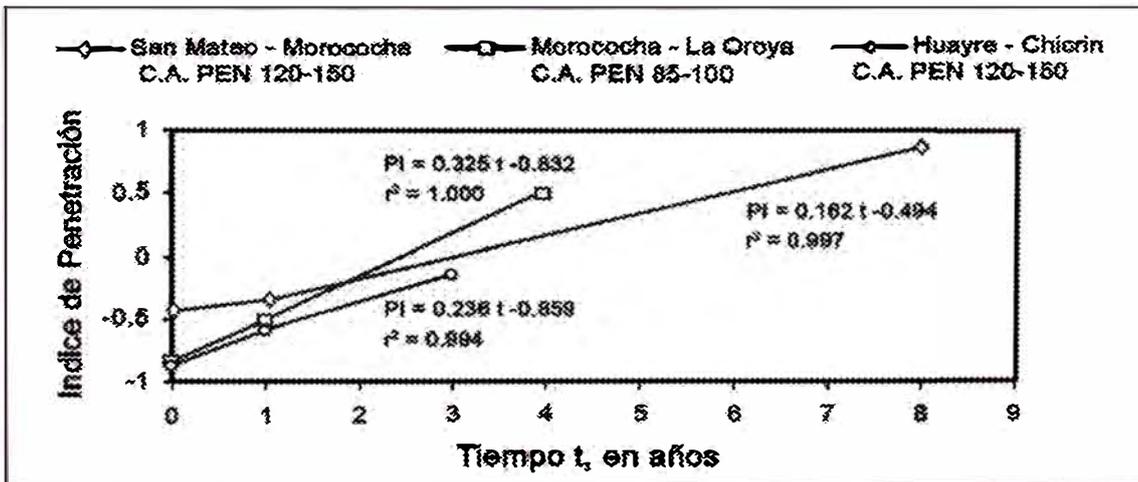


Figura N° 08: Efecto del envejecimiento en el Índice de Penetración



4.3.3. CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA

Las características de las mezclas empleadas en los tramos de estudio, han sido tomadas de los controles estadísticos en el proceso constructivo y verificados por los ensayos de recuperación efectuados en laboratorio (Ver Anexo 05). El resumen se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 09: Reportes de composición de mezclas utilizadas

Carretera Central Tramos en Estudio	Reportes de proceso constructivo				Reporte de recuperación de mezclas					
	%Asf. Peso	% Vacíos	% VMA	% VFA	%Asf. Peso	%Asf. Vol.	%Agr. Vol.	% Vacíos	% VMA	% VFA
San Mateo- Morococha	6.2	1.2	15.6	-	6.63	12.49	82.03	5.48	17.97	69.50
Morococha- La Oroya	6.0	3.9	17.7	78.5	6.23	13.32	81.29	5.39	18.77	71.50
Huayre-Chicrin	6.4	3.3	16.7	-	6.23	12.12	84.83	3.05	15.10	80.07

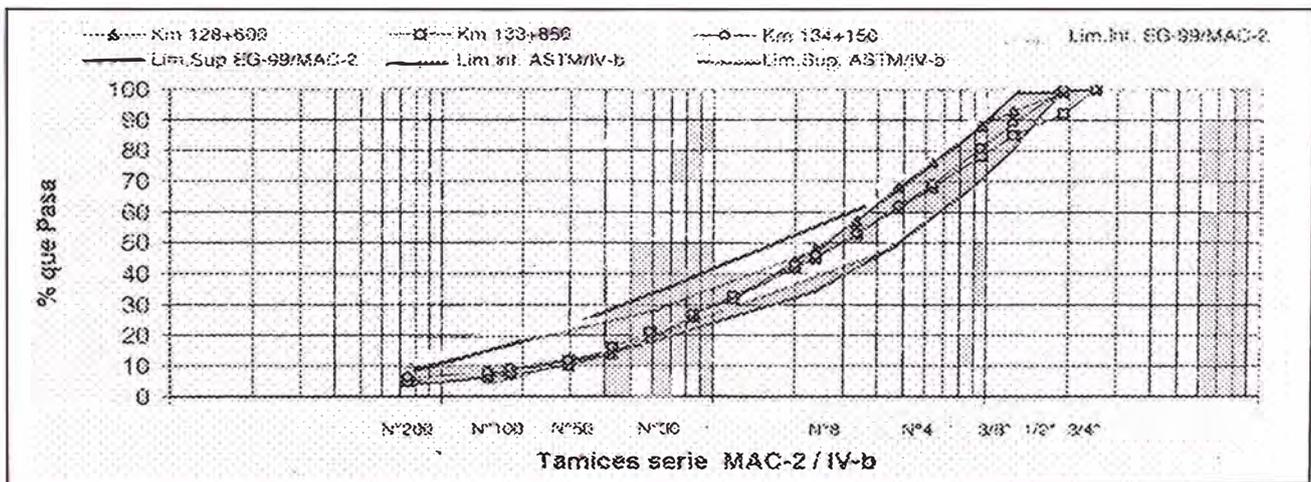
Fuente: Elaboración propia, ejecutada a partir de información tomada de las referencias (24, 27 y 28) y resultados de análisis de laboratorio.

Como se puede apreciar, el cuadro N° 09, muestra entre el proporcionamiento de las mezclas citadas como reportes del proceso constructivo y los reportes de los ensayos de laboratorio efectuados en el presente estudio, especialmente en el % de vacíos. En el primer caso se ha tomado la información de los reportes estadísticos del desarrollo de todas las obras, mientras que en nuestro estudio se ha extraído muestras representativas sobre las cuales se han efectuados los análisis respectivos; sin embargo llama la atención los porcentajes de vacíos altos encontrados en los tramos San Mateo-Morococha y Morococha-La Oroya. La diferencia se puede considerar que se deba a que la determinación del peso

específico máximo de las mezclas se obtuvo en forma indirecta y no se efectuó el ensayo Rice. Las Especificaciones Técnicas Generales para la construcción de Carreteras del MTC (EG-99), establecen un rango permisible de 3 a 5 % de vacíos, sin embargo el porcentaje de vacíos de 2% se recomienda para altitudes mayores a los 3,500 msnm (EG-99); así mismo las cartas de diseño del Instituto de Asfalto, han propuesto su método de diseño, basados en una mezcla característica con un porcentaje de vacíos del 5%.

La composición granulométrica luego del análisis mecánico por tamizado, en las mezclas recuperadas, son comparadas con la especificación MAC-2 indicadas en la norma EG-99 y la especificación IV-b de la Norma ASTM; existiendo una tendencia a que el tamaño máximo nominal sea de 1/2". La distribución por muestra se puede apreciar en los gráficos siguientes:

Figura N° 09: Composición granulométrica, mezcla recuperada, tramo: San Mateo-Morococha.



Como se puede apreciar en las figuras 09, 10 y 11, las muestras no cumplen satisfactoriamente las especificaciones IV-b de la Norma ASTM y MAC-2 de la Norma EG-99, el tramo Morococha. La Oroya, es el que cuenta con una aceptable

continuidad de gradación, con alguna tendencia ala límite inferior al inicio y final de los husos, lo que equivale a la presencia de agregados gruesos en sus extremos(grava de ¾"y arena N°50). El tramo Huayre-Chicrin presenta una gradación casi pegada al limite superior, especialmente en la parte central de las franjas, lo que indicaría la falta de material fino (arena del tamiz N° 4 a N° 50). Finalmente el tramo San Mateo-Morococha, experimenta discontinuidad de su gradación, con presencia de agregados gruesos en los extremos de las franjas (grava de ¾" y arenas del tamiz N°30 al N°100).

Figura N° 10: Composición granulometría, mezclas recuperadas, tramo: Morococha-La Oroya.

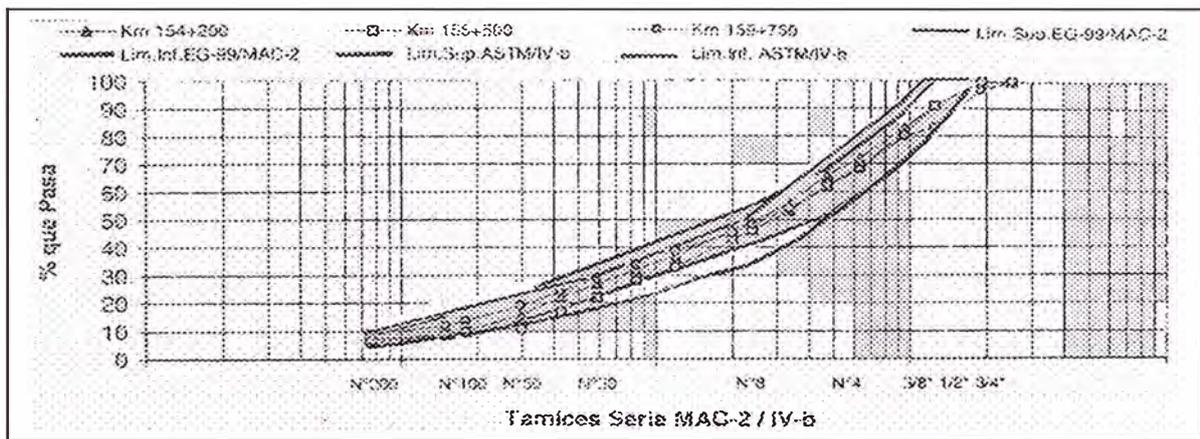
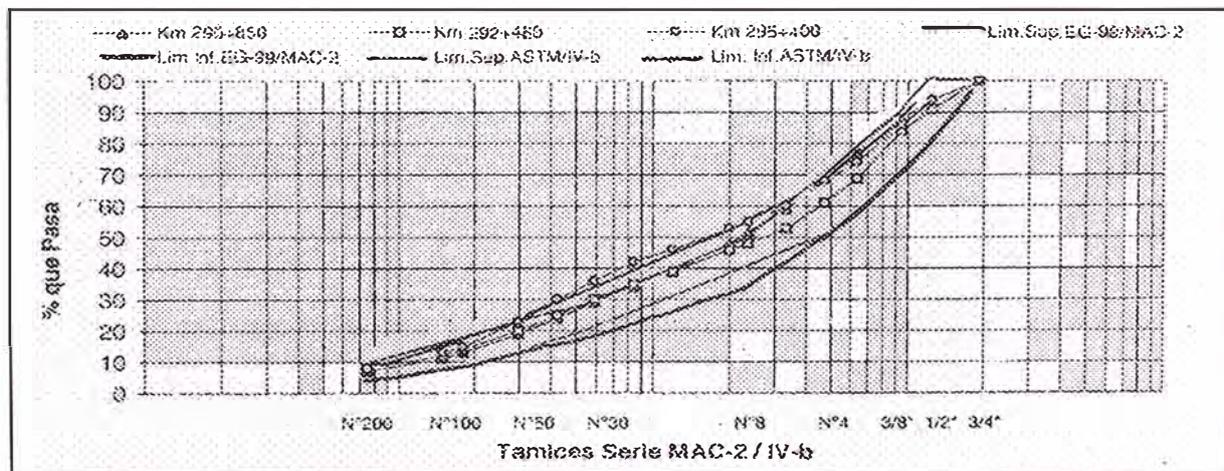


Figura N° 11: Composición granulométrica, mezcla recuperada, tramo: Huayre-Chicrin



4.4. EVALUACIÓN DE LOS RESULTADOS

MODELO DE AGRIETAMIENTO TERMICO

Para los propósitos de la presente investigación se ha considerado el uso del modelo desarrollado por la Universidad de Texas (Sahahin y McCullough, 1972).

Las consideraciones de funcionamiento y utilidad se detallan a continuación.

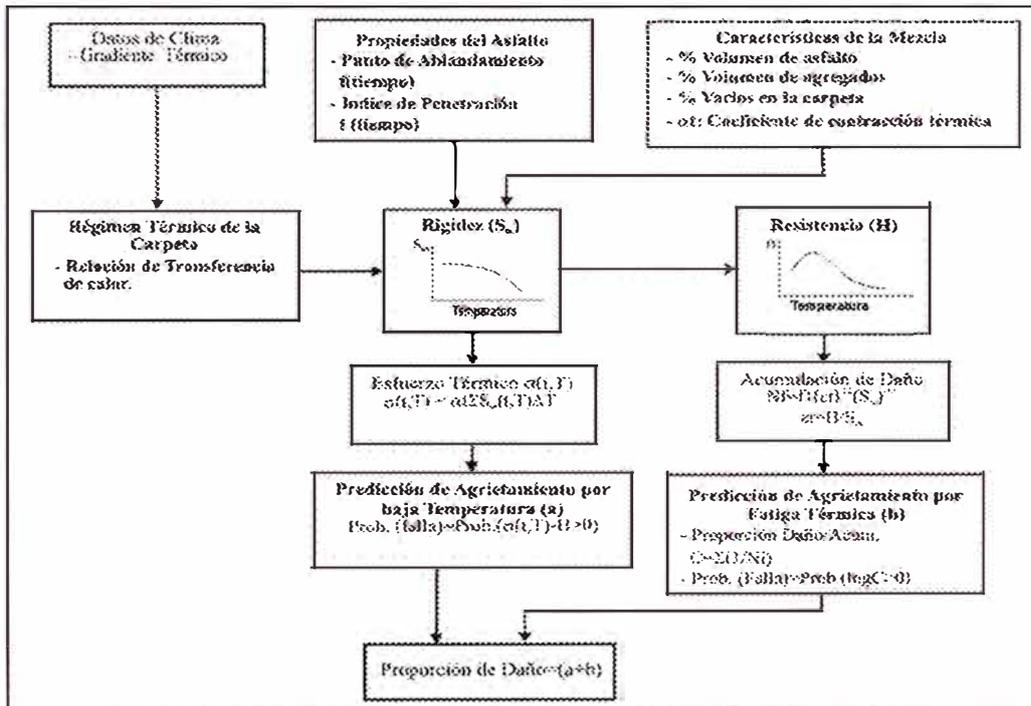
DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE SHAHIN Y McCULLOUGH

El modelo simula el proceso de agrietamiento por baja temperatura combinada con el agrietamiento por fatiga térmica e incorpora un tratamiento de la variabilidad estadística de los materiales. Las temperaturas en la estructura del pavimento se calculan a partir de datos de clima diarios. Los datos de entrada pueden incluir temperaturas del aire, velocidad del viento, radiación solar, propiedades térmicas del concreto asfáltico y profundidad debajo de las superficies del pavimento. Las relaciones de rigidez son obtenidas mediante estimaciones indirectas en el nomograma de Van Der Poel(1954), modificada por Huekelo, y Klomp(1964).

El calculo de los esfuerzos térmicos se basan en los principios adoptados por Hills y Brien (1966) y las resistencias pueden ser determinadas a partir de la relación de Heukelom(1966). El procedimiento de calculo de los esfuerzos implican una situación de esfuerzo térmico, que puede esperarse en campo. Para el efecto se usan métodos probabilísticas para predecir si los esfuerzos térmicos excederán la resistencia del concreto asfáltico, de ser así, se generará la probabilidad de que ocurra un agrietamiento por la baja temperatura.

El modulo de fatiga térmica usa la hipótesis de Miner, para acumular el daño asociado con un ciclo térmico diario. El modelo incorpora ecuaciones de envejecimiento, en un intento de predecir las propiedades de envejecimiento del cemento asfáltico.

DIAGRAMA DE FLUJO DEL MODELO



DESARROLLO DEL MODELO

El modelo de flujo descrito, es ligeramente diferente al modelo original propuesto por Shahin y McCullough (1972), debido a la adecuación del calculo e ingreso de datos como; el clima, determinación del régimen en la capa asfáltica, efecto de envejecimiento del asfalto, índice de penetración, tiempo de carga y criterios de fatiga. Lo cual no significa alejarse del modelo ya que el concepto siempre es el mismo.

a.- Los datos de clima en esta investigación, en un intento de mayor acercamiento a los fenómenos climatológicos, utiliza información diaria procesada estadísticamente en un periodo de observación de 10 años.

De acuerdo con la información proporcionada por el SENAMHI, el ciclo térmico diario en zonas de altura se presenta con mínimas temperaturas por las madrugadas y las máximas aproximaciones al medio día. Por consiguiente el gradiente térmico que se evalúa, corresponde al descenso de la máxima y mínima temperatura, desde las 12M hasta 4AM del día siguiente.

b.- La transferencia de la temperatura del medio ambiente sobre la carpeta asfáltica, se calcula mediante la ecuación de Barker y Brubstone. Esta ecuación estima la temperatura en la capa asfáltica a una profundidad (z) a partir de la temperatura del aire indirectamente incorpora los efectos de viento, exposición solar y propiedades térmicas en el concreto asfáltico.

La profundidad (z) considerada como representativa para evaluar las condiciones térmicas de una capa asfáltica es 20 mm, según algunos autores como la SHRP. Un acercamiento próximo a la superficie podría encontrarse a una capa asfáltica fuertemente afectada por las radiaciones ultravioletas, peor aún si se considera que en zonas de altura la radiación solar se incrementa entre 4 a 5 veces. Así mismo que hasta los primeros 6mm la viscosidad del asfalto en la carpeta alcanza un valor de 50% más alto que a una profundidad de 12 mm. Por lo tanto la profundidad representativa adoptada para el cálculo de la temperatura en la carpeta será 20mm.

c.- Las propiedades del asfalto se han considerado variables en el tiempo, en un intento de representar el envejecimiento del asfalto, desde su puesta en

servicio y proyección en el tiempo. Se han asumido que éste tendrá un comportamiento lineal y puede ser expresado en función de las variaciones del Índice de Penetración (Pheiffer y Van Doormaal) y el punto de ablandamiento, determinados de acuerdo a los resultados del cuadro N°08.

d.- Las características de la mezcla, se consideran como una proporción en volumen del asfalto, agregados y vacíos en la mezcla, ver cuadro N° 09. Adicionalmente se ha adoptado como coeficiente de contracción térmica para la capa asfáltica el valor de $\alpha=2 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$, coeficiente que se estima sobre la caída del gradiente térmico. El instituto del Asfalto propone el valor de $\alpha = 1.58 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$; y la SHRP, propone valores entre $\alpha = 2 - 2.5 \times 10^{-5} / ^\circ\text{C}$.

e.- La rigidez de la mezcla asfáltica (S_m), se han estimado usando uno de los métodos desarrollados por Shell, a partir de la concentración de agregado y de asfalto en la mezcla (Draat y Somer, 1965) y la rigidez obtenida por el nomograma de Van Der Poel (1954), modificada por Heukelom y Klomp (1964).

$$S_m = S_b [1 + (2.5/n)C_v / (1 - C_v)]^n \quad (17)$$

$$n = 0.83 \text{Log}[(4 \times 10^{10}) / S_b] \quad (18)$$

Donde:

S_m = modulo de rigidez de la mezcla asfáltica (N/m^2)

S_b = modulo de rigidez del cemento asfáltico (N/m^2)

$$C_v = V_{ag} / (V_{ag} + V_b) \quad (19)$$

Para mezclas asfálticas con más de 3% de vacíos, C_v debe sustituirse por C'_v , por lo tanto la ecuación (19) será:

$$C'_v = 100C_v / (100 + \%V_v - 3.0) \quad (20)$$

El tiempo de carga considerado para el uso del nomograma de Van Der Poel es una hora, considerando intervalos de descenso de la temperatura también de una hora. Haas (1973), sugiere que el módulo de rigidez sea evaluado a una temperatura específica, la cual represente el punto medio en un intervalo de temperatura discreto ΔT , usando un tiempo de carga que corresponda al intervalo de tiempo, para el intervalo de temperatura seleccionada. Los resultados se pueden apreciar en el Anexo 06.

f.- La resistencia (H), en el concreto asfáltico puede especificarse directamente de la relación de temperatura-resistencia propuesto por Heukelom (1966), ampliamente descrito anteriormente, para lo cual se ha asumido que el descenso del gradiente térmico sea uniforme y distribuido en intervalos iguales ΔT de una hora de duración. Los incrementos de los esfuerzos térmicos se obtuvieron de la ecuación (12) que son acumulados para estimar el esfuerzo máximo y deformación durante el día.

$$\sigma(t, \Delta T) = \alpha \sum_{t_0}^{t_1} S_m(t, T) \cdot \Delta T$$

h.- Las predicciones de agrietamiento por baja temperatura se evalúa comparando el máximo esfuerzo a la tensión (σ) con la resistencia de la tracción (H), a la temperatura correspondiente, considerando que la variación de resultados de los esfuerzos máximo y resistencia tienen una distribución normal al azar, la probabilidad de falta de falla que indica el porcentaje de área agrietada puede ser determinada por:

$$\text{Probabilidad (de falla)} = \text{Probabilidad } [\sigma - H] > 0 \quad (21)$$

La condición de la ecuación (21), puede ser calculada, considerando los promedios y variación de resultados en un tiempo dado, tanto de (σ) y (H), a fin de estimar la desviación estándar compuesta esfuerzo / resistencia con el objeto de que ($\sigma-H$) sea igual a cero. Lo que equivale a decir, que el área bajo la curva de distribución normal $\Psi(z)$, sea determinada por:

$$U = (\rho - \mu) / s \quad (22)$$

Donde:

ρ : probabilidad que se espera ($\sigma-H$) = 0

μ : Valor medio de $\sigma-H$

s : Desviación estándar compuesta de σ y H .

μ : Valor observado que se desvía de la media, u veces la desviación estándar.

Calculado u , el área $\Psi(z)$ bajo la curva, puede encontrarse en tablas y estas representan la probabilidad de que la falla ocurra y pueda expresarse como una proporción de áreas agrietada, lo cual es posible convertirla en fisura lineal, asumiendo que 1 pie (0.3m), de agrietamiento lineal es equivalente a 5 pies² (0.46 m²) de área agrietada. En adelante se usará esta equivalencia a efectos de evaluar las proporciones de deterioro calculados y encontrados en campo.

- i.- La predicción de agrietamiento por fatiga térmica es similar al de bajo carga repetida. En esta ocasión se incorpora al modelo las ecuaciones propuestos por la Shell (Bonnaure et. al., 1980) e Instituto del Asfalto (IAI, 1982). Para pruebas de esfuerzos constante se utiliza las ecuaciones (06) y (09).

$$(\text{Shell 01}) \rightarrow N_f = [0.0252PI - 0.00126PI(Vb) + 0.00673Vb - 0.0167]^5 \epsilon_t^{-5} S_m^{-1.4} \dots (06)$$

$$(\text{Inst. Asf}) \rightarrow N_f = 0.00432C \epsilon T^{-3.291} (S_m)^{-0.854} \dots (09)$$

Y para pruebas de deformación constante, se usará la ecuación

$$(\text{Shell 02}) \rightarrow N_f = [0.17PI - 0.0085PI(Vb) + 0.0454Vb - 0.112]^5 \epsilon_t^{-5} S_m^{-1.8} \dots (08)$$

Donde N_t expresa el número de ciclos permisible para causar agrietamiento bajo deformación por tensión (ϵ_t), como función de la rigidez (S_m), el efecto de envejecimiento (IP y $T_{R\&B}$), % de vacíos (V_a) y % de volumen de asfalto (V_b) empleados en las mezclas. En cada caso (S_m), en unidades (psi).

Debido a que solo existe un ciclo por día, la proporción de daño acumulado puede expresarse como:

$$C = \sum_{i=1}^n (1/N_i)$$

Donde (n) es el número de días y (N_i), es el número de ciclos permisible del i ésimo día. Así mismo se asume que (N) tiene una distribución normal logarítmica con una desviación estándar dada, entonces la probabilidad de falla puede determinarse por las ecuación:

$$\text{Probabilidad [de falla]} = \text{probabilidad} [\log C > 0]$$

De manera similar a la probabilidad de agrietamiento por baja temperatura, el área bajo la curva de distribución logarítmica normal $\Psi(z)$, se determina por:

$$u = (\log p - \log \mu) / S_{\log x}$$

Donde: $S_{\log x}$ es la desviación estándar basado en una distribución logarítmica normal de (x) y puede calcularse por la expresión:

$$S_{\log x} = 0.4343 \cdot S/x$$

Finalmente las proporciones de agrietamiento determinados por los pasos (h) e (i) pueden ser sumados lo que representará el agrietamiento total estimado durante un tiempo especificado después de la construcción.

CALIBRACIÓN DEL MODELO

La aplicación del modelo en los tramos de estudio, ha sido posible a partir de información seleccionada, sin embargo ha sido necesario compatibilizar los resultados del modelo con mediciones en campo, de agrietamiento de acuerdo con las consideraciones citadas anteriormente. Los formatos para el levantamiento de la información y criterios para la selección de muestras han sido tomados como referencia del manual MS-17 del Instituto de Asfalto (Guía para la Evaluación de Pavimentos).

Se considera que las grietas transversales y en bloque, son causadas principalmente por la contracción de la mezcla de asfalto a bajas temperaturas y a temperaturas cíclicas diarias; para su identificación en campo, se ha tomado en cuenta la ubicación de las fisuras en la vía y el nivel de daño cuantificado la abertura de la grieta. Estos aspectos se detallan en los cuadros siguientes.

Cuadro N° 10: Proporción de daño por la ubicación en la vía

Carretera Central Tramos de Estudio	% fisura long. A media calzada	% fisura transv. parcial	%fisura transv. A media calzada	%fisura transv. Ambos carriles
San Mateo-Morococha	25.99	18.44	55.57	0.00
Morococha-La Oroya	39.31	42.34	18.35	0.00
Huayre-Cricrin	8.44	49.37	42.19	0.00

Fuente: Elaboración propia, ejecutada a partir de información recogida en campo.

Cuadro N° 11: Proporción de daño por le estado de la fisura

Carretera Central Tramos de Estudio	%fisura e<2mm	%fisuras 2<e<mm	%fisuras 4<e<6mm	%fisura 6<e<8mm	%fisura 8<e<10mm	%fisura Selladas
San Mateo-Morococha	10.53	32.33	21.54	11.52	24.08	0.00
Morococha-La Oroya	46.65	43.47	9.88	0.00	0.00	0.00
Huayre-Chicrin	49.37	0.00	0.00	0.00	0.00	50.63

Fuente: Elaboración propia, ejecutada a partir de información recogida en campo.

Los resultados de la evaluación de campo, han sido analizados estadísticamente, a efectos de contar con el nivel de daño representativo, expresado como proporción de agrietamiento por tramo. Se considera que 0.30m de agrietamiento lineal equivale a 0.45m² de área agrietada, también se asume que la distribución de las muestras observadas son del tipo Student, debido al tamaño de la muestra (N=10). El daño representativo se calculó para una confiabilidad 85%. Los resultados de las mediciones y análisis se encuentran en el anexo 08.

La proporción de daño medida en campo, expresa la relación entre el área fisurada y el área observada. Las proporciones de daño representativas para cada tramo luego de un periodo de servicio son:

- Tramo: San Mateo-Morococha: 0.1018 (año 8)
- Tramo: Morococha-La Oroya 0.0293 (año 4)
- Tramo: Huayre-Chicrin: 0.00096(año 3)

La calibración de modelo se debe a que existe diferencias entre los resultados en el modelo y las mediciones de daño en campo, ya que la cantidad de daño expresada como una relación entre la predicción y el número permisible de repeticiones de carga, no ocurre exactamente como lo describe cualquier procedimiento de predicción; por lo tanto asumiendo, que la relación de daño esta bajo una distribución logarítmica normal, la probabilidad de falla o el porcentaje de área agrietada debe calcularse y compararse con las respuestas en campo.

Cooper y Pell (1974) desarrollaron ecuaciones de fatiga en laboratorio y determinaron que ésta debía multiplicarse por un factor igual a 20, para tomar en cuenta la propagación de las grietas. Así mismo el Instituto de Asfalto considera un factor de 18.4, fin de tomar en cuenta las condiciones de laboratorio y de campo. Generalmente el número aceptable de repeticiones para los pavimentos reales es mucho mayor que el que se obtiene en los ensayos de laboratorio. Por consiguiente en el criterio de falla adoptado, se debe incorporar un factor de campo para tomar en cuenta estas diferencias.

En el modelo implementado, solo se ha contado con punto de calibración, es decir las mediciones efectuadas sobre el nivel de fallas de origen térmico reales corresponden al año 3, para el tramo Huayre-Chicrin; año 4, para el tramo Morococha-La Oroya y año 8, para el tramo San Mateo-Morococha, las

cuales han sido evaluadas únicamente por esta investigación desde su puesta en servicio; por lo tanto las proporciones de agrietamiento encontradas en campo y los resultados de los pronósticos simulados para el año de servicio modelado han requerido ajustes, por consiguiente bajo el concepto antes descrito se ha iterado la compatibilidad entre lo observado en campo y lo predicho en el modelo, a través de la aplicación de un factor de calibración.

Los factores encontrados en la calibración del modelo, considerando cargas cíclicas a las gradientes térmicas y observaciones de daño en campo, se muestran en el cuadro n° 12.

Cuadro N° 12: Factores de calibración de modelo

Carretera Central Tramos en Estudio	Ecuación (06) Shell 01	Ecuación (08) Shell 02	Ecuación (09) Inst. Asfalto
San Mateo-Morococha	13,021	32.8	107
Morococha-La Oroya	18,535	26.9	112
Huayre-Chicrin	15,762	31.4	98.9

Fuente: Elaboración propia, calculada a partir de las simulaciones ensayadas

De acuerdo al factor de calibración es aplicado sobre la ecuación (04), la cual modificará la constante de fatiga f_1 formulado para los tres criterios de falla (Shell 01, Shell 02 e Instituto del Asfalto). Por lo tanto a partir de la calibración del modelo, se puede asumir que los pronósticos para los diferentes años de servicio son válidos.

Es pertinente indicar que de ser posible y contar con mayor información periódica estos factores de calibración puedan ser ajustados, lo que permitirá una mayor aproximación a los efectos térmicos en pavimentos asfálticos de

altura, sin embargo el procedimiento desarrollado e implementado en esta investigación permite contar con la primera aproximación al entendimiento de la influencia de la temperatura en pavimentos de altura.

4.4.1 AGRIETAMIENTO POR BAJA TEMPERATURA

El mecanismo de falla por baja temperatura se desarrolla según lo describe McLeod(1970). A efectos de representar el mismo mecanismo de falla, se ha considerado los días de mayor térmico en los tres tramos estudiados (figuras 13, 14, y 15), los cuales muestran un comportamiento casi paralelo; en contraste a la figura N° 12. Esto se debe a que las temperaturas mínimas observadas en nuestra investigación sólo alcanzan valores de -4.7, -7.1 y -6.6°C, respectivamente, en los tres tramos analizados; por lo tanto, un mayor decremento térmico mostraría una respuesta similar.

Figura N° 12: Mecanismo de falla por baja Temperatura (McLeod 1970) σ

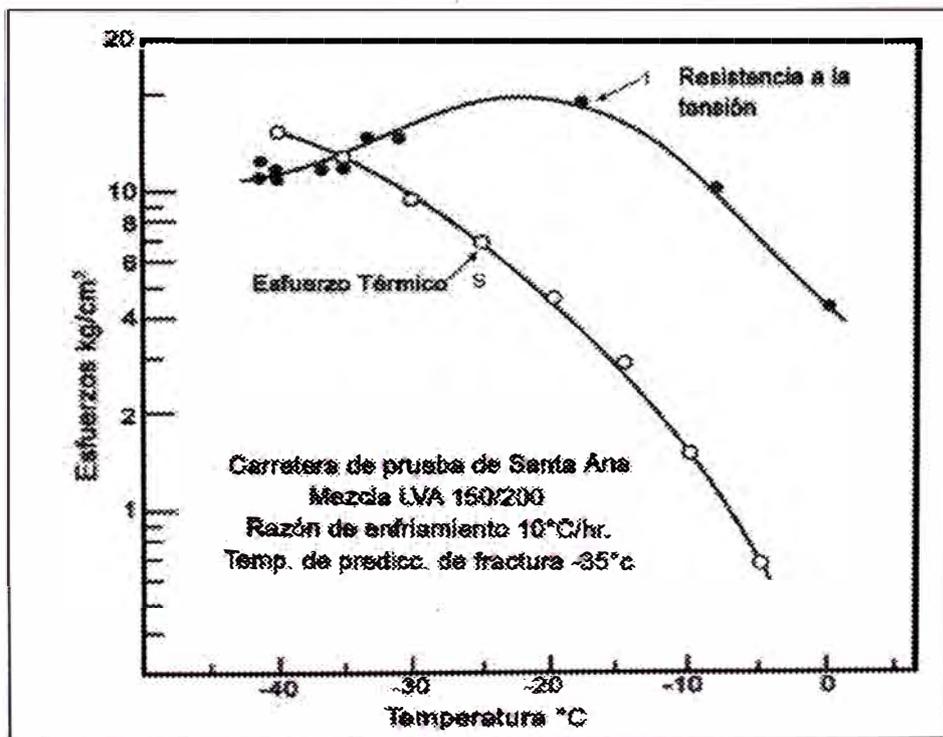


Figura N° 13: Tramo San Mateo-Morococha; relación Esfuerzo/ Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, 24/07-17.60°C.

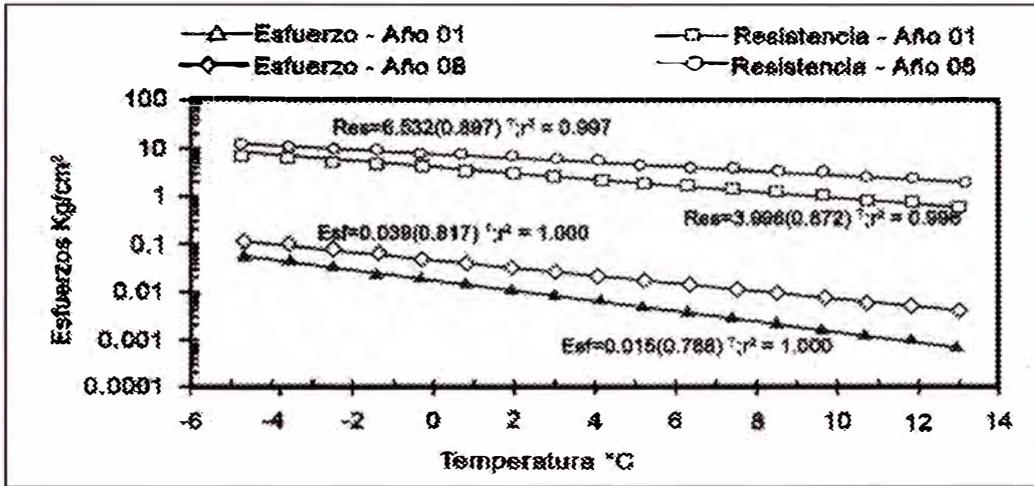


Figura N° 14: Tramo Morococha-La Oroya; relación Esfuerzo/ Resistencia día y mes mayor de gradiente térmico, 12/06-28.60°C.

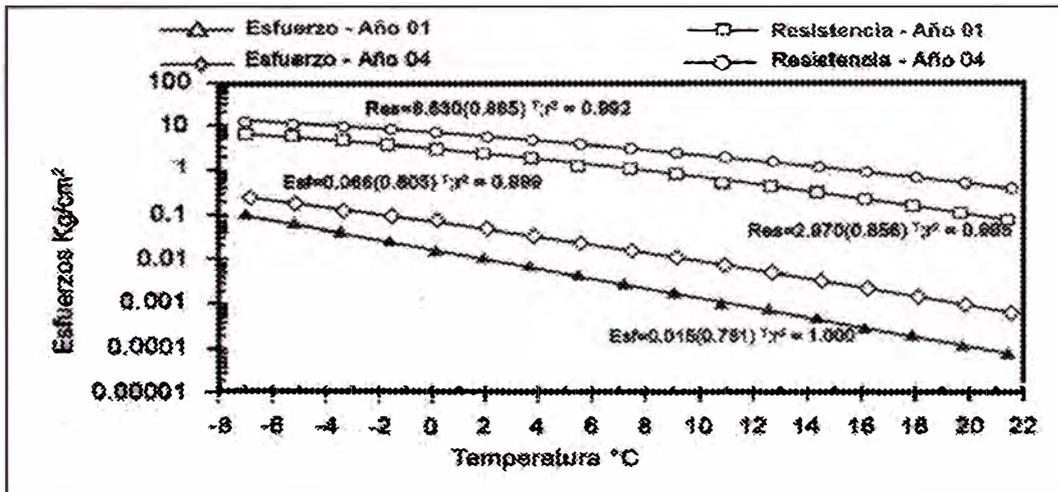
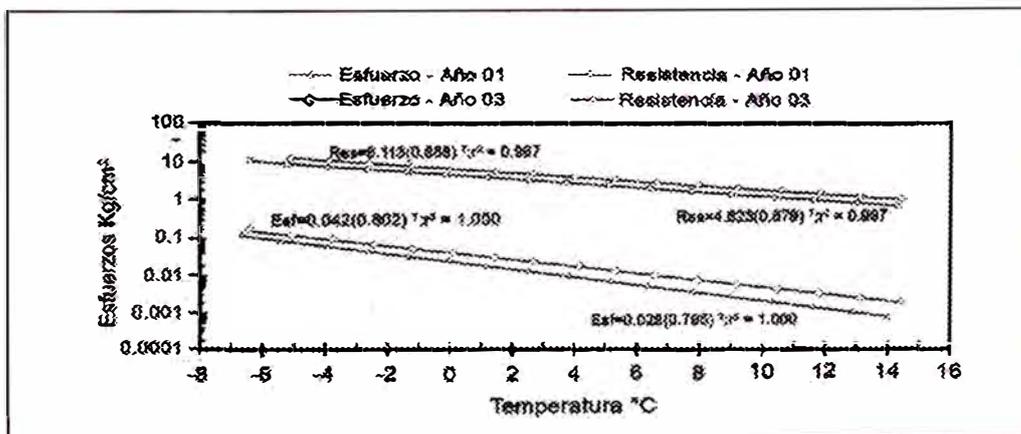


Figura N° 15: Tramo Huayre-Chicrin; relación Esfuerzo/ Resistencia día y mes de gradiente térmico, 04/08-20.90°C.



En términos cuantitativos lo que observa en las figuras 13, 14, y 15, es que la razón de variación de los esfuerzos con respecto a la temperatura, demuestran que medida que la temperatura cae los esfuerzos se incrementan, hasta que las tensiones igualen y/o superen las resistencias, como lo describe la figura N° 12. En nuestros estudios no se ha alcanzado a una temperatura de factura, debido a que las temperaturas evaluadas no superan caídas térmicas inferiores a -7.1°C .

Haciendo una proyección para un cierto tiempo de servicio (figuras 13, 14, 15, 16, 17 y 18) los niveles de esfuerzos y resistencias en el concreto asfáltico demuestran en los tres casos analizados un incremento progresivo, la cual se debe a que a medida que pasa el tiempo, las propiedades resilientes del asfalto van deteriorándose (Índice de Penetración, punto de ablandamiento), por consiguiente el concreto asfáltico se endurece e incrementa sus propiedades de resistencia, mientras que los esfuerzos máximos se mantienen casi constantes debido a que dependen mas de la temperatura. Con fines de verificación se acompañan las ecuaciones de correlación referenciales en cada caso.

Figura N° 16: Tramo San Mateo-Morococha; Evolución de Esfuerzos y Resistencias

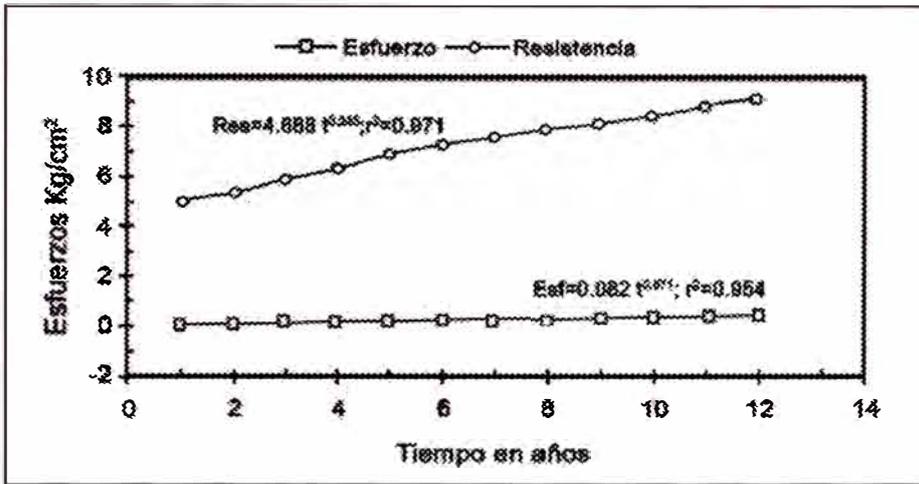


Figura N° 17: Tramo; Morococha-La Oroya, Evolución de Esfuerzos y Resistencias

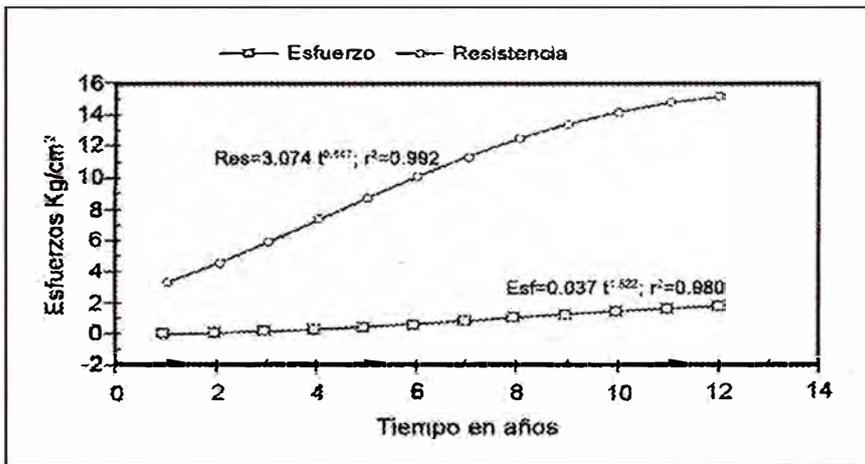
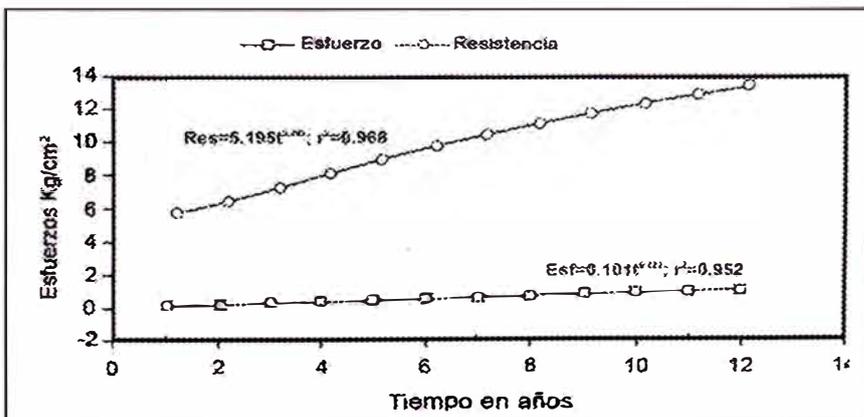
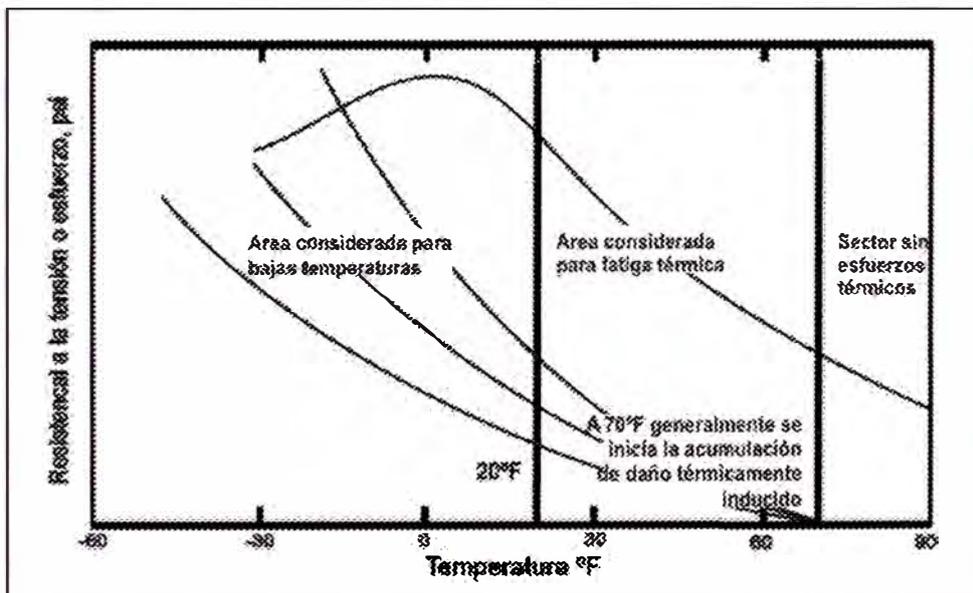


Figura N° 18: Tramo, Huayre-Chicrin, Evolución de Esfuerzos y Resistencias



En conclusión se puede afirmar que el mecanismo de agrietamiento por la baja temperatura tiene una baja probabilidad de ocurrencias los resultados del análisis en el modelo demuestran que en ninguno de los tramos evaluados se alcanza la probabilidad de que $[\sigma-H]>0$. Conclusión que concuerda con los rangos de temperatura asociados a los dos tipos de agrietamiento térmico, en cual considera que agrietamientos por baja temperatura solo ocurrirán para temperaturas menores a 20°F (-7°C) y agrietamientos por fatiga térmica ocurrirán para rangos térmicos de 20ª 70°F (-7 a 21°C), (Carpenter, 1983).

Figura N° 19: Temperaturas asociados a diferentes tipos de agrietamiento térmico (Carpenter, 1983)



4.4.2 AGRIETAMIENTO POR FATIGA TERMICA

Debido a que la probabilidad de ocurrencia de grietas por baja temperatura son prácticamente descartadas en los tramos de estudio, se ha considerando que el mecanismo de falla por fatiga térmica sea la que represente el deterioro por efecto térmico, según lo detalla las siguientes figuras.

Figura N° 20: Pronóstico de agrietamiento por fatiga térmica bajo el criterio de esfuerzos constantes Shell 01

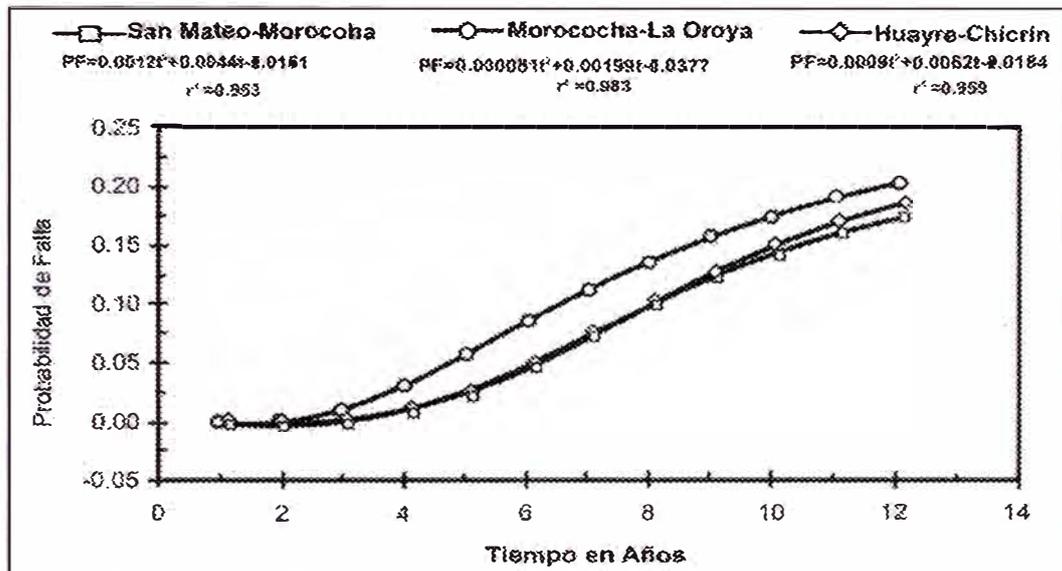
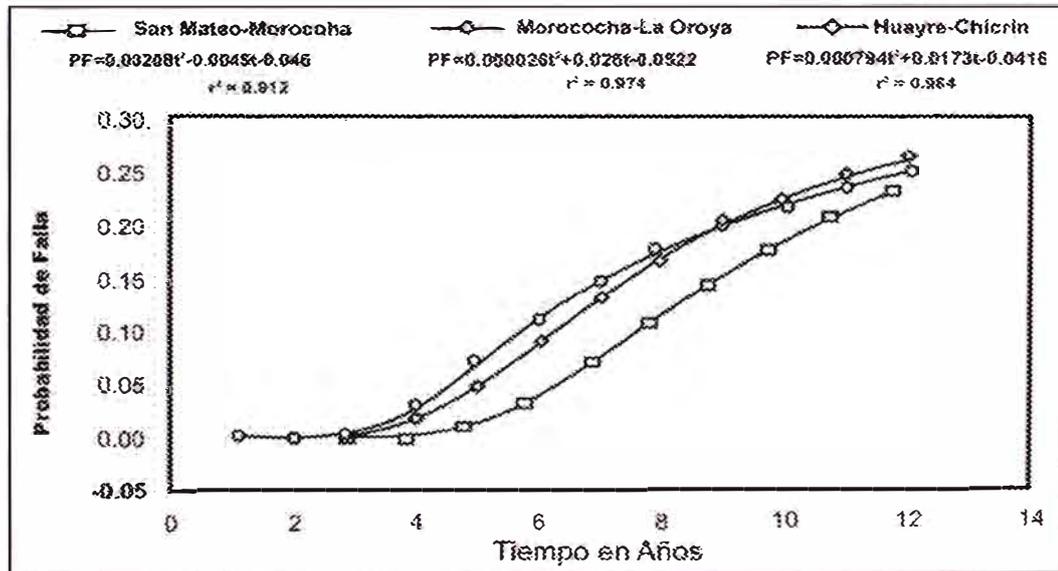
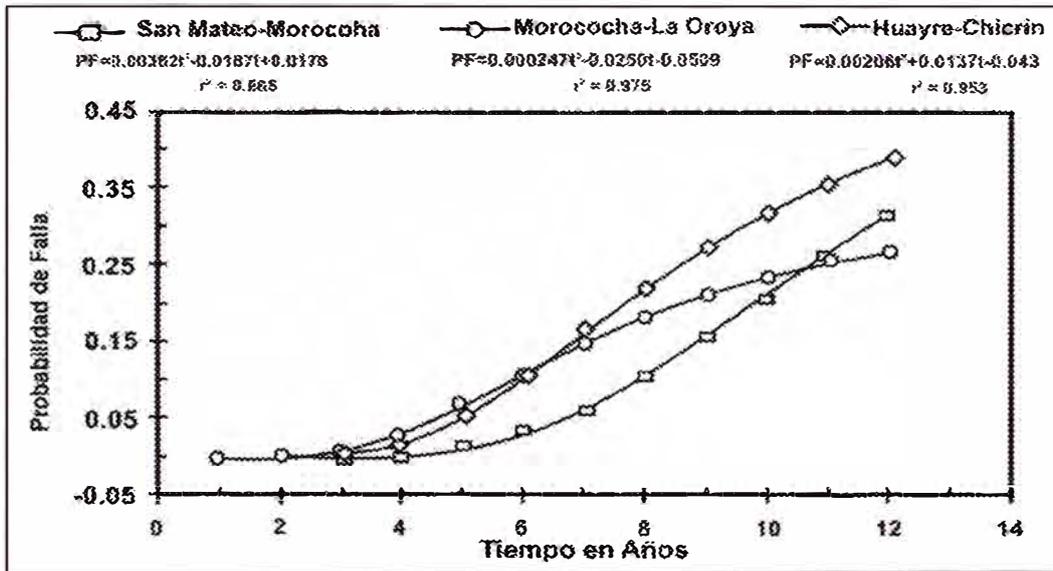


Figura N° 21: Pronóstico de agrietamiento por fatiga térmica bajo el criterio de deformaciones constantes Shell 02.



Figuras N° 22: Pronostico de agrietamiento por fatiga térmica bajo el criterio de esfuerzos constantes Instituto de Asfalto.



De acuerdo con este capítulo, las mediciones encontradas en campo, expresadas como proporción de daño, ha permitido la calibración para los tres criterios de falla incorporados en el modelo (Shell 01, Shell 02 e Instituto del Asfalto). Los resultados de los pronósticos en los tres tramos estudiados se muestran en las figuras 20, 21 y 22.

Como se puede apreciar los tres criterios de fatiga térmica, ofrecen una tendencia clásica de deterioro por efecto de fatiga donde las proporciones de daño se incrementa en función del tiempo, pero con comportamientos diferentes, normalmente este se desarrolla con poca incidencia en los primeros años, para luego alcanzado su ciclo de vida esta se desarrollará con una evolución acelerada hasta el colapso del pavimento.

Por consiguiente para la adopción del criterio que mejor represente el efecto térmico en el ámbito de estudio se plantea que este deba guardar relación con las siguientes consideraciones.

- Mayor daño a mayor gradiente térmica observada.
- Menor daño a mejor proporción de mezcla asfáltica (<% vacíos, > % asfalto, gradación continua de agregados)
- Mayor daño a mayor deterioro de propiedades del asfalto → oxidación (penetración, punto de ablandamiento, índice de penetración).
- Mayor daño a mayor dureza de asfalto utilizado (Pen 85-100 Vs. Pen 120-150).

Aunque no todos estos requisitos son cumplidos satisfactoriamente en cada tramo estudiado, existe un orden de deficiencias que nos permitirá adoptar el daño que se espera en cada tramo en forma más aproximada.

Tramo -01: San Mateo-Morococha:

Presenta el menor nivel de gradiente térmico (13.1°C promedio anual); muestra un grado intermedio de envejecimiento en el asfalto usado, cuenta con el mayor porcentaje de asfalto (6.63%), el tipo de asfalto usado es el PEN 120-150; sin embargo presenta un porcentaje de vacíos alto (5.48%) y una mala gradación de agregados de acuerdo con las franjas estándar.

Tramo-02: Morococha-La Oroya:

Presenta el más alto gradiente térmico (20.7°C promedio anual); superior al tramo-03 y tramo-01, respectivamente; muestra el mayor grado de envejecimiento en el asfalto usado; cuenta con un porcentaje de asfalto (6.23%); el tipo de asfalto usado es el PEN 85-100; presenta un porcentaje de vacíos alto (5.39%) y sin embargo su gradación de agregados es aceptable, mejor que en el tramo-03 y tramo-01 respectivamente.

Tramo-03: Huayre-Chicrin:

Presenta un gradiente térmico intermedio (13.7°C promedio anual), entre los tramos-01 y tramo-02; muestran también el menor nivel de envejecimiento en el asfalto usado; tiene un porcentaje de asfalto igual a (6.23%); el tipo de asfalto usado es el PEN 120-150; presenta un porcentaje de vacíos igual a (3.05%) y su gradación es aceptable después del tramo-02.

Como se puede observar, el análisis anterior muestra una variabilidad de resultados por cada tramo evaluado y criterio de falla utilizado, lo cual no necesariamente significa procedimientos inapropiados para el análisis de fatiga, sino se trata de la adaptación más cercana al fenómeno de fatiga de origen térmico. Sin embargo el criterio de falla representado por el método Shell-01, demuestra un comportamiento más lógico a las consideraciones citadas líneas arriba. Es decir si las condiciones climáticas, nivel de envejecimiento del asfalto, tipo de asfalto usado y composición en la mezcla observados en el tramo-02 son más críticas que en los otros dos tramos, será este tramo el que tenga una tendencia de mayor daño, como lo demuestra la figura N° 20. Por otra parte el tramo-01 y tramo-03, muestra una diferencia pequeña en los niveles de daño alcanzados, a pesar de que las condiciones climáticas y tipo de asfalto usados son similares, desarrollándose la menor proporción de daño en el tramo-03, lo cual se debe a que este tramo presenta un menor nivel de envejecimiento en el asfalto utilizado y mejor composición de su mezcla.

Por otra parte las proyecciones mostradas por los criterios Shell 02 e Instituto del Asfalto, ofrecen tendencias que no guardan relación con las consideraciones expuestas; donde algunos tramos la evolución de las proporciones de daño se mantiene luego de un periodo de servicio, mientras que en otros se manifiesta una mayor tendencia al incremento, incluso presentan intersecciones de durante la evolución.

De acuerdo con Huang (1993), el criterio de prueba a esfuerzo constante utilizado por el método Shell-01 e Instituto del Asfalto, contemplan su aplicabilidad a pavimentos cuyo espesor sea mayor a 6 pulg., además considera que el componente principal es la carga de tránsito, en nuestro caso, el componente principal es la carga térmica. Indica además que cuando el concreto asfáltico se pone más débil bajo las cargas cíclicas, la deformación se incrementará con el numero de repeticiones hasta que se fracture. Por otra parte, el criterio de falla para pruebas a deformaciones constantes (Shell-02), es aplicable a pavimentos con espesores menores de 2 pulg, y se considera que la deformación es gobernada por las capas subyacentes y que ésta no es afectada por la disminución de la rigidez; consideración que se encuentra más apropiada a cargas de tráfico. Por lo tanto se valida el criterio de fatiga térmica, por el criterio de esfuerzos constantes definido por el método Shell-01.

4.5 CRITERIOS PARA MITIGAR AGRIETAMIENTOS

PRIMERA HIPÓTESIS

“El comportamiento de las carpetas asfálticas en zonas de altura puede ser prevista a partir de modelos mecánicos que evalúen esfuerzos y deformaciones en el concreto asfáltico, considerando niveles de gradiente térmico, propiedades de asfaltos y características de mezclas empleadas; a fin de establecer relaciones en el periodo de vida en la carpeta asfáltica.”

El comportamiento de las carpetas asfálticas sometidas a gradientes térmicas, ha sido pronosticado mediante la implementaciones del modelo propuesto por Shain y McCullough. Este modelo ha demostrado que el mecanismo de falla por baja temperatura es poco probable y que el fenómeno cíclico de la temperatura diaria, genera fatiga en los pavimentos construidos en los tramos de altura de la carretera central; San Mateo-Morococha, Morococha-La Oroya y Huayre-Chicrin. Por lo tanto las proporciones de Daño encontrados por el modelo, mediante el criterio de Shell (Bonnaure, et. al., 1980), para pruebas de esfuerzos constantes; expresan la probabilidad de ocurrencia de agrietamiento en un pavimento de altura en un tiempo de servicio dado, debido a fenómenos de fatiga térmica. En la figura N° 13: probabilidad de ocurrencia de agrietamiento por fatiga térmica.

Figura N° 13: Probabilidad de ocurrencia de agrietamiento por fatiga térmica.

Año	Tramo-01	Tramo-02	Tramo-03
1	0.0000	0.0000	0.0000
2	0.0000	0.0003	0.0000
3	0.0011	0.0073	0.0010
4	0.0080	0.0294	0.0080
5	0.0239	0.0582	0.0250
6	0.0475	0.0869	0.0485
7	0.0749	0.1131	0.0735
8	0.1020	0.1357	0.0985
9	0.1271	0.1562	0.1210
10	0.1515	0.1736	0.1401
11	0.1711	0.1894	0.1587
12	0.1894	0.2033	0.1736

SEGUNDA HIPÓTESIS

“De acuerdo con el concepto de diseño de la Guía AASHTO-93, el comportamiento de un pavimento se traduce en el desempeño de la Serviciabilidad durante un periodo dado, por lo tanto se puede establecer también pérdida de serviciabilidad por efectos térmicos para zonas de altura, a partir de simulaciones de deterioro de la superficie asfáltica, bajo la influencia de la temperatura”.

El procedimiento de diseño de pavimentos de mayor uso en nuestro medio es el proporcionado por la Guía AASHTO-93, cuya filosofía se basa en el concepto –de comportamiento o Serviciabilidad, este representa un medio para diseñar un pavimento considerando un volumen específico de tráfico total y un mínimo nivel de Serviciabilidad deseado a final del periodo de servicio.

Los factores que influyen mayormente en la pérdida de Serviciabilidad en un pavimento, de acuerdo con la Guía AASHTO-93, considera ; el trafico, edad y medio ambiente. Sobre este ultimo punto la Guía ha hecho un esfuerzo de tomar en cuenta los efectos del medio ambiente en el comportamiento del pavimento, en situaciones donde se encuentren arcillas expansivas o levantamientos por heladas. Así el cambio total en el PSI (Present Serviceability Index) en cualquier momento puede ser obtenido, sumando los efectos ambientales y del trafico.

$$\Delta PSI = \Delta PSI_{\text{trafico}} + \Delta PSI_{\text{medio ambiente}} \dots\dots\dots(27)$$

Donde:

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad total

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad a causa del tráfico (EAL)

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad por hinchamiento y/o levantamiento por helada en el suelo de fundación.

La pérdida de Serviciabilidad debido a fenómenos ambientales que evalúa la Guía, se describe en su Apéndice G "tratamiento de Expansión de la Subrasante y/o Hinchamiento por heladas en el Diseño"; en ambos casos son procedimientos probabilísticos, cuyos conceptos permitirán proponer una relación similar pero por efecto de la temperatura. En el primer caso la pérdida de Serviciabilidad por expansión de suelos depende de la probabilidad de la presencia de suelos expansivos y la condición extrema para una expansión vertical. El procedimiento en el segundo caso, considera que la pérdida del PSI depende de la probabilidad de levantamiento por congelamiento en el área y la pérdida potencial de Serviciabilidad que se

espera en el diseño, considera también un factor Φ (razón de hinchamiento por heladas ..) que depende del tipo de material de las capas de suelo, el porcentaje de material fino, la calidad de drenaje y la altura de penetración de heladas.

De acuerdo con las conclusiones, se reconoce que las causas que motivan la presencia de grietas prematuras en el presente estudio no pueden ser atribuidas a un comportamiento anómalo de los materiales granulares, drenaje o congelamiento de los suelos, por lo tanto, las consideraciones de efectos ambientales como hinchamientos de suelos y levantamiento por heladas no corresponden al análisis del presente estudio. Sin embargo, se ha encontrado que fenómenos como el gradiente térmico tienen una incidencia directa en el comportamiento de las superficies de rodadura, como lo demuestra los resultados modelo. Por consiguiente si este factor conduce a una pérdida significativa de Serviciabilidad o calidad de manejo. Por consiguiente si este factor conduce a una pérdida significativa de serviciabilidad o calidad de manejo, durante el periodo de análisis, la guía considera que se deba incluir este factor en el análisis de diseño de estructuras de pavimentos.

Por lo tanto si los resultados del modelo expresan la probabilidad que ocurra agrietamiento debido a fenómenos de fatiga térmica, sobre una superficie de rodadura de concreto asfáltico, la pérdida de Serviciabilidad deseada al final del periodo de análisis, quedara afectada y puede ser determinado por la probabilidad de ocurrencia de agrietamiento térmico, desarrollados por el

modelo Shain y McCullough. Por consiguiente la pérdida de Serviciabilidad debido a agrietamiento térmica, puede ser calculado mediante la relación.

$$\Delta PSI_{AF} = P_{AF} \times \Delta PSI \dots\dots\dots (28)$$

ΔPSI_{AF} : Perdida de Serviciabilidad debido a agrietamiento por fatiga térmica.

P_{AF} : Proporción de Daño o probabilidad de ocurrencia de agrietamiento por fatiga térmica.

ΔPSI : Perdida de Serviciabilidad esperada o pérdida de Serviciabilidad total.

De acuerdo con las exigencias para el diseño de pavimentos asfálticos en proyectos desarrollados en nuestro país, la perdida Serviciabilidad para un periodo de análisis, debe ser $\Delta PSI = 2$. Sin embargo los resultados de las mediciones del $PSI_{inicial} = 4$; como lo demuestra las mediciones de PSI (ver cuadro N° 2), ejecutadas por la supervisión de las obras de asfalto del tramo Huayre-Chicrin, que concluyó en un valor de $PSI_{inicial} = 3.70$ (Del Águila,1997), este valor se ha podido contrastar con mediciones efectuadas por la Consultora AIC Progetti-Siproma por encargo del MTC, en fechas cercanas a las mediciones antes citadas, los que concluyeron en un valor de $PSI_{inicial} = 3.72$. Respecto a los dos tramos restantes, no se cuentan con reportes de otras mediciones del Serviciabilidad inicial en diversas superficies de pavimento asfáltico en el país, donde los valores de $PSI_{inicial}$ son menores que los observados en el tramo citado.

A efectos de establecer la perdida de Serviciabilidad total en nuestra investigación, se estima que éste alcance $\Delta PSI = 1.7$, lo que nos permitirá de acuerdo con la ecuación (28) desarrollar las siguientes curvas de perdida de Serviciabilidad por efecto térmico para los tres tramos estudiados.

Figura N° 24: Pérdida de Servicialidad por Agrietamiento Térmico, Tramo 01- Δ PSI = 1.7

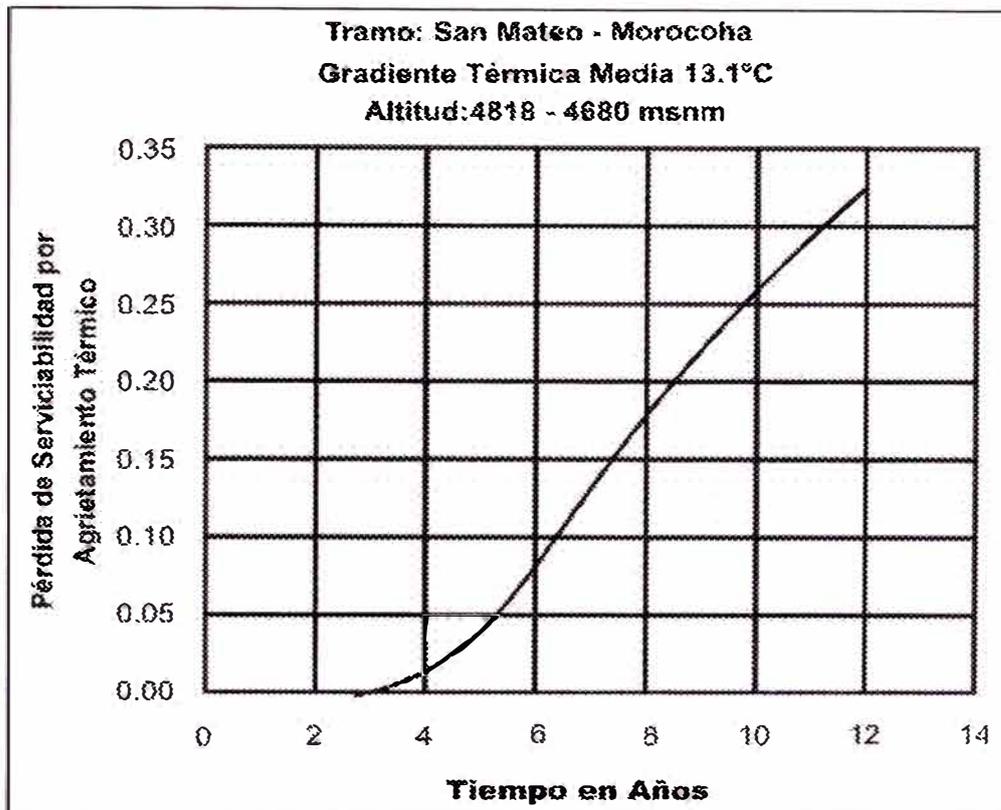


Figura N° 25: Pérdida de Servicialidad por Agrietamiento Térmico Tramo 02- Δ PSI = 1.7

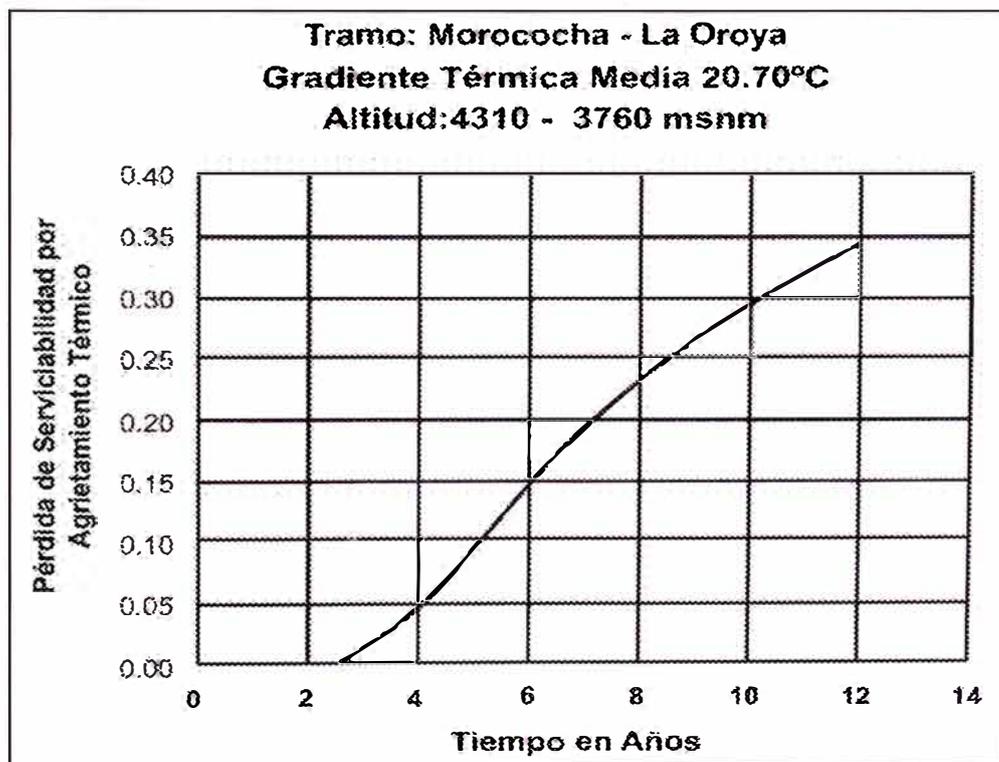
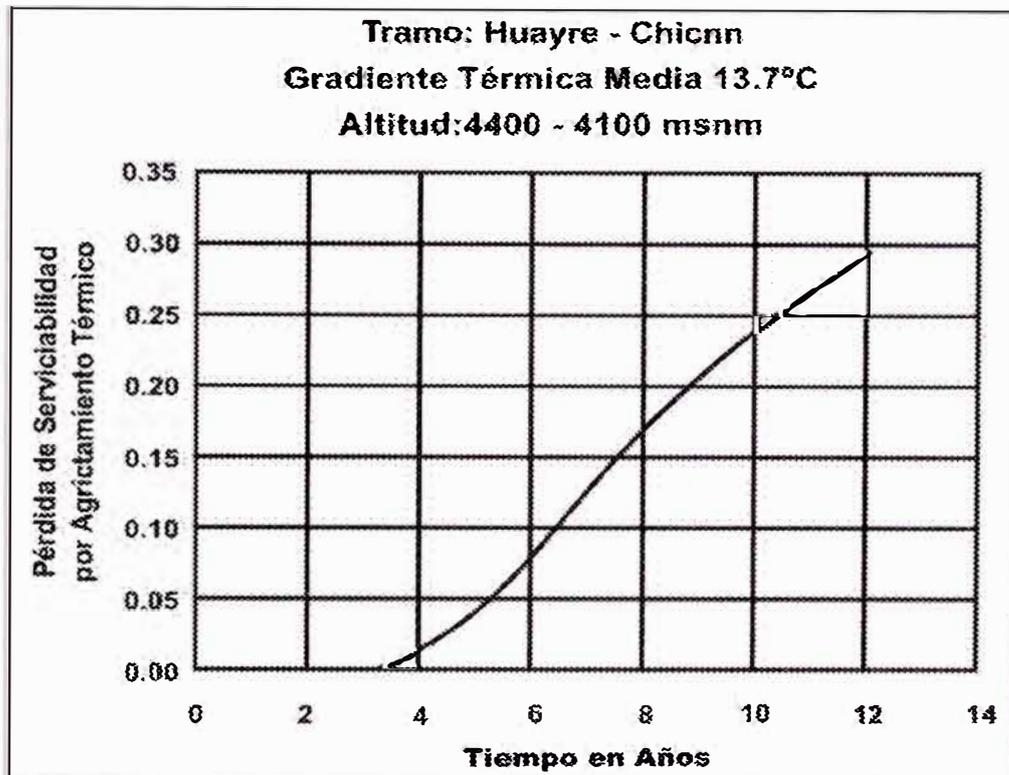


Figura N° 26: Pérdida de Serviciabilidad por Agrietamiento TérmicoTramo 03- $\Delta PSI = 1.7$ 

Se debe manifestar que la tendencia de la pérdida de Serviciabilidad por efecto de fatiga térmica, como se muestra en las figuras 24, 25, y 26, exhiben un desarrollo inicial entre el segundo y tercer año casi sin efecto, para posteriormente desarrollarse conforme pasa el tiempo, ello se debe a la ausencia de agrietamiento por baja temperatura (ver figura N° 33), motivo por el cual las curvas desarrolladas en el presente trabajo discrepan en forma respecto a las curvas de pérdida de Serviciabilidad propuestas por la Guía AASHTO.

La trascendencia de las curvas mostradas en las figuras 24, 25 y 26, radica fundamentalmente en la metodología encontrada para construir curvas de pérdida de Serviciabilidad debido a agrietamiento de origen térmico para

pavimentos construidos en altura. Su aplicación como un medio para abordar el problema térmico de altura, puede incorporarse al procedimiento de diseño de la Guía AASHTO-93 en una primera fase; la segunda fase consistiría en el monitoreo y control durante algún período; para finalmente efectuar los ajustes pertinentes y validar definitivamente el procedimiento.

El agrietamiento térmico, a diferencia del hinchamiento del suelo de fundación o levantamiento por congelamiento, se refiere a los cambios de volumen en la mezcla asfáltica, debido a las altas gradientes de temperatura que ocasiona esfuerzos de tensión y deformaciones que se traducen en grietas, produciendo una distorsión permanente en la superficie pavimento; a ello se debe añadir el efecto del ingreso de las precipitaciones, donde la actuación combinada inciden en el deterioro prematuro y acelerado del pavimento. *Por lo tanto el problema implica tomar las precauciones y el juicio necesarios en el incremento del espesor estructural del pavimento, con atención a la capa asfáltica, ya que está demostrado que el espesor juega un papel importante en la incidencia del agrietamiento térmico (camino de prueba de Santa Ana, Burgess et. al., 1971), debido a que las grietas necesitarán de mayor tiempo para su propagación. No se debe perder la atención en el diseño de las mezclas, el uso de materiales, especialmente asfaltos adecuados y procedimientos constructivos, que son influyentes en le rendimiento y respuesta a los fenómenos ambientales.*

De acuerdo con la Guía, el procedimiento que se requiere para tomar en cuenta las consideraciones de medio ambiente, exigen efectuar

acercamientos de pérdida de Serviciabilidad versus el tiempo, como se muestra en el siguiente ensayo.

- Proyecto: Carretera Morococha-La Oroya
- Periodo de análisis: 10 años
- Tasa de crecimiento: 3.3%
- EAL: 11.7×10^6
- SN: 3.36 (Calculado a partir de datos del proyecto)
- Espesor de carpeta: 10 cm.
- PSI inicial: 3.7
- Pérdida de PSI de diseño: $\Delta PSI = 1.7$
- Pérdida de PSI por agrietamiento térmico: ΔPSI_{AF} (Cuadro N° 13, tramo-02)

Cuadro N° 14: *Pérdida de funcionamiento de una estructura de pavimentos*

Iteración N°	Periodo De Funcionamiento De prueba (Años)	Pérdida de Serviciabilidad por efecto térmico ΔPSI_{AF}	Correspondiente Perdida de Serviciabilidad Debido al transito ΔPSI_{TR}	Transito Acumulado Permisible EAL	Periodo de Funcionamiento (años)
1	10	0.295	1.405	9.5×10^6	8.3
2	9.0	0.266	1.434	9.7×10^6	8.5
3	8.8	0.259	1.441	9.8×10^6	8.5

Fuente: Elaboración propia, ejecutada de acuerdo al procedimiento de la Guía AASTO-93.

El ejemplo alcanzó la convergencia en la tercera iteración por lo tanto el periodo de funcionamiento pronosticado, es alrededor de 8 años. Si reconsideramos el espesor estructural del pavimento, incrementando el espesor de la carpeta en 2 cm, por lo tanto el número estructural será $SN = 3.52$, entonces el periodo de funcionamiento de la estructura del pavimento alcanzará.

Cuadro N° 15: *Periodo de funcionamiento de una estructura de pavimento redimensionada*

Iteración N°	Periodo De Funcionamiento De prueba (Años)	Perdida de Serviciabilidad por efecto térmico ΔPSI_{AF}	Correspondiente Perdida de Serviciabilidad Debido al transito ΔPSI_{TR}	Transito Acumulado Permisible EAL	Periodo de Funcionamiento (años)
1	12.0	0.346	1.354	12.1×10^6	10.3
2	11.2	0.327	1.373	12.4×10^6	10.5
3	11.0	0.322	1.378	12.5×10^6	10.5

Fuente: Elaboración propia, ejecutada de acuerdo al procedimiento de diseño de la guía AASHTI-93.

Por consiguiente podemos afirmar la segunda hipótesis de la presente investigación, dado que es posible incorporar la variable GRADIENTE TERMICO, en el proceso de diseño mediante el análisis que ofrece la Guía AASHTO-93.

***CAPITULO V: APLICACIÓN DE ASFALTOS CON
POLIMEROS EN BUENOS AIRES ARGENTINA***

CAPITULO V
APLICACIÓN DE ASFALTOS CON POLIMEROS EN BUENOS AIRES
ARGENTINA.

5.1 RESUMEN

Los asfaltos modificados con polímeros son de reciente aplicación en esta parte del Continente especialmente en el país Argentina y de obras viales, donde se pretende lograr, entre otras cosas, superficies de rodamiento de alta performance, en especial relacionadas con la seguridad del usuario, en razón una manera sistemática y creciente en de la alta fricciónabilidad que se alcanza con algunos tipos de mezclas que solamente se pueden fabricar con ligantes modificados con polímeros.

El empleo intensivo en Argentina los ligantes modificados data de unos cuatro años y el consumo ha ido creciendo, notablemente, a tal punto que en el año 2000 se superaron las 40.000 Tn. Donde 20.000 Tn correspondería ligantes modificados con polímeros, 10.000 Tn. a emulsiones modificadas con polímeros y 10.000 Tn a ligantes asfálticas.

En razón de que las mezclas preparadas con ligantes modificados resultan ser mas caras que las convencionales y de no contar con una experiencia muy válida en cuanto a su durabilidad con el correr del tiempo, se hace necesario implementar métodos de laboratorio que permitan evaluar su comportamiento a corto y largo plazo de envejecimiento.

En esta oportunidad se estudian ligantes modificados con polímeros de carácter comercial empleados en mezclas típicas tales como las mezclas drenantes, los microaglomerados discontinuos y las mezclas densas.

Como métodos de envejecimiento de las mezclas en laboratorio a corto y largo plazo se emiten los métodos desarrollados por SHRP (Strategic Highway Research Program) y sus resultados se comparan con los obtenidos en mezclas de características similares preparadas en plantas asfálticas.

5.2 DESCRIPCION DEL TRABAJO A DESARROLLAR

El acceso oeste se encuentra compuesto principalmente por una moderna autopista de aproximadamente 52 kilómetros de longitud, que une la ciudad de Buenos Aires con la ciudad de Lujan y los suburbios de la zona oeste del Gran Buenos Aires, un área densamente poblada y en rápido crecimiento.

La autopista forma parte de la Red de accesos a la Ciudad de Buenos Aires, y se conecta con la Avenida General Paz y con las Autopistas 25 de Mayo y Perito Moreno, lo que permite a los usuarios un rápido recorrido desde y hacia al centro mismo de la ciudad de Buenos Aires, configurando uno de los mas importantes corredores viales de la Argentina en términos de volumen de tránsito.

La autopista se encuentra dividida en cuatro tramos, los tres primeros formando parte de la Ruta Nacional N° 7 y el ultimo formando parte de la Ruta Nacional N° 5.

El tramo I con una longitud de 8.65 Km. Esta compuesto por 4 carriles por sentido y fue construido en su totalidad por la concesionaria.

El tramo II de 15.08 Km. De lago de tres carriles por sentido, se extiende desde Morón hasta el Acceso a loa localidad de Moreno.

El tercer tramo (Tramo III) de 26.44 Km. De largo y dos carriles por sentido se extiende desde Moreno hasta el empalme con la R.N. N° 5 en las afueras de la ciudad de Luján . Finalmente el cuarto tramo de 2.3 Km. De largo consiste en un carril por sentido hasta el empalme con la Ex. Ruta Nacional N° 7.

Como parte de los trabajos previstos en el Plan Maestro de obras de Mantenimiento de las calzadas principales de los tramos II y III. De los 42 kilómetros de longitud tratados, 8 poseen una estructura de pavimento flexible tipo full depth y los 34 restantes están constituidos por un pavimento rígido formado por losas de hormigón de entre 20 y 22 cm. De espesor con un recubrimiento de concreto asfáltico de espesores variables ente 6 y 11 cm.

Los estudios realizados concluyeron con la necesidad de renovar las características superficiales de la totalidad de las Calzadas, ya que no requerían refuerzos estructurales. Por lo tanto, luego de un análisis técnico económico de las posibles soluciones se decidió la colocación de un micro aglomerado de granulometría discontinua con la utilización de asfalto modificado con polímeros, en base a las siguientes consideraciones:

Son mezclas durables, seguras y resistentes a la fatiga.

Además de la experiencia internacional en el país se viene utilizando desde 1996 con resultados satisfactorios.

Requieren equipamiento convencional para su elaboración y colocación.

Al ejecutarse en capas delgadas, tienen un elevado rendimiento en términos de superficie diaria a cubrir, condición relevante en este caso, pues se requirió la colocación de 1000. 000 m² en un plazo de 5 meses.

Previo a la ejecución de micro aglomerado discontinuo se procedió a reparar las fallas superficiales tales como fisuras transversales reflejadas peladuras y baches. Asimismo se incremento la pendiente transversal de las calzadas de las calzadas del tramo II mediante la colocación de una carpeta asfáltica de espesor variable a efectos de mejorar el drenaje superficial. Finalmente se texturizaron los sectores de calzada con baja macro textura con el propósito de lograr un mayor anclaje entre el micro aglomerado a colocar y soportar.

Hay muy poca información de la degradación que sufren los polímeros componentes de los asfaltos modificados durante su funcionamiento en servicio.

En general los ensayos que se realizan para determinar la alteración que sufren los Asfaltos Modificados con polímeros (AMP) recuperados del pavimento, son por demás complicados por el hecho de que el calentamiento de la mezcla y posterior disolución con solvente para la obtención de la muestra para ser ensayada, puede afectar las propiedades de ciertos polímeros y falsear los resultados.

Los polímeros más empleados para modificar asfaltos son elastómeros del tipo SBS (Estireno-Butadieno-Estireno) y plastómeros del tipo EVA (Etil-Vinil-Acetato) de estos dos el mas utilizado es el SBS.

En general la mayoría de los ensayos de durabilidad para los Asfaltos Modificados con Polímeros (AMP), involucran ensayos de penetración y viscosidad a los ligantes luego de haber sido sometidos algún tratamiento por calor.

En el caso particular de los Asfaltos Modificados con SBS, durante el proceso de calentamiento se produce, por un lado, una oxidación del asfalto base de AMP, con un aumento en su viscosidad y por otro, una degradación o rotura de las cadenas de polímero (1)(2)(3). Esta degradación conduce a una disminución de la viscosidad del AMP lo cual balancea el endurecimiento del asfalto base. El resultado final de este proceso es que el AMP endurece relativamente menos que un asfalto convencional sin modificar y aparenta ser más resistente a la oxidación. Sin embargo, el hecho es que ha ocurrido un deterioro en las propiedades del polímero SBS lo cual no se detecta mediante los ensayos clásicos de penetración y viscosidad.

Ensayos realizados en Suecia sobre muestras de asfaltos modificados con SBS sometidos a envejecimientos acelerados calentándolos en estufa a 70°C durante seis meses encontraron que se producía una degradación del polímero, indicando por una disminución del tamaño molecular, los cambios principales se produjeron durante los primeros meses, como es bien conocido el envejecimiento o endurecimiento de los asfaltos o con el mezclado y colocación de la mezcla (envejecimiento a corto plazo), durante su vida de servicio en el pavimento (Envejecimiento a Largo Plazo)

Durante muchos años se han utilizado ensayos de laboratorio para simular el envejecimiento de los asfaltos en la operación de mezclado en caliente, tal es el caso del TFOT y el RTFOT. Estos dos métodos son aceptados y reconocidos ya que producen aproximadamente el mismo efecto. El ensayo RTFOT ha sido adoptado por la especificación de ligantes para pavimentación de SHRP (Strategic Highway Research Program)

Para simular el envejecimiento en servicio, SHRP ha adoptado el ensayo de envejecimiento PAV (Preassure Aging Vassel) este ensayo consistía en someter al residuo proveniente del RTFOT a un calentamiento adicional dentro de un recipiente con aire a presión (2.10 MPa), durante 20 horas a una temperatura de aproximadamente 100°C.

En el caso de mezclas asfálticas, SHRP ha propuesto para el envejecimiento a corto plazo, el ensayo STOA (Short Term Oven Aging) y para el largo plazo el LTOA (Long Term Oven Aging) El ensayo de envejecimiento a corto plazo (STOA) consiste en someter a la mezcla asfáltica recién preparada y en estado suelto, a un calentamiento en estufa con circulación forzada de aire mantenida a 135°C, durante 4 horas.

En cuanto al ensayo de envejecimiento de largo plazo (LTOA), el mismo consiste en moldear con la mezcla previamente envejecida durante 4 horas a 135°C, probetas con el compactador giratorio y posteriormente someter a la misma a un calentamiento en estufa con circulación forzada con aire durante 5 días a 85°C.

Teóricamente es valido suponer que los resultados obtenidos en los residuos de los ensayos STOA y LTOA deberían ser similares a los obtenidos en los ensayos de RTFOT y PAV.

ESPECIFICACIONES Y PROYECTOS DE LAS OBRAS

El proyecto contemplo la realización de un microaglomerado discontinuo en caliente del tipo F10 Artículo 543 del pliego PG3, Ministerio de Fomento Español.

A continuación se detallan las especificaciones seguidas para el proyecto y las características típicas de los materiales utilizados para la realización de la mezcla adoptada.

ARIDOS Y GLANULOMETRIA:

Los áridos empleados en la mezcla tipo microaglomerado bituminoso a colocar como nueva capa de superficie de rodamiento en la autopista del Oeste, fueron suministrados por los siguientes proveedores:

Arena de trituración (0-3 mm)	Cantera Marengo (Azul)
Piedra triturada (6-12 mm)	Cantera Cefas (Olavaria)
Relleno Mineral (Filler)	Loma Negra (Sierras Bayas)

Por su naturaleza el material grueso, consiste en una migmotita, granítica, granodiorítica, compuesta por clastos angulosos compuestos y feldespatos y potasico; con proporciones subordinadas color rojizo-rosada (cuarzo plagioclasa ácida subordinada, feldespatos potásico) . los clastos de color gris presenta ligeros bandeamientos y tamaños de los componentes minerales de fino a medio. En general las partículas del árido presentan no menos de tres fasetas planas debidas al proceso de trituración. De acuerdo a los ensayos realizados el material tuvo las siguientes características promedio:

Peso específico (kg/cm ³)	2.70
Desgaste de los ángeles (Gradación°C)%	< 25
Partículas chatas alargadas %	14.8
Ensayo de Adherencia (ASTM D 3625) %	>98
Impurezas %	< 0.5
Granulometría %	
Pasa Tamiz ¾"	100
Pasa Tamiz ½"	100
Pasa Tamiz 3/8"	85
Pasa Tamiz ¼"	14.6
Pasa Tamiz N° 4	4.5
Pasa Tamiz N° 8	1.0

La arena empleada proviene de la trituración de rocas graníticas hasta tamaños comprendidos aproximadamente entre 0 y 3 mm. Siendo su graduación la siguiente:

Pasa Tamiz	N° 8	N° 4	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200
%	100	96.3	51.5	37.1	24.5	15.1

Otras de las Características de las arenas son:

Peso específico (kg/cm ³)	2.68
Equivalente de arena %	> 75
Índice de Adherencia (Riedel y Weber)	> 5

El relleno mineral (Filler) es de naturaleza calcárea y posee las siguientes características.

MEJORAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS CON EL USO DE LOS POLIMEROS

Peso específico (kg/cm ³)	2.70
Densidad aparente (kg/cm ³)	0.70
Granulometría %	
Pasa Tamiz N° 50	100
Pasa Tamiz N° 100	96.5
Pasa Tamiz N° 200	83.1

De acuerdo a los resultados obtenidos puede considerarse que en general los ácidos resultaban aptos para ser empleados en la mezcla de microaglomerado como el pretendido

Con lo respecto a la granulometría se adopto el huso F10 del pliego español con la consigna de mantener por debajo del 8% la discontinuidad entre los tamices N° 4 y N° 8 de la serie ASTM.

TAMIZ UNE	12.5	10	8	5	2.5	630 um	80um
TAMIZ ASTM	½"	3/8"	5/16"	N° 4	N° 8	N° 30	N° 200
HUSO F10	100	75-97		25-40	20-35	12-25	7-10

A partir de la granulometría individual de los materiales, se realizo la siguiente dosificación en áridos, a efectos de encontrar el huso previsto.

Agregado Pétreo triturado (6-12)%	73.2
Arena de trituración	21.0
Filler calcáreo %	5.8

La curva granulométrica de la mezcla áridos resulto la siguiente:

La cual encuadro perfectamente en las especificaciones áridas, inclusive en lo referido a la discontinuidad buscada.

LIGANTE:

Pasa Tamiz	¾"	½"	3/8"	¼"	N° 4	N° 8	N° 30	N° 50	N° 100	N° 200
HUSO F10	100	100	74.4	37.5	30.1	27.2	16.6	13.6	10.7	8

El ligante prescripto para la obra, resulto un AM3 de la forma IRAM 6596 mostrándose a continuación valores típicos obtenidos:

Penetración a 25°C (100g-seg)	71 (50-80)
Punto de Ablandamiento (AyE) °C	94 (>85)
Recuperación Elástica Torsional a 25 °C, %	80 (>70)
Viscosidad a 135°C, c Poise	2600
Viscosidad a 150°C, c Poise	970
Viscosidad a 170°C, c Poise	380
Viscosidad a 190°C, c Poise	190

DOSIFICACION DE LA MEZCLA

Siguiendo los criterios de la norma española citada se muestra a continuación los resultados obtenidos para un contenido optimo de ligante de 5.2% sobre mezcla.

Probetas Marshall, 50 golpes por cara, temperaturas de moldeo 175/180°C

Densidad aparente (g/cm ³)	2.395
Densidad máxima Rice (g/cm ³)	2.497
Contenido de Asfalto %	5.2
Estabilidad Marshall, kg	1247 (>750)
Fluencia, mm	4,6 (3-5)

Ensayo de inmersión – comprensión (NLT 162)

Resistencia conservada (NLT 162)	88 (>75)
----------------------------------	----------

COLOCACION DE LA MEZCLA***TRAMO DE PRUEBA***

Previo a la colocación de la mezcla en el camino, se ejecuto un tramo de prueba en algunos sectores de la banquina de la Autopista (Progresiva 21,7 y 21,8).

Como riego de liga se utilizo una emulsión cationica modificada con polímero, con un residuo de betún medio de 63% y una recuperación elástica torsional mayor del 15%.

El objetivo de este tramo fue evaluar las características de fabricación, colocación, compactación y verificación de la textura superficial. Esta evaluación también continuo los días subsiguientes.

- a. La elaboración de la mezcla no ofrecía dificultades, observándose una correcta envuelta de los agregados pétreos por el ligante bituminoso.
- b. La caída de temperatura de la mezcla, desde la salida de la planta hasta su llegada obra, resultaba poco significativa dada la reducida distancia actual de transporte.

- c. Tanto el extendido mediante Terminadora como su compactación con cilindro de acero, no presentan inconvenientes.
- d. Las profundidades de textura (Procedimiento del círculo de arena) de la carpeta compactada, están comprendidas dentro de los valores exigidos.

INICIO DE LA OBRA EN LA CALZADA PRINCIPAL

El día 30 de Agosto se comenzó previo el riego de la ejecución de la carpeta de microaglomerado en el carril 1 ascendente de la calzada principal.

En esta oportunidad se apreció que las características visuales que presentaba la mezcla colocada eran muy similares a la de las mezclas colocadas previamente en banquetas

ELABORACION DE LA MEZCLA ASFALTICA

Los controles de temperatura realizados por personal de Laboratorio de Autopistas del Oeste en cada uno de los camiones salidos de la planta, indicaron que las mismas oscilaron entre 170°C y 190°C, tal como constan en los registros diarios. Estas temperaturas se consideran apropiadas para este tipo de mezcla.

Con respecto a las temperaturas de colocación, los registros efectuados en el momento del extendido nunca fueron menores a los 150-155°C.

Pudo observarse durante los primeros días de producción que la capacidad de la planta Asfáltica superaba a la velocidad de colocación de la Terminadora. Por tal motivo se procedió a solicitar a la contratista la incorporación de un segundo equipo de distribución a los efectos de sincronizar las operaciones de fabricación y colocación, evitando que camiones cargados deban permanecer parados con

la consiguiente pérdida de temperatura de la mezcla lo entredicho se implemento rápidamente.

CONTROL DE CALIDAD

Se entiende por control de calidad al conjunto de actividades destinadas a la comprobación del cumplimiento de las especificaciones de los pliegos del contrato de obra.

A efectos de lograr el aseguramiento de la calidad por disposición de la Concesionaria de l Autopistas (el Corriente), la obra fue sometida a un mecanismo de doble control.

Por un lado la empresa contratista ha realizado las tareas de autocontrol mediante la implementación de un programa de inspección y ensayos de laboratorio propios, que abarco desde la selección de canteras, el control de materiales, el transporte, la producción de mezcla asfáltica hasta su puesta en obra, con el fin de cumplir con los requerimientos del Corriente.

Por otra parte, La concesionaria, a través de su Dirección de Obra, ha realizado las tareas de auditoria técnica llevando a cabo tanto el control de la metodología de los ensayos realizados durante la obra, como la evaluación de los resultados obtenidos, además de la supervisión de los controles adicionales que estimo necesarios para asegurar la calidad deseada.

La intervención del auditor tuvo asimismo como finalidad adoptar las medidas correctivas oportunas para prever el correcto desarrollo de la obra en base a lo exigido.

En el cuadro siguiente se muestra la rutina de ensayos implementada en las distintas etapas de la obra.

PLAN DE ENSAYOS DE AUTOCONTROL DE CALIDAD PARA LA FABRICACIÓN Y COLOCACIÓN DEL MICRO AGLOMERADO EN CALIENTE

1. Ligantes Bituminosos

Material	Ensayo	Norma	Frecuencia
Asfalto Modificado			
Al recibir	Temperatura	----	De cada camión
	Punto de Ablandamiento	IRAM 6576	De cada camión
	Recuperación Elástica	NLT 329/91	De cada camión
	Viscosidad a 170°C	IRAM 6837	De cada camión
	Ensayo Completo	IRAM 6996	Cada 200 Toneladas
Del Acopio	Temperatura	----	Mañana y Tarde
	Punto de Ablandamiento	IRAM 6576	Una vez por semana
	Recuperación Elástica	NLT 329/91	Una vez por semana
	Viscosidad a 135 -150°C 170 -190°C	IRAM 6837	Una vez por semana

Emulsión asfáltica modificada			
Al recibir	Residuo sobre tamiz	NLT 142	Cada camión
	Contenido de Ligante	NLT 139	Cada camión
	Sobre el residuo de la emulsión:	NLT 147	
	Penetración a 25 °C	NLT 124	
	Punto de ablandamiento	NLT 125	Cada camión
	Recuperación Elástica	NLT 329	Cada camión
Ensayo completo	Art. 216 O.C. 322/97 PG3 España	Una vez cada 15 días	

Al proveedor del asfalto Modificado se le exigió un certificado con las características de penetración, punto de ablandamiento, recuperación elástica y la curva de viscosidad temperatura de las distintas partidas suministradas.

Al proveedor de la emulsión modificada le fue exigido con cada envío, un certificado con las características de la emulsión, donde se indicó el contenido del

ligante residual y la penetración, el punto de ablandamiento y la recuperación elástica de este último.

2. Agregados pétreos

Material	Ensayo	Norma	Frecuencia
Agregados de acopio			
Gruesos	Granulometría Desgaste de los Ángeles Índice de lajidad	VN-E 7-65 IRAM 1532 VN-E 36-66	Cada 10000 Tn. De una agregado de la misma procedencia
Finos	Granulometría Índice de Plasticidad Equivalente Arena	VN-E 7-65 VN-E 3-65 VN E 10-82	Cada 10000 Tn. De una agregado de la misma procedencia
Relleno Mineral	Granulometría	VN E 7-65	
Agregados de silos o predosificadores			
Gruesos	Granulometría	VN E 7-65	Una vez por día
Finos	Granulometría	VN E 7-65	Una vez por día

3. Microaglomerado

Material	Ensayo	Norma	Frecuencia
Mezcla Asfáltica			
Sobre camión	Temperatura Estabilidad y Fluencia Contenido de vacíos Densidad Contenido de asfalto y Granulometría Resistencia conservada Viscosidad a 170°C sobre el asfalto recuperado	----- VN-E9 -86 VN-E9 -86 VN-12-67 VN-E60 -78 NLT 162 IRAM 6835	Cada camión Un ensayo mañana y tarde Una vez por semana Una vez por semana
Extendida	Temperatura de la mezcla	VN-E 7-65 VN-E 3-65 VN E 10-82	Después de cada camión
Compactada	Densidad y espesor Textura superficial Ensayo Completo (1)	VN 12-67 NLT -335	Un testigo cada 800 m ² Una vez por día Una vez por semana

(1) Ensayos de Laboratorio externo que ha n de incluir:

Densidad

Contenido de Vacíos

Contenido de Ligante

Granulometría de los áridos recuperados

Viscosidad a 170°C del ligante recuperado

RESULTADOS OBTENIDOS E IMPLEMENTACION DE LA EVALUACIÓN DE COMPORTAMIENTO

A efectos de observar la evolución sistemática de algunos parámetros funcionales, mecánicos del ligante utilizado se procedió a determinar 4 tramos de control dentro del corredor, para su seguimiento. A continuación se muestran los parámetros iniciales y los actuales, luego de transcurridos entre 6 meses y un año desde su habilitación:

Tramo III: Carril Interno Descendente: TMDA: 48.847 % Camiones: 2.59

Progresiva	Compactación %		Vacíos %		Textura, mm.	
	Inicial	8 meses	Inicial	8 meses	Inicial	8 meses
51,550	99.8	99.9	7.5	7.4	1.4	1.2
51,250	98.7	99.7	8.5	7.6	1.2	1
51,970	100.3	99.9	7.1	7.4	1.5	1.3
50,640	99.5	100.7	7.8	6.7	1.7	1.6
50,370	98.4	100.1	8.8	7.3	1.5	1.2

Tramo III: Carril Externo Descendente:

Progresiva	Compactación %		Vacíos %		Textura, mm.	
	Inicial	8 meses	Inicial	8 meses	Inicial	8 meses
51,440	97.9	101	9	6.2	1.8	1.3
51,170	97.1	101	9.7	6.4	1.6	1.1
50,850	100	100	6.5	5.6	1.4	1.1
50,570	100	98.7	6.3	8	1.6	1.2
50,240	97.7	98.9	8.9	7.9	1.5	1.1

Tramo III: Carril Interno Descendente: TMDA: 21.726 % Camiones: 8.24

Progresiva	Compactación %		Vacíos %		Textura, mm.	
	Inicial	8 meses	Inicial	8 meses	Inicial	8 meses
28,580	97.5	98.8	7.2	5.2	1.6	1.2
28,750	98.1	99.8	8.5	5.3	1.5	1.4
28,920	96.6	100	6.1	4.7	1.4	1.4
29,090	96.6	99.5	6.1	5.6	1.6	1.3
29,250	96.7	100	5.9	4.8	1.4	1.2
29,520	96.1	99.6	6.5	5.4	1.4	1.2

Tramo III: Carril Externo Descendente:

Progresiva	Compactación %		Vacíos %		Textura, mm.	
	Inicial	8 meses	Inicial	8 meses	Inicial	8 meses
28,580	98.5	98.3	7.1	6.8	1.5	1.3
28,750	98.4	99.9	7.1	5.2	1.5	1.1
28,920	97.4	102	8.1	3.1	1.5	1.1
29,090	96.1	101	7.6	3.6	1.5	1.2
29,250	99	101	6.6	4.5	1.4	1.1
29,520	96.6	101	8.9	4.8	1.4	1.1

A continuación se muestra el comportamiento del ligante modificado en los tramos considerados, a efectos de observar el comportamiento en cuanto al envejecimiento del mismo como así también la evolución en sus propiedades elásticas.

TRAMO III: Carril Interno Descendente

	Original	RTFOT	Inicial	8 meses
Viscosidad a 170°C, cP	400	397	390	410
Recuperación Elástica a 25°C	80	72	74	66

TRAMO III: Carril Externo Descendente

	Original	RTFOT	Inicial	8 meses
Viscosidad a 170°C, cP	400	397	390	390
Recuperación Elástica a 25°C	80	72	74	58

TRAMO III: Carril Interno Ascendente

	Original	RTFOT	Inicial	8 meses
Viscosidad a 170°C, cP	400	397	390	515
Recuperación Elástica a 25°C	80	72	74	53

TRAMO III: Carril Externo Ascendente

	Original	RTFOT	Inicial	8 meses
Viscosidad a 170°C, cP	400	397	390	440
Recuperación Elástica a 25°C	80	72	74	60

NOTA: Tanto los valores de viscosidad como de su recuperación elástica originales. Tras RTFOT e iniciales, corresponden a valores promedios de medidas realizadas en los distintos tramos considerados.

5.3 COMPARACIÓN DE LOS ASFALTOS CONVENCIONALES CON LOS ASFALTOS MODIFICADOS.

5.3.1 ASFALTOS CONVENCIONALES

En el cuadro N° 01 se indican las características de los asfaltos convencionales a estudiar.

Cuadro N° 01 Características de los Asfaltos Convencionales

ASFALTO	70/100	50/60
Penetración a 25°C	88	59
Punto de ablandamiento, °C	46,2	50.2
Punto de inflamación, °C	327	345
Oliensis	Negativo	Negativo
Ductilidad a 25°C	+150	+150
Índice de penetración	-0.8	-0.8
Viscosidad a 60 °C poises	1290	2210
Sobre el residuo de RTFOT		
Viscosidad a 60 °C poises	2190	+180
Ductilidad a 25°C	+150	+150

5.3.2 ASFALTOS MODIFICADOS

Los asfaltos a estudiar ha sido modificado con polímeros del tipo SBS y EVA cuyas muestras dan las características que se indican en el cuadro N° 2.

Cuadro N° 02: Características de los Asfaltos Modificados

Muestra	EVA	SBS
Penetración a 25°C	64	64
Punto de ablandamiento (AyE), °C	65	69
Recuperación elástica (Torsional), %	41	78
Ductilidad a 5°C, cm	17	32
Viscosidad Brookfield a:		
60°C (0.5 Seg-1), poises	2040	540. 000*
135°C, c Poises	750	3885
150 °C, c Poises	390	1205
170 °C, c Poises	190	401
190 °C, c Poises	105	210

* La determinación se realizó a una velocidad de fluir igual a 0.025 seg-1

5.3.3 AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados pétreos empelados en la preparación de las mezclas asfálticas son de tipo granítico proveniente de Olavaria en la provincia de Buenos Aires, arena sílice y tiller (cal) las granulometrías de los mismos se indican en el cuadro N° 03.

Cuadro N° 03: Granulometría de los Agregados empleados

% que pasa Tamiz N°	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200
Agregado 6-20	100	54.8	31.3	0.0						
Agregado 0-6	100	100	100	100	59.4	33.3	23.9	15.9	9.6	4.7
Arena sílice	100	100	100	100	100	100	100	66.1	8.9	0.7
Filler (Cal)	100	100	100	100	100	100	100	96.0	93.0	82.0

5.4 ENSAYOS REALIZADOS

La composición de la mezcla estudiada fue la siguiente

Material	% en la mezcla
Agregado trituración 6 – 20	55.2
Agregado trituración 0 - 6	33.1
Arena sílice	5.8
Filler	1.9
Asfalto	4.0

5.5 ENVEJECIMIENTO DE LOS POLIMEROS

5.5.1 ENVEJECIMIENTO A CORTO PLAZO (Short Aging Oven)

ASFALTOS CONVENCIONALES

con la finalidad de verificar si los distintos métodos de envejecimiento producen los mismos cambios tanto en los asfaltos convencionales como en los modificados con polímeros, se procedió en una primera instancia a ensayar los asfaltos convencionales.

Las mezclas con el agregado granítico y los asfaltos 50/60 y 70/100 fueron preparadas a las temperaturas optimas de mezclado correspondientes con una viscosidad de 0.15 a 0.19 Pas. Las mismas se colocaron dentro de una bandeja plana y en estado suelto, en un espesor correspondientes 21-22 kg/m², la que fue mantenido dentro de una estufa con circulación forzada con aire a 135 °C durante 4 horas. Durante ese lapso la mezcla ha sido removida cada hora para homogenizar su exposición a la temperatura. Al cabo del periodo de exposición, se procedió a la extracción del ligante y determinar mediante el viscosímetro a Brookfield su viscosidad a distintas temperaturas.

Tal como fue dicho anteriormente, el encargo del calentamiento en película fina rotativa (RTFOT) sobre los ligantes bituminosos debería dar resultados similares a los que se obtuvieron en el ensayo STAO sobre la mezcla asfáltica. En el cuadro N° 4 se muestran los resultados obtenidos.

Cuadro N° 4: Envejecimiento RTFOT y STAO con agregado granítico

Ligante	70/100			50/60		
	Original	RTFOT	STAO	Original	RTFOT	STAO
Viscosidad a 60° C P.	1290	2190	3760	2600	6050	7500
135	360	440	530	460	600	690
150	185	220	260	240	290	330
170	90	100	120	110	130	150

Tal como puede apreciarse en esta tabla los valores de viscosidad obtenidos luego del ensayo de envejecimiento a corto plazo (STAO) resultan ser mayores a los obtenidos en el RTFOT en todo el rango de temperatura estudiado, tanto para el asfalto 50/60 como para el 70/100. Por lo tanto este ensayo resulta ser mucho mas exigente en cuanto a envejecimiento que el RTFOT, tal vez como consecuencia que el tiempo de calentamiento en estufa resulta ser algo excesivo.

ASFALTOS MODIFICADOS.

Con los asfaltos modificadores con polímeros se procede de la misma forma con los asfaltos convencionales. En los cuadros N° 5 y 6 se indican comparativamente los resultados obtenidos del RTFOT junto con los de envejecimientos a corto plazo (STAO) a partir de mezclas con los agregados graníticos y cuarcíticos. En este ultimo caso los valores se indican han sido obtenidos por duplicado.

Cuadro N° 5: Envejecimiento RTFOT y STAO con agregado granítico

Ligante	EVA			SBS		
	Original	RTFOT	STAO	Original	RTFOT	STAO
Viscosidad a 170°C cP.	190	223	180	401	397	560
Recuperación Elástica a 25°C	42	37	19	78	72	65

Cuadro N° 6: Envejecimiento RTFOT y STAO con agregado cuarcíticos

Ligante	EVA			SBS		
	Original	RTFOT	STAO	Original	RTFOT	STAO
Viscosidad a 170°C cP.	190	223	200	401	397	470
Recuperación Elástica a 25°C	42	37	23	78	72	63

El análisis de los resultados presentados en estos dos últimos cuadros permiten conocer que también para los ligantes modificados con polímeros el ensayo de envejecimiento a corto plazo (STAO), resulta ser mas agresivo que el RTFOT. Si bien como consecuencia de la degradación de los polímeros por efecto del envejecimiento, los valores de viscosidad a 170° C de los ligantes modificados es del mismo orden al de los ligantes originales sin envejecer donde si se aprecian cambios mas notables es en la recuperación elástica torsional, aunque en el caso del ligante con SBS esta disminución no es demasiada pronunciada, lo que esta indicando que a pesar del envejecimiento el mismo sigue manteniendo sus propiedades elásticas en buena forma. Como consecuencia de estos resultados puede concluirse que el procedimiento de mezclado en la planta asfáltica medido a través de los ensayos RTFOT STAO, no parece afectar significativamente las propiedades de los ligantes modificados.

5.5.2 ENVEJECIMIENTO A LARGO PLAZO: LTAO (Long Term Aging Oven)

ASFALTOS CONVENCIONALES

Tal como se describió anteriormente, este ensayo consiste en moldear probetas con el compactado giratorio de SHRP, con las mezclas que fueron previamente envejecidas a corto plazo durante 4 horas a 135°C. Las probetas fueron compactadas según el numero de giros de diseño determinado para el nivel de trafico seleccionado que corresponda a 96 giros.

Las probetas fueron colocadas dentro de una estufa con circulación forzada de aire mantenida a 85 °C durante 5 días. Al cabo de este lapso se

procedió a extraer y recuperar el ligante de la misma forma indicada mas arriba. En el cuadro N° 07 se indican los resultados obtenidos con el agregado granítico donde también se han incluido los resultados del PAV.

Cuadro N° 7: Envejecimiento PAV y LTAO con agregado granítico

Ligante	70/100			50/60		
	Original	PAV	LTAO	Original	PAV	LTAO
Viscosidad a 60° C P.	1290	7400	6000	2600	19600	13000
135	360	650	620	460	910	860
150	185	310	300	240	420	400
170	90	135	130	110	180	175

En este caso puede apreciarse que los resultados obtenidos con el PAV resulta ser mas altos que los que se logran con el LTAO. Una conclusión similar fue el ensayo por otros anteriores.

LIGANTES MODIFICADOS

En el cuadro N° 8 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos practicados con los agregados granítico y cuarcítico.

CUADRO N° 8. Características de los ligantes envejecidos a largo plazo (LTAO)

Ligantes	EVA		SBS	
	Granito	Cuarcita	Granito	Cuarcita
Agregado				
Viscosidad a 170°C cP.	180	200	500	470
Recuperación Elástica a 25°C	19	23	65	63

Tal como fue dicho anteriormente, el ensayo de calentamiento a presión PAV sobre los ligantes bituminosos debería dar resultados similares a los que se obtienen en el ensayo LTAO sobre la mezcla asfáltica. En los cuadros N°s 9 y 10 se indican comparativamente los resultados obtenidos del PAV junto con los de envejecimiento a largo plazo LTAO a partir de las mezclas con los agregados graníticos y cuarcíticos. En este ultimo caso se indican los calores medios.

CUADRO N° 9. Envejecimiento PAV y LTAO con agregado granítico.

Ligante	EVA			SBS		
	Original	PAV	LTAO	Original	PAV	LTAO
Viscosidad a 170°C cP.	190	363	180	401	470	500
Recuperación Elástica a 25°C	42	20	19	78	39	65

Cuadro N° 10: Envejecimiento PAV y LTOA con agregado cuarcítico

Ligante	EVA			SBS		
	Original	PAV	LTAO	Original	PAV	LTAO
Viscosidad a 170°C cP.	190	302	200	401	470	550
Recuperación Elástica a 25°C	42	20	23	78	39	63

El análisis de estos cuadros nos indican que el ensayo de PAV resulta ser mas agresivo que el LTAO particularmente en lo referente, en el caso del ligante modificado con SBS, por una disminución de la viscosidad a 170 °C y de la recuperación elástica torsional. Esto podría ser a causa de una cierta

degradación del polímero. En el caso del ligante modificado con EVA las diferencias entre los dos métodos son similares a la encontrada con los asfaltos convencionales.

5.5.3 ENVEJECIMIENTO EN LA PLANTA ASFÁLTICA

Con el objetivo de correlacionar los ensayos de envejecimiento en laboratorio a corto plazo con lo que realmente ocurre durante la operación de mezclado en la Planta asfáltica, se ha procedido a formar muestras tomadas a la salida de la planta o recuperadas del pavimento recientemente ejecutado, correspondientes a una serie de obras de donde se emplearon ligantes modificados, de características similares a los de este estudio. Se procedió a la recuperación del ligante para su caracterización. Las mezclas en su mayoría corresponden a microaglomerados discontinuos y mezclas densas. En las Cuadros N°s 11 y 12 se muestran los resultados obtenidos, donde también se han incluido valores típicos correspondientes a ligantes de características similares en su estado original y luego de ser sometido al ensayo de calentamiento en película fina rotativa.

Cuadro N° 11 Características de los ligantes modificadas con SBS recuperados de Mezclas de Pavimento.

Ligante	Original	RTFOT	STAO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Viscosidad a 170°C cP.	400	397	515	365	450	360	345	360	350	352	370	-	-	-
Recuperación Elástica a 25°C	80	72	64	73	71	76	65	78	-	-	-	75	74	75

Cuadro N° 12 Características de los ligantes modificadas con EVA recuperados de Mezclas.

Ligante	Original	STAO	RTFOT	1	2	3	4
Viscosidad a 170°C cP.	190	200	223	197	221	270	153

El análisis de estos cuadros ponen en evidencia en primer lugar, que en el caso del ligante modificado con SBS el ensayo de envejecimiento RTFOT, reproduce mucho mejor los cambios que se producen en la planta asfáltica que el ensayo STAO. En el caso del ligante con EVA no se aprecian diferentes notorias. En segundo lugar, cabe destacar que la operación del mezclado en Planta no parecería afectar en forma significativa las características finales de los ligantes modificados con los polímeros aquí estudiados, dado que los cambios en viscosidad no son importantes lo mismo que la caída en la recuperación elástica no resulta significativa.

5.6. COMENTARIOS FINALES DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO EN EL PROYECTO

Los ensayos de envejecimiento a corto plazo (STAO) de las mezclas bituminosas tanto con el ligante modificado con EVA como con SBS, parecerían ser mas severos que los que se obtienen aplicando el RTFOT sobre los ligantes solos, tal como lo indican los resultados de viscosidad a 170°C y de recuperación elástica. La causa podría ser un excesivo tiempo de calentamiento. Estos resultados son coincidentes con los obtenidos por otros investigadores.

En el caso del ligante modificado con EVA se nota que la degradación del polímero parecería ser mas importantes que en el caso del SBS,

principalmente cuando se analizan los resultados de recuperación elástica y aumento de viscosidad a 170°C.

Los resultados de viscosidad a 170 ° C y de recuperación elástica muestran que en el ligante modificado con SBS, el calentamiento, tanto en RTFOT como en la LTAO no afectan demasiado las características del mismo.

El procedimiento de mezclado en la planta asfáltica, medido a través de los ensayos RTFOT y STAO, no parece afectar significativamente las propiedades de los ligantes modificados.

En cuanto al efecto de los distintos tipos de agregados sobre el envejecimientos de los ligantes los resultados no indican diferencias significantes.

Los resultados de envejecimiento a largo plazo (LTAO) resultan ligeramente mas bajos que los que se obtienen aplicando el PAV, aunque en una primera aproximación podría decirse que son del mismo orden. En este mismo caso también se observa que los distintos tipos de agregados no inciden en los resultados obtenidos.

Lo que si es importante son los resultados obtenidos de los ligantes recuperados de las mezclas recién colocados en el camino. En el primer lugar, se aprecia que no hay un efecto pronunciado de la temperatura de mezclado en la planta asfáltica, como lo demuestran los valores de viscosidad a 170°C, muy similares a los del asfalto original y al residuo de RTFOT, con una ligera disminución de la recuperación elástica. Si tenemos en cuenta que este efecto finales el producto de un balance entre el endurecimiento de asfalto base del ligante modificado (aumento de

consistencia) y el decrecimiento de la consistencia como consecuencia de la degradación del polímero, lo que importa desde el punto de vista de la durabilidad del ligante modificado, es que su consistencia luego de ser procesado en la planta asfáltica no ha sufrido cambios significados respecto a sus propiedades originales, si bien su elasticidad ha disminuido en forma muy ligera.

Finalmente para el caso particular de los ligantes modificados estudiados en este trabajo, podemos decir que el ensayo de calentamiento en película fina (RTFOT) produce resultados mas similares a los obtenidos en la planta asfáltica que los que se logran con el ensayo de envejecimiento a corto plazo (STAO). Este ensayo parecería ser mucho mas agresivo, tal vez porque el tiempo de calentamiento de la mezcla de 4 horas a 135°C resulta excesivo y por lo tanto debería ser disminuido.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- ☞ El microaglomerado discontinuo en caliente resulta una alternativa interesante como técnica de rehabilitación de pavimentos con determinados deficiencias superficiales otorgando muy buenas condiciones de adherencia con altos valores de macro textura.
- ☞ El estricto control de calidad implementado en la obra, ha garantizado una homogeneidad y uniformidad aceptable del producto terminado.
- ☞ Del seguimiento efectuado durante su primer año de vida podemos concluir que se verifico una perdida de macrotextura promedio del 14 % en los carriles rápidos y del 24 % en los lentos, con valores de altura de arena finales de entre 1.30 y 1.10 respectivamente, los cuales resultan aceptables de acuerdo a la experiencia recogida en estas mezclas.
- ☞ Asimismo se observa en las muestras extraídas ciertas post-compactación producida por el transito, con un porcentaje final de vacíos en la mezcla alrededor del 5%.

Respecto del comportamiento del ligante se pudo comprobar que:

La recuperación elástica torsional ha disminuido alrededor del 25%

La viscosidad se mantiene cercana a los valores originales. Este fenómeno, ya manifestado en otras obras realizadas con asfaltos modificados con polímeros, hacen suponer que la viscosidad no refleja el envejecimiento de este tipo de ligantes. En principio para determinar el grado de envejecimiento, deberían fijarse limites sobre otros parámetros del asfalto como ser Penetración, Punto de

ablandamiento y Recuperación Elástica torsional, los cuales si se ven afectados en el transcurso del tiempo.

- ☞ Por ultimo la definición de secciones de control representativas de los distintos sectores característicos de las calzadas intervenidas y su correspondiente seguimiento periódico, permitirá evaluar el comportamiento del micro aglomerado discontinuo sometido a distintas sollicitaciones de tránsito
- ☞ Los resultados obtenidos sugieren la posibilidad de obtener significantes beneficios mediante una manipulación apropiada de las condiciones del proceso tales como velocidad de mezclado y la temperatura así como a través del uso de aditivos químicos para mejorar la compatibilidad del asfalto-polímero y la estabilidad del almacenaje.
- ☞ Es posible producir Asfaltos Modificados con Polímeros en procesos a relativa baja temperatura manteniendo y en algunas veces mejorando las propiedades del material final.
- ☞ Los resultados sugieren que el efecto combinado de una temperatura relativamente baja y mezclado a baja fricción producirá un material mas estable y de mas alta calidad con una substancial reducción en el uso de energía. El material con el mejor conjunto de propiedades se obtuvo usando un proceso de baja temperatura mezclado de baja fricción y un aditivo químico estabilizador.

- ☞ El empleo de una mezcla asfáltica con polímero constituye una solución más económica a largo plazo, para proyectos viales en donde se requiere mezclas de gran durabilidad y resistencia a las deformaciones permanentes.
- ☞ La incorporación del filler y el polímero a las mezclas asfálticas, espesan al cemento asfáltico, modificando su fluir viscoso y mejorando la adherencia con el agregado pétreo. El cemento asfáltico modificado provee un mayor espesor de película de ligante que recubre el árido, permitiendo retardar el envejecimiento.
- ☞ 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 adicionar el polímero al asfalto se den en toda su extensión. La compatibilidad que existe entre ambos, esta en función de la naturaleza del asfalto, del tipo de polímero empleado y de las condiciones de mezcla empleadas.
- ☞ Las mezclas del asfalto modificado con polímero se pavimentan con un equipo normal, no se necesita de una máquina especial. Pero hay que tener en cuenta que disminuye su trabajabilidad (facilidad de una mezcla a ser colocada y compactada) sino se coloca oportunamente (temperatura muy baja de la mezcla).
- ☞ En el Perú la preparación de mezclas asfálticas modificadas con polímeros se debe de impulsar proyectos y ejecutar tramos que en un inicio pueden ser de carácter experimental de acuerdo a la exigencia de

nuestra geografía, por lo cual se recomienda a las entidades competentes (MTC) se empiecen a elaborar estos proyectos.

- ☞ No todos los modificadores son compatibles con un determinado ligante. Tampoco existe un modificador que pueda mejorar en un 100% todas las características anómalas que puedan tener una vez colocados.
- ☞ Es necesario difundir con la reglamentación el uso de los modificadores para los cementos asfálticos que se producen en el país, para que sean incluidas como norma dentro de las especificaciones de construcción, y aun mas aperturar centros de investigación para el seguimiento del comportamiento de la Mezcla Modificada con Polímeros.
- ☞ Los agregados, son la parte fundamental de toda mezcla asfáltica y todos los estudios necesariamente tienen que realizarse a fin de conocer el comportamiento que van a tener durante su puesta en servicio.
- ☞ Se concluye que de las variables estudiadas, la mas importantes es el gradiente térmico observado en los tres tramos de la Carretera Central, sin embargo se considera también como importantes en el desempeño de las carpetas asfálticas, el proporcionamiento de las mezclas bituminosas (% de vacíos, % de asfalto y gradación continua de agregados) y las propiedades del asfalto (penetración, punto de ablandamiento e índice de penetración), como una forma indirecta de acercamiento al modulo de rigidez de la asfalto a bajas temperaturas,

en ausencia de tecnología y equipos en el medio para la medición directa como lo propone las especificaciones SHRP.

- ☞ Las propiedades del asfalto evaluadas en tres épocas distintas, nos han permitido un acercamiento al efecto de altura en el envejecimiento de las propiedades del asfalto a través del tiempo, debido a que el nivel de deterioro tiene relación con el grado de endurecimiento del asfalto.
- ☞ Por lo tanto si los resultados del modelo de deterioro expresan la probabilidad que se desarrolle agrietamiento por fatiga térmica sobre una superficie de concreto asfáltico, la pérdida de serviciabilidad deseada al final del periodo de análisis quedara afectada por la proporción de daño estimada por el modelo de deterioro ensayado. Este análisis determinara conocer la evolución de la pérdida de la Serviciabilidad por efecto de la temperatura para zonas de altura y su incorporación en el diseño de pavimentos asfálticos pueden aplicarse debido a que el agrietamiento de origen térmico genera un efecto potencial en la tasa de pérdida de serviciabilidad.
- ☞ Finalmente se debe aclarar que la investigación que se ha revisado desarrolla un acercamiento al efecto de deterioro debido a la influencia de la temperatura, el cual puede ser complementado mediante el uso de modelos de análisis multicapa e introducir el efecto de cargas de trafico, este sumado al análisis de deterioro por efecto térmico, permitirá una aproximación mas completa del comportamiento de nuestros pavimentos.

- ☞ Se recomienda, como una alternativa que contempla los efectos de altura en nuestro medio, el proceso de diseño implementado por la Guía AASHTO-93, considerando la incorporación de un modelo de deterioro por efectos de fatiga térmica que exprese el nivel de agrietamiento en términos de pérdida de serviciabilidad durante el periodo de análisis. Incorporación que permitirá por medios iterativos la recomposición del espesor estructural del pavimento con atención a la capa asfáltica, hasta que sea capaz de absorber los efectos térmicos y permitir que el pavimento alcance la Serviciabilidad deseada en un tiempo equivalente al periodo de análisis del pavimento que se diseñe.
- ☞ La investigación desarrollada toma información climática, composición de mezcla y propiedades de asfaltos usados en la fase de construcción y de puesta en servicio luego de un periodo. Este ultimo aspecto ha conllevado suponer cierto tipo de comportamiento de las propiedades del asfalto, sin embargo se recomienda a efectos de lograr un mayor acercamiento sobre la influencia de la temperatura en pavimentos de altura, la evaluación periódica especialmente del comportamiento de los asfaltos usados.
- ☞ Así mismo se hace necesario un mayor control de mediciones de agrietamiento por efecto térmico y tráfico a fin de posibilitar mayores puntos de calibración tanto para simulaciones de deterioro por efectos ambientales y de tráfico para de esta formar posibilitar el desarrollo de metodologías como lo propone esta investigación para el control de esta

performance en nuestros pavimentos de manera mas cercana a la realidad.

- ☞ Será necesario implementar mayores líneas de investigación, primero contemplando la influencia de la temperatura para diversas zonas consideradas de altura en nuestro país, para de esta forma contar con un solo criterio consolidado, en segunda manera se deberá complementar mediante el uso de modelos de análisis multicapa el efecto del tráfico y a través de una comparación con resultados reales en campo podrá darse una validación definitiva del método propuesto en el presente trabajo.
- ☞ Finalmente se deberá de abordarse el tema de la influencia de la temperatura en el proporcionamiento de las mezclas, considerando la variación del contenido del asfalto, porcentaje de vacíos relación flujo / estabilidad e insistir en la investigación de temas como la exposición solar, envejecimiento de los asfaltos fabricados por las refinerías locales y mediciones dinámicas directas de modulo de rigidez en asfaltos y mezclas producidas en nuestro país.

BIBLIOGRAFÍA

1. Fred W. Billmeyer.
Ciencia de los Polímeros
Rensselaer Polytechnic, Troy New York, 6ta Edición.
2. Ricardo E. Bisso Fernández
Los Asfaltos y sus Aplicaciones.
Información Técnica y Usos Típicos, PETROPERU S.A. 1998.
3. Max Sommerfeld
Generalidades Sobre Polímeros SBR Para la Modificación de Asfaltos.
Primer Congreso Nacional del Asfalto, Lima-Perú 1997.
4. Ferdinand Rodríguez.
Principios de Sistemas de Polímeros.
Editorial El Manual Moderno S.A. de C.V, México D.F 1984.
5. Berdiwas
Sobre Acción de Los Polímeros en los Cementos Asfálticos.
Vigésima Octava Reunión del Asfalto, Argentina. 1995.
6. Dr. J. Agnusdei.
Caracterización de Asfalto Modificado Con Polímero.
Vigésima Octava Reunión del Asfalto, Argentina 1995.
7. Arena Lozano.
Características Reológicas del Asfalto Modificado Con Polímero.
Noveno Congreso del Asfalto, Paraguay 1997.
8. Ing. Néstor Huaman Guerrero
Polímeros Para Pavimentos Flexibles, ¿Para Qué y Cuando Utilizarlo?
Tercer Congreso Nacional del Asfalto, Lima-Perú 1999.

9. Ing Mary Sancho Ponce - Leoncio Céspedes A.

Efectos Térmicos en Mezclas Asfálticas Con Asfaltos Modificados.

Tercer Congreso Nacional del Asfalto, Lima-Perú. 1999.

10. Ing. Néstor Huaman Guerrero.

Utilización de Los Polímeros Para Modificación de Mezclas Asfálticas En El Perú y Algunos Países de América.

11° Congreso Ibero-Latinoamericano del Asfalto – Perú 2001.

11. Wendy Herencia Peña

Modificación de Asfaltos con Polímeros.

Tesis de Grado, 2001. *Carhuaz*

12. Manuel E. López Laberian

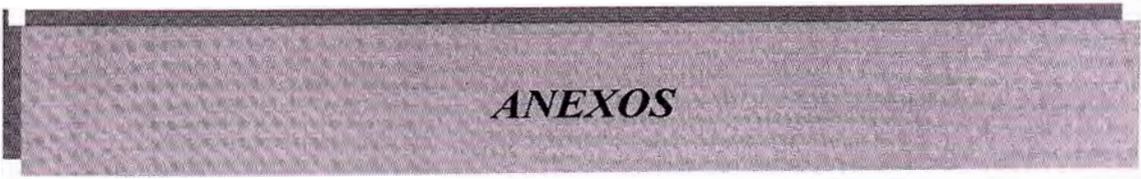
Asfaltos con Polímeros.

Tesis de Grado, 2003.

13. José H. Meléndez palma

Influencia de la temperatura en el deterioro de carpetas asfálticas en zonas altura. *Mantec en Cienca →*

Tesis de Post Grado, 2003. *Universidad de Cienca*



ANEXOS

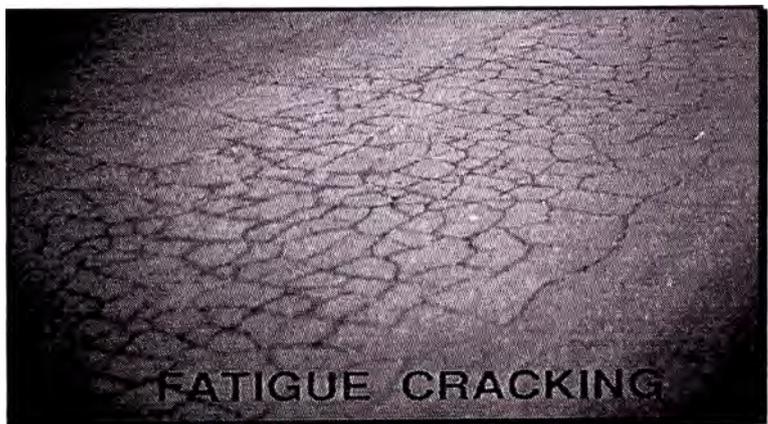
Anexo N° 01

Principales Modos de Falla de los Pavimentos con Mezclas Asfálticas en Caliente.



Deformaciones Permanentes

Fisuramiento por Efectos Térmicos

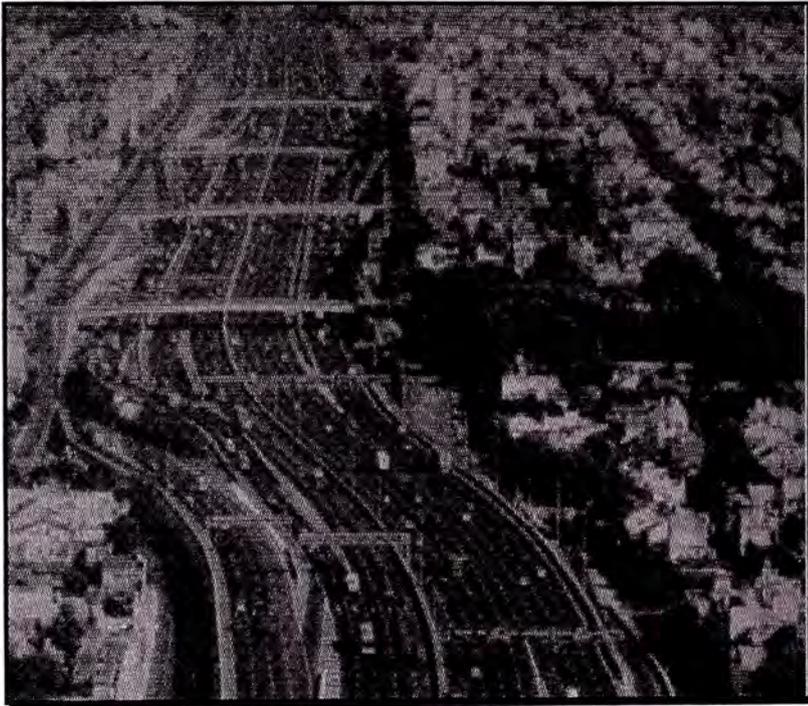


Fisuramiento por Fatiga



Anexo N° 02

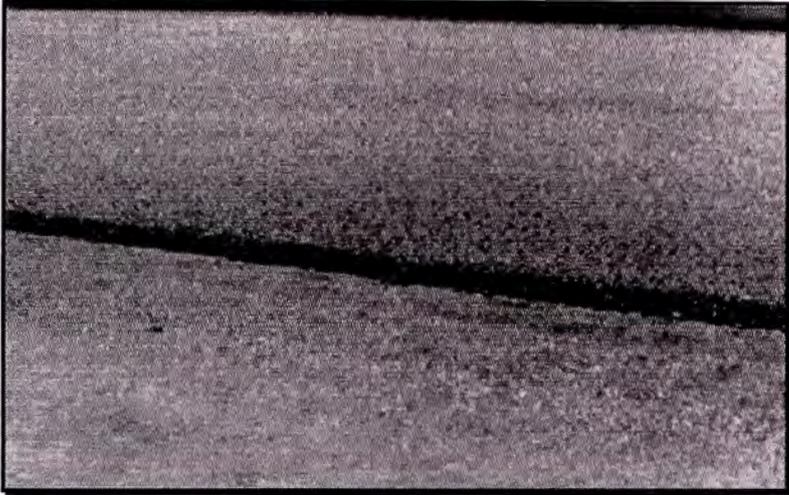
Obra 2000-2001: Acceso Norte a Bs. As. AUSOL (micro F10, 1.500.000m²)



Técnica:
Microaglomerado
discontinuo, tipo F10,
asfalto modificado
AM3 (long.: 45 km).

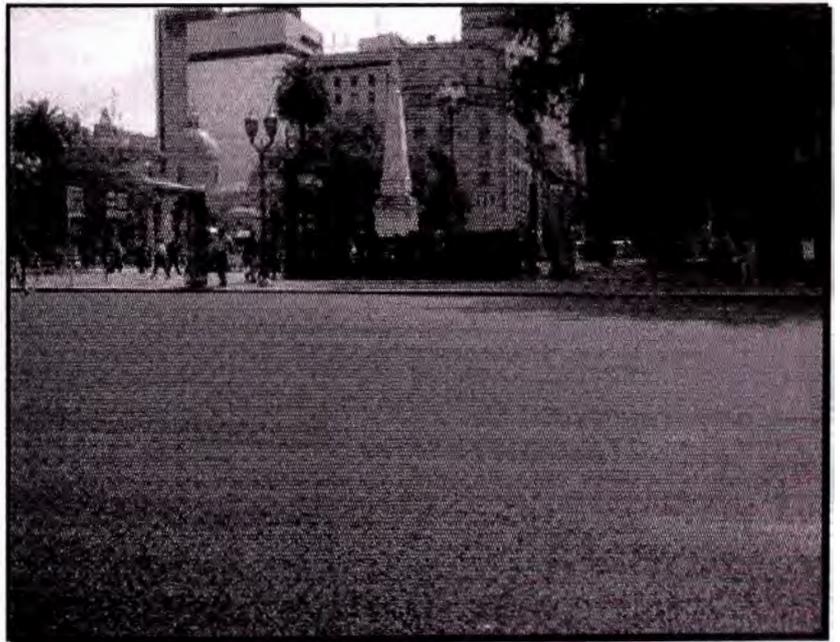
Obra: Acceso Oeste
Técnica:
microaglomerado
Proceso de esparcido
con la pavimentadora.





Obra: Acceso Oeste
Técnica: microaglomerado discontinuo, tipo F10, asfalto modificado AM3 (long.: 45 km).

Ciudad Bs. As
(pavimentación urbana):



Microaglomerado
Discontinuo con alto
índice de rugosidad

Anexo N° 03

Comparación de Costos de un Asfalto Convencional y de un Asfalto Modificado con Polímeros.

COSTO DE MEZCLA CONVENCIONAL EN CALIENTE SIN SBS

Jefe de Planta	HH	8.00 x	14.00	112.00
Capataz	HH	8.00 x	10.40	83.20
Electricista	HH	8.00 x	9.60	76.80
Mecánico	HH	8.00 x	9.60	76.80
Laboratorista	HH	8.00 x	9.60	76.80
Ayudante	HH	32.00 x	7.80	249.60
				675.20

1.98 Soles/m3

GASTOS OPERATIVOS PARA PRODUCIR

Petroleo D2	GLN	3.000 x	6.85	20.55
Olltherm	GLN	0.030 x	22.50	0.68
Grasas	KG	0.040 x	13.58	0.54
Req. Laboratorio	KG	0.006 x	18.52	0.11
Bunker	GLN	5.000 x	3.93	19.65
				41.53

41.53 Soles/m3

TRANSPORTE

Petroleo	GLN	8.00 x	0.35	2.80
Asfalto Pen 60/70	GLN	27.00 x	0.55	14.85
				17.65

17.65 Soles/m3

GASTOS OPERATIVOS PARA EL PRODUCTO

Arena	M3	0.78 x	14.5	11.31
Piedra	M3	0.42 x	28.54	11.99
asfalto 60/70	GLN	28.00 x	3.37	94.36
Radicante	KG	0.56 x	21.58	12.08
				129.74

129.74 Soles/m3

PLANTA = 15.20 Soles/m3

COSTO DE PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE COSTO x m3 = 206.10 Soles/m3

COSTO DE PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE COSTO x m3 = 63.42 Dolares/m3

COSTO DE TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE COSTO x m3 = 7.25 Dolares/m3
(distancia promedio de 50 km)

COSTO DE COLOCACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE COSTO x m3 = 4.05 Dolares/m3

COSTO TOTAL DE ASFALTO CONVENCIONAL	COSTO x m3 =	74.72 Dolares/m3
--	---------------------	-------------------------

COSTO DE MEZCLA CONVENCIONAL EN CALIENTE CON SBS-BETUFLEX 60/60 PRODUCIDO EN PERU

Jefe de Planta	HH	8.00 x	14.00	112.00
Capataz	HH	8.00 x	10.40	83.20
Electricista	HH	8.00 x	9.60	76.80
Mecánico	HH	8.00 x	9.60	76.80
Laboratorista	HH	8.00 x	9.60	76.80
Ayudante	HH	32.00 x	7.80	249.60
				675.20

1.98 Soles/m3

GASTOS OPERATIVOS PARA PRODUCIR

Petroleo D2	GLN	3.000 x	6.85	20.55
Olltherm	GLN	0.030 x	22.50	0.68
Grasas	KG	0.040 x	13.58	0.54
Req. Laboratorio	KG	0.006 x	18.52	0.11
Bunker	GLN	5.000 x	3.93	19.65
				41.53

41.53 Soles/m3

TRANSPORTE

Petroleo	GLN	8.00 x	0.35	2.80
Asfalto Pen 60/70	GLN	27.00 x	0.55	14.85
				17.65

17.65 Soles/m3

GASTOS OPERATIVOS PARA EL PRODUCTO

Arena	M3	0.78 x	14.5	11.31
Piedra	M3	0.42 x	28.54	11.99
BETUFLEX 60/60 PERU	GLN	28.00 x	7.6	212.80
Radicante	KG	0.56 x	21.58	12.08
				248.18

248.18 Soles/m3

PLANTA

15.20 Soles/m3

COSTO DE PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

COSTO x m3 = 324.54 Soles/m3

COSTO DE PRODUCCION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

COSTO x m3 = 99.86 Dolares/m3

**COSTO DE TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE
(distancia promedio de 50 km)**

COSTO x m3 = 7.25 Dolares/m3

COSTO DE COLOCACION DE MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE

COSTO x m3 = 4.05 Dolares/m3

COSTO TOTAL DE ASFALTO CON POLIMERO

COSTO x m3 = 111.16 Dolares/m3

MEJORAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS CON EL USO DE LOS POLIMEROS

ANEXO 04: ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS DE CLIMA

TEMPERATURAS MAXIMAS Y MINIMAS DIARIAS REPRESENTATIVAS

FUENTE: SENAMHI
TAMAÑO DE MUESTRA: 10 AÑOS

MES	DIA	ESTACION: MARCAPOMACOCHA LAT. : 11° 24' S LONG. : 76° 20' W ALT. : 4413 msnm.				ESTACION: LA OROYA LAT. : 11° 31' S LONG. : 75° 54' W ALT. : 3750 msnm.				ESTACION: CERRO DE PASCO LAT. : 10° 45' S LONG. : 76° 10' W ALT. : 4400 msnm.			
		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA	
		DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%
E N E R O	1	2.2	12.2	1.8	-0.3	1.9	20.2	1.8	1.5	1.7	10.6	0.9	0.7
	2	1.8	10.8	0.9	0.4	2.5	21.3	2.2	0.5	2.4	11.8	1.2	1.1
	3	2.1	10.9	1.2	0.8	2.0	19.7	2.3	0.7	2.8	13.2	1.1	0.6
	4	1.1	11.6	1.7	-0.1	2.8	21.6	1.6	1.5	1.7	13.1	1.6	0.1
	5	1.4	12.0	1.9	-1.0	2.7	20.8	2.9	-0.7	1.9	13.4	0.7	0.1
	6	1.1	12.2	1.9	-0.6	2.4	20.4	2.5	0.8	1.7	11.6	1.1	0.9
	7	1.1	10.3	1.7	-0.5	3.4	21.6	2.0	2.0	1.3	10.5	1.7	1.2
	8	1.9	10.5	1.0	1.5	2.2	19.7	2.2	0.6	1.0	9.0	1.1	0.7
	9	1.0	10.6	0.9	1.0	2.9	20.4	2.8	1.1	2.7	12.8	0.4	1.0
	10	2.1	11.1	2.1	-1.3	4.5	21.2	1.9	1.0	1.6	10.5	1.0	-0.3
	11	1.7	10.4	1.1	-0.5	3.2	20.9	2.0	0.8	1.7	11.3	1.7	-0.6
	12	1.4	10.1	1.6	-0.3	2.3	20.4	2.7	0.2	1.2	10.8	0.2	0.7
	13	1.2	10.9	1.0	0.5	2.7	20.4	0.8	2.0	1.5	11.6	0.6	0.1
	14	2.0	11.8	1.0	0.2	4.2	20.4	2.1	0.8	2.9	12.5	0.8	1.9
	15	2.1	11.3	1.1	0.2	3.4	20.4	0.6	2.3	2.3	12.0	1.6	0.4
	16	1.7	11.0	1.1	0.1	2.3	20.8	2.2	0.9	1.7	12.1	1.0	1.4
	17	1.1	11.2	0.7	0.7	3.0	20.9	2.0	0.9	1.8	9.7	0.4	1.0
	18	1.6	11.4	1.3	0.1	3.1	20.7	1.0	1.7	0.7	11.0	0.5	0.5
	19	1.1	10.9	0.7	0.9	3.9	21.3	0.8	1.4	0.3	11.3	1.0	0.6
	20	0.5	10.6	0.7	0.8	2.7	20.2	1.4	1.8	1.4	10.0	1.0	0.5
	21	1.5	10.5	1.0	0.6	3.3	20.9	1.8	0.5	1.1	11.2	1.2	0.2
	22	1.7	11.0	1.6	0.0	3.9	21.0	1.5	1.9	1.4	10.5	1.4	0.9
	23	1.4	9.7	1.1	0.5	3.8	21.1	1.7	2.4	0.8	9.7	1.6	0.9
	24	2.7	10.7	0.8	1.1	2.6	20.5	1.1	2.3	1.7	11.9	1.8	0.4
	25	1.9	10.0	1.1	0.6	3.4	21.0	1.1	1.9	0.6	10.4	0.8	1.3
	26	1.1	10.0	1.2	0.7	5.1	20.7	2.2	0.9	2.0	11.1	1.4	0.8
	27	1.6	10.8	0.7	1.1	3.6	20.9	1.5	1.8	1.2	12.0	2.0	0.2
	28	1.6	11.6	0.7	0.6	3.2	19.9	1.7	1.6	1.7	11.5	1.3	0.9
	29	2.2	11.1	1.2	-0.2	3.8	20.6	2.7	0.4	1.4	10.8	1.7	0.0
	30	1.9	10.9	1.2	-0.4	4.4	20.9	1.2	2.4	1.2	12.3	2.3	-0.2
	31	2.2	11.2	1.0	0.5	2.8	20.7	2.5	1.0	1.7	12.3	0.9	0.8
F E B R E R O	1	1.8	11.1	0.9	0.5	3.9	22.5	1.2	2.3	2.2	13.2	0.8	0.6
	2	1.6	11.8	1.7	0.1	5.0	22.3	1.5	1.9	2.5	10.5	1.7	0.9
	3	3.9	11.3	2.2	-0.8	1.9	20.0	1.5	1.8	1.3	12.4	2.1	0.0
	4	1.5	11.0	2.6	-0.8	3.1	20.7	1.4	2.0	1.9	11.6	2.0	0.2
	5	1.9	10.1	1.8	-0.9	4.8	22.0	2.3	0.8	2.5	11.9	2.9	-2.1
	6	1.9	11.2	0.8	0.1	5.0	21.2	0.9	1.9	1.7	11.3	1.4	0.3
	7	2.0	11.9	0.9	0.2	4.0	22.8	0.8	2.4	2.9	14.3	0.7	0.9
	8	2.1	10.8	0.4	0.5	4.2	21.3	1.2	2.4	3.0	14.5	1.4	0.6
	9	2.3	11.2	1.4	-0.6	5.0	22.5	2.2	0.3	2.7	13.1	1.9	-1.0
	10	1.8	10.4	1.1	0.4	3.6	22.3	2.6	0.5	0.9	11.6	2.3	-0.1
	11	1.5	10.5	2.0	-0.6	3.2	20.9	1.7	2.2	1.5	11.5	1.5	0.7
	12	1.8	10.7	0.8	0.8	3.2	20.0	1.2	2.5	2.0	11.7	1.2	0.7
	13	2.1	11.8	1.5	-0.3	1.7	20.4	1.1	2.6	2.3	12.2	0.4	0.1
	14	2.7	12.1	1.6	0.0	5.6	21.3	2.1	0.8	3.0	12.0	1.3	0.0
	15	1.9	11.4	1.5	0.0	2.5	18.6	1.7	2.1	0.9	11.3	0.8	1.1
	16	1.8	11.2	2.3	-1.0	3.3	19.6	1.6	1.4	3.4	13.5	1.7	0.1
	17	2.2	11.8	1.0	1.0	3.8	22.5	1.2	2.1	2.4	10.9	1.1	0.6
	18	2.1	10.9	2.1	-0.7	4.5	23.1	1.7	1.7	1.8	10.1	0.5	1.8
	19	2.6	11.3	1.6	-0.4	4.0	21.2	1.9	0.6	3.2	11.3	1.0	1.0
	20	1.6	10.6	1.5	-0.3	2.7	21.0	2.1	0.9	1.8	11.0	1.2	0.5
	21	1.8	10.7	0.7	1.0	3.5	22.4	2.2	0.3	1.9	11.7	2.8	-1.2
	22	2.4	11.1	0.9	0.7	3.0	20.0	2.6	0.3	2.6	10.7	1.6	0.5
	23	1.8	11.3	1.6	0.0	2.4	20.1	1.1	1.9	0.9	10.3	1.8	-0.1
	24	1.7	11.1	1.4	-0.1	1.3	18.7	2.7	0.7	2.3	13.0	1.3	0.6
	25	1.4	10.5	1.3	0.9	2.3	19.3	2.7	0.4	1.5	10.3	2.1	-0.1
	26	1.4	10.4	0.8	1.0	3.5	20.4	2.2	0.4	1.3	10.5	1.2	1.3
	27	2.1	11.2	0.8	1.4	3.8	20.9	2.4	0.6	0.8	10.1	1.4	0.7
	28	2.2	11.2	0.6	1.4	4.0	21.8	1.3	2.2	2.9	12.6	1.7	0.0
	29	2.5	11.3	0.9	2.0	4.8	24.2	1.3	2.2	1.7	11.0	1.3	0.7

MEJORAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS CON EL USO DE LOS POLIMEROS

MES	DIA	ESTACION: MARCAPOMACOCHA LAT. : 11° 24' S LONG. : 76° 20' W ALT. : 4413 msnm.				ESTACION: LA OROYA LAT. : 11° 31' S LONG. : 76° 54' W ALT. : 3750 msnm.				ESTACION: CERRO DE PASCO LAT. : 10° 45' S LONG. : 76° 10' W ALT. : 4100 msnm.			
		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA	
		DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%
M A R Z O	1	1.8	9.8	0.6	1.2	3.3	19.9	1.4	2.0	2.1	9.3	1.1	0.5
	2	2.1	11.4	1.0	0.8	3.8	21.1	0.9	1.6	2.3	10.0	1.0	1.0
	3	2.3	10.5	1.7	-0.6	3.2	20.3	1.3	1.7	1.8	10.9	1.9	-0.4
	4	1.9	11.5	2.4	-0.9	2.6	22.1	1.2	2.0	1.7	12.5	1.1	0.7
	5	1.2	10.8	1.8	-0.3	2.6	21.6	0.7	1.9	2.2	12.7	1.7	0.2
	6	1.9	11.0	1.1	0.9	4.3	21.9	0.9	1.7	1.8	11.3	1.0	1.1
	7	1.9	11.2	0.6	0.7	3.0	23.5	0.4	2.4	0.8	10.7	1.4	-0.5
	8	1.9	11.3	0.9	0.4	1.9	19.6	1.5	1.2	2.4	12.6	0.6	0.8
	9	1.0	9.9	0.8	0.8	4.1	22.6	0.8	2.1	2.1	10.9	0.9	0.8
	10	1.6	10.5	1.6	0.2	3.0	22.1	1.3	2.4	1.4	9.7	1.1	0.9
	11	2.2	11.3	0.7	1.1	3.2	21.0	1.9	2.0	1.5	10.7	1.6	0.6
	12	2.1	11.7	0.9	0.2	4.6	22.5	1.4	2.2	2.5	11.3	2.0	0.3
	13	1.9	11.2	0.8	0.8	2.2	20.4	1.3	2.0	1.5	11.0	1.4	0.3
	14	1.7	11.1	0.5	0.7	3.0	22.4	2.2	1.2	2.3	10.7	1.9	0.1
	15	1.0	10.7	0.6	1.2	2.8	19.9	0.8	2.3	1.3	10.5	2.1	-0.5
	16	0.6	10.6	1.1	0.5	1.6	18.5	1.5	2.4	0.9	10.4	1.4	-0.1
	17	2.1	10.8	1.1	0.4	4.7	20.5	2.1	1.5	1.0	9.9	1.3	0.3
	18	1.6	11.2	1.1	0.4	2.6	21.0	1.0	2.4	2.7	12.7	1.9	0.5
	19	1.3	11.8	1.9	-0.8	2.6	21.1	1.2	2.0	1.2	12.0	1.0	0.8
	20	1.6	11.8	0.9	0.0	2.3	19.5	0.8	2.1	1.3	11.1	2.1	0.4
	21	1.8	12.2	1.0	0.3	3.8	21.3	1.4	2.0	1.9	12.2	2.0	0.6
	22	1.5	10.9	0.7	0.3	2.6	21.1	1.6	1.9	1.4	12.0	1.0	1.0
	23	1.8	11.7	1.8	-0.3	3.4	20.7	1.8	1.4	1.6	13.2	1.5	0.6
	24	2.5	11.0	1.3	-0.2	3.2	20.5	1.4	1.1	2.8	12.7	1.2	0.8
	25	1.9	11.3	1.3	0.2	2.6	21.4	2.3	0.0	1.6	10.3	1.5	0.3
	26	1.4	11.5	1.4	-0.1	3.4	22.4	2.2	0.3	2.6	12.2	1.1	1.1
	27	1.1	11.0	1.9	-0.3	2.8	21.3	3.1	-0.8	1.2	10.9	1.9	0.6
	28	0.9	11.2	2.1	-0.4	3.1	21.6	1.9	0.8	1.9	11.1	1.6	0.5
	29	1.9	10.5	1.4	-0.1	2.3	20.1	0.6	1.2	1.4	10.7	1.6	0.0
	30	1.4	10.7	1.3	0.4	1.8	20.5	0.9	1.0	0.9	10.3	1.9	0.1
	31	1.6	11.0	1.4	0.3	2.4	20.2	0.8	1.7	2.3	13.2	1.3	1.2
A B R I L	1	1.3	11.2	1.2	0.2	4.2	22.9	1.3	1.4	0.8	10.5	1.5	1.1
	2	1.4	11.1	1.1	0.9	1.8	19.9	1.4	2.0	1.3	11.3	1.0	0.7
	3	0.8	11.4	1.7	0.3	3.8	22.2	2.7	0.2	1.6	11.5	1.4	1.7
	4	2.8	10.2	2.1	0.1	2.8	20.0	2.2	0.8	1.4	11.5	1.2	0.7
	5	1.7	11.4	1.2	0.6	3.4	20.5	1.6	1.4	1.4	12.0	1.6	0.3
	6	1.4	11.4	1.1	0.9	3.6	22.2	1.3	1.5	1.7	12.3	0.8	1.0
	7	1.2	11.5	1.0	0.8	2.2	20.0	0.9	2.1	2.6	12.8	1.3	0.2
	8	1.2	11.2	1.0	0.2	2.3	21.4	0.9	2.3	0.8	11.1	1.2	0.3
	9	0.6	10.8	0.6	0.7	3.7	22.8	2.0	1.0	0.9	10.5	1.4	0.9
	10	1.3	11.1	1.8	0.0	3.8	20.7	1.0	1.8	1.7	11.5	1.8	0.0
	11	1.4	11.0	1.1	0.9	2.4	21.1	0.8	2.4	1.0	11.6	1.7	0.1
	12	1.0	10.0	0.8	1.0	3.3	21.2	2.1	0.9	2.1	12.0	1.8	-0.4
	13	1.4	11.6	1.3	0.5	2.5	21.2	0.7	2.1	1.5	12.3	2.0	-0.4
	14	0.9	11.4	1.4	-0.2	1.8	20.4	1.0	1.7	1.1	12.2	1.0	1.1
	15	1.2	11.6	1.3	0.1	2.3	20.9	0.9	1.1	2.1	11.5	1.8	-0.2
	16	1.4	11.4	1.1	-0.1	4.2	22.3	1.1	1.9	2.6	12.8	2.3	-0.6
	17	1.8	10.7	1.2	0.3	4.1	22.3	1.2	1.7	1.8	12.4	0.8	1.5
	18	2.7	11.7	1.1	0.6	2.8	19.9	2.8	0.3	1.4	11.3	1.8	0.8
	19	0.8	11.7	1.6	-1.3	2.8	20.9	1.3	0.1	0.9	11.0	1.2	-0.7
	20	1.7	11.7	1.3	-0.5	2.8	21.3	0.6	1.6	1.7	11.5	0.6	0.3
	21	1.4	11.8	1.3	-1.3	1.9	19.1	0.9	0.7	1.5	11.1	1.8	-0.4
	22	1.2	11.5	1.5	-1.5	3.6	21.8	1.4	-0.9	1.7	12.9	2.2	-1.4
	23	2.2	12.2	0.7	-1.2	4.4	23.2	1.1	-0.4	1.7	11.2	1.9	0.1
	24	2.4	12.5	1.3	-1.2	3.6	20.7	0.8	0.9	1.7	11.6	1.9	-0.3
	25	1.7	12.1	1.6	-1.1	4.8	24.2	2.4	0.1	1.9	13.2	1.6	-0.3
	26	1.5	11.9	1.1	-1.2	3.1	21.1	0.9	0.4	3.6	14.7	1.7	-0.8
	27	1.9	12.2	1.9	-2.1	3.2	21.0	1.9	-0.4	1.8	12.6	2.3	-0.9
	28	2.1	12.2	1.6	-1.2	0.8	19.2	1.3	-0.5	1.8	12.9	2.0	-1.1
	29	2.0	11.3	1.4	-0.8	1.7	20.5	1.5	1.8	2.3	12.5	1.0	-0.3
	30	1.7	11.5	1.7	-0.7	2.5	20.3	1.5	1.8	2.0	11.9	1.5	-0.3

MEJORAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS CON EL USO DE LOS POLIMEROS

MES	DIA	ESTACION: MARCAPOMACOCHA LAT. : 11° 24' S LONG. : 76° 20' W ALT. : 4413 msnm.				ESTACION: LA OROYA LAT. : 11° 31' S LONG. : 75° 54' W ALT. : 3750 msnm.				ESTACION: CERRO DE PASCO LAT. : 10° 45' S LONG. : 76° 10' W ALT. : 4400 msnm.			
		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA	
		DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%
MAYO	1	3.2	11.6	0.9	0.3	4.2	21.9	1.6	1.3	2.3	12.4	1.1	0.5
	2	2.4	12.4	1.6	-0.7	2.6	19.5	1.2	1.1	2.6	12.6	0.8	0.5
	3	2.0	12.2	1.3	-1.0	3.0	20.1	1.8	1.1	2.2	13.4	1.5	0.0
	4	3.0	11.9	0.7	0.6	3.0	19.5	0.6	1.3	2.2	12.8	1.2	-0.5
	5	1.7	11.3	1.0	-0.3	2.3	19.8	1.5	-0.1	2.0	12.8	1.2	-0.4
	6	1.7	11.9	1.9	-0.8	1.7	19.2	1.1	0.1	1.4	13.3	1.3	-0.5
	7	1.4	11.5	1.5	-1.3	1.6	19.8	1.4	0.0	1.5	13.0	1.5	-0.2
	8	1.0	11.8	1.7	-1.2	1.6	19.4	2.1	-0.4	1.7	12.7	1.2	-1.4
	9	2.5	11.5	1.6	-2.1	2.3	19.3	1.0	0.9	2.9	13.8	1.0	-1.1
	10	1.6	12.0	1.6	-2.1	1.9	21.0	1.2	-0.2	2.1	13.1	1.8	-0.1
	11	1.5	12.5	1.7	-2.1	1.5	19.0	1.7	-0.5	1.9	12.4	1.4	-1.5
	12	2.0	12.3	1.6	-2.0	3.6	21.3	2.0	0.3	1.4	11.6	1.4	-1.1
	13	1.5	12.0	1.3	-1.4	1.5	19.5	1.8	-1.3	2.1	12.9	1.8	-1.2
	14	1.6	12.4	0.8	-1.0	1.0	18.5	1.7	-0.2	2.0	12.8	1.2	-1.3
	15	1.3	11.7	1.1	-1.8	1.3	19.5	2.1	-0.8	1.1	12.2	1.0	-1.4
	16	1.4	12.0	1.3	-2.1	1.9	21.2	2.1	-1.1	2.9	13.0	2.3	-2.5
	17	1.8	11.5	2.3	-2.8	2.6	21.1	1.2	-1.9	2.5	11.9	2.1	-1.2
	18	1.9	10.9	2.0	-2.5	2.8	19.2	1.8	-0.7	2.4	12.3	1.3	-0.7
	19	2.2	11.9	1.6	-1.5	2.7	19.2	2.8	-1.4	2.3	11.2	2.0	-1.4
	20	2.0	11.8	1.8	-1.9	2.9	20.4	2.8	-2.1	1.3	10.9	0.9	-1.6
	21	1.6	12.0	1.3	-2.5	2.6	20.3	2.4	-0.9	1.4	12.0	2.3	-1.8
	22	0.9	11.8	1.1	-2.3	1.3	20.3	2.3	-1.5	1.1	12.8	1.8	-2.7
	23	2.5	12.1	1.8	-2.2	1.6	21.1	2.4	-1.4	1.6	13.9	1.9	-1.8
	24	1.5	12.1	2.3	-2.7	2.5	21.3	2.1	-1.8	1.4	13.0	0.8	-1.2
	25	2.1	12.4	1.9	-3.0	2.4	20.3	2.6	-2.8	1.6	12.9	1.8	-2.9
	26	2.0	12.8	2.6	-3.5	2.3	21.1	3.1	-3.1	2.3	13.2	1.9	-2.3
	27	1.3	12.2	2.6	-3.6	2.0	21.7	2.8	-3.3	2.6	14.0	1.7	-1.7
	28	0.7	11.4	2.0	-3.0	2.5	20.3	2.2	-3.5	2.4	13.9	2.1	-2.1
	29	1.0	11.0	1.9	-3.0	2.6	20.4	2.0	-3.0	1.7	12.8	1.5	-2.1
	30	0.4	10.9	2.1	-3.1	1.0	19.5	2.0	-2.1	1.3	11.8	2.7	-1.5
	31	1.4	11.1	2.5	-2.7	3.0	23.1	3.1	-2.6	1.2	10.6	2.6	-1.9
JUNIO	1	0.9	11.3	2.3	-3.8	3.3	20.2	2.4	-2.0	1.6	11.9	2.4	-1.8
	2	1.6	11.6	1.6	-3.5	1.9	20.1	2.9	-3.9	2.0	13.4	0.8	-0.7
	3	0.7	12.0	2.7	-3.9	2.6	22.1	3.1	-4.4	1.5	12.7	1.0	-0.9
	4	1.3	11.3	2.1	-3.4	3.7	20.4	3.0	-3.7	1.5	12.1	1.9	-1.0
	5	1.8	12.0	2.5	-4.1	2.6	20.6	3.7	-4.1	2.0	12.9	1.6	-2.5
	6	1.4	12.0	1.4	-4.6	1.5	20.1	3.8	-5.0	1.5	13.0	2.2	-3.4
	7	0.9	11.9	2.3	-4.6	0.8	18.9	3.4	-4.5	1.7	13.2	1.7	-2.8
	8	1.2	11.2	2.8	-4.6	2.3	21.6	3.4	-5.5	1.5	13.2	1.9	-2.5
	9	1.3	11.6	3.1	-3.7	3.0	20.5	3.3	-5.2	3.1	13.9	0.7	-1.0
	10	1.1	11.4	2.6	-3.1	1.8	19.6	3.1	-4.0	4.3	15.3	2.4	-2.2
	11	1.5	11.0	3.2	-3.3	2.3	20.1	4.5	-5.5	1.2	11.0	1.4	-0.7
	12	1.1	11.1	2.8	-3.5	2.9	21.5	4.0	-6.3	1.3	11.4	2.0	-1.2
	13	1.3	11.5	2.9	-3.6	1.6	18.7	4.3	-7.1	1.4	10.7	1.3	-1.2
	14	1.2	12.3	2.9	-3.6	1.7	20.2	3.0	-4.8	2.9	13.2	2.0	-2.3
	15	1.3	11.3	2.8	-3.5	1.2	19.0	3.3	-5.0	1.6	13.3	1.6	-2.3
	16	1.7	11.5	2.7	-2.7	2.2	19.7	2.6	-4.8	1.9	13.2	1.7	-1.6
	17	0.9	11.8	2.3	-3.6	1.5	19.3	3.7	-5.3	2.3	13.4	2.9	-3.6
	18	1.1	11.7	2.0	-2.6	2.1	19.9	2.4	-5.0	1.9	13.1	2.0	-1.9
	19	1.3	11.7	2.4	-2.8	0.9	18.4	2.5	-5.0	2.9	14.0	2.9	-3.3
	20	1.9	12.6	2.3	-5.0	0.8	18.4	3.4	-5.4	2.2	12.4	1.7	-2.4
	21	1.1	11.5	2.9	-4.6	2.4	18.3	2.1	-5.2	0.6	10.6	2.8	-4.4
	22	2.0	11.2	2.8	-4.5	3.1	19.1	1.1	-3.9	1.8	10.4	2.2	-3.9
	23	0.6	10.8	3.0	-3.5	3.1	20.6	3.3	-4.5	1.2	10.6	1.4	-3.4
	24	0.8	10.8	2.9	-3.0	3.7	21.5	1.7	-5.0	0.4	11.2	2.7	-4.4
	25	0.4	10.7	2.6	-2.1	2.7	20.6	0.7	-3.6	1.0	10.2	0.5	-1.3
	26	1.1	10.8	3.6	-3.8	3.2	21.0	0.5	-3.8	0.9	10.5	1.0	-2.5
	27	1.6	11.0	3.1	-3.5	2.8	19.1	2.7	-5.0	2.5	11.3	1.4	-2.0
	28	1.7	10.9	2.9	-4.1	3.0	20.0	2.5	-6.1	1.8	11.7	2.1	-5.4
	29	1.8	10.8	1.8	-3.3	2.8	18.6	1.9	-6.0	1.1	10.5	2.0	-3.4
	30	2.1	11.3	2.4	-3.9	2.8	19.7	3.4	-6.6	1.3	10.6	2.3	-4.8

MEJORAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS CON EL USO DE LOS POLIMEROS

MES	DIA	ESTACION: MARCAPOMACOCHA LAT. : 11° 24' S LONG. : 76° 20' W ALT. : 4413 msnm.				ESTACION: LA OROYA LAT. : 11° 31' S LONG. : 75° 54' W ALT. : 3750 msnm.				ESTACION: CERRO DE PASCO LAT. : 10° 45' S LONG. : 76° 10' W ALT. : 4400 msnm.			
		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA	
		DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%
JULIO	1	1.5	10.5	3.3	-4.0	1.9	18.2	4.5	-6.9	1.8	11.9	3.2	-5.5
	2	0.7	11.0	1.6	-5.1	3.1	20.1	0.4	-4.4	0.8	11.2	2.7	-4.7
	3	1.5	11.2	1.8	-5.5	1.6	18.4	3.1	-5.0	1.1	10.8	3.4	-4.1
	4	1.6	10.6	2.7	-5.1	2.3	19.1	3.8	-5.7	1.9	10.8	3.4	-3.7
	5	1.7	11.2	2.0	-5.7	4.4	19.1	4.6	-6.5	1.9	11.2	3.1	-3.7
	6	2.0	11.3	1.8	-4.5	3.8	19.1	3.3	-5.3	2.9	11.5	2.7	-5.0
	7	2.0	11.1	2.0	-3.9	3.4	18.8	2.0	-4.3	2.3	11.8	2.1	-4.4
	8	1.2	11.8	1.6	-4.3	2.6	19.5	2.8	-4.1	2.3	12.6	2.8	-5.4
	9	1.2	11.7	2.2	-3.5	2.7	20.0	3.9	-5.7	2.3	12.2	2.0	-4.4
	10	1.0	11.2	2.6	-4.1	2.9	20.0	2.9	-4.4	2.2	11.9	2.5	-4.4
	11	1.4	11.5	2.5	-3.9	2.7	20.4	1.3	-5.2	1.6	11.9	2.0	-5.3
	12	1.5	11.8	2.8	-5.1	2.6	19.8	3.3	-4.3	2.4	12.3	2.8	-5.6
	13	1.5	11.6	2.9	-4.5	1.8	18.3	4.0	-5.5	1.8	11.6	1.9	-4.9
	14	1.4	11.2	2.4	-4.1	1.1	18.5	3.8	-4.6	1.3	10.8	2.7	-5.2
	15	1.2	11.0	2.3	-5.0	2.2	18.0	3.0	-4.0	2.3	12.2	1.7	-2.7
	16	1.1	11.0	2.5	-4.3	2.6	18.9	3.7	-2.5	1.5	11.5	2.7	-4.5
	17	1.6	11.6	2.0	-3.6	2.0	17.6	3.3	-4.5	1.6	11.4	1.8	-2.9
	18	1.4	10.9	1.9	-4.3	2.0	19.8	1.7	-0.9	1.4	12.0	3.0	-3.6
	19	1.1	11.8	2.6	-5.0	1.4	18.0	2.6	-1.4	1.3	11.6	2.7	-4.6
	20	1.4	11.5	2.5	-4.5	3.9	22.0	2.3	-3.2	1.4	9.5	1.0	-2.1
	21	0.8	10.8	2.3	-3.8	2.4	19.5	2.5	-5.0	1.2	11.2	3.1	-5.4
	22	1.8	12.2	2.5	-4.1	2.2	18.4	1.9	-0.2	0.7	11.1	3.0	-4.1
	23	1.3	12.2	2.7	-4.3	2.8	18.7	1.7	-1.2	1.1	11.6	1.4	-5.3
	24	1.7	12.9	2.5	-4.5	2.3	18.1	2.3	-1.2	1.3	11.1	2.6	-5.2
	25	1.6	11.6	1.4	-4.7	3.0	20.5	1.9	-1.6	1.3	11.9	1.2	-1.4
	26	1.2	11.4	1.6	-5.0	1.1	18.1	2.6	-3.5	1.1	11.0	1.3	-3.1
	27	0.8	11.6	3.0	-5.1	1.4	17.9	2.2	-3.9	2.0	13.2	1.0	-2.9
	28	0.8	12.1	2.6	-5.2	2.3	20.3	3.4	-5.8	1.2	13.0	1.9	-4.5
	29	1.3	12.1	2.5	-4.6	2.0	19.5	3.4	-5.1	2.1	14.1	1.3	-3.5
	30	1.6	12.6	3.0	-4.5	0.8	18.3	4.4	-4.6	2.0	13.3	2.0	-4.5
	31	1.0	11.9	2.7	-4.1	2.2	20.6	3.9	-4.3	1.9	13.4	1.4	-4.3
AGOSTO	1	1.9	12.4	2.5	-4.0	2.1	19.0	3.2	-2.2	2.0	11.7	1.5	-4.0
	2	1.5	12.2	2.7	-5.0	2.3	18.5	3.3	-2.6	1.1	12.5	3.1	-4.8
	3	1.5	12.4	2.2	-4.6	2.2	20.3	3.2	-3.6	2.4	13.5	2.8	-5.0
	4	1.2	12.2	1.3	-4.2	1.8	20.1	4.4	-4.8	2.1	14.3	2.2	-4.8
	5	1.9	12.2	2.8	-3.9	1.5	20.0	4.0	-4.1	2.3	15.0	3.4	-6.6
	6	1.6	11.9	2.2	-3.0	1.9	19.4	3.1	-3.6	1.4	12.3	1.5	-3.2
	7	3.6	12.6	2.0	-3.1	2.8	19.7	3.0	-2.3	1.6	14.0	2.2	-4.1
	8	2.9	11.9	2.7	-4.8	1.4	18.7	3.0	-2.6	0.9	12.8	2.2	-4.0
	9	3.2	12.7	1.7	-4.6	2.6	19.6	2.3	-1.1	1.8	12.8	2.5	-4.0
	10	1.5	12.0	3.0	-3.7	3.5	18.9	2.8	-2.0	2.8	13.6	1.4	-3.0
	11	2.0	11.7	2.1	-4.1	3.7	19.5	3.2	-1.8	3.7	14.6	2.5	-4.1
	12	1.3	11.3	1.4	-4.5	1.4	17.9	3.9	-3.2	2.3	12.5	2.0	-4.9
	13	1.2	10.6	1.9	-3.7	2.0	19.8	4.0	-3.9	1.5	11.9	1.8	-5.3
	14	2.1	12.0	1.5	-3.2	1.7	19.6	2.6	-2.1	0.9	12.3	0.1	-3.7
	15	1.3	11.7	1.3	-2.8	2.9	18.5	2.4	-2.1	1.0	11.8	2.3	-4.4
	16	1.5	11.4	2.4	-4.0	1.4	19.2	2.6	-1.6	2.4	11.9	1.7	-2.5
	17	0.9	11.3	2.4	-3.0	1.6	19.3	3.1	-4.5	2.2	13.5	2.0	-4.6
	18	2.1	12.2	2.5	-3.3	1.0	18.6	3.4	-3.2	2.9	13.0	2.5	-3.0
	19	1.4	12.3	3.0	-4.9	3.0	21.1	4.0	-3.3	2.7	12.7	2.9	-3.9
	20	1.6	12.1	2.6	-4.4	3.4	22.1	4.3	-3.5	2.0	13.0	2.8	-4.8
	21	1.6	11.2	1.8	-3.3	5.2	21.5	4.4	-2.9	2.1	12.3	1.4	-3.7
	22	2.0	12.6	1.6	-4.1	2.9	19.6	3.1	-2.1	1.5	13.3	3.1	-4.1
	23	1.8	12.0	1.5	-3.6	3.3	20.0	2.6	-1.4	2.3	13.1	2.1	-5.9
	24	1.6	12.2	2.0	-4.4	3.4	22.3	2.5	-1.9	2.1	14.4	2.3	-4.8
	25	1.5	12.6	2.3	-3.7	2.4	20.0	2.2	-2.3	1.5	12.3	2.6	-4.4
	26	1.9	12.2	2.3	-3.7	3.1	20.5	1.4	0.4	1.4	12.1	3.0	-3.8
	27	1.4	12.5	2.4	-4.3	2.8	20.2	4.0	-2.8	1.4	13.0	3.6	-5.2
	28	1.2	11.8	2.7	-3.5	2.5	20.1	3.3	-1.7	1.6	13.1	2.2	-3.6
	29	1.3	11.8	2.3	-3.2	3.2	20.0	2.2	0.0	0.8	12.0	2.2	-2.9
	30	1.0	11.6	2.3	-3.4	2.9	19.9	3.0	-0.6	1.8	11.4	2.0	-3.4
	31	1.6	11.2	2.3	-4.1	3.9	2.8	1.5	1.4	1.6	10.5	1.9	-3.9

MEJORAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS CON EL USO DE LOS POLIMEROS

MES	DIA	ESTACION: MARCAPOMACOCHA LAT. : 11° 24' S LONG. : 76° 20' W ALT. : 4413 msnm.				ESTACION: LA OROYA LAT. : 11° 31' S LONG. : 75° 54' W ALT. : 3750 msnm.				ESTACION: CERRO DE PASCO LAT. : 10° 45' S LONG. : 76° 10' W ALT. : 4400 msnm.			
		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA	
		DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%
JULIO	1	1.5	10.5	3.3	-4.0	1.9	19.2	4.5	-6.9	1.8	11.9	3.2	-5.5
	2	0.7	11.0	1.6	-5.1	3.1	20.1	0.4	-4.4	0.8	11.2	2.7	-4.7
	3	1.5	11.2	1.8	-5.5	1.6	18.4	3.1	-5.0	1.1	10.8	3.4	-4.1
	4	1.6	10.6	2.7	-5.1	2.3	19.1	3.8	-5.7	1.9	10.8	3.4	-3.7
	5	1.7	11.2	2.0	-5.7	4.4	19.1	4.6	-6.5	1.9	11.2	3.1	-3.7
	6	2.0	11.3	1.8	-4.5	3.8	19.1	3.3	-5.3	2.9	11.5	2.7	-5.0
	7	2.0	11.1	2.0	-3.9	3.4	18.8	2.0	-4.3	2.3	11.8	2.1	-4.4
	8	1.2	11.8	1.6	-4.3	2.6	19.5	2.8	-4.1	2.3	12.6	2.8	-5.4
	9	1.2	11.7	2.2	-3.5	2.7	20.0	3.9	-5.7	2.3	12.2	2.0	-4.4
	10	1.0	11.2	2.6	-4.1	2.9	20.0	2.9	-4.4	2.2	11.9	2.5	-4.4
	11	1.4	11.5	2.5	-3.9	2.7	20.4	1.3	-5.2	1.6	11.9	2.0	-5.3
	12	1.5	11.8	2.8	-5.1	2.6	19.8	3.3	-4.3	2.4	12.3	2.8	-5.6
	13	1.5	11.6	2.9	-4.5	1.8	18.3	4.0	-5.5	1.8	11.6	1.9	-4.9
	14	1.4	11.2	2.4	-4.1	1.1	18.5	3.8	-4.6	1.3	10.8	2.7	-5.2
	15	1.2	11.0	2.3	-5.0	2.2	18.0	3.0	-4.0	2.3	12.2	1.7	-2.7
	16	1.1	11.0	2.5	-4.3	2.6	18.9	3.7	-2.5	1.5	11.5	2.7	-4.5
	17	1.6	11.6	2.0	-3.6	2.0	17.6	3.3	-4.5	1.6	11.4	1.8	-2.9
	18	1.4	10.9	1.9	-4.3	2.0	19.8	1.7	-0.9	1.4	12.0	3.0	-3.6
	19	1.1	11.8	2.6	-5.0	1.4	18.0	2.6	-1.4	1.3	11.6	2.7	-4.6
	20	1.4	11.5	2.5	-4.5	3.9	22.0	2.3	-3.2	1.1	9.5	1.0	-2.1
	21	0.8	10.8	2.3	-3.8	2.4	19.5	2.5	-5.0	1.2	11.2	3.1	-5.4
	22	1.8	12.2	2.5	-4.1	2.2	18.4	1.9	-0.2	0.7	11.1	3.0	-4.1
	23	1.3	12.2	2.7	-4.3	2.8	18.7	1.7	-1.2	1.1	11.6	1.4	-5.3
	24	1.7	12.9	2.5	-4.5	2.3	18.1	2.3	-1.2	1.3	11.1	2.6	-5.2
	25	1.6	11.6	1.4	-4.7	3.0	20.5	1.9	-1.6	1.3	11.9	1.2	-1.4
	26	1.2	11.4	1.6	-5.0	1.1	18.1	2.6	-3.5	1.1	11.0	1.3	-3.1
	27	0.8	11.6	3.0	-5.1	1.4	17.9	2.2	-3.9	2.0	13.2	1.0	-2.9
	28	0.8	12.1	2.6	-5.2	2.3	20.3	3.4	-5.8	1.2	13.0	1.9	-4.5
	29	1.3	12.1	2.5	-4.6	2.0	19.5	3.4	-5.1	2.1	14.1	1.3	-3.5
	30	1.6	12.6	3.0	-4.5	0.8	18.3	4.4	-4.6	2.0	13.3	2.0	-4.5
	31	1.0	11.9	2.7	-4.1	2.2	20.6	3.9	-4.3	1.9	13.4	1.4	-4.3
AGOSTO	1	1.9	12.4	2.5	-4.0	2.1	19.0	3.2	-2.2	2.0	11.7	1.5	-4.0
	2	1.5	12.2	2.7	-5.0	2.3	18.5	3.3	-2.6	1.1	12.5	3.1	-4.8
	3	1.5	12.4	2.2	-4.6	2.2	20.3	3.2	-3.6	2.4	13.5	2.8	-5.0
	4	1.2	12.2	1.3	-4.2	1.8	20.1	4.4	-4.8	2.1	14.3	2.2	-4.8
	5	1.9	12.2	2.8	-3.9	1.5	20.0	4.0	-4.1	2.3	15.0	3.4	-6.6
	6	1.6	11.9	2.2	-3.0	1.9	19.4	3.1	-3.6	1.4	12.3	1.5	-3.2
	7	3.6	12.6	2.0	-3.1	2.8	19.7	3.0	-2.3	1.6	14.0	2.2	-4.1
	8	2.9	11.9	2.7	-4.8	1.4	18.7	3.0	-2.6	0.9	12.8	2.2	-4.0
	9	3.2	12.7	1.7	-4.6	2.6	19.6	2.3	-1.1	1.8	12.8	2.5	-4.0
	10	1.5	12.0	3.0	-3.7	3.5	18.9	2.8	-2.0	2.8	13.6	1.4	-3.0
	11	2.0	11.7	2.1	-4.1	3.7	19.5	3.2	-1.8	3.7	14.6	2.5	-4.1
	12	1.3	11.3	1.4	-4.5	1.4	17.9	3.9	-3.2	2.3	12.5	2.0	-4.9
	13	1.2	10.6	1.9	-3.7	2.0	19.8	4.0	-3.9	1.5	11.9	1.8	-5.3
	14	2.1	12.0	1.5	-3.2	1.7	19.6	2.6	-2.1	0.9	12.3	0.1	-3.7
	15	1.3	11.7	1.3	-2.8	2.9	18.5	2.4	-2.1	1.0	11.8	2.3	-4.4
	16	1.5	11.4	2.4	-4.0	1.4	19.2	2.6	-1.6	2.4	11.9	1.7	-2.5
	17	0.9	11.3	2.4	-3.0	1.6	19.3	3.1	-4.5	2.2	13.5	2.0	-4.6
	18	2.1	12.2	2.5	-3.3	1.0	18.6	3.4	-3.2	2.9	13.0	2.5	-3.0
	19	1.4	12.3	3.0	-4.9	3.0	21.1	4.0	-3.3	2.7	12.7	2.9	-3.9
	20	1.6	12.1	2.6	-4.4	3.4	22.1	4.3	-3.5	2.0	13.0	2.8	-4.8
	21	1.6	11.2	1.8	-3.3	5.2	21.5	4.4	-2.9	2.1	12.3	1.4	-3.7
	22	2.0	12.6	1.6	-4.1	2.9	19.6	3.1	-2.1	1.5	13.3	3.1	-4.1
	23	1.8	12.0	1.5	-3.6	3.3	20.0	2.6	-1.4	2.3	13.1	2.1	-5.9
	24	1.6	12.2	2.0	-4.4	3.4	22.3	2.5	-1.9	2.1	14.4	2.3	-4.8
	25	1.5	12.6	2.3	-3.7	2.4	20.0	2.2	-2.3	1.5	12.3	2.6	-4.4
	26	1.9	12.2	2.3	-3.7	3.1	20.5	1.4	0.4	1.4	12.1	3.0	-3.8
	27	1.4	12.5	2.4	-4.3	2.8	20.2	4.0	-2.8	1.4	13.0	3.6	-5.2
	28	1.2	11.8	2.7	-3.5	2.5	20.1	3.3	-1.7	1.6	13.1	2.2	-3.6
	29	1.3	11.8	2.3	-3.2	3.2	20.0	2.2	0.0	0.8	12.0	2.2	-2.9
	30	1.0	11.6	2.3	-3.4	2.9	19.9	3.0	-0.6	1.8	11.4	2.0	-3.4
	31	1.6	11.2	2.3	-4.1	3.9	2.8	1.5	1.4	1.6	10.5	1.9	-3.9

MEJORAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS CON EL USO DE LOS POLIMEROS

MES	DIA	ESTACION: MARCAPOMACOCHA LAT. : 11° 24' S LONG. : 76° 20' W ALT. : 4413 msnm.				ESTACION: LA OROYA LAT. : 11° 31' S LONG. : 75° 54' W ALT. : 3750 msnm.				ESTACION: CERRO DE PASCO LAT. : 10° 45' S LONG. : 76° 10' W ALT. : 4400 msnm.			
		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA	
		DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%	DES.V. ESTAND	PROB.AL 90%
S E T I E M B R E	1	1.8	12.1	2.0	-3.8	2.3	19.7	2.8	-2.5	3.0	13.9	0.5	-2.9
	2	2.2	12.1	2.0	-3.8	1.7	19.9	2.8	-1.5	2.3	13.2	0.8	-2.6
	3	2.1	12.0	0.9	-3.4	2.1	19.9	2.8	-1.3	3.1	12.8	0.9	-3.7
	4	1.9	12.5	1.7	-4.0	2.3	20.0	2.7	-1.1	2.3	12.4	2.1	-4.0
	5	1.4	12.0	1.7	-3.5	2.0	20.4	3.0	-1.5	2.4	13.4	1.9	-2.7
	6	1.6	12.1	1.7	-4.0	2.5	19.4	2.8	-0.5	1.7	12.7	2.1	-3.5
	7	1.4	12.5	2.6	-3.9	1.2	20.3	2.8	-2.5	1.6	13.5	1.2	-3.1
	8	1.6	13.0	2.2	-3.6	1.5	21.8	4.6	-3.5	2.7	14.3	2.1	-5.0
	9	1.9	12.6	1.4	-3.1	1.1	20.0	2.2	-2.0	2.1	13.6	1.8	-3.5
	10	1.1	11.5	2.0	-3.4	2.3	18.2	2.3	-1.0	1.8	11.3	2.3	-2.8
	11	1.4	11.5	1.5	-1.3	0.9	19.1	1.8	-0.5	1.3	12.7	2.5	-1.8
	12	1.1	12.3	2.0	-1.6	1.2	19.5	3.1	-1.3	2.7	12.3	2.9	-3.3
	13	1.7	12.7	1.7	-1.5	1.9	20.1	3.2	-2.2	2.0	12.5	2.7	-2.5
	14	2.0	10.8	1.7	-1.9	3.4	21.0	2.7	-2.0	2.3	11.5	2.7	-1.8
	15	1.2	11.3	0.9	0.0	2.2	18.2	2.3	-1.7	0.9	10.2	1.1	0.1
	16	2.3	11.2	1.8	-1.4	1.4	18.4	2.5	-1.5	2.1	11.4	1.8	-1.0
	17	1.7	12.4	1.4	-1.3	1.8	18.6	2.3	0.2	2.3	12.9	1.8	-1.4
	18	1.6	12.1	1.1	-1.0	2.2	19.7	1.9	0.6	1.3	11.7	1.6	-0.8
	19	1.3	11.9	1.2	-1.4	2.3	20.5	1.0	1.3	1.7	13.2	1.4	-0.8
	20	1.2	12.2	1.4	-1.8	1.2	19.8	1.6	0.5	1.4	12.5	2.1	-0.7
	21	1.6	12.5	1.9	-1.8	1.7	20.1	3.1	-1.3	3.0	14.4	1.6	-0.9
	22	1.7	12.2	1.3	-1.8	2.1	19.4	2.6	-0.4	1.4	12.2	1.0	-1.2
	23	1.6	12.1	1.1	-2.3	3.4	20.3	2.5	0.2	1.9	13.6	1.2	-0.8
	24	1.8	12.0	1.6	-3.2	4.0	21.9	2.5	0.4	1.9	12.2	1.9	-1.3
	25	1.7	11.9	1.4	-2.3	2.1	19.4	1.0	2.1	1.4	12.5	1.1	-1.0
	26	2.0	12.1	1.8	-1.1	4.4	20.6	1.1	1.5	2.4	12.4	1.0	0.0
	27	2.8	11.3	1.1	-0.7	4.4	21.0	1.0	1.9	4.1	13.8	0.8	0.1
	28	3.6	12.6	1.8	-1.6	3.0	19.4	2.5	0.4	2.5	12.7	1.0	-0.5
	29	3.0	12.3	2.0	-2.9	1.9	18.7	2.4	0.0	2.2	10.8	0.9	0.1
	30	1.2	11.3	1.8	-1.7	3.0	19.4	2.0	0.2	1.5	11.9	1.7	-0.9
O C T U B R E	1	1.3	11.3	1.5	-1.7	3.3	21.6	1.4	1.1	3.1	13.4	1.6	-1.6
	2	1.8	11.3	1.8	-2.5	3.1	19.3	1.6	1.4	2.7	13.1	0.7	-0.7
	3	3.1	12.0	1.1	-1.3	4.3	19.7	1.5	1.4	3.1	13.2	1.7	-1.7
	4	2.1	12.5	1.0	-1.5	3.6	19.2	1.0	1.4	2.7	13.9	2.7	-3.1
	5	2.0	12.7	1.0	-1.9	3.7	20.6	1.0	1.3	2.0	14.0	2.1	-1.8
	6	2.9	12.8	1.3	-1.6	2.0	19.9	1.1	1.7	2.7	15.0	3.3	-2.2
	7	2.1	12.3	0.7	-0.2	2.5	19.4	2.0	0.5	2.2	15.4	2.1	-1.4
	8	1.9	11.5	1.5	-1.3	2.6	19.8	1.6	1.5	1.9	13.0	1.7	-1.9
	9	1.5	10.8	1.4	-0.5	2.3	19.4	1.7	1.9	2.2	12.1	2.7	-2.4
	10	1.2	11.2	1.1	0.1	1.1	19.4	1.8	1.5	1.9	10.6	2.4	-1.6
	11	1.1	12.0	2.0	-1.5	1.9	19.9	1.3	1.3	2.6	13.4	0.9	0.2
	12	1.9	10.6	1.6	-1.0	2.3	20.4	1.4	1.6	2.6	14.3	2.1	-2.3
	13	3.1	11.5	0.8	-1.0	4.9	21.5	1.2	2.0	2.5	13.6	1.1	-1.0
	14	1.5	12.0	1.4	-1.7	2.1	19.6	1.1	1.5	1.2	11.6	0.4	-1.5
	15	1.0	12.1	1.9	-2.2	1.4	19.1	1.8	0.3	3.2	15.0	2.1	-1.9
	16	1.1	12.3	1.6	-0.9	2.0	20.5	1.5	0.4	2.4	13.4	1.2	-0.3
	17	1.7	12.5	1.4	-1.3	2.0	19.3	2.2	0.7	2.5	13.8	1.1	0.1
	18	1.5	13.0	1.7	-1.3	1.3	17.7	2.4	0.5	2.3	11.4	0.9	-0.6
	19	2.9	12.2	1.4	-0.8	2.5	20.0	1.0	1.3	3.3	12.9	1.3	0.0
	20	2.5	12.3	1.6	-1.5	3.0	21.1	1.2	3.0	1.9	12.9	1.8	-0.9
	21	1.1	11.8	0.8	-0.2	1.4	19.0	1.9	2.0	1.8	12.3	0.7	0.6
	22	1.3	10.0	0.8	-0.2	1.9	18.0	1.7	2.0	1.7	11.0	0.6	0.5
	23	2.9	10.8	0.8	0.4	3.3	20.3	2.2	1.2	3.6	14.5	1.0	0.0
	24	2.3	11.6	1.4	-0.5	1.9	18.7	2.0	1.0	1.6	11.5	1.2	0.5
	25	1.8	12.1	0.9	-0.5	2.4	19.9	2.8	0.1	1.4	12.3	1.3	-0.4
	26	1.8	12.3	1.4	-1.6	3.1	22.2	1.7	0.1	2.4	13.1	1.1	-0.2
	27	1.6	12.1	1.7	-1.1	0.7	19.9	1.8	-0.1	1.5	12.5	1.3	-0.7
	28	2.1	13.0	1.7	-1.0	1.7	22.0	3.5	-1.6	1.8	14.1	1.4	-1.3
	29	1.6	12.4	2.2	-1.6	1.3	19.7	3.4	-0.8	1.5	12.6	1.1	1.1
	30	1.3	10.1	1.7	-0.4	2.0	19.2	3.1	-0.4	1.7	11.2	0.5	1.5
	31	1.8	10.3	2.1	-0.9	2.5	19.0	1.3	2.5	1.7	12.3	1.1	0.5

MEJORAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS CON EL USO DE LOS POLIMEROS

MES	DIA	ESTACION: MARCAPOMACOA LAT. : 11° 24' S LONG. : 76° 20' W ALT. : 4413 msnm.				ESTACION: LA OROYA LAT. : 11° 31' S LONG. : 75° 54' W ALT. : 3750 msnm.				ESTACION: CERRO DE PASCO LAT. : 10° 45' S LONG. : 76° 10' W ALT. : 4400 msnm.			
		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA		TEMP. MAXIMA		TEMP. MINIMA	
		DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%	DESV. ESTAND	PROB.AL 90%
		N O V I E M B R E	1	1.2	11.2	0.9	0.2	2.3	21.0	1.4	1.5	3.2	13.7
2	2.2		11.8	1.1	-0.6	1.6	21.0	2.1	-0.1	2.4	14.2	1.1	-0.3
3	1.8		12.2	1.5	-1.2	1.0	20.5	1.8	0.0	2.0	13.1	2.4	-0.7
4	0.8		10.8	2.1	-1.3	1.7	21.1	3.6	-1.6	2.2	12.9	1.9	-0.8
5	2.0		12.5	2.5	-1.8	2.2	21.2	2.1	0.6	1.2	12.5	1.6	0.0
6	2.5		11.7	1.4	-0.1	0.7	19.9	2.2	1.3	2.0	13.0	2.1	-1.0
7	2.2		11.7	0.5	0.6	0.3	20.5	4.2	-1.9	3.1	14.4	1.8	-0.5
8	1.6		11.2	2.0	-1.0	1.3	20.2	2.9	-0.2	1.8	12.6	1.0	0.5
9	1.1		11.3	2.2	-1.0	1.6	20.2	2.9	-0.1	2.0	12.2	0.7	0.7
10	1.4		11.6	2.2	-1.5	4.1	20.2	1.0	2.9	1.7	10.8	1.0	0.5
11	2.3		12.2	2.1	-2.2	2.2	19.7	2.0	1.4	1.9	12.2	1.8	-0.4
12	1.1		12.2	1.6	-1.5	2.5	21.9	1.5	0.8	2.5	13.6	1.0	-0.9
13	1.2		11.7	1.3	-1.3	3.1	22.1	2.5	1.3	2.0	13.6	2.2	-1.4
14	1.0		12.4	1.7	-2.1	3.0	20.4	1.9	1.9	2.3	11.9	0.9	-0.6
15	2.0		12.3	1.2	-0.7	3.5	21.2	2.6	0.2	1.9	11.2	1.3	-0.7
16	2.5		13.1	1.9	-1.8	3.4	20.4	2.3	0.1	2.5	11.8	1.5	-1.5
17	1.4		12.3	2.4	-2.0	3.2	19.2	1.4	1.6	2.0	10.3	0.8	-0.5
18	0.6		11.1	1.0	-0.2	3.9	20.6	1.5	1.4	1.8	13.0	1.5	-0.5
19	2.2		12.1	1.9	-1.3	2.1	20.8	1.5	1.0	2.6	12.6	1.2	0.6
20	1.2		12.1	1.2	-0.7	1.3	19.0	1.6	1.3	1.3	12.3	0.9	0.6
21	1.3		11.8	2.4	-2.0	1.4	19.6	1.3	1.1	1.8	13.8	0.7	-0.5
22	2.3		13.3	1.8	-1.6	3.3	22.7	1.2	1.7	1.7	12.7	1.1	0.5
23	1.3		11.9	1.3	-1.3	3.2	20.1	0.5	2.0	2.6	13.2	0.4	-0.1
24	1.6		12.6	1.5	-0.6	2.2	21.1	1.4	1.8	2.3	13.8	1.3	-0.4
25	1.4		12.7	2.6	-1.6	1.9	20.3	3.5	-1.6	1.3	12.8	1.5	-1.5
26	2.1		14.3	2.0	-2.9	3.1	20.7	2.0	0.0	1.5	13.0	0.7	-1.3
27	1.8		12.3	2.1	-1.9	2.4	20.9	1.4	2.1	1.5	12.3	1.2	-1.3
28	1.4		12.1	1.7	-1.3	3.4	21.5	1.4	2.3	1.1	11.5	0.7	0.2
29	1.8		12.3	1.7	-0.4	4.2	21.4	1.1	2.2	1.4	12.1	1.6	-0.3
30	1.3		11.8	1.3	0.0	3.6	21.9	0.6	2.5	2.1	13.2	0.8	0.0
D I C I E M B R E	1	1.9	12.9	0.7	-0.4	2.5	22.5	2.0	0.2	2.1	13.7	0.4	0.2
	2	0.9	12.4	2.0	-1.7	0.6	19.5	3.7	-1.9	3.3	13.4	1.4	1.2
	3	1.9	13.3	1.6	-1.5	3.7	23.6	2.4	-1.1	0.8	11.3	0.8	0.8
	4	2.0	12.7	2.0	-1.5	1.0	19.9	2.7	-1.3	2.4	13.9	0.5	1.3
	5	2.1	11.6	0.4	0.6	0.9	20.9	1.4	1.2	2.6	13.3	0.9	0.9
	6	1.6	10.9	0.6	0.6	3.4	23.0	1.5	1.2	2.2	14.5	1.5	-0.3
	7	2.7	11.5	2.1	-0.8	3.2	21.9	0.9	2.0	2.0	13.7	1.4	0.4
	8	1.8	12.3	1.2	0.1	3.6	21.4	1.5	1.8	1.9	11.8	1.7	1.0
	9	1.5	12.0	1.1	0.7	1.8	20.9	2.5	-0.8	1.4	11.4	0.9	1.3
	10	2.5	11.3	1.7	-0.5	2.8	21.4	1.5	1.4	1.5	12.6	1.4	1.0
	11	0.8	12.3	2.9	-2.8	2.2	20.6	0.9	2.5	1.6	11.6	0.7	1.5
	12	1.1	12.2	3.0	-2.7	2.5	22.2	1.5	1.7	2.1	12.9	1.1	0.6
	13	3.0	13.2	2.2	-2.0	4.6	22.0	1.8	1.3	2.6	11.8	1.9	-0.3
	14	1.4	11.1	2.3	-1.7	5.0	23.5	1.7	2.2	1.6	11.0	1.4	0.3
	15	2.6	12.4	1.9	-0.7	3.6	22.6	1.0	2.4	1.7	10.6	0.8	0.0
	16	2.4	12.3	2.3	-0.7	3.9	23.0	1.7	2.0	1.9	12.6	0.8	0.5
	17	1.8	11.5	1.3	0.0	2.5	19.9	1.3	2.6	1.0	9.4	1.0	0.7
	18	1.0	10.1	0.9	0.7	3.3	21.5	1.1	2.8	0.7	9.7	1.5	0.1
	19	1.7	10.2	0.8	0.8	3.8	22.7	2.8	0.4	1.6	9.9	1.7	0.5
	20	1.4	9.8	1.7	-0.4	2.6	20.3	1.3	1.3	2.3	11.5	1.7	0.2
	21	1.3	9.8	1.8	-0.6	2.0	21.3	1.9	1.4	1.3	11.1	1.8	0.5
	22	1.9	11.3	0.8	0.6	3.6	22.4	1.5	1.8	1.5	11.3	1.8	0.6
	23	1.3	11.2	0.8	0.8	3.4	20.8	0.7	2.9	2.0	10.7	0.8	1.2
	24	0.6	11.4	0.9	0.9	3.2	20.2	1.0	2.1	1.9	10.2	0.9	1.0
	25	2.3	10.2	1.0	0.8	3.7	21.5	1.1	2.7	1.4	10.3	1.2	0.7
	26	0.4	8.0	0.7	0.3	4.2	20.7	0.3	2.8	0.8	10.5	0.7	1.0
	27	0.4	8.9	0.7	0.5	5.5	23.7	1.1	2.3	1.4	10.9	1.5	0.7
	28	1.5	11.3	1.6	-0.4	3.0	19.0	1.8	0.2	1.0	11.1	0.9	0.9
	29	2.0	11.5	1.2	0.1	2.7	21.0	0.8	1.6	2.1	11.8	1.3	0.5
	30	1.0	12.0	2.5	-0.9	1.9	20.9	1.2	2.2	1.1	11.6	1.4	0.6
	31	1.2	12.4	2.4	-1.1	4.6	22.9	1.2	2.3	1.8	11.6	1.1	1.2

ANEXO 05: RESULTADOS DE ANALISIS DE LABORATORIO



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION

LAVADOS ASFÁLTICOS ASTM D - 2172

SOLICITUD: Ensayos en muestras de Carpeta Asfáltica (Laboratorio) REGISTRO: 344 (29.05/00) FECHA: 29.05/2000
 SOLICITADO: Ing° José Meléndez Palma ING RESPONSABLE: José Melchor Areche.
 PROCEDENCIA: Carretera Central: Lima - La Oroya - Huanuco EFECTUADO POR: Ing° J. Romero P. - Téc. L. Céspedes A.

MALLA SERIE AMERICANA	TRAMO KILOMETRAJE ABERTURA (mm)	SAN MATEO - MOROCUCHA							
		125 + 600		133 + 850		134 + 150		% RET.	% PASA
		% RET.	% PASA	% RET.	% PASA	% RET.	% PASA		
3"	76.200								
2 1/2"	63.500								
2"	50.800								
1 1/2"	38.100								
1"	25.400		100		100				
3/4"	19.050	1	99	8	92		100		
1/2"	12.700	6	93	7	85	11	89		
3/8"	9.525	5	88	7	78	8	81		
1/4"	6.350	12	76	10	68	12	69		
N° 4	4.760	8	68	7	61	7	62		
N° 6	3.360	11	57	8	53	9	53		
N° 8	2.380	9	48	8	45	7	46		
N° 10	2.000	4	44	3	42	3	43		
N° 16	1.190	12	32	10	32	10	33		
N° 20	0.840	6	26	5	27	6	27		
N° 30	0.590	7	19	6	21	6	21		
N° 40	0.426	5	14	5	16	5	16		
N° 50	0.297	4	10	4	12	4	12		
N° 60	0.177	3	7	4	8	3	9		
N° 100	0.149	1	6	1	7	1	8		
N° 200	0.074	1	5	2	5	2	6		
N° -200	-	5	--	5	--	6	--		
Humedad Natural (%)		--	--	--	--	--	--		
Cemento Asfáltico (%)		7.4		6.4		6.1			
Espesor de Carpeta (cm)		4.0		4.3		4.3			

Nota: La interpretación ajena a los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas



[Signature]
JULIO CESAR MARIQUE PINO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. del Colegio de Ingenieros N° 40483



Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rimac, Telf: 481 - 3707 Fax: 481 0677

MEJORAMIENTO DE CARPETAS ASFALTICAS CON EL USO DE LOS POLIMEROS



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION

SOLICITUD : Ensayos en muestras de Carpeta Asfáltica (Laboratorio)
 PROCEDENCIA : Carretera Central: Lima - La Oroya - Huanuco
 ING° RESPONSABLE : José Melchor Areche
 EFECTUADO POR : Ing° Jorge Romero P.- Téc. Leoncio Céspedes A.
 SOLICITADO POR : Ing° José Meléndez Palma
 REGISTRO N° : 344 (29.05.2000)
 FECHA : 29 de Mayo del 2000

LAVADO ASFÁLTICO ASTM D - 2172

1. ENSAYOS EN EL ASFALTO RECUPERADO

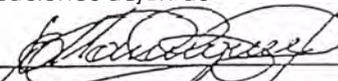
(Método Abson ASTM D-1856)

Tramo	San Mateo - Morococha			
	Kilometro	128 + 600	133 + 850	134 + 150
% C. Asfáltico en peso		7.4	6.4	6.1
% C. Asfáltico en Volumén		16.6	14.7	14.2
P. Especifico C. Asfáltico g/cc.		1.024	1.029	1.023
Penetración a 25°C, 100g, 5s.		48.0	41.0	34.0
Punto de Ablandamiento T _{ASB} , °C		59.0	55.0	64.0
Viscosidad Cinemática a 135°C cSt		584.9	548.4	1023.7

2. ENSAYOS EN EL AGREGADO RECUPERADO

Tramo	San Mateo - Morococha			
	Kilometro	128 + 600	133 + 850	134 + 150
P. Especifico Mezcla g/cc.		2.371	2.392	2.376
% Grava		32.0	39.0	38.0
% Arena		68.0	61.0	62.0
P. Especifico Agregados Grueso g/cc.		2.582	2.635	2.623
P. Especifico Agregados Fino g/cc.		2.532	2.532	2.525
% de vacios en la mezcla		5.5	5.2	5.7
% del agregado en volúmen		83.4	85.3	85.8
% de Vacios llenados con C. Asfáltico		70.2	70.4	67.9
% de Vacios del Agregado Mineral (VMA)		18.6	17.4	17.9

Nota: La interpretación ajena a los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas


 JULIO CESAR MANRIQUE PINO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. del Colegio de Ingeñeros N°. 40039



LABORATORIO



CENTRAL

Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rímac, Telf: 481 - 3707 Fax : 481 0677

MEJORAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS CON EL USO DE LOS POLIMEROS



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION

LAVADOS ASFÁLTICOS ASTM D - 2172

SOLICITUD Ensayos en muestras de Carpeta Asfáltica (Laboratorio) REGISTRO : 344 (29/05/00) FECHA : 29/05/2000
 SOLICITADO : Ing° José Meléndez Palma ING RESPONSABLE : José Melchor Areche.
 PROCEDENCIA : Carretera Central: Lima - La Oroya - Huanuco EFECTUADO POR : Ing° J. Romero P.- Téc. L. Céspedes A.

MALLA SERIE AMERICANA	TRAMO KILOMETRAJE	MOROCOCHA - LA OROYA						% RET.	% PASA
		154 + 200		155 + 500		159 + 750			
		% RET.	% PASA	% RET.	% PASA	% RET.	% PASA		
3"	76.200								
2 1/2"	63.500								
2"	50.800								
1 1/2"	38.100								
1"	25.400							100	
3/4"	19.050		100		100	3	97		
1/2"	12.700	9	91	9	91	14	83		
3/8"	9.525	8	83	10	81	3	80		
1/4"	6.350	11	72	12	69	12	68		
N° 4	4.760	6	66	7	62	6	62		
N° 6	3.360	10	56	9	53	8	54		
N° 8	2.380	7	49	7	46	6	48		
N° 10	2.000	3	46	3	43	3	45		
N° 16	1.190	9	37	10	33	6	39		
N° 20	0.840	5	32	5	28	5	34		
N° 30	0.590	5	27	6	22	5	29		
N° 40	0.426	5	22	5	17	5	24		
N° 50	0.297	6	16	6	11	5	19		
N° 80	0.177	6	10	1	10	5	14		
N° 100	0.149	1	9	1	9	2	12		
N° 200	0.074	3	6	2	7	3	9		
N° -200	-	6	--	7	--	9	--		
Humedad Natural (%)		--		--					
Cemento Asfáltico (%)		6.3		6.8		5.6			
Espesor de carpeta (cm)		5.2		5.8		4.5			

Nota: La interpretación ajena a los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas

(Signature)
JULIO CESAR MANRIQUE PINO
 INGENIERO CIVIL
 Oficina de Ingeniería y Mantenimiento de Carreteras y Ferrocarriles
 Calle 1000 N° 1000 - Lima, Perú



Av. Túpac Amari N° 1590 - Rimac - Telf: 481 - 3707. Fax: 481 0677



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION

LAVADOS ASFÁLTICOS ASTM D - 2172

SOLICITUD : Ensayos e muestras de Carpeta Asfáltica (Laboratorio) REGISTRO : 344 (22.05/00) FECHA : 22.05/2000
 SOLICITADO : Ing° José Meléndez Palma ING RESPONSABLE : José Melchor Acuña
 PROCEDENCIA : Carretera Central: Lima - La Oroya - Huancayo EFECTUADO POR : Ing° J. Romero P. - Téc. L. Cárpedes A.

MALLA SERIE AMERICANA	TRAMO KILOMETRAJE	HUAYRE - CHICRIN							
		290 + 850		292 + 450		295 - 460		% RET	% PASA
		% RET	% PASA	% RET	% PASA	% RET	% PASA		
3"	76.200								
2 1/2"	63.500								
2"	50.800								
1 1/2"	38.100								
1"	25.400								
3/4"	19.050		100		100		100		
1/2"	12.700	6	94	9	91	6	94		
3/8"	9.525	6	88	7	84	8	86		
1/4"	6.350	11	77	13	69	12	74		
N° 4	4.760	8	69	8	61	6	68		
N° 6	3.360	10	59	8	53	8	60		
N° 8	2.380	7	52	5	48	5	55		
N° 10	2.000	4	48	2	46	2	53		
N° 16	1.190	9	39	7	39	7	46		
N° 20	0.840	5	34	4	35	4	42		
N° 30	0.590	5	29	5	30	6	36		
N° 40	0.426	5	24	5	25	6	30		
N° 50	0.297	5	19	5	20	7	23		
N° 80	0.177	6	13	6	14	8	15		
N° 100	0.149	2	11	2	12	2	13		
N° 200	0.074	4	7	4	8	5	8		
N° -200		7	--	8	--	8	--		
Humedad Natural (%)		--		--					
Cemento Asfáltico (%)		6.2		6.0		6.5			
Espesor de Carpeta (cm)		4.2		6.4		5.2			

Nota La interpretación ajena a los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas

[Signature]
 JULIO CESAR MANRIQUE PINO
 INGENIERO CIVIL
 C.O.C. Colegio de Ingenieros N° 4022



LABORATORIO CENTRAL

Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rimac, Telf : 481 - 3707 Fax : 481 0677



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION

SOLICITUD : Ensayos en muestras de Carpeta Asfáltica (Laboratorio)
 PROCEDENCIA : Carretera Central: Lima - La Oroya - Huanuco
 ING° RESPONSABLE : José Melchor Areche
 EFECTUADO POR : Ing° Jorge Romero P.- Téc. Leoncio Céspedes A.
 SOLICITADO POR : Ing° José Meléndez Palma
 REGISTRO N° : 344 (29.05.2000)
 FECHA : 29 de Mayo del 2000

LAVADO ASFÁLTICO ASTM D - 2172
 1. ENSAYOS EN EL ASFALTO RECUPERADO
 (Método Abson ASTM D -1856)

Tramo	Morococha - La oroya		
	154 + 200	155 + 500	159 + 750
Kilometro			
% C. Asfáltico en peso	6.3	6.8	5.6
% C. Asfáltico en Volumén	14.9	15.9	13.1
P. Especifico C. Asfáltico g/cc.	1.030	1.029	1.040
Penetración a 25°C, 100g, 5s.	40.0	30.0	33.0
Punto de Ablandamiento T _{AzB} , °C	61.0	62.0	67.3
Viscosidad Cinemática a 135°C cSt	833.7	963.2	886.6

2. ENSAYOS EN EL AGREGADO RECUPERADO

Tramo	Morococha - La oroya		
	154 + 200	155 + 500	159 + 750
Kilometro			
P. Especifico Mezcla g/cc.	2.409	2.396	2.418
% Grava	34.0	38.0	38.0
% Arena	66.0	62.0	62.0
P. Especifico Agregados Grueso g/cc.	2.717	2.679	2.585
P. Especifico Agregados Fino g/cc.	2.616	2.615	2.602
% de vacios en la mezcla	6.3	5.1	4.8
% del agregado en volúmen	85.1	84.1	86.9
% de Vacios llenados con C. Asfáltico	68.7	74.1	71.7
% de Vacios del Agregado Mineral (VMA)	20.2	19.7	16.4

Nota: La interpretación ajena a los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas



Manrique Pino
JULIO CESAR MANRIQUE PINO
 INGENIERO CIVIL
 Ing. del Colegio de Ingenieros N° 4220



LABORATORIO CENTRAL

Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rímac, Telf: 481 - 3707 Fax : 481 0677



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION

SOLICITUD : Ensayos en muestras de Carretera Asfáltica (Laboratorio)
PROCEDENCIA : Carretera Central: Lima - La Caya - Huanuco
ING° RESPONSABLE : José Melchor Areche
EFECTUADO POR : Ing° Jorge Romero P.- Téc. Leonora Espedez A.
SOLICITADO POR : Ing° José Meléndez Palma
REGISTRO N° : 344 (29.05.2000)
FECHA : 29 de Mayo del 2000

LAVADO ASFÁLTICO ASTM D - 2172

1. ENSAYOS EN EL ASFALTO RECUPERADO

(Método Abson ASTM D-1856)

Tramo Kilometro	Huayre - Chicrin		
	290 + 850	292 + 450	295 + 400
% C. Asfáltico en peso	6.2	6.0	6.5
% C. Asfáltico en Volúmen	14.4	14	15
P. Especifico C. Asfáltico g/cc.	1.025	1.017	1.015
Penetración a 25°C, 100g, 5s.	46.0	51.0	63.0
Punto de Ablandamiento T _{A&B} , °C	57.9	53.8	52.3
Viscosidad Cinemática a 135°C cSt	527.5	484.4	438.7

2. ENSAYOS EN EL AGREGADO RECUPERADO

Tramo Kilometro	Huayre - Chicrin		
	290 + 850	292 + 450	295 + 400
P. Especifico Mezcla g/cc.	2.37	2.407	2.383
% Grava	31.0	39.0	32.0
% Arena	69.0	61.0	68.0
P. Especifico Agregados Grueso g/cc.	2.607	2.604	2.611
P. Especifico Agregados Fino g/cc.	2.565	2.510	2.521
% de vacios en la mezcla	2.7	3.7	2.7
% del agregado en volúmen	25.6	86	85
% de Vacios llenados con C. Asfáltico	22.9	75.4	81.9
% de Vacios del Agregado Mineral (VMA)	15.1	14.2	15

Nota: La interpretación ajena a los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones adjuntas



LABORATORIO



CENTRAL

Av. Túpac Amaru N° 1590 - Pisco, Telf: 481 - 3707 Fax : 481 0677

MEJORAMIENTO DE CARPETAS ASFÁLTICAS CON EL USO DE LOS POLIMEROS

UNI - POST GRADO % VOLUMENES

Km: 128 + 600

P.E ESPECIFICO g/cc.	%W hallada	%W	Volumen cc.	% Volumen	% Vacios	
ASFALTO	1.0241	7.4	7.4	7.2259	16.6	2.239 P.E.BRIQUETA
PIEDRA	2.582	32	29.6	11.464	25.3	RICE (Pe Max)
ARENA	2.532	68	63.0	24.8815	57.1	% VACIOS
			100	43.5714	100	

Km: 133 + 850

P.E ESPECIFICO g/cc.	%W hallada	%W	Volumen cc.	% Volumen	% Vacios	
ASFALTO	1.029	6.4	6.4	6.2196	14.7	2.272 P.E.BRIQUETA
PIEDRA	2.635	39	36.1	13.7002	32.4	RICE
ARENA	2.532	61	56.5	22.3144	52.8	% VACIOS
				42.2342	99.9	

Km: 134 + 150

P.E ESPECIFICO g/cc.	%W hallada	%W	Volumen cc.	% Volumen	% Vacios	
ASFALTO	1.0227	6.1	6.1	5.9646	14.2	2.252 P.E.BRIQUETA
PIEDRA	2.623	38	35.2	13.4197	31.9	RICE
ARENA	2.525	62	57.4	22.7327	54	% VACIOS
				42.117	100.1	

Km: 154 + 200

P.E ESPECIFICO g/cc.	%W hallada	%W	Volumen cc.	% Volumen	% Vacios	
ASFALTO	1.0295	6.3	6.3	6.1195	14.9	2.265 P.E.BRIQUETA
PIEDRA	2.717	34	31.5	11.5937	28.2	RICE
ARENA	2.616	66	61.1	23.3563	56.9	% VACIOS
				41.0695	100	

Km: 155 + 500

P.E ESPECIFICO g/cc.	%W hallada	%W	Volumen cc.	% Volumen	% Vacios	
ASFALTO	1.0286	6.8	6.8	6.6109	15.9	2.284 P.E.BRIQUETA
PIEDRA	2.679	38	35.2	13.1392	31.5	RICE
ARENA	2.615	62	57.4	21.9503	52.6	% VACIOS
				41.7004	100	

Km: 159 + 750

P.E ESPECIFICO g/cc.	%W hallada	%W	Volumen cc.	% Volumen	% Vacios	
ASFALTO	1.0399	5.6	5.6	5.3851	13.1	2.3 P.E.BRIQUETA
PIEDRA	2.585	38	35.2	13.617	33.2	RICE
ARENA	2.602	62	57.4	22.06	53.7	% VACIOS
				41.0621	100	

Km: 290 + 850

P.E ESPECIFICO g/cc.	%W hallada	%W	Volumen cc.	% Volumen	% Vacios	
ASFALTO	1.0253	6.2	6.2	6.047	14.4	2.302 P.E.BRIQUETA
PIEDRA	2.607	31	28.7	11.0088	26.2	RICE
ARENA	2.565	69	63.9	24.9123	59.4	% VACIOS
				41.9681	100	

Km: 292 + 450

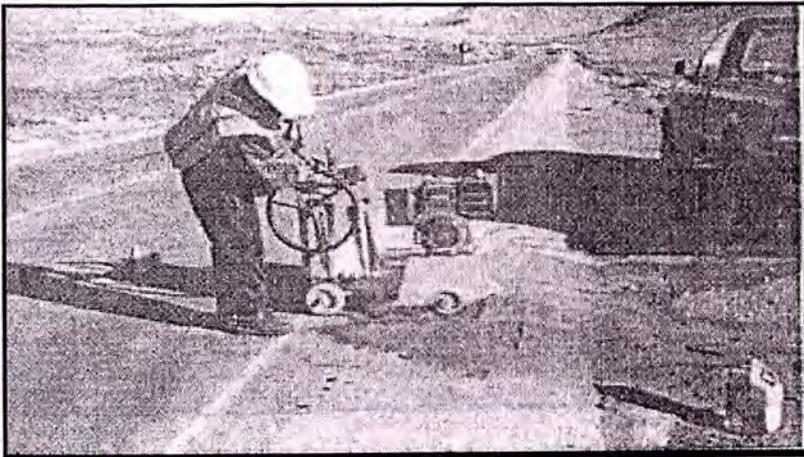
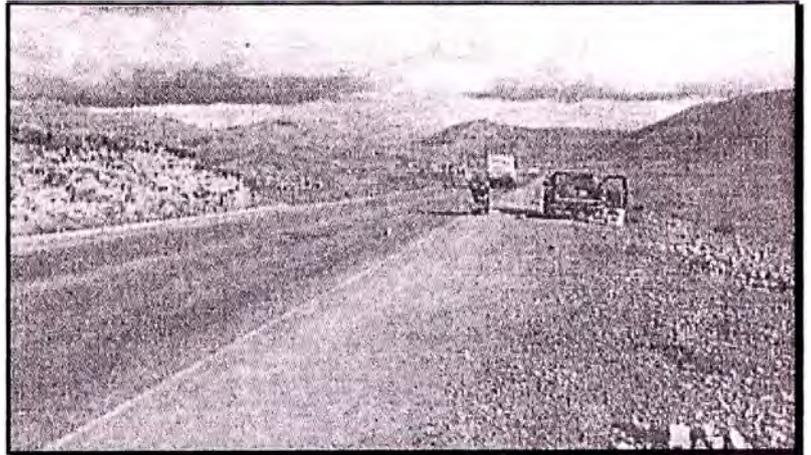
P.E ESPECIFICO g/cc.	%W hallada	%W	Volumen cc.	% Volumen	% Vacios	
ASFALTO	1.0173	6	6	5.898	14	2.31 P.E.BRIQUETA
PIEDRA	2.604	39	36.1	13.8633	32.8	RICE
ARENA	2.51	61	56.5	22.51	53.3	% VACIOS
				42.2713	100.1	

Km: 295 + 400

P.E ESPECIFICO g/cc.	%W hallada	%W	Volumen cc.	% Volumen	% Vacios	
ASFALTO	1.0152	6.5	6.5	6.4027	15	2.321 P.E.BRIQUETA
PIEDRA	2.611	32	29.6	11.3367	26.5	RICE
ARENA	2.521	68	63.0	24.9901	58.5	% VACIOS
				42.7295	100	

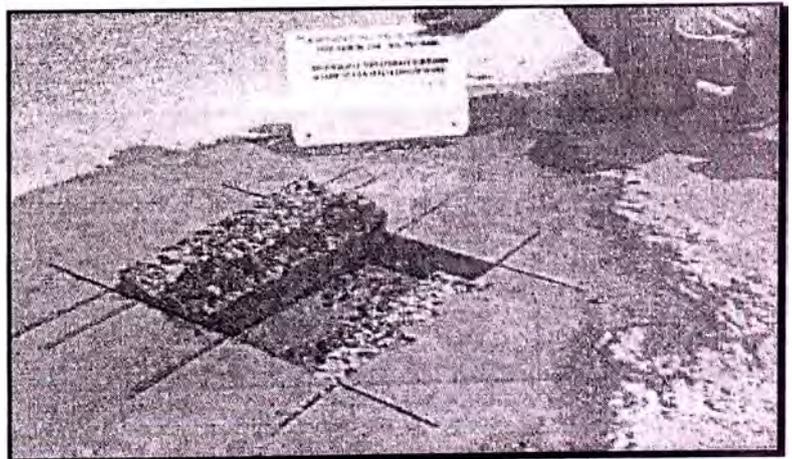
JULIO CESAR MANRIQUE PINO
 INGENIERO CIVIL
 del Colegio de Ingenieros N.º 40322

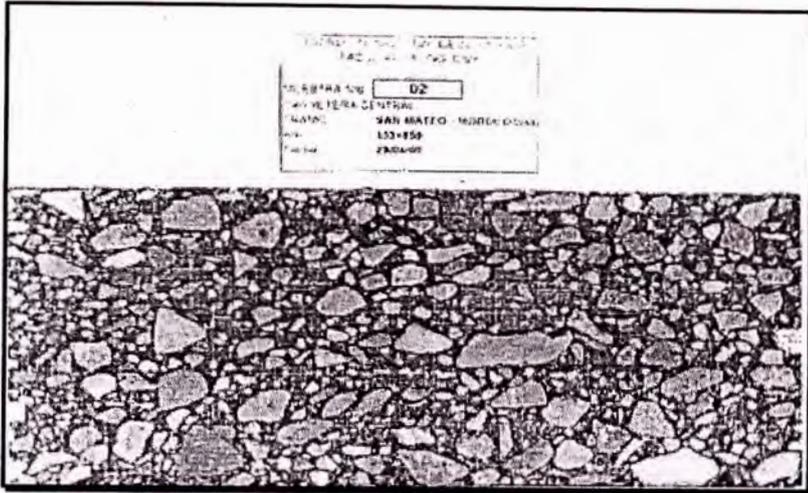
Instalación de
equipo de muestreo



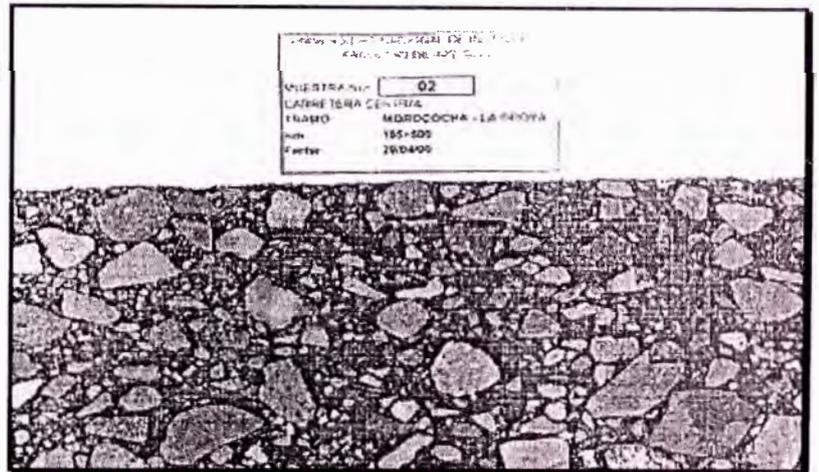
Toma de muestra,
aserrado en la
superficie de pavimento

Extracción de
muestra

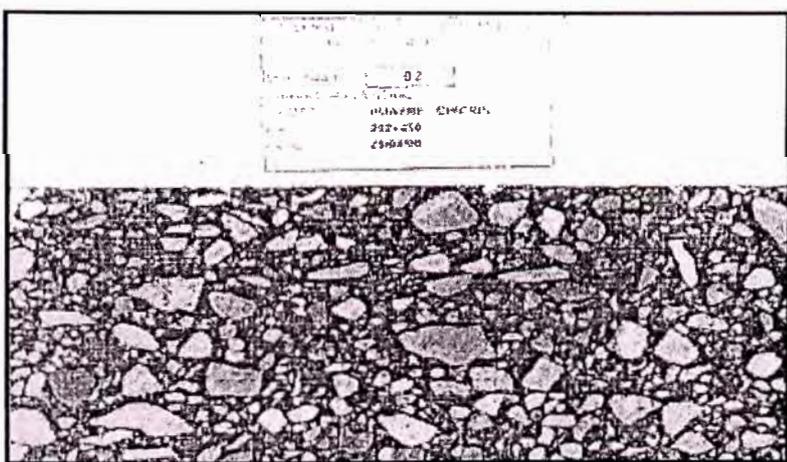




Sección de muestra
Tramo: San Mateo - Morococha



Sección de muestra
Tramo: San Mateo - Morococha



Sección de muestra
Tramo: Huayre - Chicrin

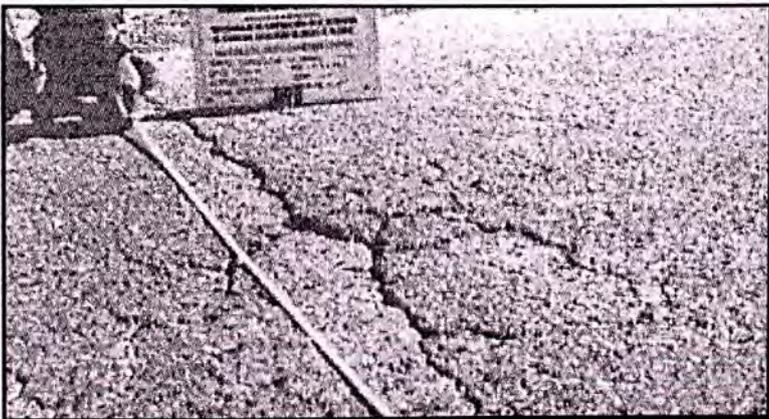


Agrietamiento transversal a medio carril

Agrietamiento transversal parcial



Agrietamiento transversal a múltiple



PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cemento asfáltico
modificado con polímero Tipo I para uso en construcción
de pavimentos. Especificaciones

PETROLEUM AND DERIVATIVES. Type I Polymer modified asphalt cement. Specifications

2003-10-23
1ª Edición

· ÍNDICE

	página
ÍNDICE	i
PREFACIO	ii
1. OBJETO	1
2. REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3. CAMPO DE APLICACIÓN	3
4. FABRICACIÓN	3
5. REQUISITOS	3
6. MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO	4
7. MÉTODOS DE ENSAYO PARA EL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO TIPO I	5
8. ANTECEDENTE	7
ANEXO A	8

PREFACIO

A. RESEÑA HISTÓRICA

A.1 La presente de Norma Técnica Peruana fue elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Petróleo, Derivados y Combustibles Líquidos mediante el sistema 2 u ordinario, durante los meses de abril a julio del 2003, utilizando como antecedente a la ASTM D 5976:2000 Standard specification for Type I polymer modified asphalt cement for use in pavement construction.

A.2 El Comité Técnico de Normalización de Petróleo, Derivados y Combustibles Líquidos presentó a la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales -CRT-, con fecha 2003-07-07, el PNTD 321.146:2003, para su revisión y aprobación; siendo sometido a la etapa de Discusión Pública el 2003-08-20. No habiéndose presentado ninguna observación, fue oficializado como Norma Técnica Peruana NTP 321.146:2003 **PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cemento asfáltico modificado con polímero Tipo I para uso en construcción de pavimentos. Especificaciones. 1ª Edición**, el 05 de noviembre del 2003.

A.3 Esta Norma Técnica Peruana fue tomada en su totalidad de la ASTM D 5976:2000. La presente Norma Técnica Peruana presenta cambios editoriales referidos principalmente a terminología empleada propia del idioma español y ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN DE LA PRESENTE NORMA TÉCNICA PERUANA

Secretaría

DIRECCIÓN GENERAL DE
HIDROCARBUROS MEM – DGH

Presidente

Pedro Touzett Gianello

Secretaria

Priscila Santiváñez

ENTIDAD	REPRESENTANTE
PETRÓLEOS DEL PERÚ S.A. PETROPERÚ S.A.	Alfredo Kahatt Castro
REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.	Máximo Barragán Barragán
MAPLE GAS CORPORATION DEL PERU	Esteban Castellanos Borrero
SHELL PERU S.A.	María Alejandra Benedicto
MOBIL OIL DEL PERÚ S.R.L	Dora Rivas Olivera
TEXAS PETROLEUM COMPANY – TEXACO	María Tejeda de Rodríguez
REPSOL COMERCIAL S.A.C.	Luis Sifuentes Ramírez
CONSORCIO GRAÑA Y MONTERO TERMINALES	Jorge Burgos Toledo
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS Dirección General de Hidrocarburos	Haydé Cunza Roca
MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES Dirección General de Caminos Oficina de Apoyo Tecnológico	Mercedes Sancho Ponce
MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Oficina General de Medio Ambiente	Gladis Macizo Gómez
ASOCIACIÓN DE REPRESENTANTES AUTOMOTRICES DEL PERÚ – ARAPER	Ivan Besich Ponze Peter Davis Scott
ASOCIACIÓN DE GRIFOS Y ESTACIONES DE SERVICIO DEL PERÚ – AGESP	Leonardo Valle Torres
ASOCIACION PERUANA DE CONSUMIDORES Y USUARIOS – ASPEC	Carlos Estrada Alva
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA	Edgard Argumé Chávez Beatriz Adaniya Higa
CAPITULO DE INGENIERÍA PETROLERA	Eric Concepción Gamarra

Y PETROQUÍMICA – Colegio de Ingenieros del Perú

CAPITULO DE INGENIERÍA QUÍMICA
Colegio de Ingenieros del Perú

Marcos Padilla Vásquez

INTERTEK TESTING SERVICES PERU S.A. – ITS

Vanya Alemán Pallardely

MARCONSULT S.A.C.

Alberto Garrido Delgado

CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE
CONAM

Jorge Alvarez Lam

---000O000---

PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cemento asfáltico modificado con polímero tipo I para uso en construcción de pavimentos. Especificaciones

1. OBJETO

Esta Norma Técnica Peruana establece las especificaciones para los cementos asfálticos que han sido modificados mediante la adición de un polímero apropiado con el fin de ser utilizados en la construcción de pavimentos. Esta NTP no pretende ser una especificación basada en el desempeño del producto.

El asfalto modificado con polímero Tipo I es fabricado usualmente con copolímeros de bloque estireno-butadieno o estireno-butadieno-estireno. Sin embargo, puede utilizarse cualquier polímero que satisfaga los requerimientos cuando se mezclen con el asfalto deseado.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda Norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee, en todo momento, la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia.

Normas Técnicas de Asociación

2.1	ASTM D 5:1997	Método de ensayo para penetración de materiales bituminosos
2.2	ASTM D 36:2000	Método de ensayo para punto de ablandamiento de materiales bituminosos (anillo y bola)
2.3	ASTM D 92:2000b	Método de ensayo para punto de inflamación y encendido por el probador de copa abierta Cleveland
2.4	ASTM D 113:1999	Método de ensayo para ductilidad de materiales bituminosos
2.5	ASTM D 140:2001	Método de muestreo para materiales bituminosos
2.6	ASTM D 1754:2002	Método de ensayo para efecto del calor y aire en materiales asfálticos (horno de película fina)
2.7	ASTM D 2042:2001	Método de ensayo para la solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno
2.8	ASTM D 2170:2001a	Método de ensayo para viscosidad cinemática de asfaltos (bitúmenes)
2.9	ASTM D 2872:1997	Método de ensayo para efecto del calor y aire en una película giratoria de asfalto (horno de película fina y rotatoria)

2.10	ASTM D 4957:1995	Método de ensayo para viscosidad aparente de emulsiones asfálticas y bitúmenes no newtonianos por el viscosímetro capilar de vacío
2.11	ASTM D 6084:1997	Método de ensayo para recuperación elástica de materiales bituminosos por ductilómetro
2.12	ASTM E 11:2001	Especificación para mallas y tamices para ensayos

3. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Técnica Peruana se aplica al cemento asfáltico modificado con polímero Tipo para uso en construcción de pavimentos.

4. FABRICACIÓN

4.1 El asfalto utilizado para preparar el cemento asfáltico modificado con polímero deberá ser elaborado mediante los procedimientos adecuados de refinación de petróleo crudo.

5. REQUISITOS

5.1 El cemento asfáltico modificado con polímero será homogéneo y libre de agua y no formará espuma cuando se caliente a 175 °C .

5.2 El cemento asfáltico modificado con polímero cumplirá los requerimientos listados en el Anexo A.

5.3 El polímero modificador y el cemento asfáltico serán compatibles y estarán premezclados antes de su uso.

6. MÉTODO DE MUESTREO Y ENSAYO

6.1 El cemento asfáltico deberá muestrearse y analizarse de acuerdo a los métodos de ensayo y prácticas siguientes:

6.1.1 Muestreo: práctica ASTM D 140.

6.1.2 Penetración: Método de ensayo ASTM D 5.

6.1.3 Viscosidad a 60°C: Método de ensayo ASTM D 4957.

6.1.4 Viscosidad a 135°C: Método de ensayo ASTM D 2170.

6.1.5 Punto de ablandamiento anillo y bola: Método de ensayo ASTM D 36.

6.1.6 Punto de inflamación copa abierta Cleveland: Método de ensayo ASTM D 92.

6.1.7 Homo de película fina y rotatoria: Método de ensayo ASTM D 2872.

6.1.8 Horno de película fina: Método de ensayo ASTM D 1754.

6.1.9 Solubilidad: Método de ensayo ASTM D 2042.

6.2 Recuperación elástica: Método de ensayo ASTM D 6084.

7. MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO TIPO I

7.1 Resumen del ensayo de separación

7.1.1 Alcance: Se evalúa la separación del polímero y el asfalto durante el almacenamiento en caliente por comparación del punto de ablandamiento anillo y bola de las porciones superior e inferior de un tubo sellado y acondicionado de asfalto modificado con polímero. El acondicionamiento consiste en colocar un tubo sellado de asfalto modificado en posición vertical en un horno a $163\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ por un período de 48 horas.

7.1.2 Documentos de referencia: Método de ensayo ASTM D 36 y Especificación ASTM E 11.

7.1.3 Equipos

7.1.3.1 Tubos de aluminio cerrado en un extremo, de 139,7 mm de longitud y 25,4 mm de diámetro, utilizados para contener la muestra durante el acondicionamiento.

NOTA: Se han reportado pérdidas de asfalto por la parte inferior del tubo durante el período de acondicionamiento. Si esta pérdida es significativa puede que se requieran otros tubos.

7.1.3.2 Horno capaz de mantener una temperatura de $163\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

7.1.3.3 Congelador capaz de mantener una temperatura de $-6,7\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

7.1.3.4 Soporte capaz de soportar los tubos de aluminio en posición vertical dentro del horno y dentro del congelador.

7.1.3.5 Espátula y martillo. La espátula debe ser rígida y afilada que permita cortar el tubo conteniendo la muestra cuando está a baja temperatura.

7.1.4 Procedimiento

7.1.4.1 Coloque el tubo vacío en el soporte con el extremo sellado hacia abajo.

7.1.4.2 Caliente la muestra cuidadosamente hasta que esté suficientemente fluida como para que caiga. Debe tenerse cuidado de no sobrecalentar la muestra ni siquiera en puntos localizados. Fuerce la muestra fundida a través de un tamiz con malla de 300 μm (N° 50) según la especificación ASTM E 11. Después de agitar la muestra para uniformizarla, coloque 50,0 g en el tubo de aluminio en posición vertical. Doble el exceso del tubo por lo menos dos veces y selle.

7.1.4.3 Coloque el soporte conteniendo los tubos de aluminio sellados en un horno a $163\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Deje los tubos sin movimiento dentro del horno por un período de $48\text{ h} \pm 1\text{ h}$. Al finalizar el período de calentamiento, retire el soporte del horno y colóquelo inmediatamente en el congelador a $-6,7\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$, teniendo cuidado de mantener los tubos en posición vertical en todo momento. Deje los tubos en el congelador por un mínimo de 4 horas a fin de solidificar completamente la muestra.

7.1.4.4 Luego de retirar el tubo del congelador, colóquelo en una superficie plana. Corte el tubo en tres porciones de igual longitud utilizando la espátula y el martillo. Deseche la porción del centro y coloque las porciones superior e inferior en vasos separados. Ponga los vasos en un horno a $163\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que las muestras estén suficientemente fluidas para retirar las piezas del tubo de aluminio.

7.1.4.5 Después de agitar cada muestra para uniformizarla, proceda a efectuar el ensayo de punto de ablandamiento anillo y bola para la porción superior e inferior por separado, de acuerdo al método ASTM D 36.

7.1.4.6 La determinación del punto de ablandamiento anillo y bola de las porciones superior e inferior de un mismo tubo debe realizarse al mismo tiempo.

7.1.5 **Reporte:** Reporte la diferencia en $^{\circ}\text{C}$ de los puntos de ablandamiento de las porciones superior e inferior.

7.1.6 **Precisión y sesgo:** No se establece precisión ni sesgo para este método debido a que los resultados indican solamente si se cumple con el criterio especificado en el procedimiento.

8. ANTECEDENTE

ASTM D5976:2000

Standard specification for Type I polymer modified asphalt cement for use in pavement construction

ANEXO A (NORMATIVO)

TABLA A.1 – Especificaciones de asfalto modificado con polímero Tipo I

ENSAYOS	I - A		I - B		I - C		I - D	
	min	max	min	max	min	max	min	max
Pruebas en el producto original								
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s; dmm	100	150	75	100	50	75	40	75
Viscosidad, 60 °C, 1 s ⁻¹ ; poise (1)	1 250		2 500		5 000		5 000	
Viscosidad, 135 °C; cSt		2 000		2 000		2 000		5 000
Punto de inflamación, Copa Abierta Cleveland; °C	232		232		232		232	
Solubilidad en tricloroetileno; %	99		99		99		99	
Separación, diferencia; °C		2,2		2,2		2,2		2,2
Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (2)								
Recuperación elástica, 25 °C, 10 cm de elongación; %	60		60		60		60	
Penetración, 4 °C, 200 g, 60 s; dmm	20		15		13		10	

(1) La viscosidad absoluta debe medirse en un viscosímetro capilar de vacío tipo Koppers modificado o del Instituto Americano de Asfalto. Reporte la viscosidad para un esfuerzo cortante de 1 segundo a la menos uno.

(2) Puede utilizarse el método del Horno de película fina (no rotatoria), pero el Horno de película fina rotatoria será el método que defina en caso de discrepancia.

PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cemento asfáltico modificado con polímero tipo II para uso en construcción de pavimentos. Especificaciones

PETROLEUM AND DERIVATIVES. Type II Polymer modified asphalt cement for use in pavement
construction. Specifications

2003-10-23
1ª Edición

ÍNDICE

página

	ÍNDICE	i
	PREFACIO	ii
1.	OBJETO	1
2.	REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3.	CAMPO DE APLICACIÓN	3
4.	REQUISITOS	3
5.	MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO	3
6.	ANTECEDENTE	4
	ANEXO A	5

PREFACIO

A. RESEÑA HISTÓRICA

A.1 La presente Norma Técnica Peruana fue elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Petróleo, Derivados y Combustibles Líquidos mediante el sistema 2 u ordinario, durante los meses de abril a julio del 2003, utilizando como antecedente a la ASTM D 5840:2000 Standard specification for Type II polymer modified asphalt cement for use in pavement construction.

A.2 El Comité Técnico de Normalización de Petróleo, Derivados y Combustibles Líquidos presentó a la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales –CRT-, con fecha 2003-07-07, el PNTP 321.147:2003, para su revisión y aprobación; siendo sometido a la etapa de Discusión Pública el 2003-08-20. No habiéndose presentado ninguna observación, fue oficializado como Norma Técnica Peruana **NTP 321.147:2003 PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cemento asfáltico modificado con polímero Tipo II para uso en construcción de pavimentos. Especificaciones.** 1ª Edición, el 05 de noviembre del 2003.

A.3 Esta Norma Técnica Peruana fue tomada en su totalidad de la ASTM D 5840:2000. La presente Norma Técnica Peruana presenta cambios editoriales referidos principalmente a terminología empleada propia del idioma español y ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN DE LA PRESENTE NORMA TÉCNICA PERUANA

Secretaría	Dirección General de Hidrocarburos MEM – DGH
Presidente	Pedro Touzett Gianello
Secretaria	Priscila Santiviáñez

ENTIDAD

PETRÓLEOS DEL PERÚ S.A. - PETROPERÚ S.A.
REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.
MAPLE GAS CORPORATION DEL PERU

SHELL PERU S.A.

MOBIL OIL DEL PERÚ S.R.L.

TEXAS PETROLEUM COMPANY – TEXACO

REPSOL COMERCIAL S.A.C.

CONSORCIO GRAÑA Y MONTERO
TERMINALES

MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS
Dirección General de Hidrocarburos

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y
COMUNICACIONES
Dirección General de Caminos
Oficina de Apoyo Tecnológico

MINISTERIO DE TRANSPORTE, VIVIENDA,
CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO
Dirección General de Medio Ambiente

ASOCIACIÓN DE REPRESENTANTES
AUTOMOTRICES DEL PERÚ – ARAPER

ASOCIACIÓN DE GRIFOS Y ESTACIONES
DE SERVICIO DEL PERÚ – AGESP

ORGANISMO SUPERVISOR DE LA
INVERSIÓN EN ENERGÍA – OSINERG

ASOCIACION PERUANA DE CONSUMIDORES
Y USUARIOS – ASPEC

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

CAPITULO DE INGENIERÍA PETROLERA

REPRESENTANTE

Alfredo Kahatt Castro
Máximo Barragán Barragán
Esteban Castellanos Borrero

María Alejandra Benedicto

Dora Rivas Olivera

María Tejada de Rodríguez

Luis Sifuentes Ramírez

Jorge Burgos Toledo

Haydé Cunza Roca

Mercedes Sancho Ponce

Gladis Macizo Gómez

Ivan Besich Ponce
Peter Davis Scott

Leonardo Valle Torres

Fidel Amézquita

Carlos Estrada Alva

Edgard Argumé Chávez
Beatriz Adaniya Higa

Eric Concepción Gamarra

Y PETROQUÍMICA – Colegio de Ingenieros del Perú
CAPITULO DE INGENIERÍA QUÍMICA
Colegio de Ingenieros del Perú
INTERTEK TESTING SERVICES PERU S.A. – ITS

Marcos Padilla Vásquez

Vanya Alemán Pallardely

MARCONSULT S.A.C.

Alberto Garrido Delgado

CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE

Jorge Alvarez Lam

---0000000---

PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cemento asfáltico modificado con polímero tipo II para uso en construcción de pavimentos. Especificaciones

1. OBJETO

Esta Norma Técnica Peruana establece las especificaciones de los cementos asfálticos que han sido modificados mediante la adición de un polímero apropiado con el fin de ser utilizados en la construcción de pavimentos. Los ensayos están dirigidos a medir compatibilidad y grado de modificación, no pretenden medir características de comportamiento. Esta NTP no pretende ser una especificación basada en el desempeño del producto.

El asfalto modificado con polímero Tipo II es usualmente fabricado con látex de estireno-butadieno o látex de policloropreno. Sin embargo, puede utilizarse cualquier polímero que satisfaga los requerimientos cuando se mezclen con el asfalto deseado.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano Normalización posee, en todo momento, la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia.

Normas Técnicas de Asociación

2.1	ASTM D 5:1997	Método de ensayo para penetración de materiales bituminosos
2.2	ASTM D 92:2002b	Método de ensayo para punto de inflamación y encendido por el probador de copa abierta Cleveland
2.3	ASTM D 113:1999	Método de ensayo para ductilidad de materiales bituminosos
2.4	ASTM D 140:2001	Método de muestreo para materiales bituminosos
2.5	ASTM D 1754:2002	Método de ensayo para efecto del calor y aire en materiales asfálticos (horno de película fina)
2.6	ASTM D 2170:2001a	Método de ensayo para viscosidad cinemática de asfaltos (bitúmenes)
2.7	ASTM D 2872:1997	Método de ensayo para efecto del calor y aire en una película giratoria de asfalto (horno película fina y rotatoria)
2.8	ASTM D 4957:1995	Método de ensayo para viscosidad aparente emulsiones asfálticas y bitúmenes newtonianos por el viscosímetro capilar vacío
2.9	ASTM D 5801:2001	Método de ensayo para dureza y tenacidad materiales bituminosos

3. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Técnica se aplica al cemento asfáltico modificado con polímero Tipo II para uso en construcción de pavimentos.

4. REQUISITOS

4.1 El cemento asfáltico modificado con polímero será homogéneo, libre de agua y no formará espuma cuando se caliente a 175 °C .

4.2 El cemento asfáltico modificado con polímero cumplirá los requerimientos listados en el Anexo A.

4.3 El polímero modificador y el cemento asfáltico serán compatibles y estarán premezclados antes de su uso.

5. MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO

5.1 El cemento asfáltico deberá muestrearse y analizarse de acuerdo a los métodos de ensayo y prácticas siguientes:

5.1.1 Muestreo : Práctica ASTM D 140.

5.1.2 Penetración : Método de Ensayo ASTM D 5.

- 5.1.3 Viscosidad a 60 °C : Método de Ensayo ASTM D 4957.
- 5.1.4 Viscosidad a 135 °C : Método de Ensayo ASTM D 2170.
- 5.1.5 Ductilidad : Método de Ensayo ASTM D 113.
- 5.1.6 Punto de inflamación copa abierta Cleveland: Método de ensayo ASTM D 92.
- 5.1.7 Horno de película fina y rotatoria: Método de Ensayo ASTM D 2872.
- 5.1.8 Horno de película fina : Método de Ensayo ASTM D 1754.
- 5.1.9 Dureza y tenacidad : Método de ensayo ASTM D 5801.

6. ANTECEDENTE

ASTM D 5840:2000 Standard specification for Type II polymer modified asphalt cement for use in pavement construction

ANEXO A (NORMATIVO)

TABLA A.1 – Especificaciones de asfalto modificado con polímero Tipo II

ENSAYOS	II - A		II - B		II - C		II - D	
	Min	max	min	max	min	max	min	max
Ensayos en producto original								
Pruebas en el producto original								
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s; dmm	100		70		85		80	
Viscosidad, 60 °C, 1 s ⁻¹ ; poise	800		1 600		800		1 600	
Viscosidad, 135 °C; cSt	300		300		300		300	
Ductilidad, 4 °C, 5 cm/min; cm	50		50		25		25	
Punto de inflamación, Copa Abierta Cleveland; °C	232		232		232		232	
Dureza, 25 °C, 51 cm/min, mN-m	8 475		12 430		8 475		12 430	
Tenacidad, 25°C, 51cm/min, mN-m	5 650		8 475		5 650		8 475	
Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (1)								
Ductilidad, 4 °C, 5 cm/min; cm	25		25		10		10	
Viscosidad, 60 °C, 1 s ⁻¹ ; poise		4 000		8 000		4 000		8 000
Dureza, 25 °C, 51 cm/min, mN-m					8 475		11 300	
Tenacidad, 25°C, 51cm/min, mN-m					5 650		8 475	

(1) Puede utilizarse indistintamente el método del Horno de película fina (no rotatoria) u Horno de película fina rotatoria.

PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cemento asfáltico
modificado con polímero tipo III para uso en construcción
de pavimentos. Especificaciones

PETROLEUM AND DERIVATIVES. Type III Polymer modified asphalt cement. Specifications

2003-10-23

1ª Edición

ÍNDICE

página

	ÍNDICE	i
	PREFACIO	ii
1.	OBJETO	1
2.	REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3.	CAMPO DE APLICACIÓN	2
4.	REQUISITOS	3
5.	MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO	3
6.	MÉTODOS DE ENSAYO PARA ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO TIPO III	4
7.	ANTECEDENTE	5
	ANEXO A	6

PREFACIO

A. RESENA HISTORICA

A.1 La presente Norma Técnica Peruana fue elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Petróleo, Derivados y Combustibles Líquidos mediante el sistema 2 u ordinario, utilizó como antecedente a la ASTM D 5841:2000 Standard specification for Type III polymer modified asphalt cement for use in pavement construction.

A.2 El Comité Técnico de Normalización de Petróleo, Derivados y Combustibles Líquidos presentó a la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales –CRT-, con fecha 2003-07-07, el PNTD 321.148:2003, para su revisión y aprobación; siendo sometido a la etapa de Discusión Pública el 2003-08-20. No habiéndose presentado ninguna observación, fue oficializado como Norma Técnica Peruana **NTP 321.148:2003 PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cemento asfáltico modificado con polímero tipo III para uso en construcción de pavimentos. Especificaciones. 1ª Edición**, el 05 de noviembre del 2003.

A.3 Esta Norma Técnica Peruana fue tomada en su totalidad de la ASTM D 5841:2000. La presente Norma Técnica Peruana presenta cambios editoriales referidos principalmente a terminología empleada propia del idioma español y ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN DE LA PRESENTE NORMA TÉCNICA PERUANA

Secretaría	Dirección General de Hidrocarburos MEM – DGH
Presidente	Pedro Touzett Gianello
Secretaria	Priscila Santiváñez
ENTIDAD	REPRESENTANTE
PETRÓLEOS DEL PERÚ S.A. - PETROPERÚ S.A.	Alfredo Kahatt Castro

REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.	Máximo Barragán Barragán
MAPLE GAS CORPORATION DEL PERU	Esteban Castellanos Borrero
SHELL PERU S.A.	María Alejandra Benedicto
MOBIL OIL DEL PERÚ S.R.L	Dora Rivas Olivera
TEXAS PETROLEUM COMPANY – TEXACO	María Tejada de Rodríguez
REPSOL COMERCIAL S.A.C.	Luis Sifuentes Ramírez
CONSORCIO GRAÑA Y MONTERO TERMINALES	Jorge Burgos Toledo
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS Dirección General de Hidrocarburos	Haydé Cunza Roca
MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES Dirección General de Caminos Oficina de Apoyo Tecnológico	Mercedes Sancho Ponce
MINISTERIO DE TRANSPORTE, VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Dirección General de Medio Ambiente	Gladis Macizo Gómez
ASOCIACIÓN DE REPRESENTANTES AUTOMOTRICES DEL PERÚ – ARAPER	Ivan Besich Ponze Peter Davis Scott
ASOCIACIÓN DE GRIFOS Y ESTACIONES DE SERVICIO DEL PERÚ – AGESP	Leonardo Valle Torres
ASOCIACION PERUANA DE CONSUMIDORES Y USUARIOS – ASPEC	Carlos Estrada Alva
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA	Édgard Argumé Chávez Beatriz Adaniya Higa
CAPITULO DE INGENIERÍA PETROLERA Y PETROQUÍMICA – Colegio de Ingenieros del Perú	Eric Concepción Gamarra
CAPITULO DE INGENIERÍA QUÍMICA Colegio de Ingenieros del Perú	Marcos Padilla Vásquez

INTERTEK TESTING SERVICES PERU S.A. – ITS

Vanya Alemán Pallardely

MARCONSULT S.A.C.

Alberto Garrido Delgado

CONSEJO NACIONAL DE AMBIENTE

Jorge Alvarez Lam

---oooOooo---

PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cemento asfáltico modificado con polímero tipo III para uso en construcción de pavimentos. Especificaciones

1. OBJETO

Esta Norma Técnica Peruana establece las especificaciones para los cementos asfálticos que han sido modificados mediante la adición de un polímero apropiado con el fin de ser utilizados en la construcción de pavimentos. Los ensayos están dirigidos a medir la compatibilidad y grado de modificación, no pretenden medir características de comportamiento. Esta NTP no pretende ser una especificación basada en el desempeño del producto.

El asfalto modificado con polímero Tipo III es usualmente fabricado con acetato de etil vinilo. Sin embargo, puede utilizarse cualquier polímero que satisfaga los requerimientos cuando se mezclen con el asfalto deseado.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee, en todo momento, la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia.

Normas Técnicas de Asociación

- | | | |
|------|---------------|---|
| 2.1. | ASTM D 5:1997 | Método de ensayo para penetración de materiales bituminosos |
|------|---------------|---|

2.2	ASTM D 36:2000	Método de ensayo para punto de ablandamiento de materiales bituminosos (anillo y bola)
2.3	ASTM D 92:2002b	Método de ensayo para punto de inflamación y encendido por el probador de copa abierta Cleveland
2.4	ASTM D 140:2001	Método de muestreo para materiales bituminosos
2.5	ASTM D 1754:2002	Método de ensayo para efecto del calor y aire en materiales asfálticos (horno de película fina)
2.6	ASTM D 2042:2001	Método de ensayo para la solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno
2.7	ASTM D 2170:2001a	Método de ensayo para viscosidad cinemática de asfaltos (bitúmenes)
2.8	ASTM D 2872:1997	Método de ensayo para efecto del calor y aire en una película giratoria de asfalto (Horno de película fina y rotatoria)

3. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Técnica Peruana se aplica al cemento asfáltico modificado con polímero Tipo III para uso en construcción de pavimentos.

4. REQUISITOS

4.1 El cemento asfáltico modificado con polímero será homogéneo, libre de agua y no formará espuma cuando se calienta a 175 °C .

4.2 El cemento asfáltico modificado con polímero cumplirá los requerimientos listados en el Anexo A.

4.3 El polímero modificador y el cemento asfáltico serán compatibles y estarán premezclados antes de su uso.

5. MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO

5.1 El cemento asfáltico deberá muestrearse y analizarse de acuerdo a los métodos de ensayo y prácticas siguientes:

5.1.1 Muestreo: Práctica ASTM D 140.

5.1.2 Penetración: Método de ensayo ASTM D 5.

5.1.3 Viscosidad a 135 °C: Método de ensayo ASTM D 2170.

5.1.4 Punto de ablandamiento: Método de ensayo ASTM D 36.

5.1.5 Punto de inflamación copa abierta Cleveland: Método de ensayo ASTM D 92.

5.1.6 Solubilidad en tricloroetileno: Método de ensayo ASTM D 2042.

5.1.7 Horno de película fina y rotatoria: Método de ensayo ASTM D 2872.

5.1.8 Horno de película fina : Método de ensayo ASTM D 1754.

6. MÉTODO DE ENSAYO PARA ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO TIPO III

6.1 Ensayo de separación para asfalto modificado Tipo III

6.1.1 Alcance

Este ensayo es una prueba cualitativa simple de la compatibilidad de polímeros de baja densidad en asfaltos.

6.2 Equipos

6.2.1 Vasos metálicos estándares de 6 onzas (1,875 pulg de altura y 2,75 pulg de diámetro).

6.2.2 Horno capaz de mantener $135^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

6.3 Procedimiento

6.3.1 Una vez que se haya preparado una mezcla de polímero y asfalto y mientras aún está a temperatura elevada, ponga suficiente cantidad de la mezcla en un vaso metálico limpio de 6 onzas para llenarlo hasta el reborde formado en el vaso (aproximadamente $\frac{1}{4}$ de pulg antes del borde superior).

Coloque la muestra en un horno a temperatura controlada de 135 °C durante 15 h a 18 h. Remueva cuidadosamente la muestra del horno sin crear disturbios en la superficie y observe la muestra.

Después de la observación inicial, utilice una espátula para remover suavemente la muestra a fin de verificar la consistencia de cualquier capa que se haya formado en la superficie y sedimentos en el fondo.

Estas observaciones y pruebas deberán realizarse mientras la muestra está aún caliente y dentro de los primeros 5 minutos luego de haberla retirado del horno.

6.3.2 Dependiendo de las características físicas del polímero y de la compatibilidad del sistema polímero / asfalto, pueden notarse diversas condiciones, las cuales deben ser reportadas como sigue:

Descripción	Reporte
Homogéneo, no hay natas ni sedimentos.	Homogéneo.
Nata delgada de polímero en las paredes del vaso.	Ligera nata en bordes.
Nata delgada de polímero en toda la superficie del vaso.	Nata delgada completa.
Nata gruesa de polímero (más de 1/32 de pulgada) en toda la superficie del vaso.	Nata gruesa completa.
Sin nata en la superficie pero con una delgada capa de sedimento al fondo del vaso.	Sedimento delgado.
Sin nata en la superficie pero con una gruesa capa (más de ¼ de pulgada) de sedimento al fondo del vaso.	Sedimento grueso.

7. ANTECEDENTE

ASTM D 5841:2000

Standard specification for Type III polymer modified asphalt cement for use in pavement construction

ANEXO A
(NORMATIVO)

TABLA A.1 – Especificaciones de asfalto modificado con polímero tipo III

Ensayos	III - A		III - B		III - C		III - D		III - E	
	min	max								
Pruebas en producto original										
Penetración, 4 °C, 200 g. 60 s; dmm	48		35		28		22		18	
Penetración, 25 °C, 100 g. 5 s; dmm	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150
Viscosidad, 135 °C; cSt.	150	1 500	150	1 500	150	1 500	150	1 500	150	1 500
Punto de inflamación, Copa abierta Cleveland; °C	218		218		218		218		218	
Punto de ablandamiento anillo y bola; °C	52		54		57		60		63	
Separación, 135 °C, 18 horas	Reportar									
Solubilidad en tricloroetileno, %	99		99		99		99		99	
Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (1)										
Penetración, 4 °C, 200 g. 60 s; dmm	24		18		14		11		9	
Pérdida, %		1		1		1		1		1

(1) Puede utilizarse el método del Horno de película fina (no rotatoria); pero el Horno de película fina rotatoria será el método que defina en caso de discrepancia.

NORMA TÉCNICA
PERUANA

NTP 321.149
2003

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cemento asfáltico
modificado con polímero Tipo IV para uso en
construcción de pavimentos..Especificaciones

PETROLEUM AND DERIVATIVES. Type IV Polymer modified asphalt cement. Specifications

2003-10-23
1ª Edición

R.0101-2003/INDECOPI-CRT.Pública el 2003-11-05

Precio basado en 08 páginas

I.C.S.: 75.080

ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

Descriptores: Cementos asfáltico, asfalto, asfalto modificado, especificaciones, materiales bituminosos, polímero, SBS

ÍNDICE

pagina

	ÍNDICE	i
	PREFACIO	ii
1.	OBJETO	1
2.	REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3.	CAMPO DE APLICACIÓN	3
4.	FABRICACIÓN	3
5.	REQUISITOS	3
6.	MÉTODO DE MUESTREO Y ENSAYO	4
7.	MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO TIPO IV	5
8.	ANTECEDENTES	7
	ANEXO A	8

PREFACIO

A. RESEÑA HISTÓRICA

A.1 La presente Norma Técnica Peruana fue elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Petróleo, Derivados y Combustibles Líquidos mediante el sistema 2 u ordinario, durante los meses de abril a julio del 2003, utilizando como antecedente a la ASTM D 5892:2000 Standard specification for Type IV polymer modified asphalt cement for use in pavement construction.

A.2 El Comité Técnico de Normalización de Petróleo, Derivados y Combustibles Líquidos presentó a la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales CRT-, con fecha 2003-07-07, el PNTP 321.149:2003, para su revisión y aprobación; siendo sometido a la etapa de Discusión Pública el 2003-08-20. No habiéndose presentado ninguna observación, fue oficializado como Norma Técnica Peruana **NTP 321.149:2003 PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cemento asfáltico modificado con polímero Tipo IV para uso en construcción de pavimentos. Especificaciones. 1ª Edición**, el 05 de noviembre del 2003.

A.3 Esta Norma Técnica Peruana fue tomada en su totalidad de la ASTM D 5892:2000. La presente Norma Técnica Peruana presenta cambios editoriales referidos principalmente a terminología empleada propia del idioma español y ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP 001:1995 y GP 002:1995.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACION DE LA PRESENTE NORMA TECNICA PERUANA

Secretaría	Dirección General de Hidrocarburos MEM – DGH
Presidente	Pedro Touzett Gianello
Secretaria	Priscila Santiváñez

ENTIDAD

REPRESENTANTE

PETRÓLEOS DEL PERÚ S.A. - PETROPERÚ S.A.	Alfredo Kahatt Castro
REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.	Máximo Barragán Barragán
MAPLE GAS CORPORATION DEL PERU	Esteban Castellanos Borrero
SHELL PERU S.A.	María Alejandra Benedicto
MOBIL OIL DEL PERU S.R.L.	Dora Rivas
TEXAS PETROLEUM COMPANY – TEXACO	María Tejada de Rodríguez
REPSOL COMERCIAL S.A.C.	Luis Sifuentes Ramírez
CONSORCIO GRAÑA Y MONTERO TERMINALES	Jorge Burgos Toledo
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS Dirección General de Hidrocarburos	Haydé Cunza Roca
MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES Dirección General de Caminos Oficina de Apoyo Tecnológico	Mercedes Sancho Ponce
MINISTERIO DE TRANSPORTE, VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Dirección General de Medio Ambiente	Gladis Macizo Gómez
ASOCIACIÓN DE REPRESENTANTES AUTOMOTRICES DEL PERÚ – ARAPER	Ivan Besich Ponze Peter Davis Scott
ASOCIACIÓN DE GRIFOS Y ESTACIONES DE SERVICIO DEL PERÚ – AGESP	Leonardo Valle Torres
ASOCIACION PERUANA DE CONSUMIDORES Y USUARIOS – ASPEC	Carlos Estrada Alva
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA	Edgard Argumé Chávez Beatriz Adaniya Higa
CAPITULO DE INGENIERÍA PETROLERA Y PETROQUÍMICA – Colegio de Ingenieros del Perú	Eric Concepción Gamarra

CAPITULO DE INGENIERÍA QUÍMICA
Colegio de Ingenieros del Perú

Marcos Padilla Vásquez

INTERTEK TESTING SERVICES PERU S.A. – ITS
MARCONSULT S.A.C.

Vanya Alemán Pallardely
Alberto Garrido Delgado

CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE

Jorge Alvarez Lam

---0000000---

CAPITULO DE INGENIERÍA QUÍMICA
Colegio de Ingenieros del Perú

Marcos Padilla Vásquez

INTERTEK TESTING SERVICES PERU S.A. – ITS
MARCONSULT S.A.C.

Vanya Alemán Pallardely
Alberto Garrido Delgado

CONSEJO NACIONAL DEL AMBIENTE

Jorge Alvarez Lam

---0000000---

PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cemento asfáltico modificado con polímero tipo IV para uso en construcción de pavimentos. Especificaciones

1. OBJETO

Esta Norma Técnica Peruana establece las especificaciones para los cementos asfálticos que han sido modificados mediante la adición de un polímero apropiado con el fin de ser utilizados en la construcción de pavimentos. Esta NTP no pretende ser una especificación basada en el desempeño del producto.

Esta Norma Técnica Peruana cubre los cementos asfálticos que han sido modificados mediante la dispersión de copolímeros de bloque estireno-butadieno-estireno no cruzado (SBS). Sin embargo, puede utilizarse cualquier polímero que satisfaga los requerimientos cuando se mezclen con el asfalto deseado.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee, en todo momento, la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia.

Normas Técnicas de Asociación

2.1	ASTM D 5:1997	Método de ensayo para penetración de materiales bituminosos
2.2	ASTM D 36:2000	Método de ensayo para punto de ablandamiento de materiales bituminosos (Anillo y bola)
2.3	ASTM D 92:2002b	Método de ensayo para punto de inflamación y encendido por el probador de copa abierta Cleveland
2.4	ASTM D 113:1999	Método de ensayo para ductilidad de materiales bituminosos
2.5	ASTM D 140:2001	Método de muestreo para materiales bituminosos
2.6	ASTM D 1754:2002	Método de ensayo para efecto del calor y aire en materiales asfálticos (Horno de película fina)
2.7	ASTM D 2170:2001a	Método de ensayo para viscosidad cinemática de asfaltos (bitúmenes)
2.8	ASTM D 2872:1997	Método de ensayo para efecto del calor y aire en una película giratoria de asfalto (Horno de película fina y rotatoria)
2.9	ASTM D 4957:1995	Método de ensayo para viscosidad aparente de emulsiones asfálticas y bitúmenes no newtonianos por el viscosímetro capilar de vacío

2.10	ASTM D 5546:2001	Método de ensayo para la solubilidad de materiales asfálticos modificados con polímeros en 1, 1, 1 - tricloroetano
2.11	ASTM D 6084:1997	Método de ensayo para recuperación elástica de materiales bituminosos por ductilómetro
2.12	ASTM E 11:2001	Especificación para mallas y tamices para ensayos

3. CAMPO DE APLICACIÓN

Esta Norma Técnica Peruana se aplica al cemento asfáltico modificado con polímero Tipo IV para uso en construcción de pavimentos.

4. FABRICACIÓN

4.1 El asfalto utilizado para preparar el cemento asfáltico modificado con polímero será elaborado mediante los procedimientos adecuados de refinación del petróleo crudo.

4.2 Los asfaltos modificados con polímeros de los Tipos A hasta F representan distintos grados de asfaltos y diferentes cantidades de polímeros utilizados en su fabricación.

5. REQUISITOS

5.1 El cemento asfáltico modificado con polímero será homogéneo y libre de agua y no formará espuma cuando se caliente a 175 °C.

5.2 El cemento asfáltico modificado con polímero deberá cumplir los requerimientos listados en el Anexo A.

5.3 El polímero modificador y el cemento asfáltico serán compatibles y estarán premezclados antes de su uso.

6. MÉTODOS DE MUESTREO Y ENSAYO

6.1 El cemento asfáltico deberá muestrearse y analizarse de acuerdo a los métodos de ensayo y prácticas siguientes:

6.1.1 Muestreo: Práctica ASTM D140.

6.1.2 Penetración: Método de Ensayo ASTM D 5.

6.1.3 Viscosidad a 60°C: Método de Ensayo ASTM D 4957.

6.1.4 Viscosidad a 135°C: Método de Ensayo ASTM D 2170.

6.1.5 Punto de inflamación copa abierta Cleveland: Método de ensayo ASTM D 92.

6.1.6 Horno de película fina y rotatoria: Método de Ensayo ASTM D 2872.

6.1.7 Horno de película fina: Método de Ensayo ASTM D 1754.

6.1.8 Solubilidad de cemento asfáltico modificado con polímero en 1,1,1-Tricloroetano: Método de Ensayo ASTM D 5546.

6.1.9 Recuperación elástica: Método de Ensayo ASTM D 6084.

7. MÉTODO DE ENSAYO PARA EL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO TIPO IV

7.1 Resumen del ensayo de separación

7.1.1 Alcance

Se evalúa la separación del polímero y el asfalto durante el almacenamiento en caliente por comparación del punto de ablandamiento anillo y bola de las porciones superior e inferior de un tubo sellado y acondicionado de asfalto modificado con polímero. El acondicionamiento consiste en colocar un tubo sellado de asfalto modificado en posición vertical en un horno a $163\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ por un período de 48 horas (véase NOTA (2) de la Tabla A.1 del Anexo A). Este ensayo no pretende ser una especificación del comportamiento del asfalto; ha sido desarrollado para proporcionar una referencia en la determinación de las propiedades de separación relativa entre los diferentes tipos de asfaltos modificados y sus asfaltos respectivos.

7.1.2 Significado y uso

Se determina la estabilidad relativa a la separación de los asfaltos modificados con polímeros en condiciones estáticas de almacenamiento mediante el almacenamiento en un horno caliente sin agitación.

7.1.3 Equipos

7.1.3.1 Tubos de aluminio cerrado en un extremo, de 139,7 mm de longitud y 25,4 mm de diámetro, utilizados para contener la muestra durante el acondicionamiento.

NOTA : Se han reportado pérdidas de asfalto por la parte inferior del tubo durante el período de acondicionamiento. Si esta pérdida es significativa puede que se requieran otros tubos.

7.1.3.2 Homo capaz de mantener una temperatura de $163\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

7.1.3.3 Congelador capaz de mantener una temperatura de $-6,7\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$.

7.1.3.4 Soporte capaz de soportar los tubos de aluminio en posición vertical dentro del horno y dentro del congelador.

7.1.3.5 Espátula y martillo. La espátula debe ser rígida y afilada que permita cortar el tubo conteniendo la muestra cuando está a baja temperatura.

7.1.4 Procedimiento

7.1.4.1 Coloque el tubo vacío en el soporte con el extremo sellado hacia abajo.

7.1.4.2 Caliente la muestra cuidadosamente hasta que esté suficientemente fluida como para que caiga. Debe tenerse cuidado de no sobrecalentar la muestra ni siquiera en puntos localizados. Fuerce la muestra fundida a través de un tamiz con malla de $300\text{ }\mu\text{m}$ (N° 50) según la especificación ASTM E 11. Después de agitar la muestra para uniformizarla, coloque 50,0 g en el tubo de aluminio en posición vertical. Doble el exceso del tubo por lo menos dos veces y selle.

7.1.4.3 Coloque el soporte conteniendo los tubos de aluminio sellados en un horno a $163\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$. Deje los tubos sin movimiento dentro del horno por un período de $48\text{ h} \pm 1\text{ h}$. Al finalizar el período de calentamiento, retire el soporte del horno y colóquelo inmediatamente en el congelador a $-6,7\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$, teniendo cuidado de mantener los tubos en posición vertical en todo momento. Deje los tubos en el congelador por un mínimo de 4 horas a fin de solidificar completamente la muestra.

7.1.4.4 Luego de retirar el tubo del congelador, colóquelo en una superficie plana. Corte el tubo en tres porciones de igual longitud utilizando la espátula y el martillo. Deseche

la porción del centro y coloque las porciones superior e inferior en vasos separados. Ponga los vasos en un horno a $163\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta que las muestras estén suficientemente fluidas para retirar las piezas del tubo de aluminio.

7.1.4.5 Después de agitar cada muestra para uniformizarla, proceda a efectuar el ensayo para el punto de ablandamiento de materiales bituminosos (anillo y bola) para la porción superior e inferior por separado, de acuerdo al método ASTM D 36.

NOTA : Si fuera necesario, puede efectuar otros ensayos físicos o químicos en esta etapa. (Véase NOTA (2) de la Tabla A.1 del Anexo A).

7.1.4.6 La determinación del punto de ablandamiento anillo y bola de las porciones superior e inferior de un mismo tubo debe realizarse al mismo tiempo.

7.1.5 Reporte

Reporte la diferencia de temperatura, en $^{\circ}\text{C}$, de los puntos de ablandamiento de las porciones superior e inferior.

7.1.6 Precisión y sesgo

No se establece precisión ni sesgo para este método debido a que los resultados indican solamente si se cumple con el criterio especificado en el procedimiento.

8. ANTECEDENTE

ASTM 5892:2000

Standard specification for Type N polymer-modified asphalt cement for use in pavement construction

ANEXO A
(NORMATIVO)

TABLA A.1 – Especificaciones de asfalto modificado con polímero tipo IV

Designación	IV - A		IV - B		IV - C		IV - D		IV - E		IV - F	
	min	max										
Penetración, 25 °C, 100 g, 5 s; dmm	90		75		65		50		50		35	
Viscosidad, 60 °C, 1 s ¹ ; poise (1)	1 250		4 000		2 500		6 000		4 500		8 000	
Viscosidad, 135 °C; cSt		3 000		3 000		3 000		3 000		3 000		3 000
Punto de inflamación, Copa abierta Cleveland, °C	232		232		232		232		232		232	
Solubilidad en tricloroetano; %	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento anillo y bola de percusión superior e inferior; °C (2)	Reportar											
Pruebas en el residuo de RTFOT (3)												
Recuperación elástica, 25 °C, 10 cm de elongación; %	60		70		60		70		60		70	
Penetración, 4 °C, 200 g, 60 s; dmm	20		20		15		15		10		10	

(1) Tubos Koppers modificado.

(2) Puede utilizarse la viscosidad a 135 °C utilizando el método ASTM D 2170 en sustitución del punto de ablandamiento. Deben observarse con cuidado las diferencias de viscosidad mayores al 10 %. Debe tenerse cuidado cuando se utiliza este método para evaluar sistemas poliméricos dispersos. Los límites reales son reportados cuando exista suficiente cantidad de datos para sostener este criterio. Sin embargo, una prueba de separación para un material puede no ser apropiado para otro, resultando en potenciales reportes de falla en el campo. Los resultados de este ensayo pueden ser usados como una guía para establecer el procedimiento de manipulación en el campo. Grandes diferencias en los valores de separación indican que el material debe mantenerse agitado durante el almacenamiento.

(3) Puede utilizarse el método del Horno de película fina (no rotatoria), pero el Horno de película fina rotatoria será el método que defina en caso de discrepancia.

NORMA TECNICA
PERUANA

NTP 321.051
2002

Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-INDECOPI
Calle de La Prosa 138, San Borja (Lima 41) Apartado 145

Lima, Perú

PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cementos asfálticos. Especificaciones

PETROLEUM AND DERIVATIVES. Penetration graded asphalt cement. Specifications

2002-04-24
2ª Edición

R.0038-2002/INDECOPI-CRT. Publicada el 2002-05-08.
I.C.S.: 621
Descriptores: Asfaltos, pavimentos, productos de petróleo

Precio basado en 06 páginas
ESTA NORMA ES RECOMENDABLE

ÍNDICE

	página
ÍNDICE	i
PREFACIO	ii
1. OBJETO	1
2. REFERENCIAS NORMATIVAS	1
3. CAMPO DE APLICACIÓN	3
4. MÉTODOS DE ENSAYO	3
5. FABRICACIÓN	4
6. PROPIEDADES	4
7. ANTECEDENTES	4
ANEXO A	6

PREFACIO

A. RESEÑA HISTÓRICA

A.1 La presente Norma Técnica Peruana fue elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Petróleo, y Derivados. Combustibles Líquidos mediante el sistema 2 u ordinario, durante los meses de setiembre a noviembre del 2001, utilizó como antecedentes a los que se indican en el capítulo correspondiente.

A.2 El Comité Técnico de Normalización de Petróleo, Derivados y Combustibles Líquidos presentó a la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales – CRT- el 2001-12-27, el PNTP 321.051:2001 para su revisión y aprobación, siendo sometido a la etapa de Discusión Pública el 2002-02-18. No habiéndose presentado ninguna observación, fue oficializado como Norma Técnica Peruana NTP 321.051:2002 **PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cementos asfálticos. Especificaciones, 2ª Edición**, el 08 de mayo del 2002.

A.3 Esta Norma Técnica Peruana reemplaza a la NTP 321.051:1985. La presente Norma Técnica Peruana ha sido estructurada de acuerdo a las Guías Peruanas GP001:1995 y GP002:1995.

B. INSTITUCIONES QUE PARTICIPARON EN LA ELABORACIÓN DE LA PRESENTE NORMA TÉCNICA PERUANA

SECRETARÍA	Dirección General de Hidrocarburos MEM – DGH
PRESIDENTE	Pedro Touzett Gianello
SECRETARIA	Priscila Santiváñez de Iparraguirre
ENTIDAD	REPRESENTANTE
PETRÓLEOS DEL PERÚ S.A. - PETROPERÚ S.A.	Alfredo Kahatt Castro
REFINERÍA LA PAMPILLA S.A.	Máximo Barragán Barragán

MAPLE GAS CORPORATION DEL PERU	Esteban Castellanos Borrero
SHELL PERU S.A.	María Alejandra Benedicto
TEXAS PETROLEUM COMPANY – TEXACO	María Tejada de Rodríguez
CONSORCIO GRAÑA Y MONTERO TERMINALES	Jorge Burgos Toledo
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS Dirección General de Hidrocarburos	Carlos Passano Alemán Haydé Cunza Roca
MINISTERIO DE TRANSPORTE, COMUNICACIONES, VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN Dirección Técnica de Transporte	Fidel Amésquita Cubillas
MINISTERIO DE TRANSPORTE, COMUNICACIONES, VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN Dirección General de Medio Ambiente	Gladis Macizo Gómez
ASOCIACIÓN DE REPRESENTANTES AUTOMOTRICES DEL PERÚ – ARAPER	Ivan Besich Ponze Peter Davis Scott
ASOCIACIÓN DE GRIFOS Y ESTACIONES DE SERVICIO DEL PERÚ – AGESP	Leonardo Valle Torres
ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN ENERGÍA – OSINERG	Fortunato García Luna Victoria
ASOCIACION PERUANA DE CONSUMIDORES Y USUARIOS – ASPEC	Jaime Delgado Zegarra Carlos Estrada Alva
UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA	Edgard Argumé Chávez Beatriz Adaniya Higa
CAPITULO DE INGENIERÍA PETROLERA Y PETROQUÍMICA – Colegio de Ingenieros del Perú	Erick Concepción Gamarra
CAPITULO DE INGENIERÍA QUÍMICA Colegio de Ingenieros del Perú	Marcos Padilla Vásquez
INTERNATIONAL ANALYTICAL SERVICES S.A. -INASSA	Abelardo Ortiz Silva

INTERTEK TESTING SERVICES PERU S.A. – ITS

César Camacho Eléspuro
Yanya Alemán Pallardely

MARCONSULT S.A.C.

Alberto Garrido Delgado
Javier López Beizaga

MINISTERIO DE TRANSPORTES,
COMUNICACIONES VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN.
Dirección general de Caminos. Oficina de control de calidad

Mercedes Sancho Ponce

---000O000---

PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cementos asfálticos. Especificaciones

1. OBJETO

Esta Norma Técnica Peruana establece las propiedades requeridas por los cementos asfálticos, en el lugar y tiempo donde se efectúa la actividad de su comercialización.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Las siguientes normas contienen disposiciones que al ser citadas en este texto, constituyen requisitos de esta Norma Técnica Peruana. Las ediciones indicadas estaban en vigencia en el momento de esta publicación. Como toda norma está sujeta a revisión, se recomienda a aquellos que realicen acuerdos en base a ellas, que analicen la conveniencia de usar las ediciones recientes de las normas citadas seguidamente. El Organismo Peruano de Normalización posee, en todo momento, la información de las Normas Técnicas Peruanas en vigencia.

2.1 Norma Técnica Internacional

ISO 2592:2000	PRODUCTOS DE PETROLEO. Determinación del punto de inflamación. Método del probador de copa abierta Cleveland
---------------	--

2.2 Normas Técnicas de Asociación

2.2.1	ASTM D 5:1997	Método de ensayo para penetración de materiales bituminosos
-------	---------------	---

2.2.2	ASTM D 92:1998a	Método de ensayo para el punto de inflamación por el probador de copa abierta Cleveland
2.2.3	ASTM D 113:1994	Método de ensayo para ductilidad de materiales bituminosos
2.2.4	ASTM D 140:1994	Método de muestreo para materiales bituminosos
2.2.5	ASTM D-1754:1997	Método de ensayo para efecto del calor y el aire en materiales asfálticos. (Prueba de calentamiento sobre película fina)
2.2.6	ASTM D 2042:1997	Método de ensayo para la solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno
2.2.7	AASHTO T 40	Método de muestreo para materiales bituminosos
2.2.8	AASHTO T 46	Método de ensayo para la solubilidad de materiales asfálticos en tricloroetileno
2.2.9	AASHTO T 48	Método de ensayo para el punto de inflamación por el probador de copa abierta Cleveland
2.2.10	AASHTO T 49	Método de ensayo para penetración de materiales bituminosos
2.2.11	AASHTO T 51	Método de ensayo para ductilidad de materiales bituminosos
2.2.12	AASHTO T 65	Método de ensayo para el punto de inflamación por el probador de copa abierta Cleveland

- | | | |
|--------|--------------|--|
| 2.2.13 | AASHTO T 102 | Prueba de área |
| 2.2.14 | AASHTO T 179 | Método de ensayo para efecto del calor y el aire en materiales asfálticos. (Prueba de calentamiento sobre película fina) |

3. CAMPO DE APLICACIÓN

3.1 Esta Norma Técnica Peruana se aplica al cemento asfáltico para uso en la construcción de pavimentos.

3.2 Esta especificación cubre los grados de cemento asfáltico: 40/50 PEN, 60/70 PEN, 85/100 PEN, 120/150 PEN y 200/300 PEN.

4. MÉTODOS DE ENSAYO

El muestreo y las propiedades mencionadas en esta Norma Técnica Peruana deberán determinarse de acuerdo con los siguientes métodos:

- 4.1 Muestreo: Práctica ASTM D 140 y/o AASHTO T 40.
- 4.2 Agua: Método AASHTO T 35.
- 4.3 Penetración: Método de ensayo ASTM D 5 y/o AASHTO T 49.
- 4.4 Punto de inflamación: Método ASTM D 92 y/o AASHTO T 65.
- 4.5 Ductilidad: Método de ensayo ASTM D 113 y/o AASHTO T 51.

4.6 Prueba de calentamiento sobre película fina: Método de ensayo ASTM D 1754 y/o AASHTO T 179.

4.7 Solubilidad de tricloroetileno: Método de ensayo ASTM D 2042 y/o AASHTO T 46.

4.8 Prueba de área: Método AASHTO T 102.

FABRICACIÓN

El cemento asfáltico deberá prepararse por el refinamiento del petróleo crudo por métodos apropiados.

6. PROPIEDADES

6.1 El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no deberá producir espuma al ser calentado a 175 °C.

6.2 Los diversos grados de cemento asfáltico deberán ajustarse a los requerimientos descritos en el Anexo A.

7. ANTECEDENTES

7.1 ASTM D 946:1999 STANDARD SPECIFICATION FOR PENETRATION – GRADED ASPHALT CEMENT FOR USE IN PAVEMENT CONSTRUCTION

ANEXO A
(NORMATIVO)

CEMENTOS ASFALTICOS. ESPECIFICACIONES

CARACTERÍSTICAS (2)	ESPECIFICACIONES										MÉTODO DE ENSAYO		
	40/50 PEN		60/70 PEN		85/100 PEN		120/150 PEN		200/300 PEN		ASTM	AASHTO	ISO
	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx	Mín	Máx			
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s, mm	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300	D 5:97	T 49	
Punto de Inflamación Cleveland, copa abierta, °C	232	-	232	-	232	-	218	-	177	-	D 92:98a	T 48	2592:73
Ductilidad a 25 °C, 5 cm/min, cm	100	-	100	-	100	-	100	-	100 ¹	-	D 113:99	T 51	
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	99	-	99	-	99	-	99	-	99	-	D 2042:97	T 44	
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm; 163 °C; 5 horas											D 1754:97	T 179	
- Penetración del residuo, % del original	55+	-	52+	-	47+	-	42+	-	37+	-	D 5:97	T 49	
- Ductilidad del residuo a 25 °C, 5cm/min, cm	-	-	50	-	75	-	100	-	100 ¹	-	D 113:99	T 51	

OBSERVACIONES:

- (1) Si la ductilidad a 25 °C es menor a 100 cm, el material puede ser aceptado si la ductilidad a 15,5 °C es como mínimo 100 cm a 5 cm/min de tirón.
- (2) Pruebas complementarias requeridas pro el Ministerio de Transportes, Vivienda y Construcción serán de acuerdo comercial entre el proveedor y el cliente (R.D. 1114.2000.MTC/1517) Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras. Sección 400 – Tabla N° 400-2