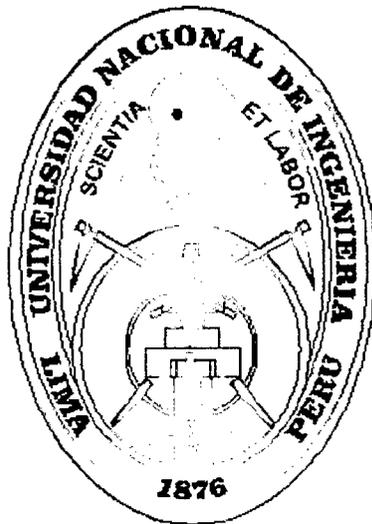


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**“UTILIZACIÓN DE ADITIVOS POLÍMEROS EN
PAVIMENTOS FLEXIBLES”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

MANUEL ERNESTO LÓPEZ LABERIAN

Lima - Perú

2004

Digitalizado por:

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

Dedicatoria

A mis padres **Ernesto y Agustina**
Por sus Sacrificios , Consejos,
Confianza y Apoyo.
A mis Hermanos por su aliento.

Agradecimientos

Al Ing. **Néstor Huamán Guerrero** Asesor
De la presente Tesis por el apoyo y
Colaboración durante el desarrollo del
Mismo.

A la Oficina de Apoyo Tecnológico del MTC
Por prestar sus instalaciones para realizar la
Presente Tesis y en especial a la Ing. **Mary
Sancho Ponce** por su gran apoyo.

INDICE

CAPITULO I	Página
Introducción	1
I.1 Objetivo	2
CAPITULO II Antecedentes de la Utilización de Aditivos Polímeros a Nivel Mundial	2
CAPITULO III Antecedentes de la Utilización de Aditivos Polímeros en el Perú.	6
CAPITULO IV Aditivos Polímeros.	
IV.1 Definición de Polímeros.	7
IV.1.1 Copolímeros.	7
IV.2 Características Básicas de los Polímeros.	
IV.2.1 Estructura	8
IV.2.2 Peso Molecular	9
IV.2.3 Enlaces	9
IV.2.4 Transiciones de Fase	10
IV.2.5 Parámetros de Solubilidad	11
IV.3 Tipos de Polímeros Modificadores	
IV.3.1 Polímeros Plastómeros	12
a).EVA	14
b).LPE	14
IV.3.2 Polímeros Elastómeros	15
a).SBS/SIS	16
b).SBR	18
b.1). Principales Características	18
c). EPDM	22
IV.3.3 Cauchos Recuperadores de Neumáticos	22
IV.4 Propiedades de los Polímeros	23
IV.5 Relaciones Generales de Propiedades y Estructura	25

IV.6 Ensayos y Caracterización de los Polímeros

IV.6.1 Ensayos Físicos:

a).	Resistencia a la Tracción	28
b).	Resistencia a la Flexión	29
c).	Resistencia a la Compresión	29
d).	Resistencia al Impacto	30
e).	Dureza	30
f).	Resistencia a la Cortadura	31

IV.7 Polímeros Usados en Modificación de Cementos Asfálticos

IV.7.1 Polímeros Comerciales en el Perú

CAPITULO V El Cemento Asfáltico Como Material Ligante

V.1 Breve Reseña Histórica

V.2 Definición

V.3 Procesos de Obtención

V.3.1 Asfaltos Naturales

V.3.2 Asfaltos del Petróleo

V.4 Composición Química

V.4.1 Composición Centesimal

V.4.2 A Nivel de Compuestos Químicos

V.4.3 Relación Entre Composición Química y las Propiedades Físicas del Cemento Asfáltico.

V.5 Clasificación

V.5.1 Asfaltos Para Pavimentación

a. Cementos Asfálticos

b. Emulsiones Asfálticas

c. Asfaltos Diluidos

d. Asfaltos Modificados

V.5.2 Asfaltos Para Uso Industrial

a. Asfaltos Oxidados

V.6 Métodos de Ensayos

V.6.1 Caracterización de Asfaltos Convencionales

a. Penetración

b. Ductilidad

c. Viscosidad Cinemática

d. Viscosidad Absoluta

e. Prueba de la Mancha

f. Punto de Inflamación	56
g. Punto de Ablandamiento	56
h. Oxidación en Película Fina	57
i. Punto de Rotura Fraass	57
j. Revestimiento y Desprendimiento	58
k. Cromatografía por Absorción	58
l. Índice de Penetración	58
m. Solubilidad	59
V.7 Características	68
V.8 Almacenaje y Transporte	70
V.9 Usos Típicos de asfaltos de Pavimentación	71
V.10 Plantas de Asfalto en el Perú	73
CAPITULO VI Asfaltos Modificados con Polímeros	
VI.1 Concepto	76
VI.2 Compatibilidad Asfalto – Polímero	76
VI.3 Preparación de Mezclas de Asfaltos con Polímeros	
VI.3.1 Preparación de Asfaltos Modificados con Polímeros Elastómeros	79
VI.4 Parámetros que Influyen en el Proceso de Modificación de Asfaltos	
VI.4.1 Naturaleza del Polímero	84
VI.4.2 Forma Física del Polímero	84
VI.4.3 Naturaleza y Grado del Asfalto	85
VI.4.4 Tipos de Equipos	86
VI.4.5 Tiempo / Temperatura de Mezclado	86
VI.5 Cambios en las Propiedades del Asfalto	87
VI.6 Mecanismos de Modificación	87
VI.7 Cambios en las Mezclas Asfálticas	91
VI.8 Resultados en el Pavimento	91
VI.9 Estudios Experimentales	
VI.9.1 A nivel mundial	92
VI.9.2 En el Perú	95
VI.10 Otros Usos	98

CAPITULO VII Evaluación y Ensayos de las Componentes de una Mezcla Asfáltica

VII.1. Evaluación de los Agregados	
A). Agregado Grueso	99
B). Agregado Fino	101
C). Filler o Relleno Mineral	103
VII.2. Cemento Asfáltico	104
VII.3. Aditivo Polímero	104
VII.4. Preparación de la Pre-Mezcla	109
VII.3 Preparación de la Mezcla Asfáltica Método Marshall (ASTM-D1559)	
VII.3.1 Descripción del Método	117
VII.3.2 Preparación de las Muestras de Ensayo	
1- Número de Muestras	119
2- Preparación de los Agregados	119
3- Temperatura de Mezclado y Compactación	119
4- Preparación del Molde y Pison de Compactación	120
5- Preparación de las Mezclas	120
6- Compactación de las Probetas	121
7- Enfriamiento y Extracción	121
VII.3.3 Equipo	
Aparato de Ensayo Marshall	122
VII.3.4 Descripción del Ensayo	122
a). Determinación del Peso Específico Bruto	123
b). Ensayo de Estabilidad y Fluencia	123
c). Análisis de Densidad y Vacíos	124
Resultados de la Prueba Marshall	127

CAPITULO VIII Evaluación Económica a Nivel de Perfil de la Modificación de Cementos Asfálticos Con Polímeros

VIII.2 Estudio de Mercado	150
VIII.3 Tamaño de una Planta de Producción de Asfaltos Modificados	154
VIII.3.1 Requerimientos Operativos	155
VIII.4 Evaluación Económica de la Producción de Cementos Asfálticos Modificados	158
VIII.4.1 Inversión Económica	158
VIII.4.2 Costos Operativos	158
VIII.5 Precio de Venta del Asfalto Modificado	161
VIII.5.1 Cálculo del Precio de Venta Máximo del Asfalto Modificado	162

VIII.6 Análisis Comparativo del Beneficio Económico en la Construcción de Pavimentos Flexibles	166
VIII.6.1 Experiencia Extranjera Departamento Técnico de Ultrapave Texas EEUU	166
VIII.7 Costo de la Mezcla Modificada	170
CAPITULO IX Conclusiones y Recomendaciones	172
Anexos	
Bibliografía.	

CAPITULO I

INTRODUCCION

El desarrollo de los sectores productivos y el incremento de la actividad económica en general depende en gran medida de la existencia de vías de comunicación entre las diversas regiones del país y de la consolidación de los ejes que ponen en contacto las áreas productoras con los centros de consumo. La gran necesidad de pavimentos asfálticos con mejores características de explotación para altas cargas y climas hacen necesarias nuevas investigaciones en el campo de las mezclas asfálticas para pavimentos.

Una alternativa viable en otros países ha resultado ser el uso de Cementos Asfálticos Modificados con Polímeros, los cuales ofrecen un avance notable en la tecnología de los Ligantes Asfálticos, ya que dichos compuestos orgánicos le brindan especiales características mecánicas y reológicas prolongando la vida útil del pavimento en servicio, y permitiendo abordar tratamientos que no se pueden realizar con los Cementos Asfálticos Convencionales.

En nuestro país, el empleo de los Cementos Asfálticos Modificados se efectúa aun en escalas moderadas en comparación a la demanda total de los materiales asfálticos, por lo que su campo de aplicación es aun virgen en un buen porcentaje, convirtiéndose en un sector atractivo para las inversiones en nuevas plantas de producción y/o ampliación de las existentes.

Esta orientación del uso de cementos asfálticos de mejor tecnología 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

El presente estudio de investigación tiene como objetivo, demostrar a través de pruebas en laboratorio las ventajas del uso de los polímeros (SBR), aplicados en las mezclas de cementos asfálticos y en la elaboración de mezclas de concreto asfáltico. Diseñados para condiciones de climas cálidos y tránsito pesado.

CAPITULO II

ANTECEDENTES DE LA UTILIZACIÓN DE ADITIVOS POLIMEROS A NIVEL

MUNDIAL

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 Hancock, 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 "Jomada 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	200.000	50.000	1.000	0	251.000
Alemania	230.000	15.000	5.000	0	250.000
Japón	s/d	s/d	s/d	s/d	182.000
España	72.000	36.000	0	0	110.000
Italia	80.000	0	0	0	80.000
Australia	30.000	15.000	22.500	0	67.500
Reino Unido	45.000	5.000	4.000	12.000	66.000
Canadá	19.000		30.000		49.000
Austria	31.000	0	2.500	7.000	40.500
Argentina	17.603	4.576	0	12.112	34.291
Benelux	s/d	s/d	s/d	s/d	18.000
Rusia	13.200				13.200
Polonia	12.000	0	350	0	12.350
Portugal	7.000	3.500	150	0	10.650
Irlanda					10.000
Malasia	2.000	0	5.000	0	7.000
Dinamarca					6.000
Hungría	2.800	500			3.300
Brasil	2.800				2.800
Suecia	1.500				1.500
Ucrania	950				1.450
Noruega	1.000				1.000
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 III

ANTECEDENTES DE LA UTILIZACION DE ADITIVOS POLIMEROS EN EL PERU

En el Perú la preparación de mezclas de concreto asfáltico, preparados con cementos asfálticos modificados con polímeros es incipiente a tal punto que hasta la fecha no se ha ejecutado obra alguna con materiales mejorados, a pesar que nuestro país por tener zonas geográficas muy diversas exige la búsqueda de mejorar la performance de nuestros pavimentos utilizando técnicas de avanzada como se viene haciendo en la mayoría de países de todo el mundo y desde hace muchos años atrás.

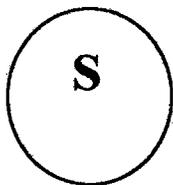
Existen obras donde se ha utilizado Emulsiones Asfálticas modificadas con polímeros, pero tan sólo a nivel de mantenimiento de carreteras como son tratamientos de fisuras y grietas, sellos asfálticos, morteros arena-emulsión y mezclas asfálticas para obras de mantenimiento. Entre estas obras tenemos las carreteras Cocrachacra – Matucana, Pativilca – Huaraz, Puno – Juliaca – Desaguadero, Arequipa – Matarani, también zonas de altura como Ticlio, etc.

CAPITULO IV

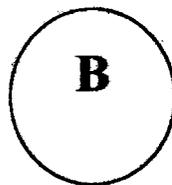
ADITIVOS POLIMEROS

IV.1 DEFINICION DE POLIMEROS.- Los Polímeros son compuestos orgánicos de elevado peso molecular, formados por la unión covalente de grupos estructurales más sencillos denominados monómeros.

IV.1.1 COPOLIMERO.- Un copolímero es un polímero formado por dos diferentes tipos de monómeros.

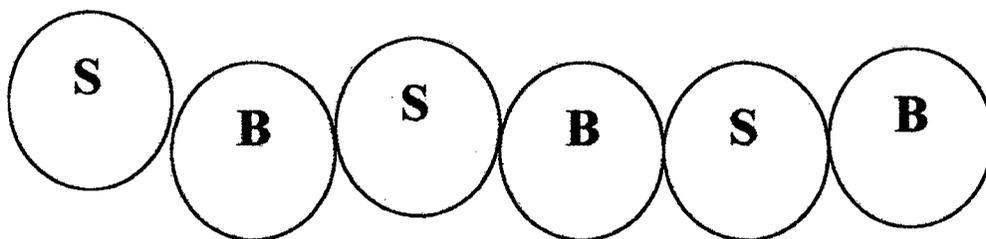


ESTIRENO



BUTADIENO

+



SBR

IV.2 CARACTERISTICAS BASICAS DE LOS POLIMEROS

IV.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.

IV.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.

IV.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.

IV.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 rearreglos adicionales o procesos de relajamiento. Generalmente estos no originan cambios obvios en las propiedades.

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

IV.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 premium 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.

IV.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.

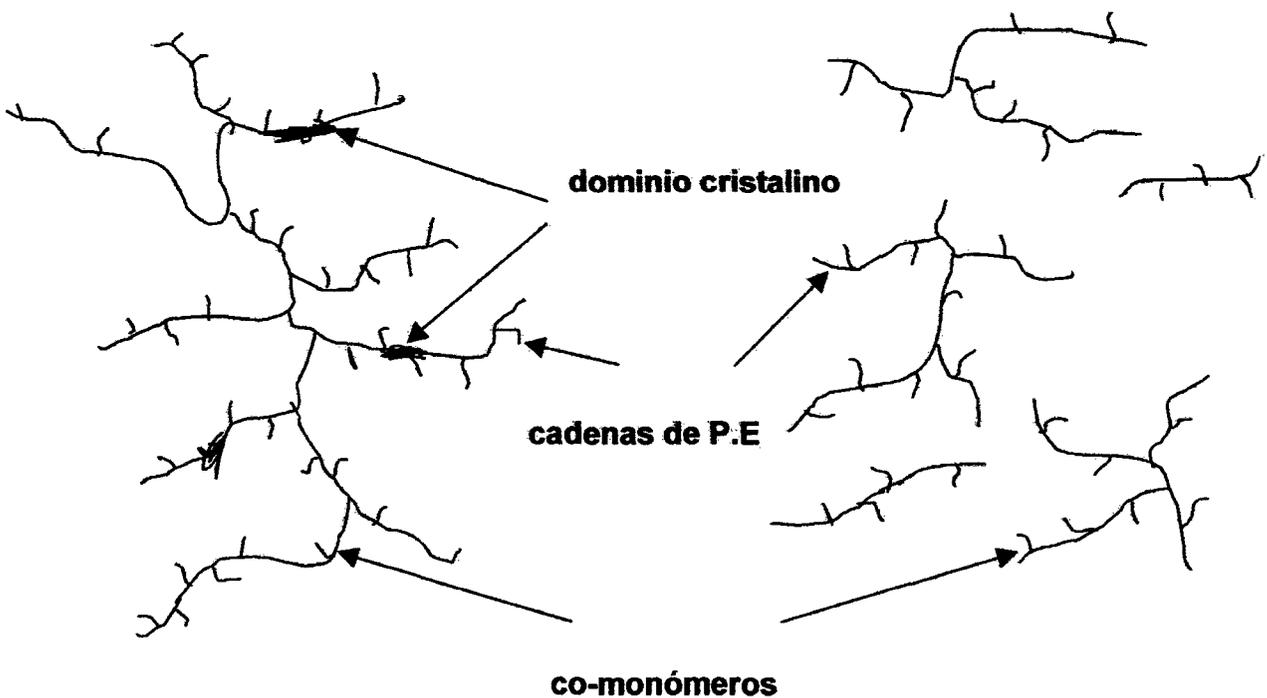
Los copolímeros del etileno son macromoléculas ramificadas, obtenidas por polimerización vía radicales libres a alta presión del etileno con un co-monómero.

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.

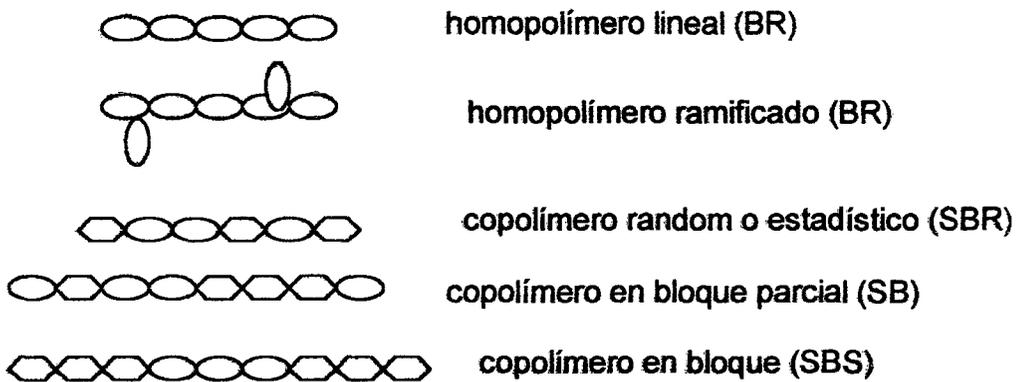
Sus mayores ventajas son la resistencia a la flexión y la estabilidad térmica, además de un costo razonable.

b) LPE

El polietileno lineal, así como el EVA, fluye irreversiblemente cuando deja de ser sometido a una tensión cizallante. El LPE presenta una conformación plana en zigzag, 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.

IV.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 copolímeros pueden ser usados. Los más comunes son copolímeros SBR, copolímeros en dibloques SB o tribloques pueden ser lineales o ramificados o parcialmente hidrogenados SEBS. Otros ejemplos son también los copolímeros del estireno isopreno SIS, terpolimeros EPDM, policloroprenos y polímeros SBS carboxilados . La siguiente figura muestra una representación de varios elastómeros.



estireno



butadieno



REPRESENTACIÓN DE VARIOS 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, mas 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 butadiénicos donde ocurre la microseparación 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 butadiénica 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.

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.

IV.3.3 CAUCHOS RECUPERADORES DE NEUMÁTICOS

Razones económicas ligadas al alto costo de polímeros, asociadas al problema real de eliminación de neumáticos inservibles para vehículos conducen a la tentativa de modificar las propiedades del asfalto con cauchos recuperados de neumáticos. Como el caucho de neumáticos es vulcanizado, características tales como solubilidad y el hinchamiento son diferentes a los cauchos no vulcanizados. En países como Estados Unidos utilizan caucho recuperado de neumáticos en cemento asfáltico, en concentraciones que varían de 5 a 30%, en mezclas densas y abiertas, principalmente en revestimientos superficiales, más también en membranas absorbedoras de tensión. Las experiencias realizadas han demostrado mejora en la resistencia a la fatiga, a la deformación permanente y mayor durabilidad.

IV.4 PROPIEDADES DE LOS POLIMEROS

El juicio final 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

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

Propiedades Eléctricas

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

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

I V.5 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

Temperatura de transición vítrea

Se incrementa con la presencia de radicales voluminosos

Grupos rigidizantes como el 1,4 – fenileno

Simetría de cadena

Grupos polares

Enlaces cruzados

Disminuye con la presencia de aditivos como los plastificantes

Radicales flexibles

Grupos no polares

Disimetría

Solubilidad

Favorecida por longitudes bajas de cadena

Aumento del contenido amorfo

Fuerzas reducidas entre cadenas

Desorden y disimetría

Aumentos de temperatura

Disolventes compatibles

Cristalinidad

Favorecida por fuerzas grandes entre cadenas

Estructura regular; alta simetría

Disminución de volumen

Aumento de los esfuerzos

Enfriamiento lento del producto fundido

Longitudes homogéneas de cadena

IV.6 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.

IV.6.1 ENSAYOS FISICOS

a) RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

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

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

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 extruídos o moldeados.

Observar la Fig. 6.

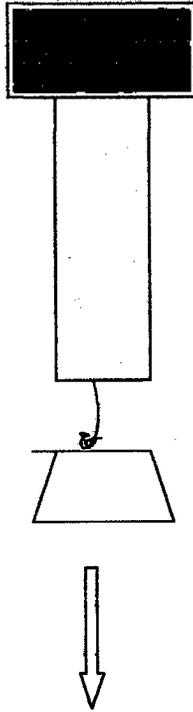


Fig. 1 ENSAYO DE TRACCION

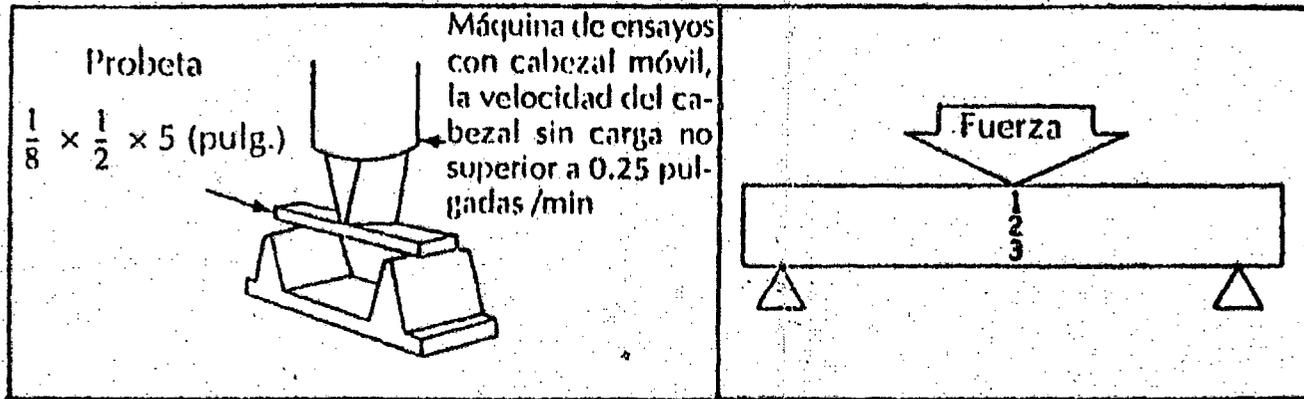


FIG. 2 ENSAYO A LA FLEXIÓN

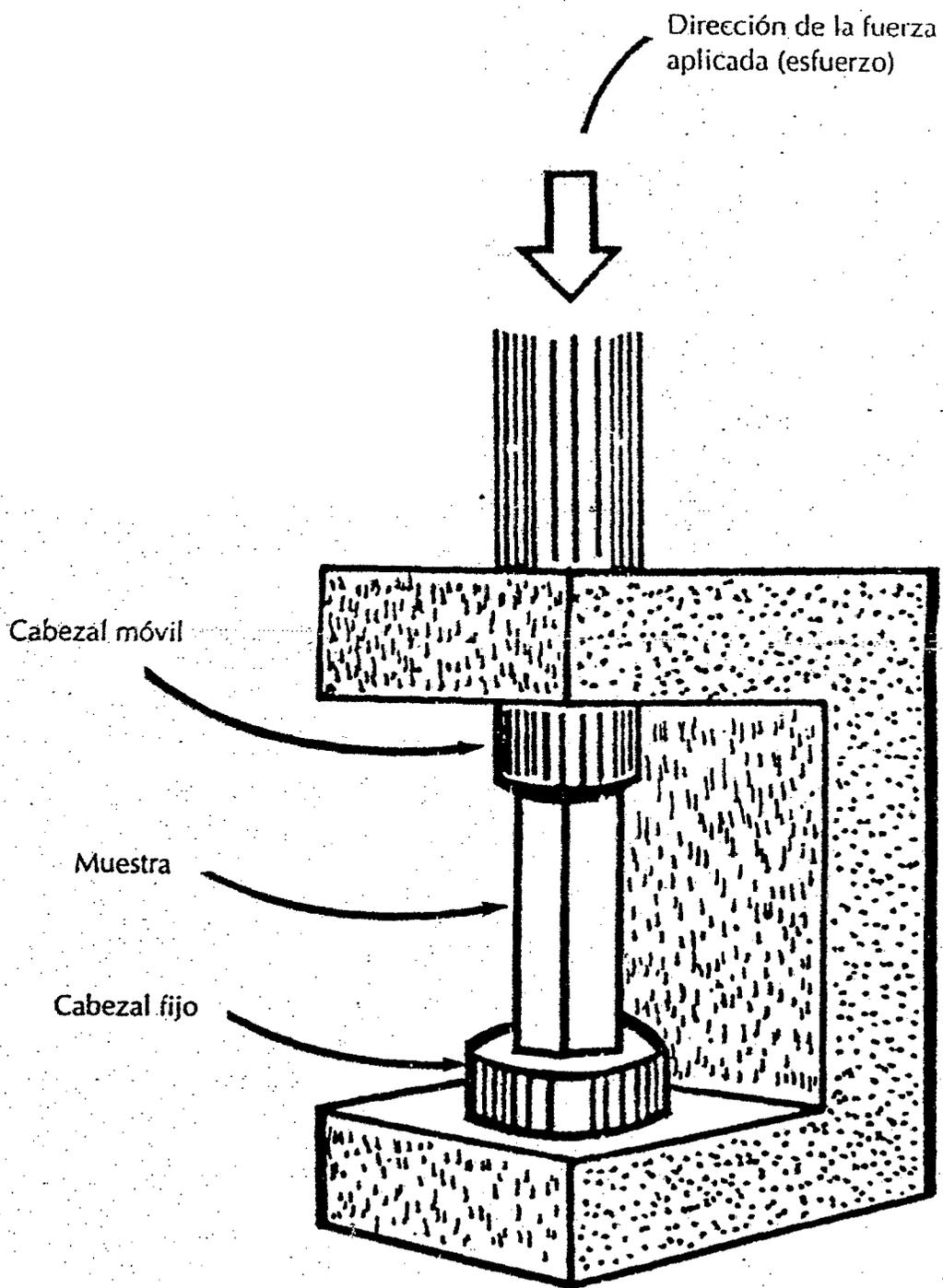
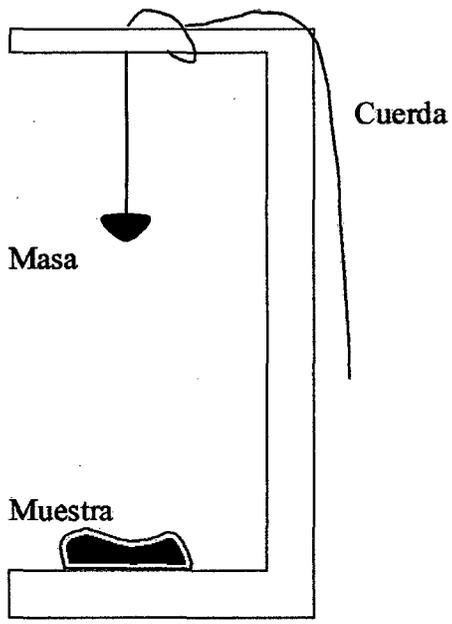
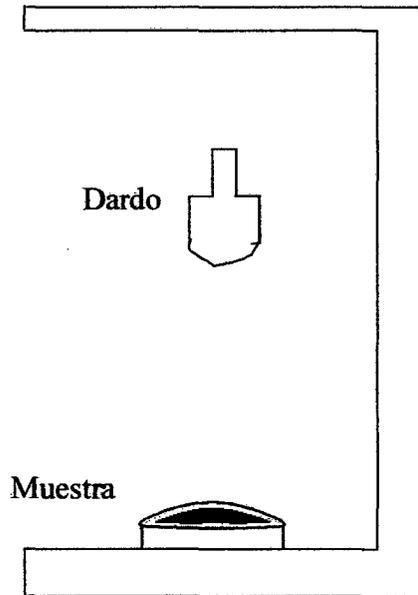


Fig. 3 ENSAYO DE COMPRESIÓN



SÓLIDOS



PELÍCULAS

Fig.4 Ensayo de Resistencia al Impacto

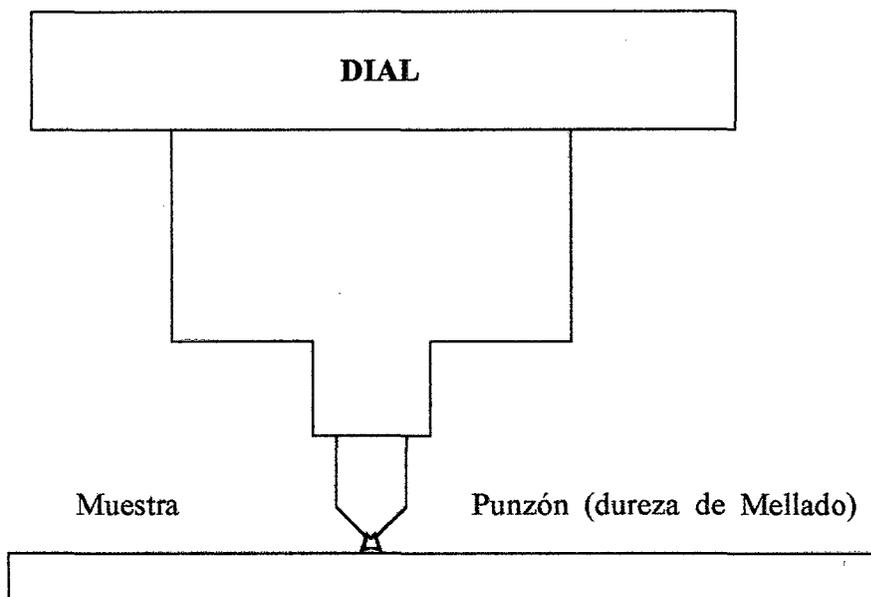


Fig. 5 Ensayo de Dureza

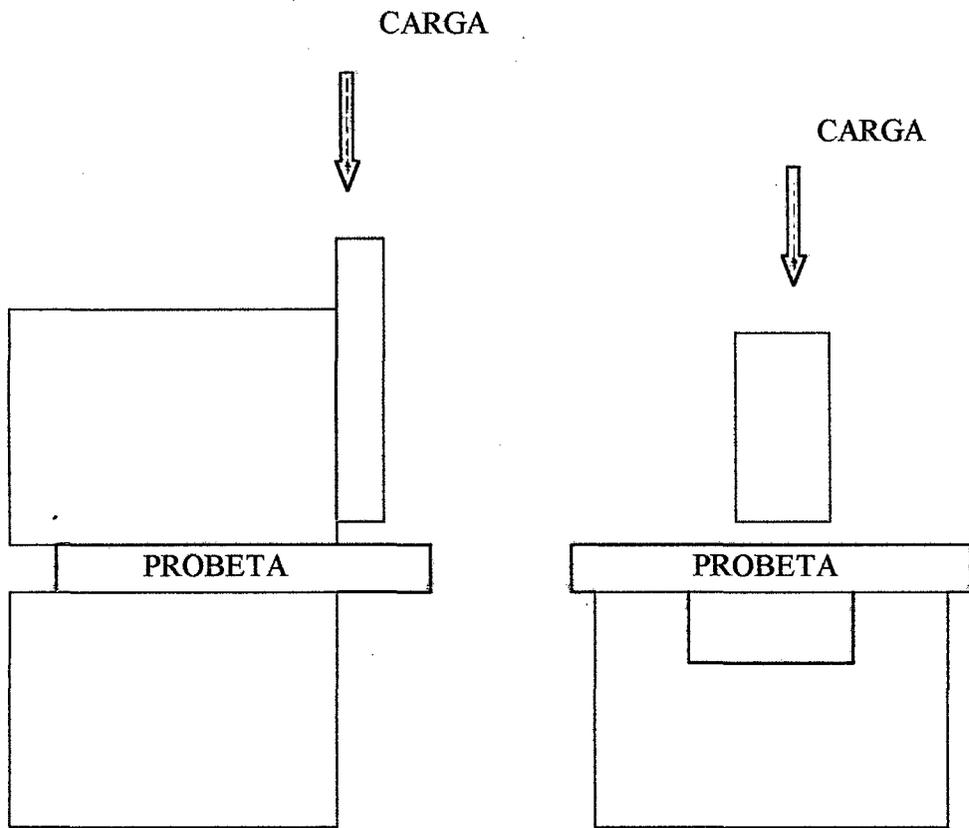


Fig.6 Ensayo de Resistencia a la Cortadura

I V.7 POLIMEROS USADOS EN MODIFICACION DE CEMENTOS ASFALTICOS

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	Polybit
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	--

IV.7.1 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.

CAPITULO V

EL CEMENTO ASFALTICO COMO MATERIAL LIGANTE

V.1 BREVE RESEÑA HISTORICA

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

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

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

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

V.2 DEFINICION

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

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

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

V.3 PROCESOS DE OBTENCIÓN

V.3.1 ASFALTOS NATURALES

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

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

V.3.2 ASFALTOS DEL PETROLEO

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

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

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

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

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

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

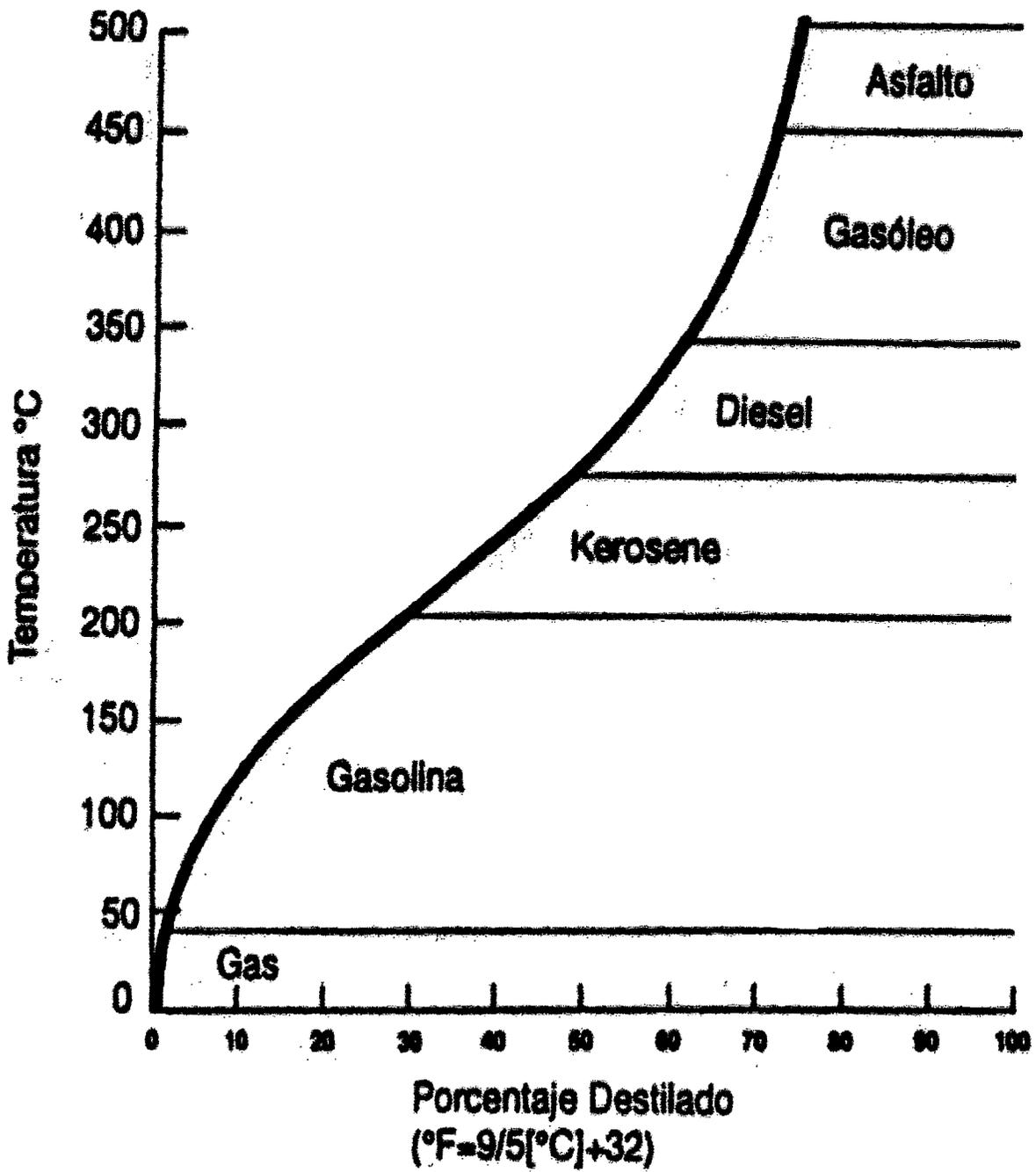


DIAGRAMA DE FLUJO PARA ASFALTO DE PETROLEO

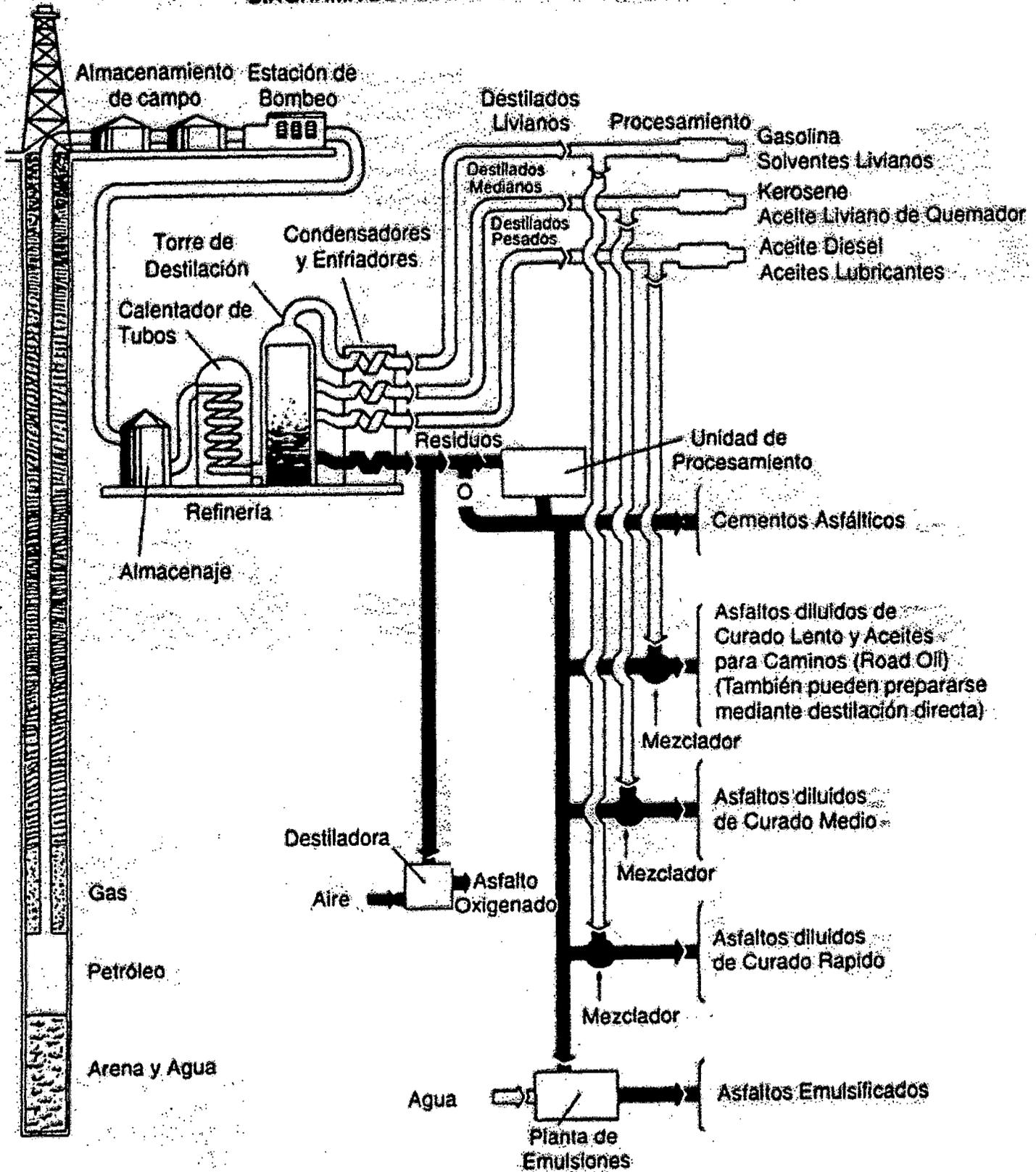


FIGURA 2.2 - Proceso Típico de Refinación.

V.4 COMPOSICION QUÍMICA

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

V.4.1 COMPOSICION CENTESIMAL:

Carbono. 80% --- 88%

Hidrógeno. 9% --- 12%

Oxígeno. 0% --- 12%

Azufre. 0% --- 3%

Nitrógeno. 0% --- 2%

V.4.2 A NIVEL DE COMPUESTOS QUÍMICOS

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

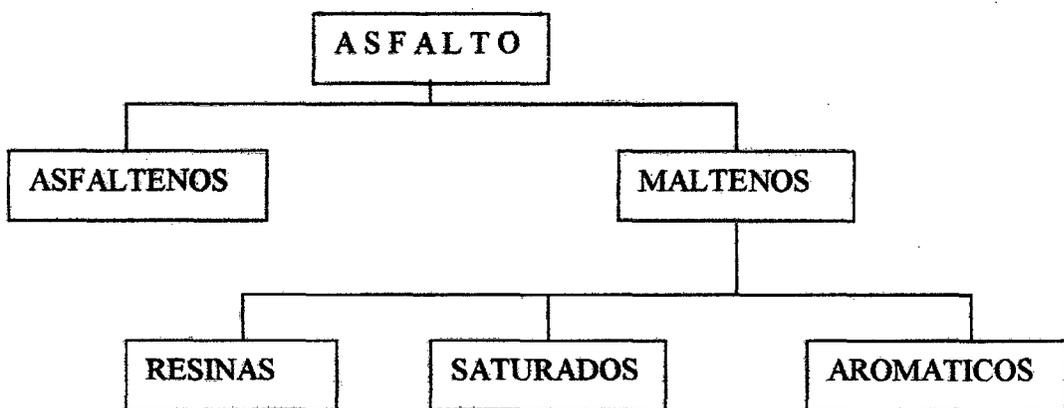
En este sentido, se ensayaron otros procesos de separación de componentes asfálticos en función de su solubilidad en cierto tipo de solventes, clasificándolos en:

- **AROMÁTICOS**

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

- **AROMÁTICOS POLARES**

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



PROCESO DE SEPARACIÓN DEL CEMENTO ASFALTICO

V.4.3 RELACION ENTRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA Y LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO ASFÁLTICO

Los componentes del Cemento Asfáltico de Petróleo, tienen las siguientes propiedades:

a. SATURADOS

Tienen influencia negativa sobre la susceptibilidad térmica. En mayor concentración ablandan al producto.

b. NAFTENOS AROMÁTICOS

Actúan como plastificantes, contribuyendo a la mejora de sus propiedades físicas.

c. POLAR AROMÁTICOS

Tienen influencia negativa en la susceptibilidad térmica, contribuyen en la mejora de la ductilidad y la dispersión de los asfaltenos.

d. ASFALTENOS

Contribuyen a la mejora de la susceptibilidad térmica y al aumento de la viscosidad.

Es importante mencionar que la destilación de los CAP remueve los componentes ligeros, de preferencia los saturados, concentrando los asfaltenos. Una oxidación aumenta considerablemente el contenido de asfaltenos y disminuye a los aromáticos. Un aumento de temperatura quiebra las ligaciones interatómicas que mantienen asociados a los asfaltenos, modificando su tamaño, forma y reduciendo la viscosidad del CAP.

V.5 CLASIFICACION

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

V.5.1 ASFALTOS PARA PAVIMENTACIÓN

a. CEMENTOS ASFALTICOS

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

Son preparados especialmente para su uso directo en la construcción de pavimentos asfálticos. Se clasifican de acuerdo a su consistencia, la cual es medida por su viscosidad (dinámica o absoluta) o su penetración (PEN).

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

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

b. EMULSIONES ASFÁLTICAS

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

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

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

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

Y por el tipo de ruptura en:

- Ruptura Rápida
- Ruptura Media
- Ruptura Lenta

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

c. **ASFALTOS DILUIDOS: Cut – Backs**

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

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

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

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

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

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

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

d. ASFALTOS MODIFICADOS

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

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

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

V.5.2 ASFALTOS PARA USO INDUSTRIAL

a. ASFALTOS OXIDADOS

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

Un proceso de oxidación produce en los asfaltos:

- Aumento de peso específico y consistencia.

- Disminución de la Ductilidad.
- Disminución de la Susceptibilidad térmica.

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

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

V.6 METODOS DE ENSAYO

V.6.1 CARACTERIZACION DE ASFALTOS CONVENCIONALES

a. PENETRACIÓN: ASTM D-5

Esta prueba sirve para determinar la consistencia de los cementos asfálticos de naturaleza sólida o semisólida. La penetración se define como la distancia en décimas de milímetro que una aguja estándar penetra verticalmente a una muestra de un material bajo condiciones conocidas de carga, tiempo y temperatura (100 gr, 25°C, 5seg), aunque puede emplearse otras condiciones previamente definidas.

b. DUCTILIDAD: ASTM D-113

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

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

c. VISCOSIDAD CINEMATICA: ASTM D – 2170

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

Este ensayo se emplea para determinar la viscosidad de los asfaltos diluidos a 60°C y de los cementos asfálticos a 135°C, en un rango de viscosidad de 30 a 6000 cSt, y se utiliza para graduar a los asfaltos. El método consiste en medir el tiempo de flujo del material asfáltico, a través de un tubo capilar calibrado, a una temperatura determinada. La viscosidad cinemática se obtiene al multiplicar el tiempo de flujo en segundos por la constante de flujo del capilar.

d. VISCOSIDAD ABSOLUTA: ASTM D-2171

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

e. PRUEBA DE LA MANCHA: AASTHO T – 102

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

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

f. PUNTO DE INFLAMACIÓN: ASTM D – 92

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

g. PUNTO DE ABLANDAMIENTO : ASTM D-36

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

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

h. OXIDACIÓN EN PELÍCULA FINA: ASTM D – 175

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

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

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

i. PUNTO DE ROTURA FRAASS: IP 80/87

Es una de las pocas pruebas que pueden ser utilizadas para describir el comportamiento de los asfaltos a muy bajas temperaturas (-38°C). El punto de Ruptura FRAASS es la temperatura a la cual el asfalto llega a tener una elasticidad crítica y se raja. La prueba consiste en flexionar una placa de acero de 41 mm de largo por 20 mm de ancho cubierta con 0.5 mm de asfalto. La temperatura de la placa se reduce a una razón de 1°C por minuto hasta que el asfalto se raje.

j. REVESTIMIENTO Y DESPRENDIMIENTO: ASTM D – 3625

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

k. CROMATOGRAFÍA POR ABSORCIÓN: ASTM D – 4124

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

l. INDICE DE PENETRACIÓN: RLB1 – 1964

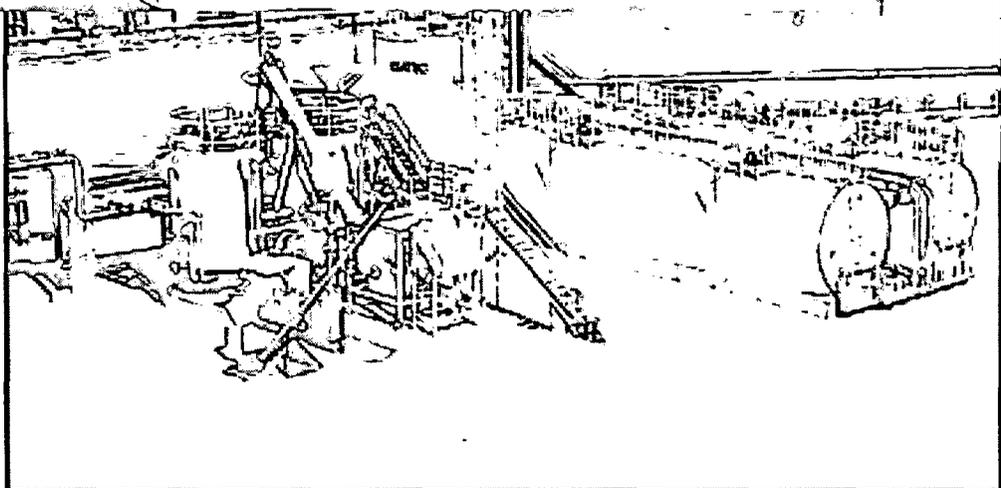
Los asfaltos que se utilizan en pavimentación tienen índices de penetración que varían de -1 a +1, de tal forma que un valor de cero significa una susceptibilidad adecuada, valores mayores que uno significa que el asfalto está oxidado (producto de un sobrecalentamiento) y altos valores negativos son indicativos de grandes cambios de consistencia con la temperatura. Sin embargo, éste rango es sólo aplicable para los llamados asfaltos del tipo S según Heukelom, es decir, aquellos asfaltos cuyo cambio de consistencia con la temperatura, que es medida por la variación de la penetración con la

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

m. SOLUBILIDAD

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

PRINCIPALES ENSAYOS REALIZADOS PARA LA CARACTERIZACION DE ASFALTO MODIFICADO CON POLIMERO



PENETRACION: ASTM D-5

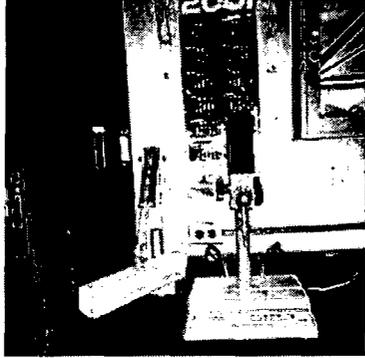


Foto 1
Penetrómetro

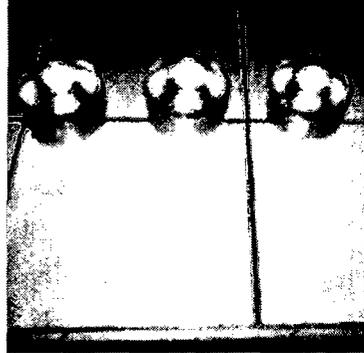


Foto 3
Dish de acero

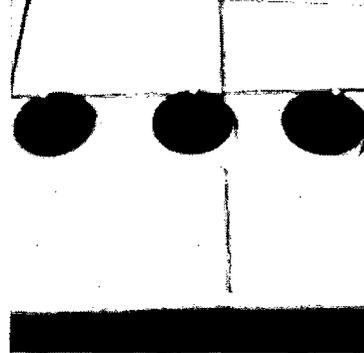


Foto 5
Muestras de asfalto
enfriando a
temperatura ambiente



Foto 7
Picando la muestra en
el penetrómetro

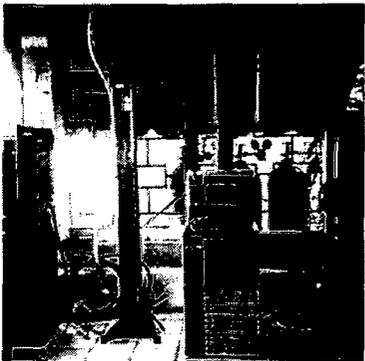


Foto 2
Baño de agua

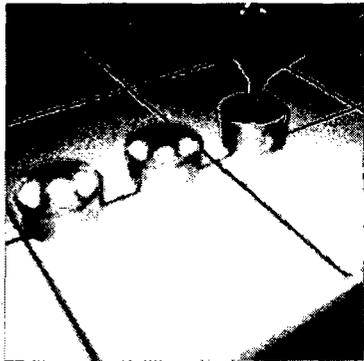


Foto 4
Cargando muestra
de asfalto en el dish

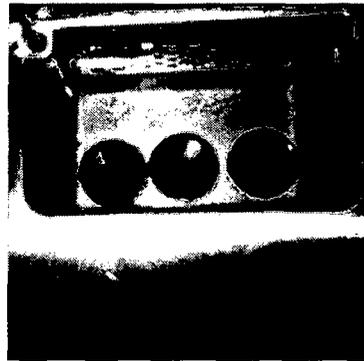


Foto 6
Muestras de asfalto
en el baño de agua a
la temperatura de prueba

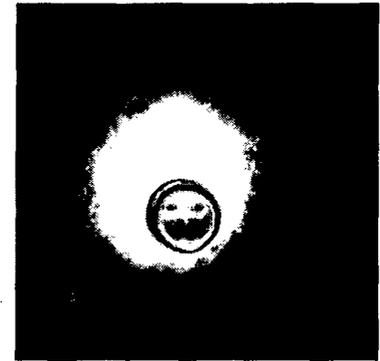


Foto 8
3 picadas, formando
un triángulo de 1 cm
de lado como mínimo

RECUPERACION ELASTICA: ASTMD-6084



Foto 1
Ductilómetro



Foto 2
Moldes de bronce
ligeramente
amalgamados

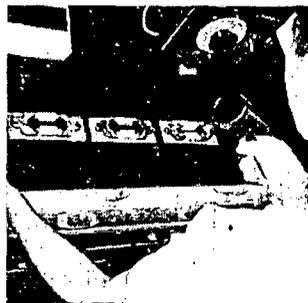


Foto 3
Cargando muestra
de asfalto en los
moldes con un
ligero exceso

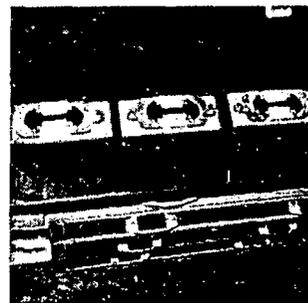


Foto 4
Moldes de asfalto
enfriando a
temperatura
ambiente

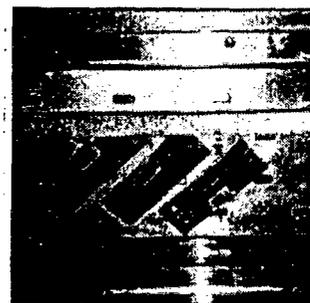


Foto 5
Moldes de asfalto
en el ductilómetro
a la temperatura
de prueba



Foto 6
Eliminando el
exceso de asfalto
con ayuda de una
espátula caliente

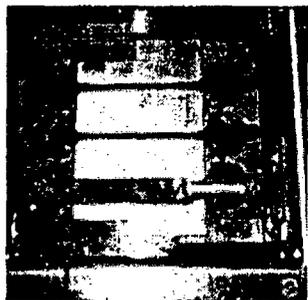


Foto 7
Moldes de asfalto
elongados a 10 cm



Foto 8
Cortando por la
mitad a los moldes
de asfaltos

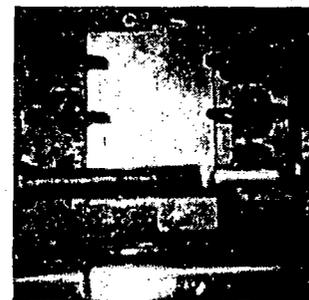
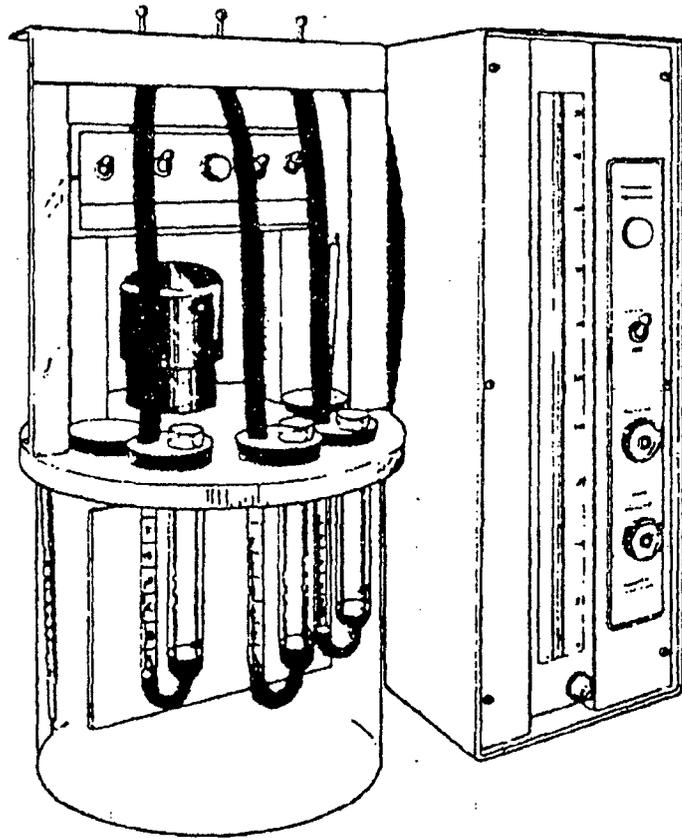


Foto 9
Después de 1 h. se
observa la recupera-
ción elástica de
los moldes de asfalto



**Viscosímetro de Tubo Capilar en un Baño de
Temperatura Constante**

PUNTO DE INFLAMACION: ASTM D-92



Foto 1
Cargando muestra de asfalto
en la copa de bronce

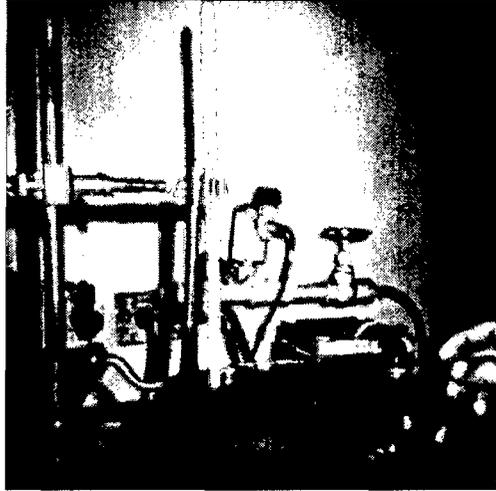


Foto 2
Calentando la muestra

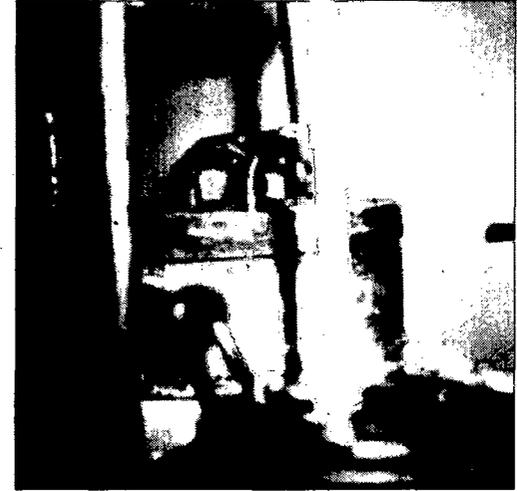


Foto 3
Temperatura del Punto de
Inflamación

PUNTO DE ABLANDAMIENTO ASTM D-36

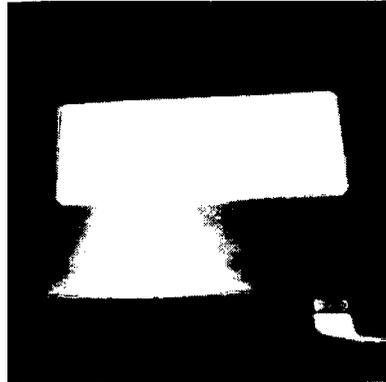


Foto 1
Anillos de bronce
ligeramente
amalgamados



Foto 2
Cargando muestra de
asfalto en los anillos
con un ligero exceso

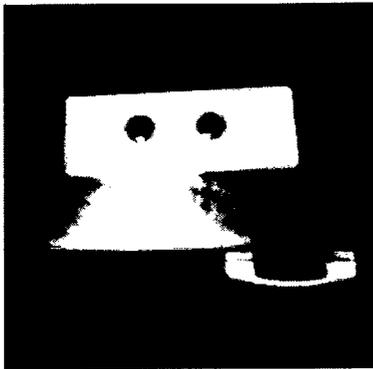


Foto 3
Muestra de asfalto
enfriando a temperatura
ambiente

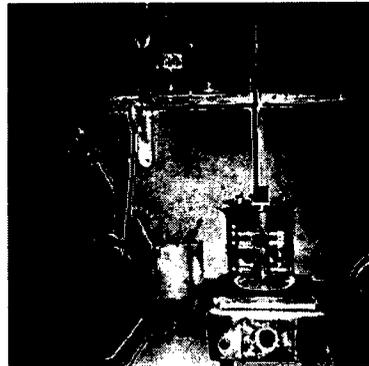


Foto 4
Calentamiento de la
muestra

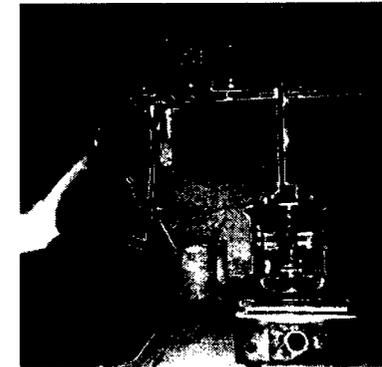
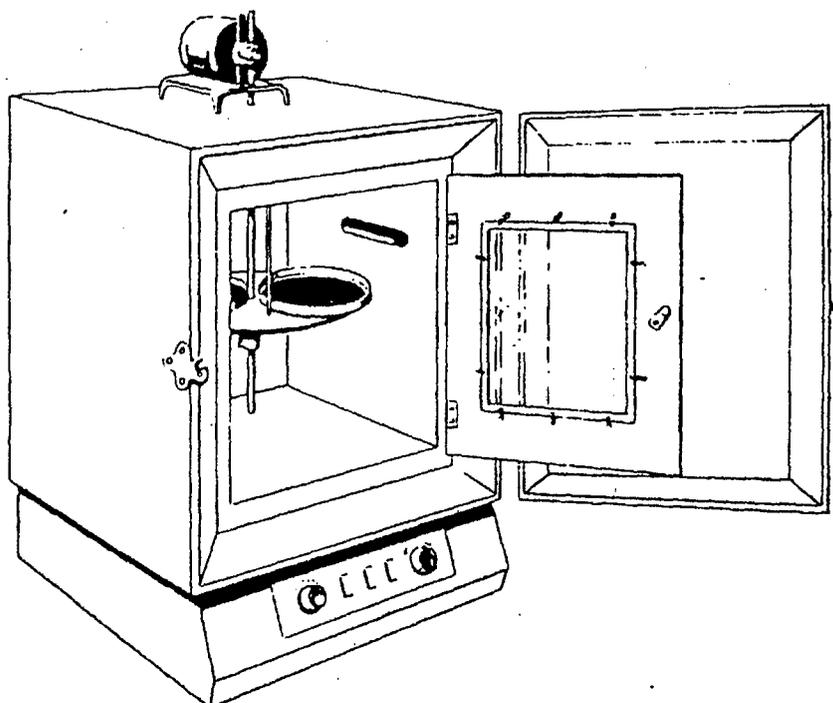
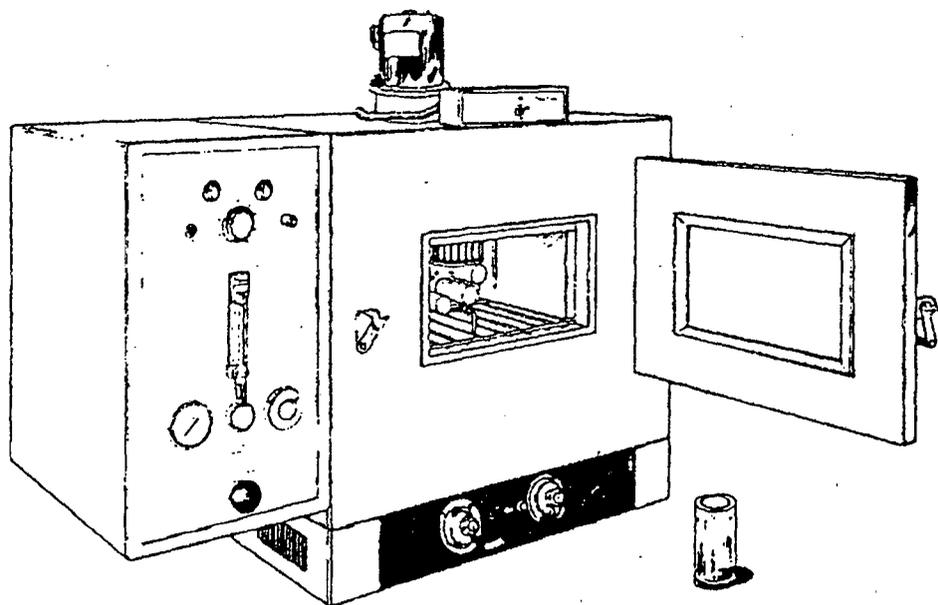


Foto 5
Temperatura del
Punto de Ablandamiento



Prueba de Película Delgada en Horno



Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio

PELICULA FINA: ASTM D-1754

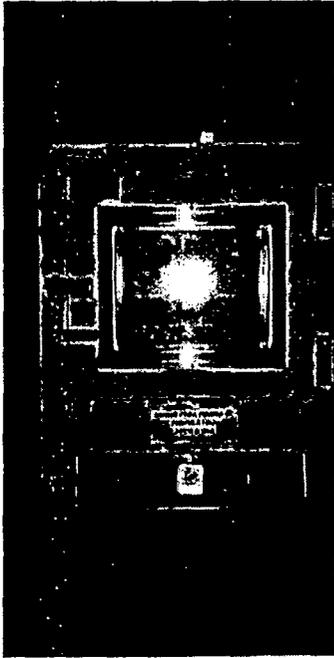


Foto 1
Horno para Prueba
de Película Fina

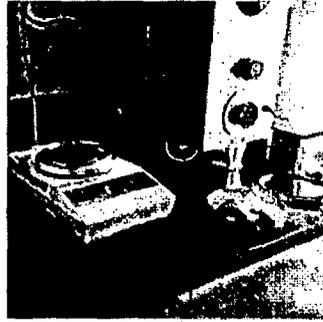


Foto 3
Platos
conteniendo
50 gr de
asfalto



Foto 4
Colocando
muestras de
asfalto en
el Horno

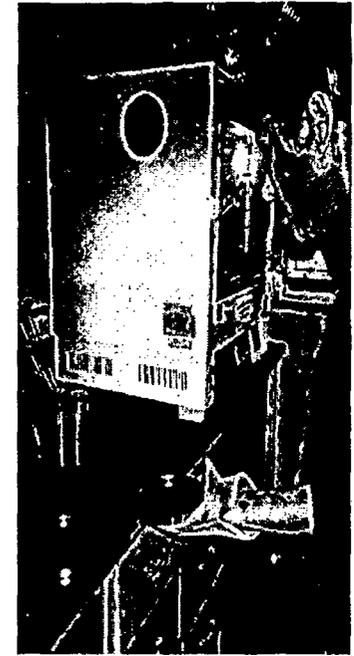


Foto 7
Muestra de asfalto
envejecido

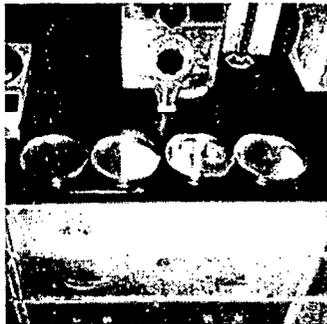


Foto 2
Platos de
acero
inoxidable

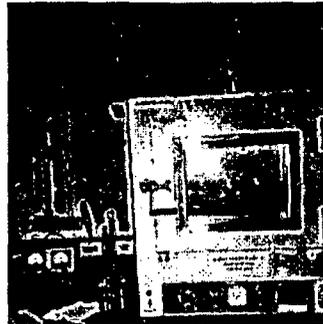


Foto 5
Muestras de
asfalto en
el Horno a
163°C y 5
rpm



Foto 6
Sacando
muestras de
asfalto luego
de 5 horas

PUNTO DE RUPTURA FRAASS: IP 80/87

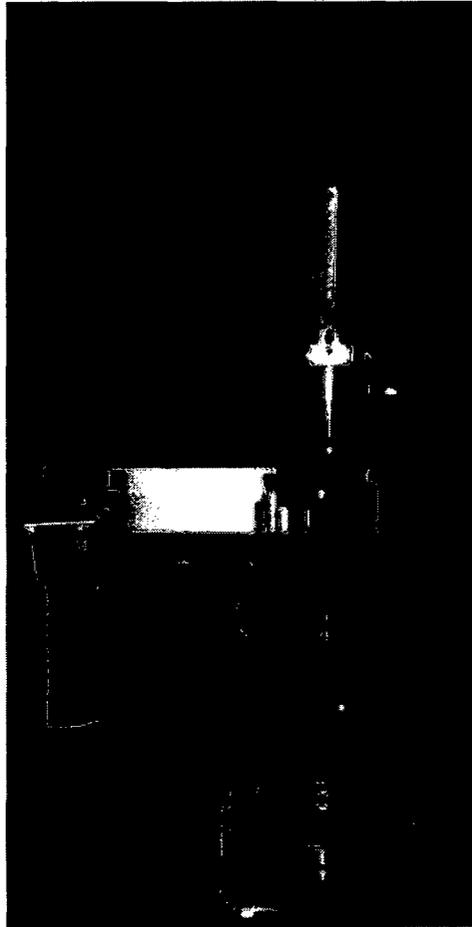


Foto 1
Equipo para determinar el
Punto de Ruptura FRAASS

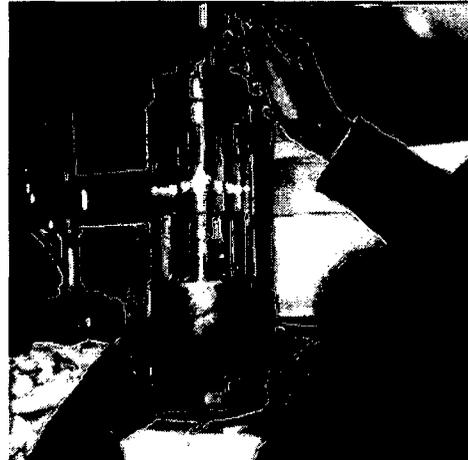


Foto 2
Equipo conteniendo acetona en
el cilindro exterior y en el
cilindro interior la placa de
acero recubierta con asfalto

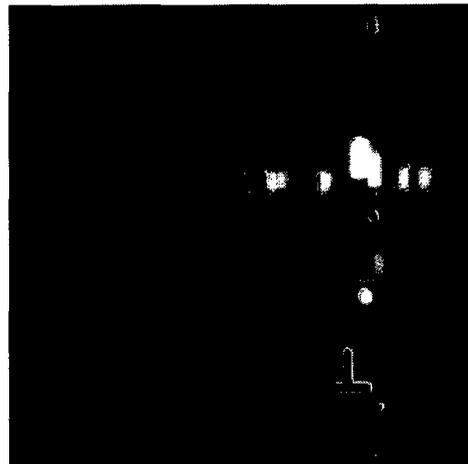


Foto 3
Flexionando la placa hasta que
aparezca una fisura en la
muestra

SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO: ASTM D-2042



Foto 1

Cargando muestra de asfalto en un erlenmeyer



Foto 2

Agitando erlenmeyer conteniendo la muestra de asfalto y tricloroetileno

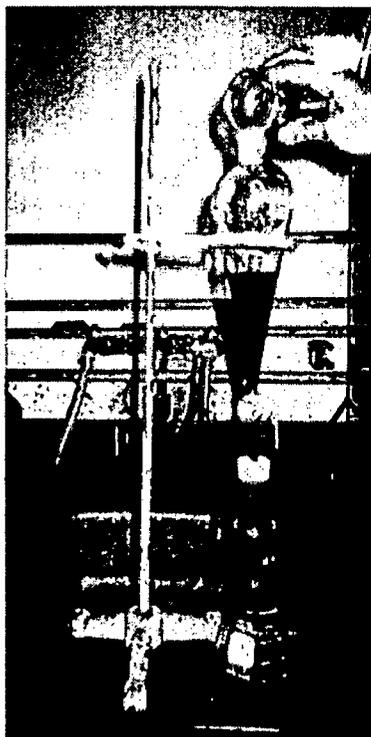


Foto 3

Filtrando la muestra en un crisol Gooch previamente tratado

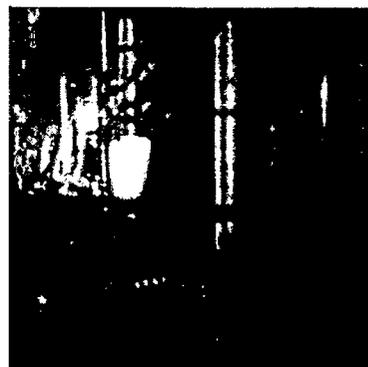


Foto 4

Colocando el crisol en una estufa a 105°C por 15 minutos

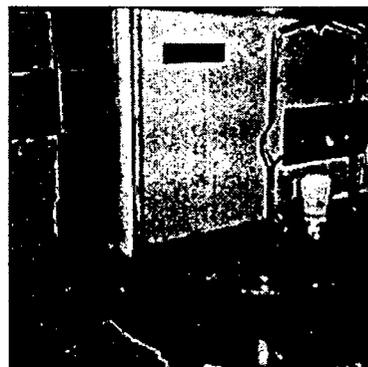


Foto 5

Pesando el crisol luego de ser enfriado en un desecador

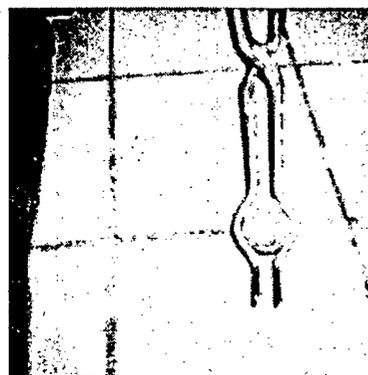


Foto 6

Crisol conteniendo material insoluble en tricloroetileno

V.7 CARACTERISTICAS

- Como propiedades físicas, se puede señalar, que el cemento asfáltico es un aglomerante resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero, es un material plástico que da flexibilidad controlable a las mezclas de áridos, con las que se combina, es resistente a los álcalis, ácidos y sales.
- Actualmente se puede establecer que prácticamente todo el cemento asfáltico producido y utilizado en trabajos de vialidad, son provenientes de la destilación de los crudos de petróleo.
- Generalmente los cementos asfálticos son viscoelásticos, siendo sus propiedades de flujo complejas. Su comportamiento depende de la temperatura y del tiempo de aplicación de carga.

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

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

- La durabilidad de un ligante asfáltico, a su capacidad de mantener sus propiedades cohesivas y cementantes, durante la vida útil del pavimento.
- Durante la fabricación de las mezclas asfálticas, proceso de corta duración pero crítico, en razón de la elevada temperatura y al pequeño espesor de la película de asfalto que recubren a los agregados, el asfalto sufre un proceso de alteración irreversible, como consecuencia de la evaporación de fracciones volátiles y absorción de las componentes por parte de los

agregados. Durante el período de servicio, la formación de estructuras y polimerización, tiene lugar con el correr del tiempo.

V.8 ALMACENAJE Y TRANSPORTE

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

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

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

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

V.9 USOS TÍPICOS DE ASFALTOS DE PAVIMENTACIÓN

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

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

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

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

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

V.10 PLANTAS DE ASFALTO EN EL PERU

Se mencionaran algunas plantas importantes que trabajan en nuestro país.

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

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

En Lima se pueden localizar cinco (6) plantas de Asfalto pertenecientes a empresas particulares, las cuales a continuación se mencionan:

- Asfaltos Especiales Del Perú S.R.L (Santa Clara – Ate).
- C.A.H S.A (La Gloria – Ate).
- Bitumen S.A (La Gloria – Ate).
- DITRANSERVA S.A.C (La Gloria – Ate).
- TyT S.A (La Gloria – Ate).
- MORO S.R.L (La Gloria - Ate).

Catorce partes principales

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. Tolva fría | 8. Unidad de cribado |
| 2. Compuerta de alimentación en frío | 9. Tolvas calientes |
| 3. Elevador de material en frío | 10. Caja pesadora |
| 4. Secador | 11. Unidad de mezclado - amasadero |
| 5. Colector de polvo | 12. Deposito de relleno mineral |
| 6. Chimenea de escape | 13. Deposito de cemento asfáltico caliente |
| 7. Elevador de material en caliente | 14. Cuba de pesado de asfalto |

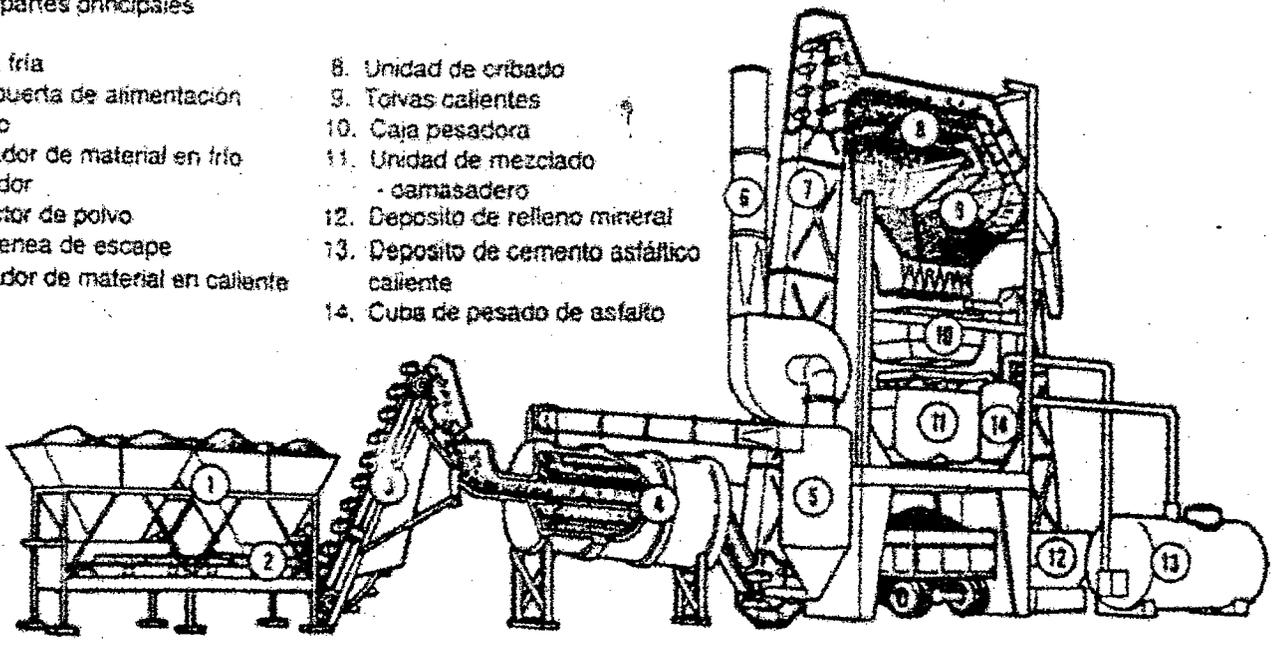


FIGURA 4.1 - Vista en Corte de una Planta de Dosificación.

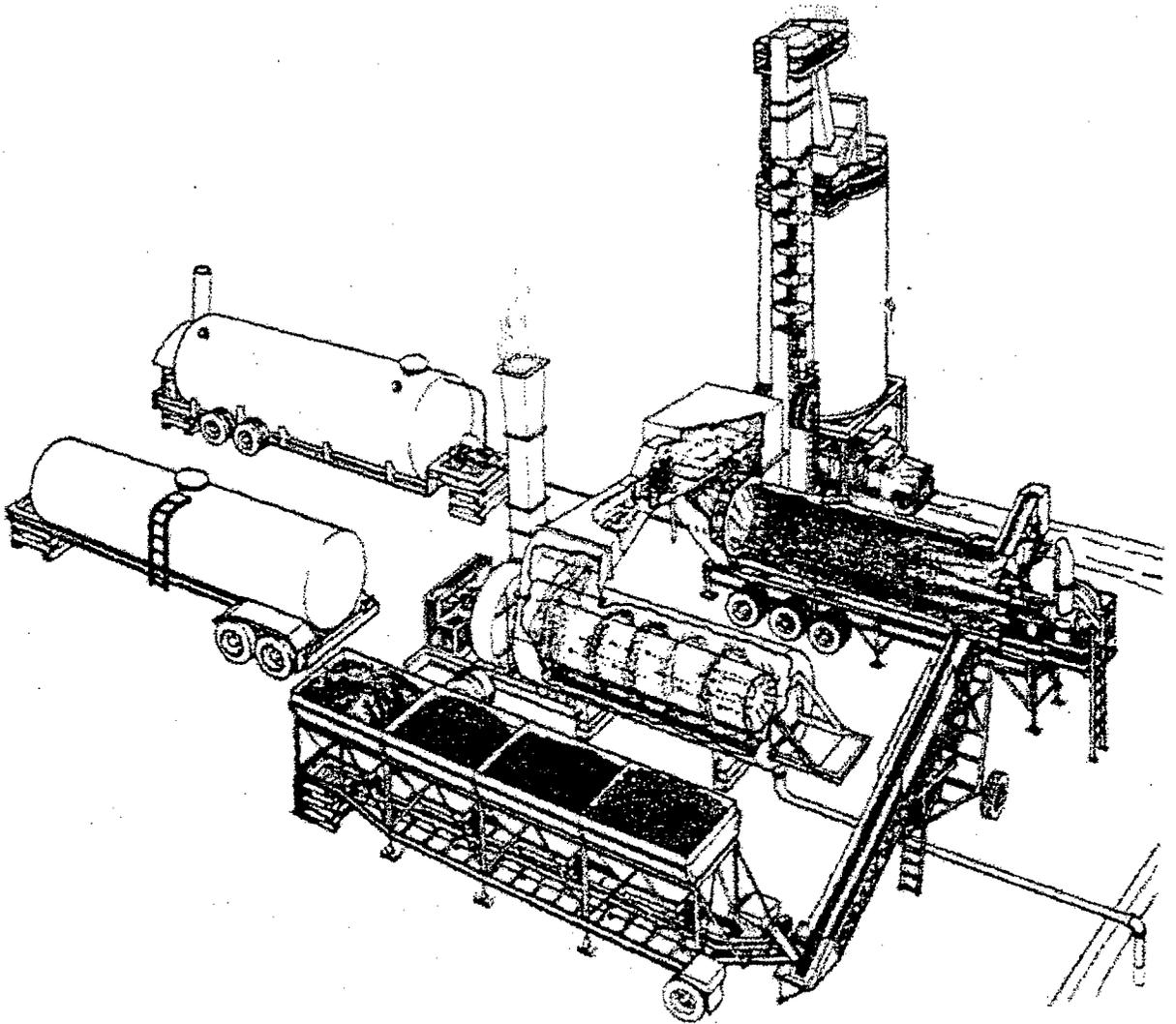


FIGURA 4.2 - Planta Mezcladora de Tambor.

CAPITULO VI

ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS

VI.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.

VI.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 Vitrea, 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

V I.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.

V I.3.1 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.

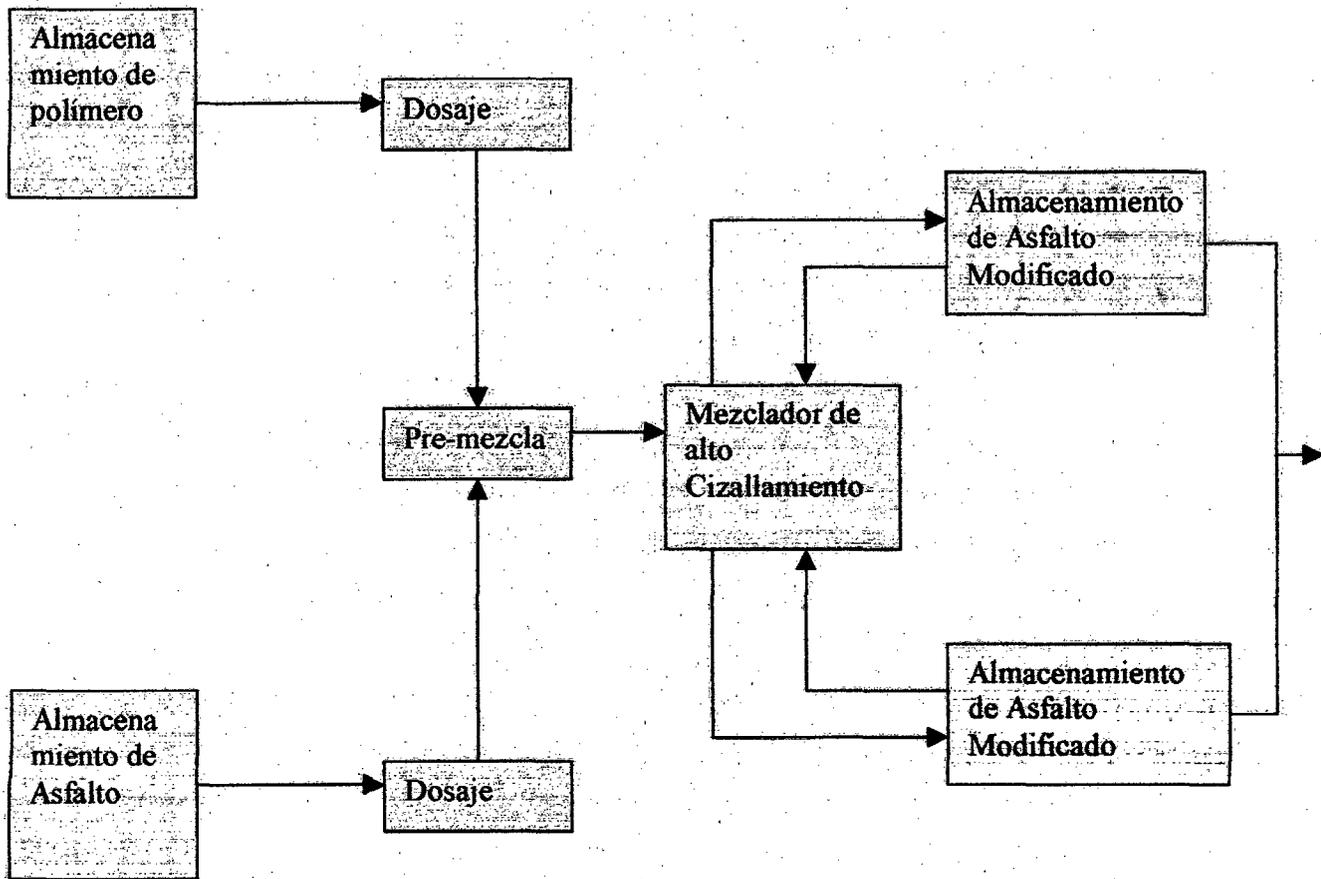
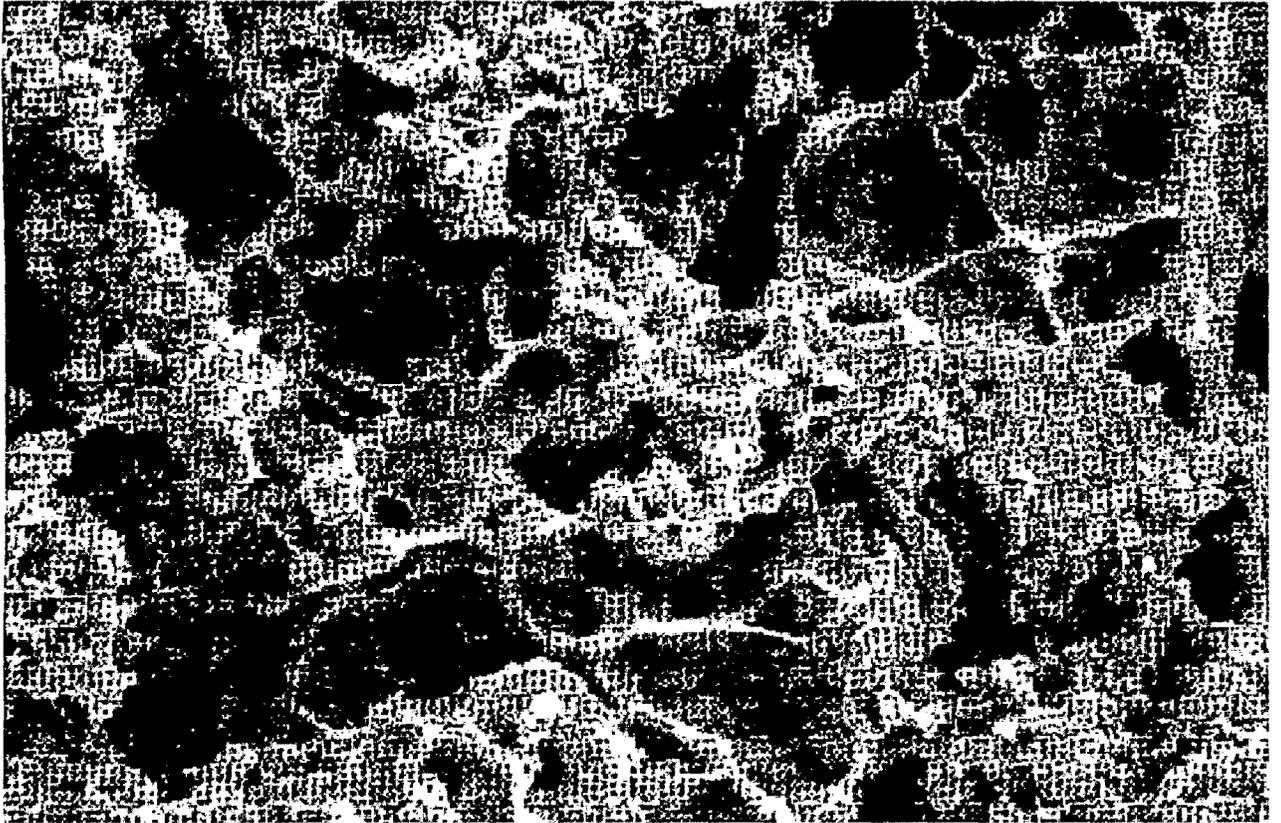


Fig. DIAGRAMA DE PRODUCCIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS CON ELASTÓMEROS TERMOPLÁSTICOS ESTIRENICOS



MEZCLA ASFALTO- POLÍMERO

V.1.4 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.

VI.4.1 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.

VI.4.2 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.

VI.4.3 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.

VI.4.4 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.

VI.4.5 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.

V I.5 CAMBIOS EN LAS PROPIEDADES DEL ASFALTO

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

V I.6 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.

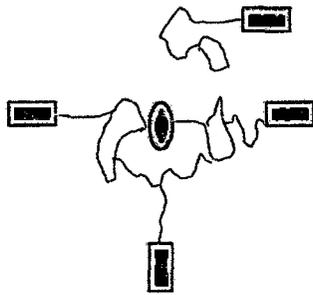
TERCERA ETAPA

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

MECANISMOS DE MODIFICACIÓN

PRIMERA ETAPA:

El Polímero esta completamente encogido.



Fracción de Estireno

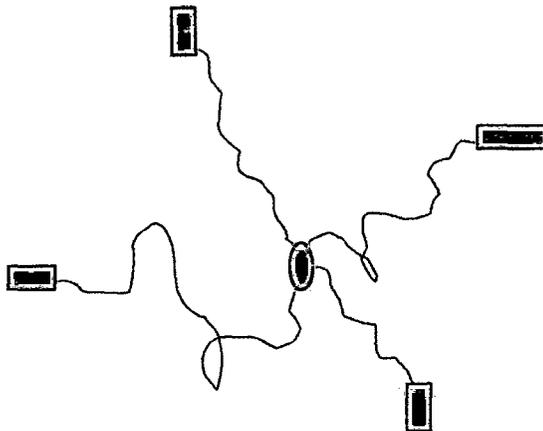


Fracción de Butadieno.

POLIMERO EN COMPLETO ESTADO DE REPOSO

SEGUNDA ETAPA:

El Polímero comienza a desenredarse por absorción del aceite contenido en el asfalto.

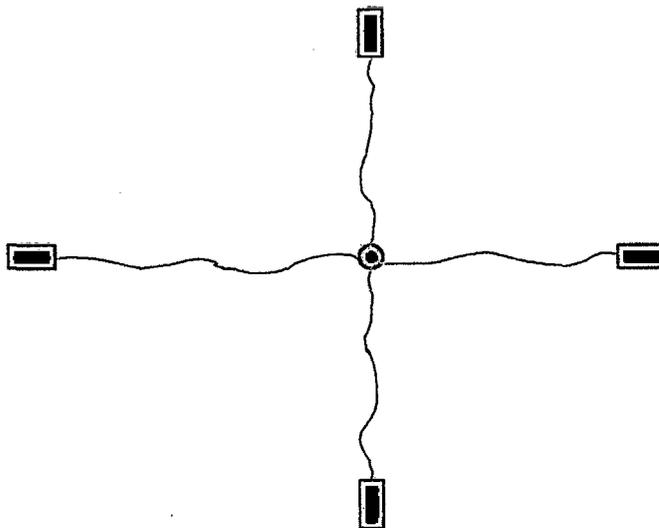


El aceite del asfalto impregna e hincha al polímero.

MUESTRA AL POLIMERO EN DISOLUCIÓN

TERCERA ETAPA:

El Polímero extendido en completo estado de disolución.



**POLIMERO EN DISOLUCIÓN CON BAJA MOVILIDAD DENTRO DEL
ASFALTO POR SU GEOMETRÍA Y POR ANCLAJE CON OTROS
CONVENIENTES.**

V I.7 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.

V I.8 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

V.I.9 ESTUDIOS EXPERIMENTALES

V.I.9.1 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 contrarestren 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 Polimeros - 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.J. 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).**

VI.9.2 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 Polímeros.

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 VII

EVALUACION Y ENSAYOS DE LAS COMPONENTES DE UNA MEZCLA ASFALTICA

VII.1 EVALUACION DE LOS AGREGADOS

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

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

A). AGREGADO GRUESO:

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

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

CANTERA :

LA GLORIA (ATE) Piedra

CONTROL DE CALIDAD DEL AGREGADO GRUESO

ANÁLISIS GRANULOMETRICO

MALLAS	PIEDRA	
	%RETENIDO	%PASA
3/4"		100
1/2"	1	99
3/8"	2	97
1/4"	48	49
No 4	37	12
No 6	9	3
No 8	2	1
No 10	1	

ENSAYOS DEL AGREGADO GRUESO:

ENSAYO	VALOR	ESPECIFICACIÓN
Peso Unitario Sin Vaillar (Kg/m ³)	1470	-
Peso Unitario Varillado (Kg/m ³)	1577	-
P.E Bulk (Base Seca) (g/cc)	2,719	-
P.E Bulk (Base Saturada) (g/cc)	2,750	-
P.E Aparente (Base Seca) (g/cc)	2,605	-
Absorción %	1.12	máx. 1 %
Abrasión %	22.6	40 % máx.
Sales Solubles Totales %	0.0088	0.5 máx.
Durabilidad 5c, Na ₂ SO ₄	2.42	12 % máx.
Adherencia Piedra	+95 %	+ 95 %

B). AGREGADO FINO:

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

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

CANTERA:

CERRO CAMOTE (ATE):Arena

CONTROL DE CALIDAD DEL AGREGADO FINO

ANÁLISIS GRANULOMETRICO

MALLA	ARENA	
	%RETENIDO	%PASA
3/8"		100
1/4"	4	96
No 4	6	90
No 6	13	77
No 8	9	68
No 10	4	64
No 16	15	49
No 20	8	41
No 30	8	33
No 40	6	27
No 50	4	23
No 80	4	19
No 100	2	17
No 200	13	4
-200	4	-

ENSAYOS DEL AGREGADO FINO:

ENSAYO	VALOR	ESPECIFICACIÓN
Peso Unitario Sin Varillar (Kg/m ³)	1473	-
Peso Unitario Varillado (Kg/m ³)	1714	-
P.E Bulk (Base Seca) (g/cc)	2,645	-
P.E Bulk (Base Saturada) (g/cc)	2,671	-
P.E Aparente (Base Seca) (g/cc)	2,715	-
Absorción %	0.98	1 % máx.
Impurezas Orgánicas	Aceptable	-
Sales Solubles Totales %	0.044	0.5% máx.
Durabilidad 5c, Na ₂ SO ₄	2.91	12 % máx.
Equivalente de Arena %	77,0	min. 50 %
Índice de plasticidad Mat.< 200, %	N.P	N.P
Adherencia Arena (Riedel Weber)	1 - 7	4% mín.

C). FILLER O RELLENO MINERAL:

Es aquel material que se emplea para el relleno de vacíos de mezcla, que actúa como espesante y mejorador de la adherencia del par agregado-asfalto.

El filler puede ser cemento Pórtland, cal hidratada, polvo de roca u otra sustancia no plástica que tenga propiedades cementantes.

Este material no tendrá partículas extrañas y estará perfectamente seca para que pueda fluir libremente. Su granulometría cumplirá con las siguientes especificaciones.

FILLER UTILIZADO: Cal Hidratada (CaO)85.21%

CONTROL DE CALIDAD DEL FILLER

ANÁLISIS GRANULOMETRICO

MALLA	% PASA	ESPECIFICACIÓN
No 30	100	100
No 50	97.4	95 - 100
No 200	81.96	70 - 100

V 11.2 CEMENTO ASFALTICO:

Tipo PEN 60/70, procedente de la Refinería Conchán (PETROPERU). Material al cual se le ha sometido a rigurosas pruebas de calidad (Laboratorio de Control de Calidad de PETROPERU) cuyos resultados se adjuntan y fueron verificados en el laboratorio del MTC.

V 11.3 ADITIVO POLIMERO:

Nombre Comercial: SBR (Estireno Butadieno Rubber).

Tipo : Polímero Elastomérico

Apariencia : Látex Sintético.

Empresa : BASF PERUANA S.A.

Material que ha sido sometido a pruebas de calidad en los laboratorios de BASF, y cuyos resultados se adjuntan.



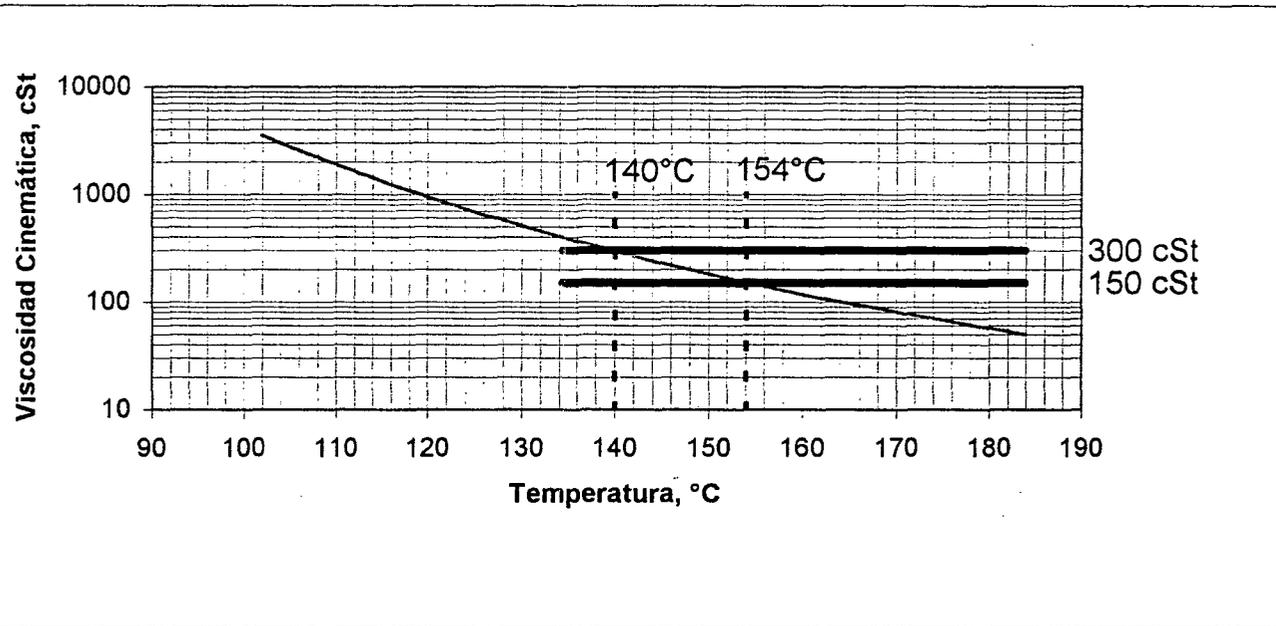
REFINERIA CONCHAN

CERTIFICACION C.A. 60/70

Nº GRCO-LAB-1322-2001

FECHA DE REPORTE: 06.11.2001	FECHA DE RECEPCION: 06.11.2001	EMBARQUE Nº:			
HORA DE RECEPCION: 5:45 a.m.	PROCEDENCIA: DPTO. REFINACION	BUQUE/TANQUE:			
TANQUE DE TIERRA: 47	VOLUMEN CERTIFICADO:	DESTINO: TERMINAL CONCHAN.			
PROPIEDADES	METODO ASTM	OTRO METODO	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIONES	
				Min.	Máx.
PENETRACION:					
a 15°C, 100 gr, 5 seg.	D 5				
a 25°C, 100 gr, 5 seg.	D 5		65	60	70
a 35°C, 100 gr, 5 seg.	D 5				
DUCTILIDAD:					
a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113		>150	100	
FLUIDEZ:					
- Viscosidad Cinemática a 100°C, cSt	D 2170		4,138		
- Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt	D 2170		384	200.0	
- Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	D 2171				Reportar
COMPOSICION:					
Contenido de Parafinas, % Masa		UOP 46			Reportar
SOLUBILIDAD:					
Solubilidad en Tricloroetileno, % Masa	D 2042		99.5	99.0	
Prueba de la Mancha, 10 % Xileno		T 102	NEGATIVO		Reportar
VOLATILIDAD:					
Punto de Inflamación, C.O.C., °C	D 92		295	232	
DENSIDAD:					
Gravedad API	D 70		7.3		Reportar
Gravedad Especifica a 60/60°F	D 70		1.0195		Reportar
SUSCEPTIBILIDAD TERMICA:					
Punto de Fractura FRAAS		IP 80/87			Reportar
Punto de Ablandamiento, °C	D 36		48.6		Reportar
Índice de Penetración		RLB1-1964	0.3		Reportar
Efecto de Calor y Aire (Película Fina):					
- Pérdida por calentamiento, % Masa			0.4		0.8
- Penetración Retenida, % de la Original			65	52	
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113		145	50	
- Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt	D 2170				Reportar
- Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	D 2171				Reportar
ADHERENCIA:					
Revestimiento %	D 3625		> 95		Reportar
OBSERVACIONES:					
La temperatura óptima de mezcla para este producto se encuentra entre : 140°C a 154°C					
PRODUCTO EN ESPECIFICACION.					
APTO PARA SU VENTA.					
Original : Solicitante	ANALIZADO POR:		APROBADO POR:		
Copia 1 : Operaciones	ISMAEL HUAMAN VASQUEZ		JOSE ESTRADA VALVERDE		
Copia 2 : Laboratorio	Nº Ficha 34297		Jefe de Laboratorio		
06.11.2001 13:25			Ficha: 32137		

Carta Viscosidad - Temperatura ASTM D 341
Rango de Temperatura Optima de Mezcla
TQ. 47 - C. A. 60/70 PEN. - 06.11.01 - 05:45 Horas



Certificate of Analysis

Customer:	BASF PERUANA SA AV OSCAR R BENAVIDES NO 5915 CASILLA 3911 LIMA 10	, PERU	CofA #:	68898
Attention:			Prod Number:	528493
Fax:			Prod Name:	BUTONAL NX 1129X
Cust Prod #:			Article #:	
Cust Prod Name:			Deliv Note #:	25693693
			Batch/Lot:	091800
			Kolli:	
			Vehicle #:	
			Customer #:	0003506
			Cust PO:	9181001

<i>Characteristic</i>	<i>Result</i>	<i>Specification</i>	<i>Test Meth</i>
Solids	70.5 %	70.0 to 72.0	UUQ002
Viscosity	1610. cps	1000 to 2000	UUQ001
pH	10.7 SU	10.0 to 10.7	UUQ000
Coagulum	0.0067 %	Less, Equal to 0.0350	UUQ000

Comments:

DISCLAIMER: The information contained herein is based on either on analytical test of samples or on statistical process data: it
warranties of the product are exclusively as set forth in the applicable contract documents.

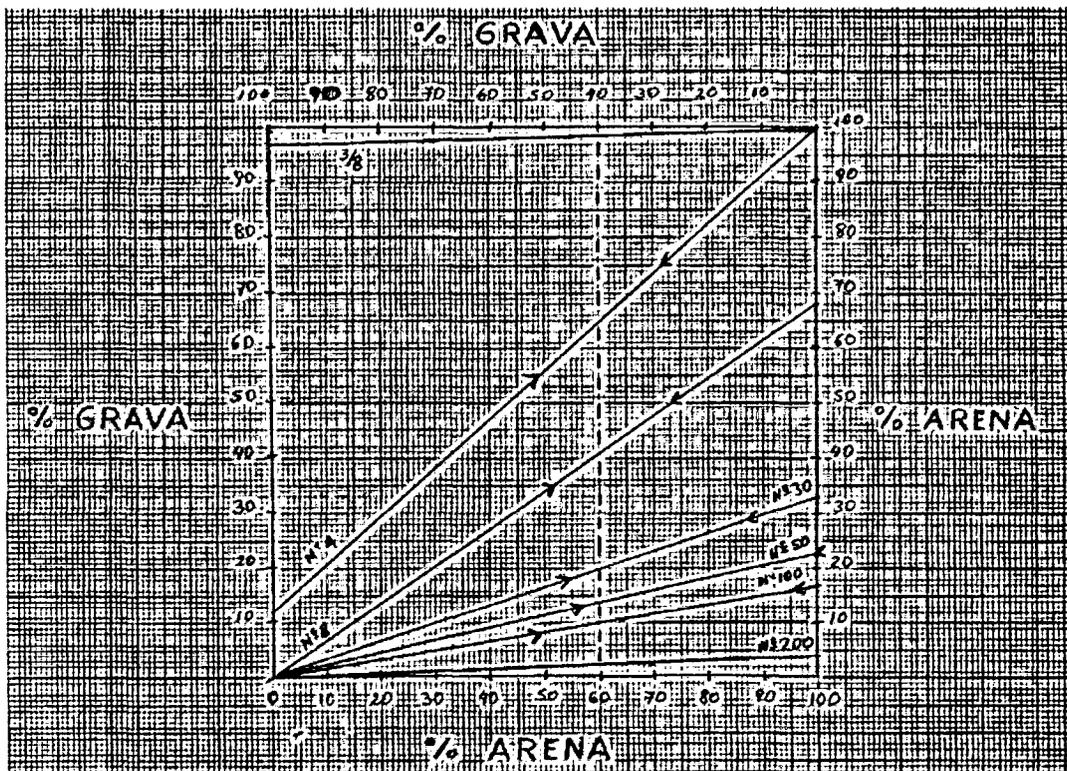
THIS CERTIFICATE OF ANALYSIS HAS BEEN PRODUCED ELECTRONICALLY AND IS VALID WITHOUT A SIGNATURE

MEZCLA DE AGREGADOS

TAMIZ	%PIEDRA	%ARENA	%MEZCLA	ESPECIFICACIÓN
3/4	100			
1/2	99			100
3/8	97	100	98.8	80 – 100
1/4	49	96	77.2	
Nº4	12	90	58.8	55 – 75
Nº6	3	77	47.4	
Nº8	1	68	41.2	35 – 50
Nº10		64	38.4	
Nº16		49	29.4	
Nº20		41	24.6	
Nº30		33	19.8	18 – 29
Nº40		27	16.2	
Nº50		23	13.8	13 – 23
Nº80		19	11.4	
Nº100		17	10.2	8 – 16
Nº200		4	2.4	4 – 10

NOTA : La Especificación corresponde a una mezcla asfáltica del tipo IVA

PROPORCIONAMIENTO DE AGREGADOS (METODO DEL CUADRADO)



Piedra = 40%
 Arena = 58%
 Filler(cal) = 40%

VII.4 PREPARACIÓN DE LA PRE-MEZCLA:

Para la preparación de la Pre-mezcla se utilizaron criterios de mezclado, en condiciones controladas que favorezcan la recirculación provocando el total contacto de la masa de asfalto con el polímero con agitado a velocidad, temperatura y tiempo de acuerdo al tipo de polímero y naturaleza del asfalto.

El polímero SBR estudiado fue adicionado lentamente al asfalto previamente calentado a temperatura no menos de 170°C, tiempo y velocidad, de acuerdo a las características del polímero, el tiempo de agitación dependió de que la mezcla sea homogénea sin la formación de espuma y que el agua se evapore completamente hasta obtener una viscosidad trabajable.

Velocidad = 3500 rpm.

Temperatura de mezclado = 165 - 180°C

Tiempo de agitación = 1:30 - 1:40 horas.

a). CARACTERÍSTICAS DE ASFALTOS MODIFICADOS

Los ensayos que se utilizaron para determinar la caracterización de asfaltos modificados se indica en la tabla de resultados que se adjunta.

Los asfaltos presentan un comportamiento reológico tipo Viscoelástico, es por eso que al adicionar un polímero además de varias otras propiedades se incrementa su comportamiento elástico.

En el momento de la pre – mezcla, se puede apreciar la alta viscosidad que alcanza la mezcla, motivo por el cual no se pudieron realizar algunos ensayos en laboratorio debido a la dificultad en utilizar la mezcla en los equipos.

b). ESPECIFICACION PARA ASFALTOS MODIFICADOS

En Europa como EEUU se conocen Especificaciones para asfaltos modificados.

- Especificaciones Guía propuesta por Shuler y Colaboradores de la Federal Highway Administration de los EEUU.
- Especificación TL PmB Teil 1 – 91.
- Ver algunas es Especificaciones en Anexos.



Preparación de la Pre mezcla
Cemento asfáltico + Polímero (SBR)

CUADRO DE RESULTADOS

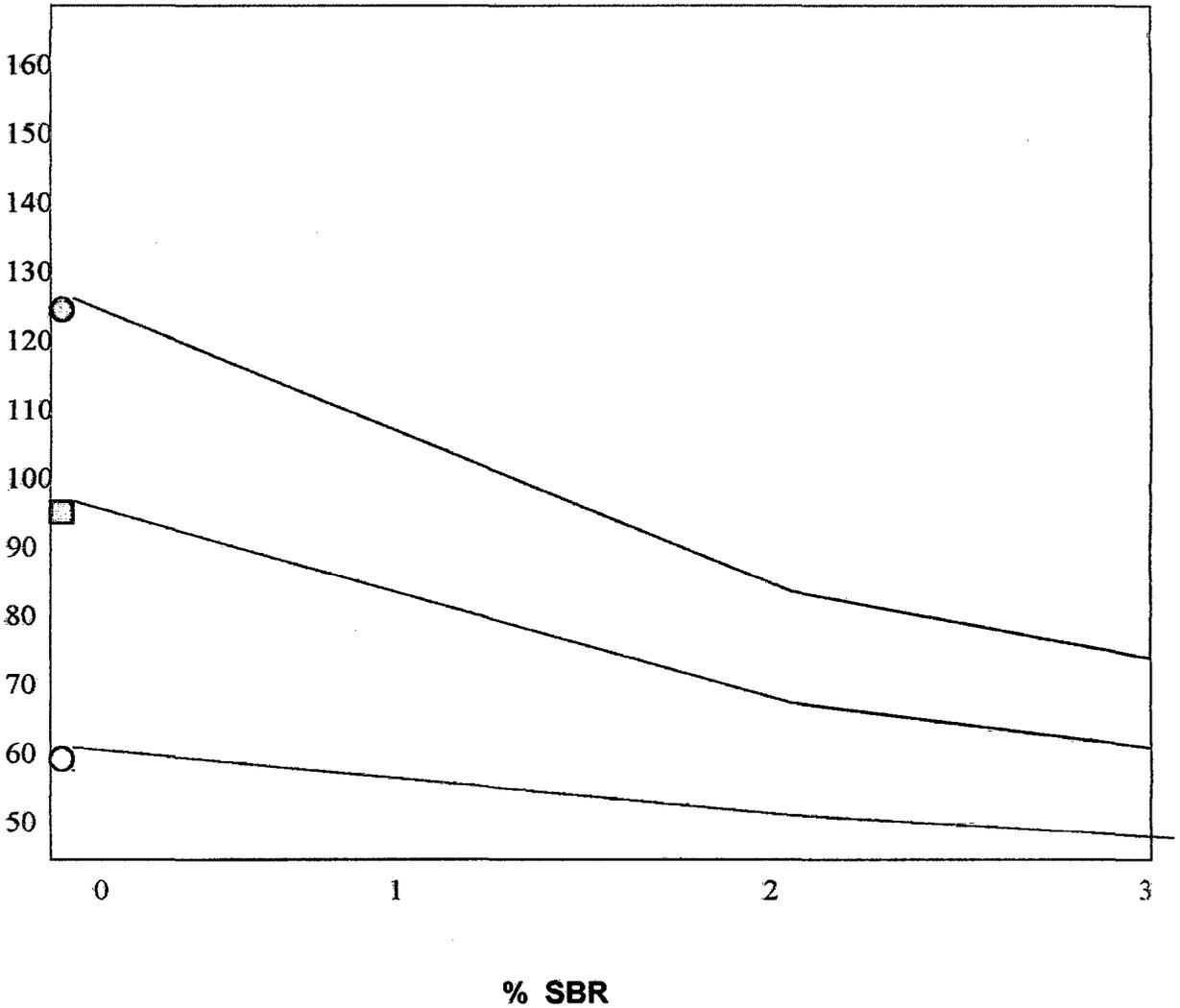
CEMENTO ASFALTICO MODIFICADO CON POLIMERO SBR	60 – 70 3%	85 – 100 3%	120 – 150 3%
SOBRE EL LIGANTE ORIGINAL			
Peso Específico a 25°C / g/cc ASTM D – 70	1.01	1.00	1.00
Penetración a 5 seg., 100gr mm/100: 25°C ASTM D-5	56	67	77
Recuperación Elástica ASTM D – 113 Modificado			
-Ductilidad a 25 °C, cm	-	53	45
-Ductilidad a 13°C, cm	-	40	36
-Ductilidad a 7°C, cm	-	34	34
Determinación del IP(Susceptibilidad Térmica)	+0.9	+1.07	+1.4
Punto de Ablandamiento. °C ASTM D-36	66	56.8	67.2
Punto de Inflamación COC °C, ASTM D – 92	280	286.5	259
Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt, ASTM D-2071	-	2400	2360
SOBRE EL RESIDUO DEL ENSAYO DE PELÍCULA DELGADA (TFOT)			
Pérdida de Peso por Calentamiento, %	0.35	0.243	0.97
Penetración a 25°C, ASTM D-5	40	48	70
Punto de Ablandamiento, °C, ASTM D-36	70	62.5	54.6
Recuperación Elástica ASTM D-113 Modificado			
-Ductilidad a 25°C, cm	-	50	34
-Ductilidad a 13°C,cm	-	40	20
-Ductilidad a 7°C,cm	-	35	31

COMENTARIOS:

- En la tabla se adjunta, el trabajo de investigación con cementos asfálticos modificados, utilizando asfaltos de penetración 85 –100 y 120 – 150 procedente de la Refinería de Conchán, trabajo realizado por la Ing. Mercedes Sancho Ponce (M.T.C).
- No se pudo realizar los ensayos de Recuperación Elástica ASTM D – 113 modificado y Viscosidad Cinemática debido a la dificultad que se encontró para realizar la prueba (Alta viscosidad del cemento asfáltico modificado).

**VARIACION DE LA PENETRACION A 25°C CON EL PORCENTAJE DE
POLIMEROS SBR**

PEN (0.1mm)

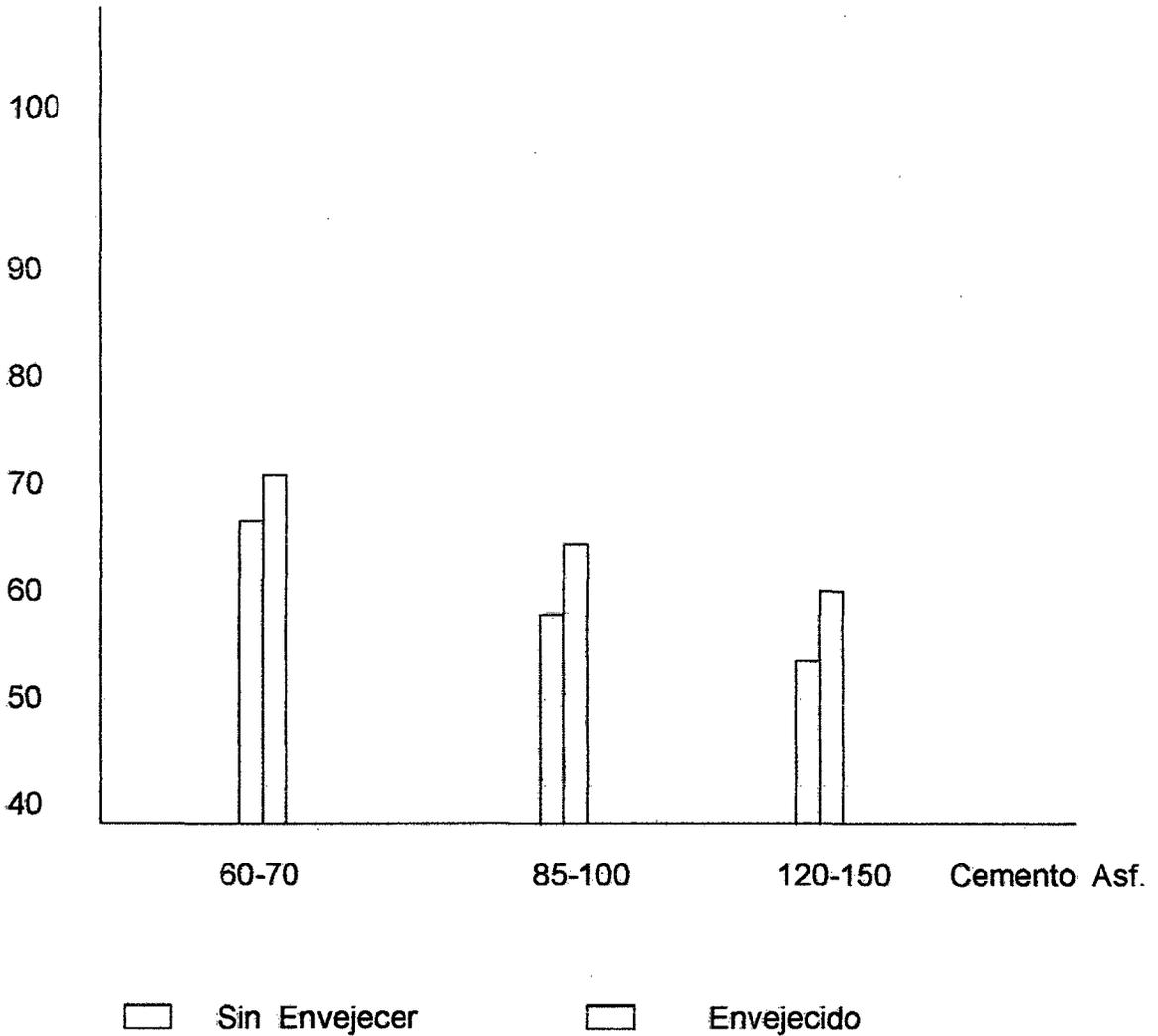


- Normal (C.A. 120 - 150)
- Normal (C.A. 85 - 100)
- Normal (C.A. 60 - 70)

- Del gráfico de Ensayo de Penetración efectuado a los asfaltos modificados con polímero SBR a diferentes concentraciones se observa que ésta decrece en forma más ó menos lineal indicando un incremento de consistencia y dureza.

VARIACIÓN DEL PUNTO DE ABLANDAMIENTO (3% SBR)

Pto Abland. (°C)



-Se puede observar del gráfico, que las mezclas con asfaltos modificados con polímeros envejecidos dan mayor valor (mayor resistencia) que los asfaltos originales.

VII.3 PREPARACION DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

METODO MARSHALL (ASTM-D1559)

V II.3.1 DESCRIPCIÓN DEL METODO: Primeramente debemos tener en consideración lo siguiente:

- 1** -Que los materiales a utilizar cumplan con las especificaciones del proyecto.
- 2** -Que la combinación de agregados cumplan con las exigencias de granulometría de las especificaciones del proyecto.
- 3** -Que se calcule el peso específico bruto de todos los agregados utilizados en el diseño de la mezcla con el fin de efectuar los análisis de densidad y vacíos y que con el mismo propósito se determina el peso unitario del cemento asfáltico.

Estos requisitos son parte rutinaria de los ensayos que deben de considerarse a pesar de no ser asunto particular a método alguno de diseño.

El método Marshall de diseño de mezclas asfálticas consiste en:

- a) Preparación de las muestras.
- b) Determinación del peso específico bruto.
- c) Ensayos de Estabilidad y Fluencia.
- d) Análisis de Densidad – Vacíos.

En el método Marshall se usan probetas compactadas de 4" de diámetro y 2 ½" de altura. Estas se preparan siguiendo el método especificado de calentamiento, mezclado y compactación de la mezcla agregado – asfalto.

La estabilidad de la probeta de ensayo es la máxima resistencia a las cargas, en newtons (lbs) desarrollada a 60°C. El valor de la fluencia es el movimiento total, o deformación, en unidades de 0.25mm(0.01") que sufre la probeta durante el ensayo, desde el momento en que empieza a ser cargada hasta alcanzar la carga máxima.

Se determina la densidad y vacíos para cada probeta y cuando los valores de todas las probetas han sido calculados. Se selecciona un contenido de asfalto para el diseño, y los datos obtenidos sirven de guía para los ensayos adicionales.

VII.3.2 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE ENSAYO:

Al efectuar el estudio del contenido óptimo de asfalto para una combinación o granulometría particular de los agregados, mediante el método de Marshall, se preparan una serie de probetas con diferentes contenidos de asfalto dentro de los amplios límites de manera que los resultados de los ensayos muestren gráficamente, en una curva, el contenido óptimo de asfalto.

El siguiente sería el orden del procedimiento a seguir para preparar las probetas de ensayo:

- 1- Número de muestras.
- 2- Preparación de los agregados.
- 3- Determinación de la temperatura de mezclado y compactación.

- 4- Preparación del molde y del pisón de compactación.
- 5- Preparación de las mezclas.
- 6- Compactación de las probetas.
- 7- Enfriamiento y extracción de las probetas.

1- NUMERO DE MUESTRAS.- Para la determinación óptima del asfalto, éste debe ser primeramente estimado. Se destina una serie de muestras de prueba para un rango de distintos contenidos de asfalto de manera tal que las curvas de resultados de los ensayos, muestre un valor óptimo bien definidos. El contenido de asfalto debe variar en incrementos de 0.5% por lo menos con dos valores por encima y dos por debajo del valor óptimo.

2- PREPARACION DE LOS AGREGADOS.- Los agregados son secados hasta peso constante a 105°C a 110°C separados por un tamizado por vía seca en las fracciones de los tamaños deseados.

3.- TEMPERATURA DE MEZCLADO Y COMPACTACION.-Las temperaturas seleccionadas para el mezclado y compactación deben ser las que permitan una viscosidad de mezclado de 170 +/- 20Cst, y viscosidad de compactación de 280 +/- 30Cst, o dependiendo del tipo de cemento asfáltico a usar.

4- PREPARACION DEL MOLDE Y PISON DE COMPACTACION.-El molde y pison de compactación deben de estar totalmente limpios. Pueden ser calentados en baño termoestáticos o en una plancha caliente a una temperatura entre 93 y 149°C.

El molde y el pison de compactación se secan antes de ser usados y se inserta un pedazo de papel filtro absorbente, cortado a medida en el fondo del molde antes de colocar la mezcla.

5- PREPARACION DE LAS MEZCLAS.- Se usan recipientes separados para cada probeta. Se pesa en bandejas la cantidad apropiada de agregado para cada fracción. La altura deseada de la probeta es de 2.5 ± 0.05 "; esto lleva comúnmente alrededor de 1200gr de agregado.

Los agregados son calentados luego hasta 28°C por encima de la temperatura de mezclado, deseada, antes de colocarlos en el recipiente, de donde serán mezclados en caliente, disponiéndolos en forma de cráter. En este momento el agregado debe de estar dentro de los límites de la temperatura establecida para el mezclado y listo para recibir el cemento asfáltico caliente (el asfalto no debe de mantenerse a la temperatura de mezclado por mas de una hora antes de ser utilizado), que se coloca en el centro del cráter formado. El cemento asfáltico y el agregado deberán mezclarse en forma rápida, preferiblemente con una mezcladora mecánica, hasta lograr una distribución homogénea del asfalto.

6- COMPACTACION DE LAS PROBETAS.- Se ensambla el molde y se coloca un papel filtro en el fondo del mismo. Después de colocar la mezcla en el molde, se aplican con una espátula caliente 15 golpes alrededor del perímetro y 10 al centro. Se saca el collar de extensión y se alisa la superficie de la mezcla hasta lograr una forma ligeramente convexa. Antes de la compactación la temperatura de la mezcla debe de estar dentro de los límites de temperatura de compactación fijadas. Si la mezcla se ha enfriado demasiado, debe ser descartada. Nunca debe de calentarse la mezcla.

Se vuelve a colocar el collar de extensión y el molde ensamblado es colocado en el sujetador del pedestal de compactación. Se ubica el pisón en el aparato mecánico y se aplica el número de golpes preescrito (35, 50, 75). Luego se saca del sujetador el molde ensamblado. Se intercambian en el molde la posición de la base y del collar y se lo vuelve a colocar en el sujetador del pedestal. El mismo número de golpes se aplica a la otra cara de la probeta invertida.

7- ENFRIAMIENTO Y EXTRACCIÓN.- Después de la compactación se saca el plato de la base y el collar y se deja enfriar la briqueta al aire de manera tal de prevenir la deformación cuando es extraída del molde. Se puede promover un enfriamiento más rápido con ventiladores de mesa soplando sobre el molde y la briqueta.

VII.3.3 EQUIPO:

-APARATO DE ENSAYO MARSHALL.- Es un equipo accionado eléctricamente. Diseñado para aplicar cargas a través de cabezas semicirculares a una velocidad de 2 pulgadas por minuto. Lleva un anillo calibrado y un extensómetro para ensayar la muestra y un medidor Marshall para hallar el desplazamiento (flujo) a la máxima carga. Se puede reemplazar el aparato Marshall por un equipo universal para ensayos de compactación que lleve los accesorios necesarios para efectuar este ensayo.

- **UN BAÑO DE AGUA.-** De al menos 6 pulgadas de profundidad para mantener la muestra a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, mediante un calentador controlado por medio de un termostato. El tanque deberá llevar un falso fondo del recipiente.

VII.3.4 DESCRIPCION DEL ENSAYO

En el método de Marshall cada muestra compactada debe someterse a los siguientes ensayos, de acuerdo al orden siguiente:

- Determinación del peso específico bruto.
- Ensayos de Estabilidad y Fluencia.
- Análisis de la densidad y vacíos.

a). Determinación del Peso Específico Bruto.- Las medidas de los pesos para la determinación del Peso Específico Bruto pueden ser ejecutadas tan pronto como las muestras se hallan enfriado hasta la temperatura ambiente. El proceso general de este ensayo es el siguiente:

- Peso de la probeta al aire.
- Recubrimiento de la probeta con parafina fundida.
- Peso de la probeta cubierta al aire.
- Peso de la probeta recubierta o no, según el caso, sumergida en agua.
- Determinación del Peso Específico Bruto.

b). Ensayo de Estabilidad y Fluencia.- Una vez determinado el Peso Específico Bruto, se procede a realizar el ensayo de Estabilidad y deformación de la siguiente manera:

- Ajustar a cero el extensómetro que mide la deformación mediante un cilindro metálico patrón de 4 pulgadas que se coloca entre las cabezas del aparato de ensayo.
- Sumergir la muestra en un baño de agua a $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ por un periodo de 30 a 40 minutos antes de ensayar.
- Limpiar a fondo las caras interiores de las cabezas de ensayo. Lubricar las varillas guía mediante un aceite delgado para permitir que la cabeza superior se deslice sin que exista fricción.

Si se utiliza un anillo calibrado para medir la carga aplicada, asegurarse que este firmemente sujeto al indicador de presión y que este ajustado a cero.

-Una vez listo el aparato de ensayo se retira la muestra del baño de agua y se seca cuidadosamente. Colocar la muestra en la cabeza inferior y centrarla. Inmediatamente después bajar la cabeza superior y asentarla en la muestra, centrando el conjunto. Colocar el extensómetro sobre la varilla marcada.

-Aplicar la carga sobre la muestra a razón de dos pulgadas por minuto hasta que falle la muestra. El punto de fractura se define como la máxima carga aplicada a la muestra. La carga en libras requerida para fracturar a 60°C se indicará en el registro del ensayo.

-Mientras que se realiza el ensayo, mantener en su posición el extensómetro hasta el momento en que comienza a disminuir la presión en la muestra, momento en el cual se retirará dicho extensómetro y se leerá la deformación en centésimas de pulgada.

-El ensayo, a partir del momento en que se retira la muestra del baño de agua, deberá efectuarse dentro de un periodo de 30 segundos.

c) Análisis de Densidad y Vacíos.- Una vez finalizadas las pruebas de Estabilidad y deformación se efectuarán los análisis de cada una de las muestras de la siguiente manera:

-Obtener el promedio de pesos específicos de las muestras que tengan el mismo contenido de asfalto. Se descartarán valores que muestren errores. Esto

constituye el Peso Específico promedio de las probetas con un contenido dado de asfalto que es usado para las determinaciones restantes de pesos y volúmenes.

-Se determina el porcentaje de asfalto absorbido, usando el Peso Específico máximo de la mezcla asfáltica (ASTM D-2041) y el Peso Específico bruto del agregado. Se expresa como un porcentaje del peso de los agregados. Si se va a realizar un análisis exacto de los vacíos, debe tenerse en cuenta este asfalto absorbido.



ALTA ADHESIVIDAD ARIDO-LIGANTE MODIFICADO

RESULTADOS DE LA PRUEBA MARSHALL

MEZCLA SIN MODIFICAR

# BRIQUETA	1	1A	1B
% C.A	4.0	4.0	4.0
% GRUESO	38.4	38.4	38.4
% FINO	55.68	55.68	55.68
% FILLER	1.92	1.92	1.92
% VACIOS	8.5	9.2	7.9
V.M.A	16.6	17.3	16.2
% VACIOS LLENADOS ASFALTO	48.8	46.8	51.2
FLUJO	10.1	11.5	13.5
ESTABILIDAD	1760	1540	2188

# BRIQUETA	2	2A	2B
% C.A	4.5	4.5	4.5
% GRUESO	38.2	38.2	38.2
% FINO	55.39	55.39	55.39
% FILLER	1.91	1.91	1.91
% VACIOS	5.6	6.6	6.3
V.M.A	15.1	16.1	15.7
% VACIOS LLENADOS ASFALTO	62.9	59.0	59.4
FLUJO	11.9	9.7	14.5
ESTABILIDAD	2446	2081	1952

# BRIQUETA	3	3A	3B
% C.A	5.0	5.0	5.0
% GRUESO	38.0	38.0	38.0
% FINO	55.10	55.10	55.10
% FILLER	1.90	1.90	1.90
% VACIOS	5.3	5.6	5.3
V.M.A	16.0	16.2	16.0
% VACIOS LLENADOS ASFALTO	66.9	65.4	66.9
FLUJO	16.2	10.7	12.7
ESTABILIDAD	2104	2115	2360

# BRIQUETA	4	4A	4B
% C.A	5.5	5.5	5.5
% GRUESO	37.8	37.8	37.8
% FINO	54.81	54.81	54.81
% FILLER	1.89	1.89	1.89
% VACIOS	3.6	2.6	3.3
V.M.A	15.6	14.7	15.3
% VACIOS LLENADOS ASFALTO	76.9	82.3	78.4
FLUJO	13.6	12.3	10.9
ESTABILIDAD	2596	2712	2069

MEZCLA MODIFICADA:

# BRIQUETA	1	1A	1B
% C.A	4.0	4.0	4.0
% GRUESO	38.4	38.4	38.4
% FINO	55.68	55.68	55.68
% FILLER	1.92	1.92	1.92
% VACIOS	8.0	8.6	8.4
V.M.A	16.0	16.6	16.4
% VACIOS LLENADOS ASFALTO	50.0	48.2	48.8
FLUJO	11.5	11.7	11.4
ESTABILIDAD	2940	2521	2758

# BRIQUETA	2	2A	2B
% C.A	4.5	4.5	4.5
% GRUESO	38.2	38.2	38.2
% FINO	55.39	55.39	55.39
% FILLER	1.91	1.91	1.91
% VACIOS	6.7	7.7	7.0
V.M.A	15.90	16.8	16.2
% VACIOS LLENADOS ASFALTO	57.9	54.2	56.8
FLUJO	15.4	13.4	13.3
ESTABILIDAD	2940	2749	3039

# BRIQUETA	3	3A	3B
% C.A	5.0	5.0	5.0
% GRUESO	38.0	38.0	38.0
% FINO	55.10	55.10	55.10
% FILLER	1.90	1.90	1.90
% VACIOS	5.8	6.7	5.9
V.M.A	16.2	17.0	16.3
% VACIOS LLENADOS ASFALTO	64.2	60.6	63.8
FLUJO	12.7	12.6	12.0
ESTABILIDAD	2720	2677	2695

# BRIQUETA	4	4A	4B
% C.A	5.5	5.5	5.5
% GRUESO	37.8	37.8	37.8
% FINO	54.81	54.81	54.81
% FILLER	1.89	1.89	1.89
% VACIOS	5.1	5.3	4.9
V.M.A	16.7	16.9	16.5
% VACIOS LLENADOS ASFALTO	69.5	68.6	70.3
FLUJO	18.6	13.3	13.5
ESTABILIDAD	2770	2739	2890

GRAFICOS DEL ENSAYO MARSHALL (SIN MODIFICAR)

GRAFICO PESO ESPECIFICO VS % C.A

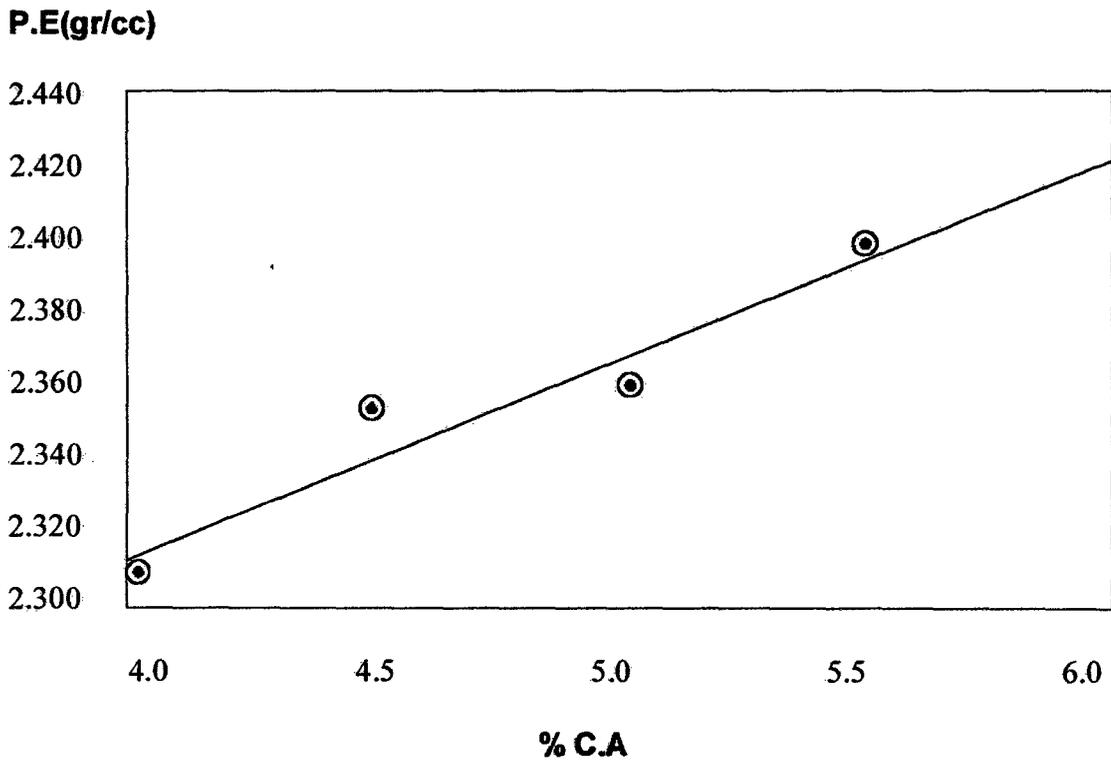


GRAFICO FLUJO VS % C.A

FLUJO (0.1")

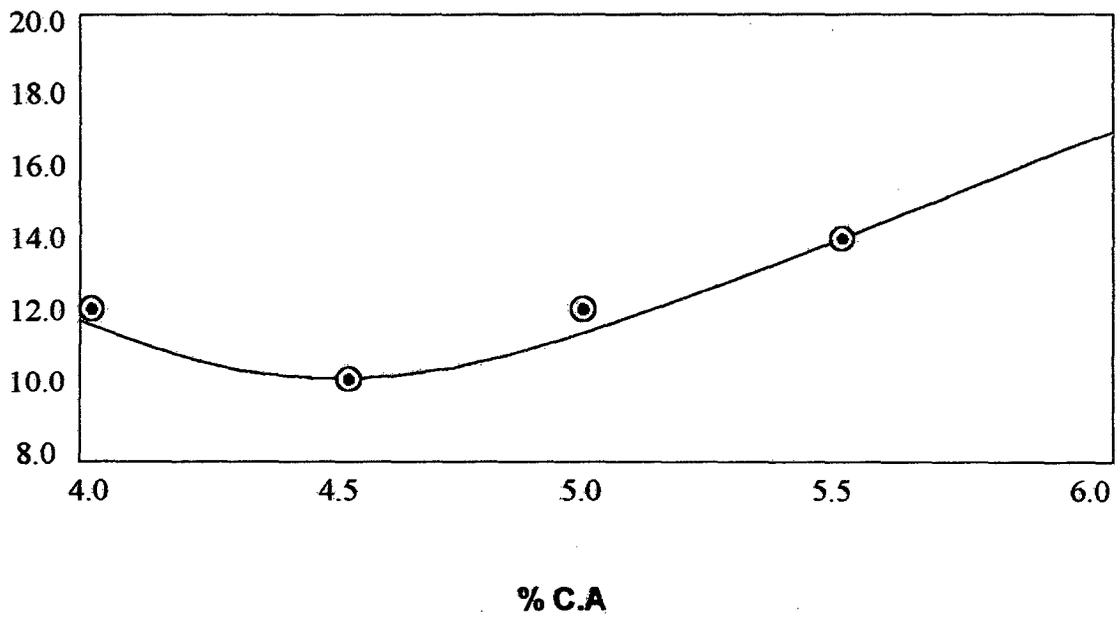


GRAFICO % VACIOS VS % C.A

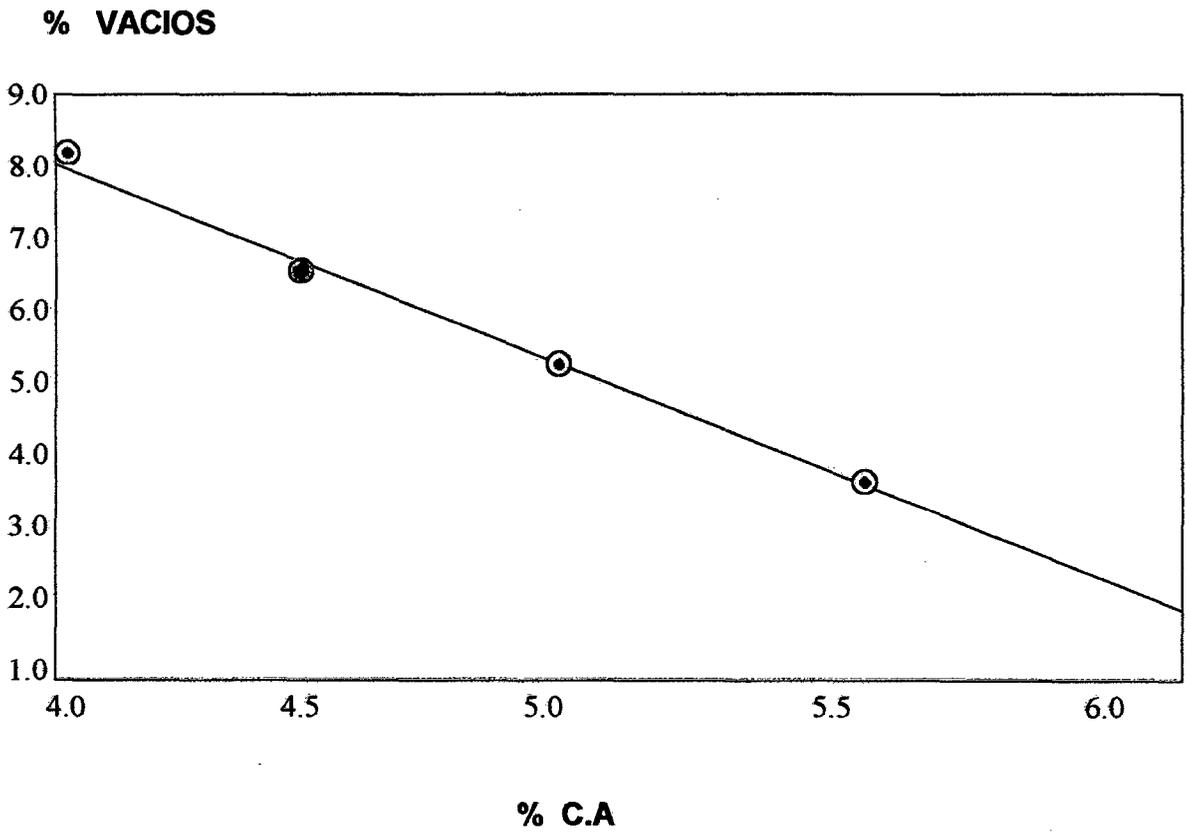


GRAFICO % V LLENO C.A VS % C.A

% V LLENO C.A

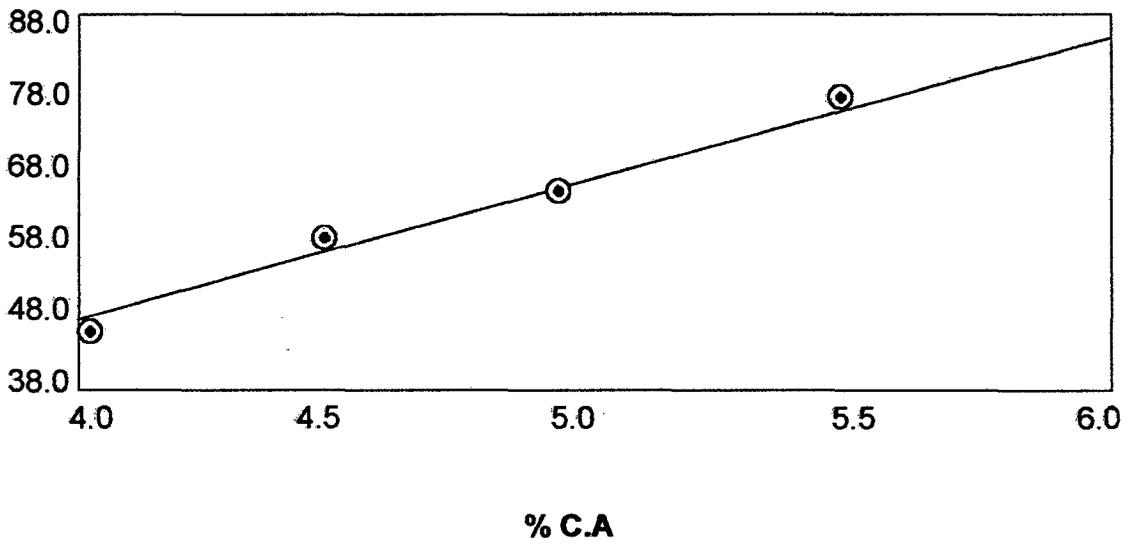


GRAFICO V.M.A VS % C.A

V.M.A

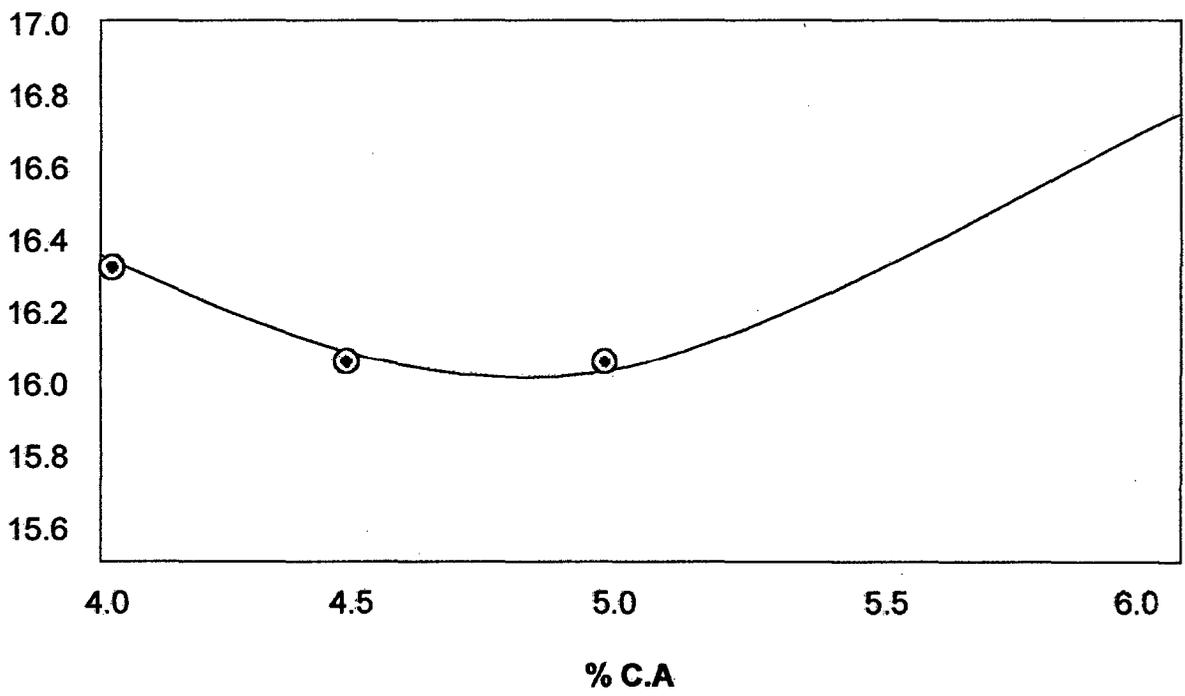
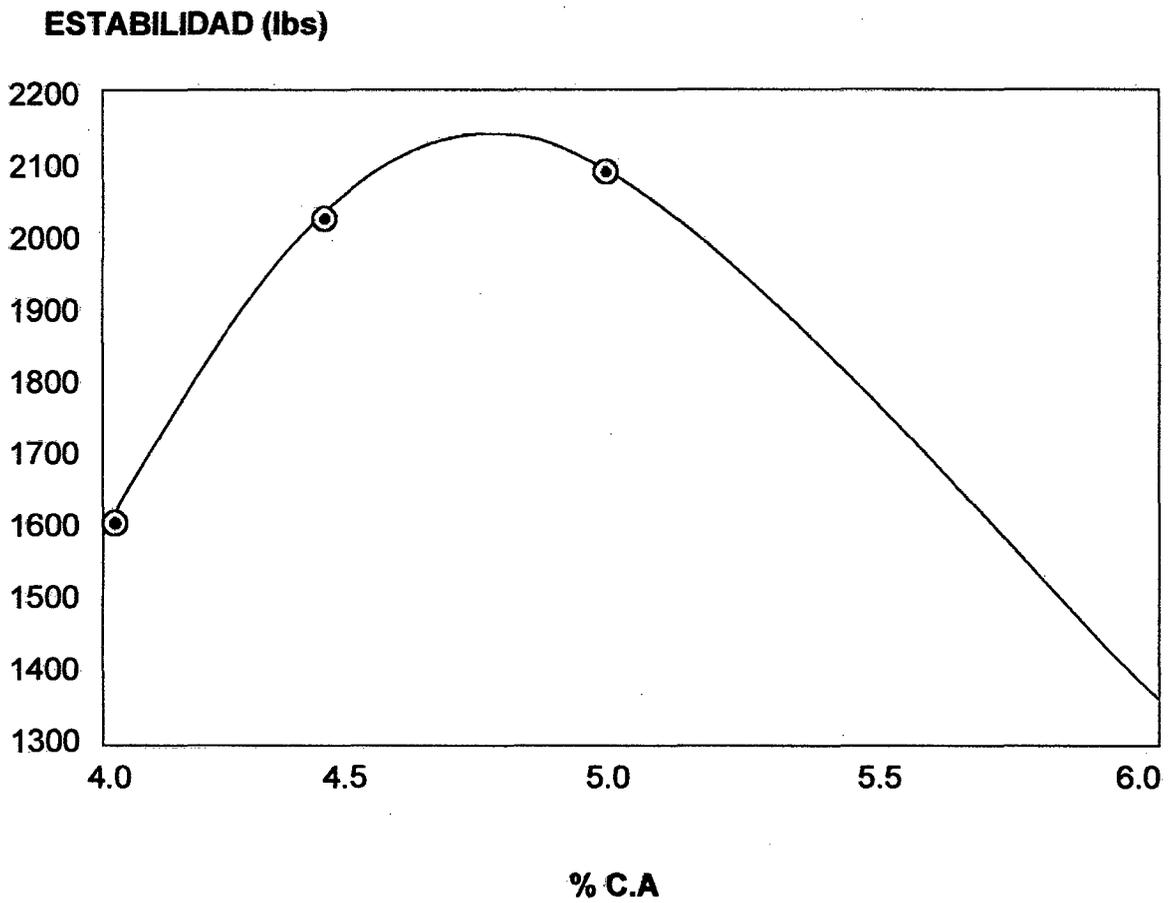


GRAFICO ESTABILIDAD VS % C.A



CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

% C.A	4.0	4.5	5.0	5.5
PESO ESPECIFICO	2.31	2.35	2.357	2.395
% VACIOS	8.2	6.5	5.4	3.5
V.M.A	16.4	16.1	16.1	-
% VACIOS LLENO C.A	48.0	59.5	66.4	77.7
FLUJO	11.7	10.8	11.7	13.0
ESTABILIDAD	1620	2017	2110	-

ECUACIÓN GRAFICA

PORCENTAJE OPTIMO	5.1	5.3	5.5
PESO ESPECIFICO	2.373	2.383	2.392
% VACIOS	4.8	4.4	3.5
V.M.A	16.1	16.1	16.2
% VACIO LLENO C.A	69.6	73.4	77.2
FLUJO	11.7	12.3	13.0
ESTABILIDAD	2092	2020	1899
ESTAB/FLUJO	179	164	146

GRAFICOS DEL ENSAYO MARSHALL (MODIFICADO 3% SBR)

GRAFICO PESO ESPECIFICO VS % C.A

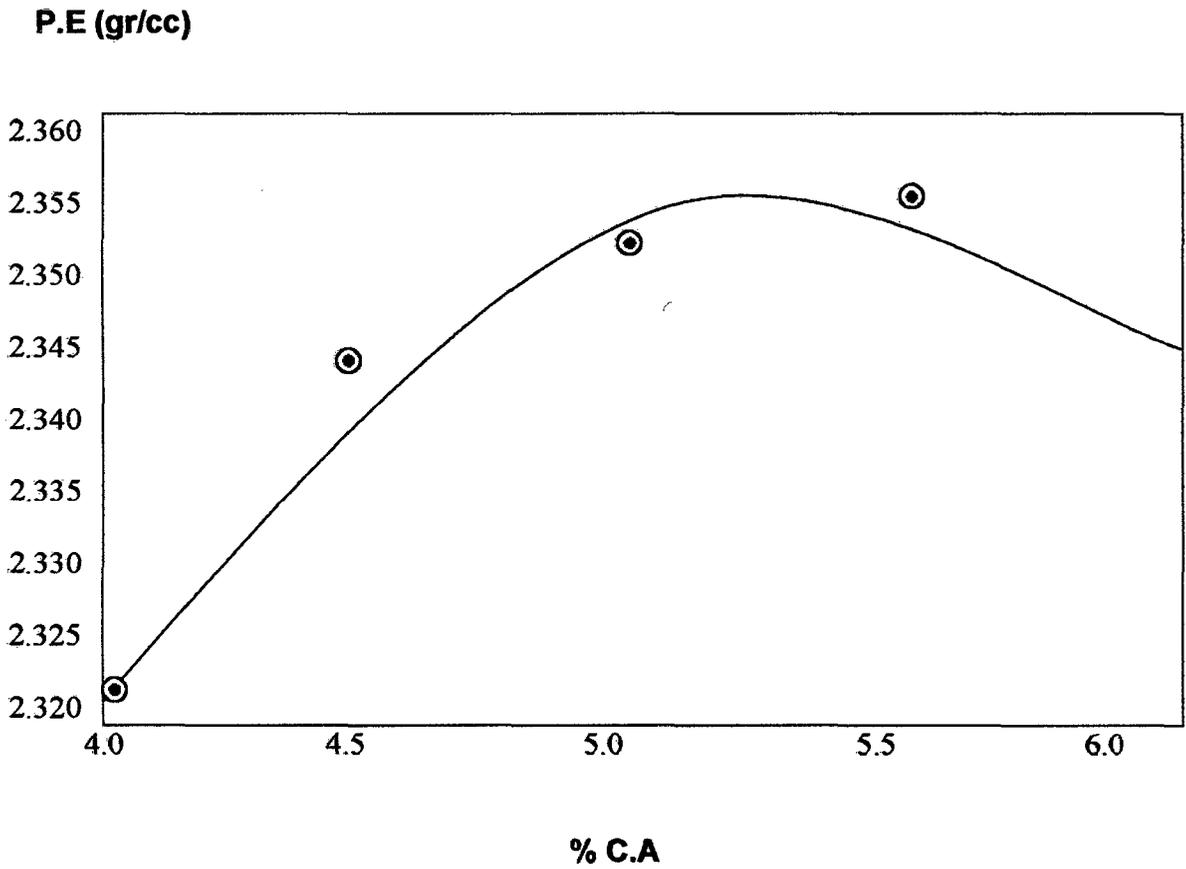


GRAFICO FLUJO VS % C.A

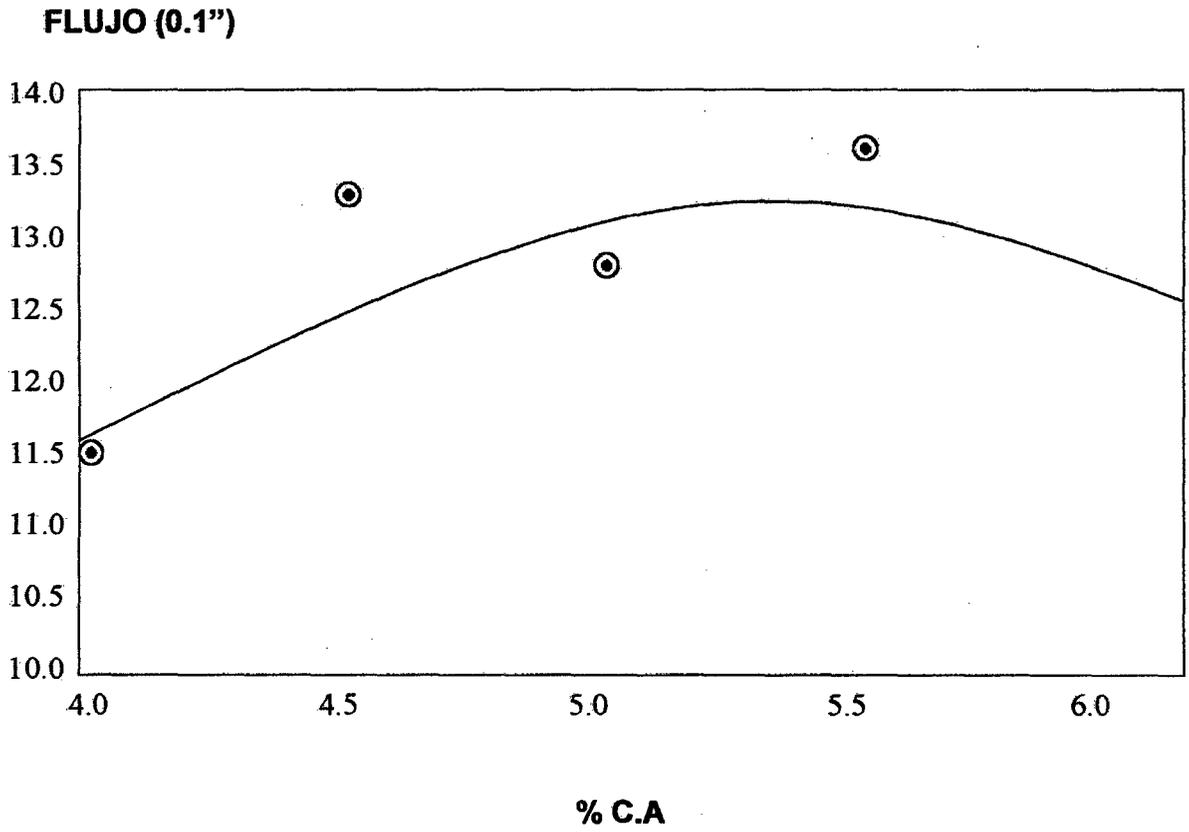


GRAFICO % VACIOS VS % C.A

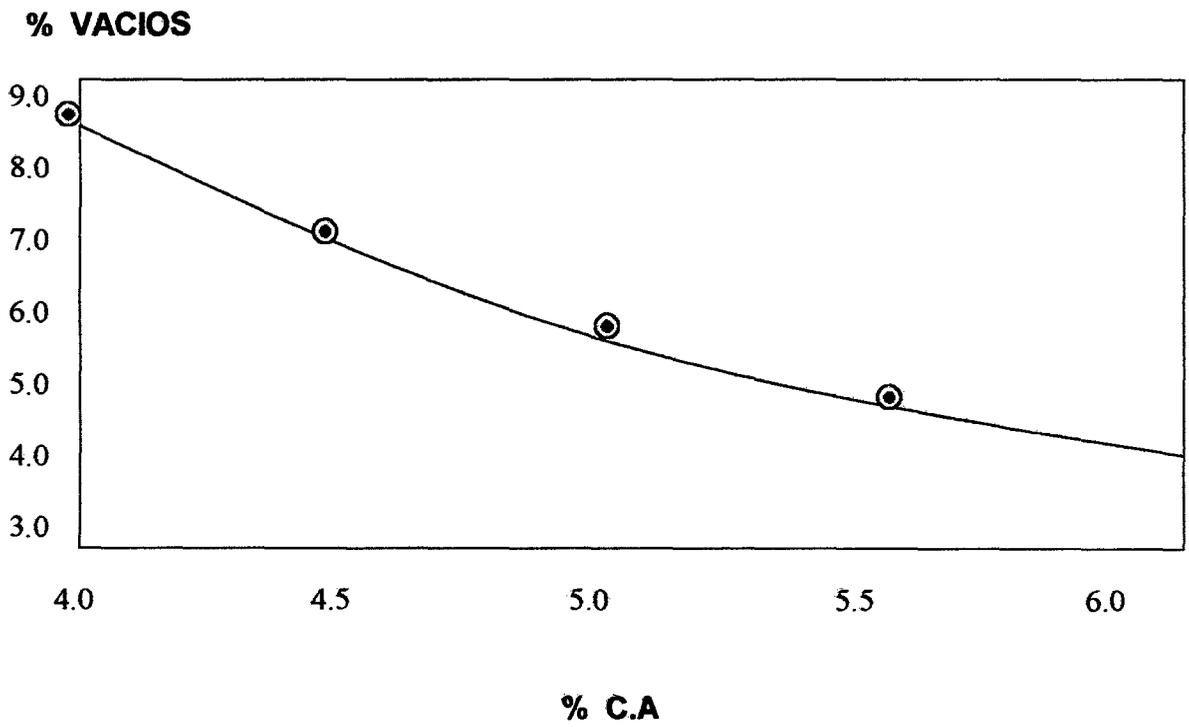


GRAFICO % V. LLENO C.A VS % C.A

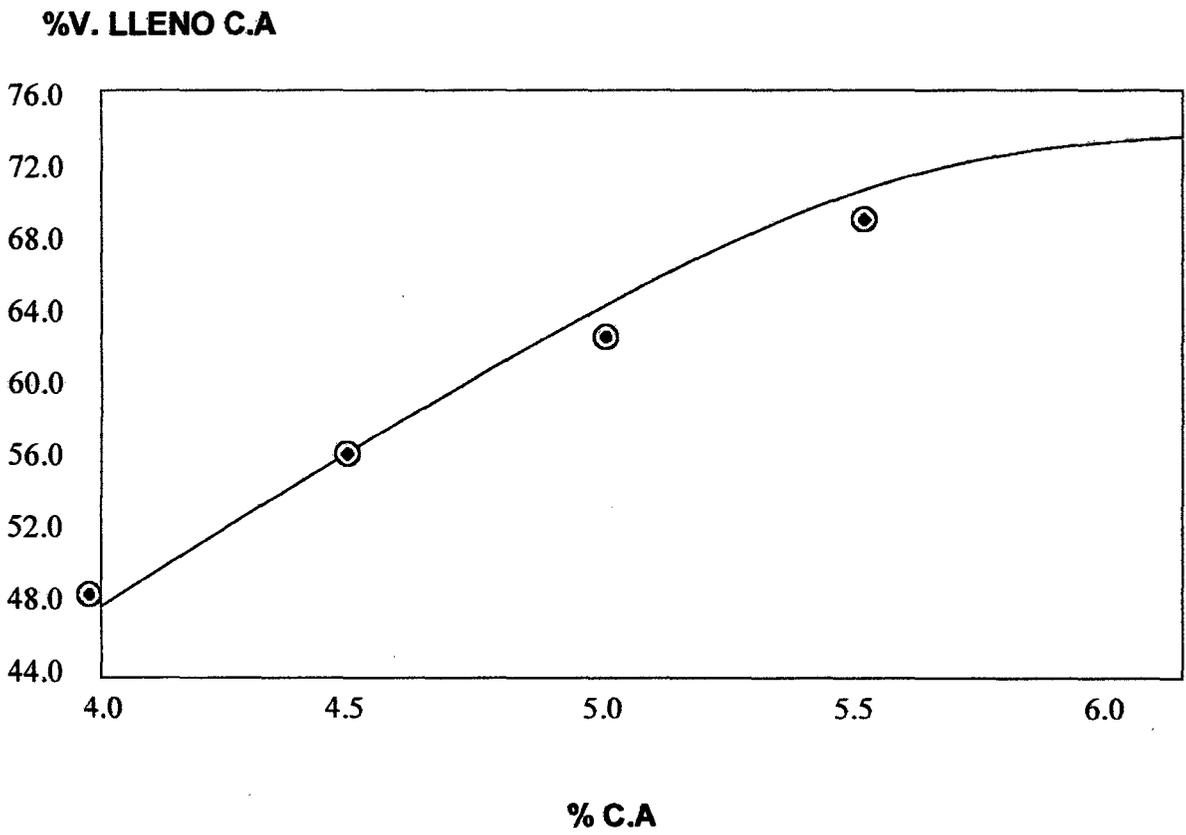


GRAFICO V.M.A VS %C.A

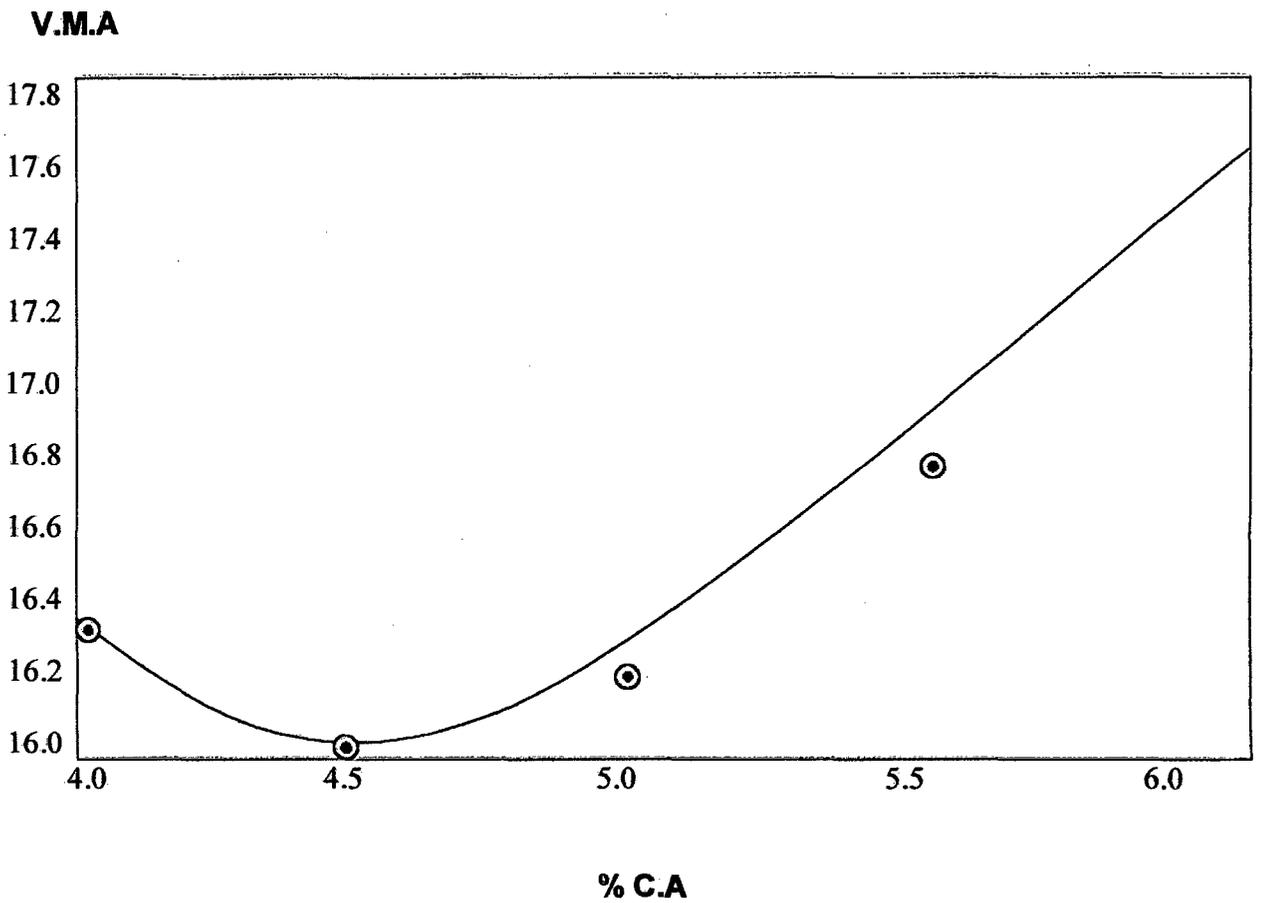
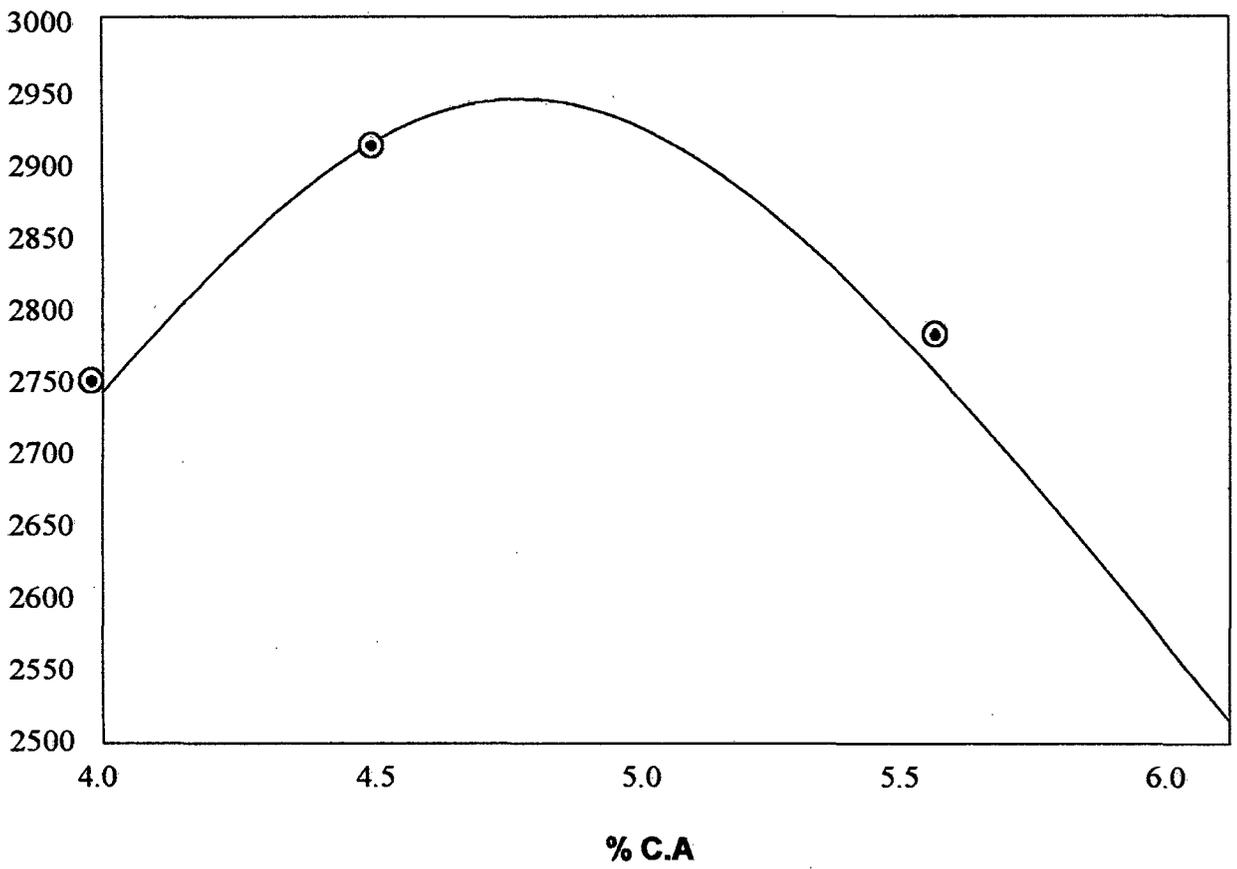


GRAFICO ESTABILIDAD VS % C.A

ESTABILIDAD(lbs)



CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS

% C.A	4.0	4.5	5.0	5.5
PESO ESPECIFICO	2.322	2.346	2.353	2.355
% VACIOS	8.4	7.2	6.0	5.2
V.M.A	16.3	16.1	16.3	16.7
% VACIO LLENO C.A	48.4	56.7	62.3	68.9
FLUJO	11.5	13.4	12.6	13.4
ESTABILIDAD	2739	2909	-	2800

ECUACIÓN GRAFICA

PORCENTAJE OPTIMO	5.1	5.3	5.5
PESO ESPECIFICO	2.355	2.355	2.354
% VACIOS	5.8	5.5	5.2
V.M.A	16.3	16.5	16.7
% VACIO LLENO C.A	64.1	66.4	68.7
FLUJO	13.3	13.3	13.2
ESTABILIDAD	2915	2869	2800
ESTAB./FLUJO	219	216	212

V II.4 RESUMEN DE RESULTADOS

	Sin Modificar	Modificado
% Cemento Asfáltico	5.3	5.3
Peso Específico	2.383	2.355
% Vacíos	4.4	5.5
V.M.A	16.1	16.5
% Vacíos llenos de Asfalto	73.4	66.4
Flujo (0.01 pulg.)	12.3	13.3
Estabilidad (lbs)	2020	2869

COMENTARIOS:

-Para un mismo porcentaje de Cemento Asfáltico, el Cemento Asfáltico modificado presenta mayor estabilidad que un asfalto convencional.

-Para un mismo porcentaje de Cemento Asfáltico, el porcentaje de vacíos del Cemento Asfáltico Modificado es mayor que el del Cemento Asfáltico convencional, debido principalmente a la baja temperatura de la mezcla en el momento de compactar, motivo por la cual la mezcla no cierra.

CAPITULO V III

V III.1 EVALUACION ECONOMICA A NIVEL DE PERFIL DE LA MODIFICACION DE CEMENTOS ASFALTICOS CON POLIMEROS

El interés principal de este estudio es investigar los aspectos técnicos de la Formulación y Producción de Asfaltos Modificados con Polímeros. La Evaluación Económica incluye una sección denominada Estudio de Mercado y una sección denominada Evaluación Económica del Sistema de Producción de Asfalto Modificado, que incluye el estimado de Inversión, de los Costos Operativos y del Precio de Venta del Asfalto Modificado.

V III.2 ESTUDIO DE MERCADO

En nuestro país las ventas de asfaltos realizadas por las refinerías Conchan, Talara y Pampilla cubren la Demanda de dichos productos a Nivel Nacional. En el cuadro, se muestra la Data Histórica del Consumo de asfaltos (Sólidos y Líquidos) de los últimos nueve años, de donde se observa que no existe tendencia definida en dicha demanda

Esto se explica porque la demanda de dichos productos está únicamente sujeta a los Programas y Proyectos Carreteros del Ministerio de Transportes y Comunicaciones aprobados por el Gobierno, es por ello que a fin de encontrar un indicador del Consumo Futuro de Cementos Asfálticos, resulta de interés investigar el estado de los Programas Carreteros establecidos para el mejoramiento de nuestra Red Vial.

DEMANDA NACIONAL DE ASFALTOS (MBDC)

AÑO	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	E-N 2000
-----	------	------	------	------	------	------	------	------	-------------

Refinería Conchan

Asfalto Sólido	0.38	0.94	1.95	1.49	0.89	1.29	1.96	1.34	0.50
Asfalto Líquido	0.41	0.36	0.16	0.30	0.27	0.38	0.41	0.31	0.32
Total	0.79	1.30	2.11	1.79	1.16	1.67	2.37	1.65	0.82

Refinería Talara

Asfalto Sólido	0.04	0.02	0.24	0.84	0.03	0.46	0.09	0.19	0.11
Asfalto Líquido	0.21	0.26	0.70	0.77	0.44	0.46	0.36	0.40	0.33
Total	0.25	0.28	0.94	1.61	0.47	0.92	0.45	0.59	0.44

Refinería La Pampilla

Asfalto Sólido	-	-	-	-	-	-	-	-	0.32
Asfalto Líquido	-	-	-	-	-	-	-	-	0.05
Total	-	-	-	-	-	-	-	-	0.37

Demanda Nacional

Asfalto Sólido	0.42	0.96	2.19	2.33	0.92	1.75	2.05	1.53	0.93
Asfalto Líquido	0.62	0.62	0.86	1.07	0.71	0.84	0.77	0.71	0.70
Total	1.04	1.58	3.05	3.40	1.63	2.59	2.82	2.24	1.63

La Red Vial del Perú es un patrimonio muy valioso compuesto de un 78112 Km de caminos (Fuente OPLA 1999). La profunda crisis sufrida por el país durante las últimas décadas, acentuada durante el quinquenio 1985-1990, llevó al abandono de la Conservación Vial y consecuentemente a la destrucción casi completa del Patrimonio.

En 1990 las carreteras del Perú estaban en un estado muy deteriorado. De un total de 69942 km, solo el 8% estaba en buena condición, el 16% en condición regular y el 76% en mala condición (Fuente OPLA 1999). Para revertir esta situación, en 1991 el Gobierno ejecutó un plan muy ambicioso para la recuperación y desarrollo de la infraestructura vial, como resultado de ello en 1995, el porcentaje de carreteras en buen estado había subido al 28% y el 47% estaba todavía en mal estado.

En el siguiente cuadro se muestra las condiciones de las carreteras en nuestro país durante los años de 1990, 1995, 1999 y los objetivos del Programa de Rehabilitación y Mantenimiento Vial para el año 2005 establecidos por el gobierno anterior.

**CONDICION Y METAS DE LAS CARRETERAS EN EL PROGRAMA DE
REHABILITACIÓN Y MANTENIMIENTO VIAL**

	1990	1995	1999	2005		
Ruta Nacional	15,692	16,513	16,952	Bueno	Regular	Malo
Ruta departamental	14,444	14,331	14,251	70%	20%	10%
Ruta Vecinal	39,806	42,520	46,909	70%	20%	10%
Total (Km)	69,942	73,364	78,112	70%	20%	10%

**PROGRAMA DE INVERSIONES EN INFRAESTRUCTURA VIAL HASTA EL
AÑO 2005**

Proyecto	Kms	Inversión total en millones de dólares
2001	27421.6	874.4
2002	535.9	120.7
2003	3255.2	777.9
2004	1377.0	404.0
2005	1424.0	263.9

Cabe mencionar que dentro del Plan de Gobierno del actual Presidente. El Dr. Alejandro Toledo, en lo que respecta a Infraestructura Vial (Fuente Página WEB: www.peruposible.org.pe), se firmó que se intensificará el Programa Nacional de Carreteras en Construcción, Rehabilitación y Mantenimiento de la Red Vial Nacional con intervención financiera del Banco Mundial, Banco Interamericano y otros Organismos Internacionales y se dinamizará las concesiones.

Por consiguiente, de lo mencionado anteriormente, se estima que la demanda de asfaltos crezca, al ser estos los principales componentes de los pavimentos, pues los proyectos futuros de carreteras según la actual política gubernamental así lo indican.

V III.3 TAMAÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ASFALTOS MODIFICADOS

En la tabla se muestra la información de las ventas realizadas por refinería Conchán durante los años 1998, 1999 y 2000, se determinó para fines de este estudio, que la capacidad máxima inicial de una planta modificadora de asfaltos con polímeros estaría en el orden de 800 barriles / día (esto corresponde al volumen máximo de venta, año 1998). Sin embargo, cabe mencionar que luego de lograr dicho objetivo, la meta final en el futuro será cubrir toda la demanda de asfaltos, por consiguiente el volumen de producción fijado anteriormente tendería a ser mayor.

DEMANDA DE ASFALTOS SÓLIDOS (MBDC) SEGÚN SU GRADO DE PENETRACIÓN

AÑO	1998	1999	2000
Asfalto PEN 40/50	0.02	0.05	0.07
Asfalto PEN 60/70	0.83	0.47	0.30
Asfalto PEN 85/100	0.34	0.19	0.17
Asfalto PEN 120/150	0.69	0.63	0.06
TOTAL	1.88	1.34	0.60

V III.3.1 REQUERIMIENTOS OPERATIVOS

Para la producción de asfalto modificado se requiere esencialmente de polímero y cemento asfáltico, la cantidad necesaria se obtiene del respectivo balance de materia, el cual se realiza a continuación teniendo en cuenta el volumen de producción definido.

Balance de Materia

Densidad del asfalto modificado: 1.01 gr/ml (valor de ensayo de laboratorio)

Volumen de producción = 800 barriles de asfalto modificado

operando:

$$\underline{(800 \text{ barriles} * 158.98 \text{ litros/barril} * 1.05 \text{ gr/ml} * 1000 \text{ ml/litro})}$$

$$(1000 \text{ gr/kg} * 1000 \text{ kg/ton})$$

Asfalto modificado = 128.45 ton

Porcentaje de asfalto = 95% masa

$$\text{Asfalto} = 0.95 * 128.45$$

Asfalto = 122 ton

Porcentaje de polímero = 5% masa

$$\text{Polímero} = 0.05 * 128.45$$

Polímero = 6.42 ton

A continuación y a manera de resumen, se muestra los requerimientos operativos que permiten la producción de 800 barriles / día de asfalto modificado.

Materia Prima	Requerimiento
Asfalto	122 ton
Polímero	6.42 ton
Suministro	
Fluido Térmico	200 litros / 24h
Electricidad	375 KW / 24h
Mano de Obra	
Operadores	2 Hombres

V III.4 EVALUACION ECONOMICA DE LA PRODUCCION DE CEMENTOS ASFALTICOS MODIFICADOS

Para efectuar la Evaluación Económica de la Producción de asfaltos modificados con el Copolímero SBR, se tendrá en cuenta el sistema de producción. La inversión económica y los costos operativos que involucra la producción de dichos cementos asfálticos serán tomados como referencia. Seguidamente se determinará el precio de venta.

V III.4.1 INVERSION ECONOMICA

La inversión económica requerida para la adquisición e instalación de los equipos, a los cuales se añaden dos tanques para el almacenamiento del producto y los trabajos civiles y de laboratorio necesarios para la planta de producción de asfalto modificado, asciende aproximadamente a 1100 MUS\$.

V III.4.2 COSTOS OPERATIVOS

Teniendo en cuenta que la capacidad máxima de producción para la planta es de 1000 barriles / día y que el porcentaje de polímero en el producto modificado es de 3%, sobre la base de los resultados obtenidos en laboratorio, a continuación se efectuará el cálculo de los costos operativos.

CALCULO DE LOS COSTOS OPERATIVOS

Costo de Materia Prima

a). Costo de Cemento Asfáltico:

Costo de Cemento Asfáltico puro = 20.06 US\$/barril.

Densidad del Cemento Asfáltico puro = 1.01 gr/ml (valor promedio).

Costo de asfalto = $\frac{(161.89\text{ton} \cdot 1000\text{kg/ton} \cdot 1000\text{gr/kg} \cdot 20.06\text{US\$/barril})}{1.01\text{gr/ml} \cdot 1000\text{m}^3/\text{t} \cdot 158.987\text{lt/barril}}$

Costo de Cemento Asfáltico = 20224 US\$

b).Costo de Polímero

Precio de Polímero = 1520 US\$/ton

Costo de Polímero = 5 ton*1520 US\$/ton

Costo de Polímero = 7600.00 US\$.

Costo de Suministros

Debido a la función que cumplen el Fluido Térmico, como medio de calentamiento en el sistema y considerando que sólo hay mínimas pérdidas de éste en el proceso, su costo fue considerado en la inversión inicial y por lo tanto sólo se hará el cálculo del costo de energía eléctrica.

a).Costo de Energía Eléctrica

Precio de energía eléctrica = 0.06 US\$/kW.h

Costo de energía eléctrica = 375kW*24 h*0.06 US\$/kW.h

Costo de energía eléctrica = 540 US\$.

Costo de Mano de Obra

Operadores = 2

Honorarios / operador = 2000 soles / mes

Costo de mano de obra = $\frac{2 \text{ operadores} * 2000 \text{ soles/operador} * \text{mes}}{30 \text{ días/mes} * 3.56 \text{ soles/US\$}}$

Costo de mano de obra = 37.45 US\$

CALCULO DEL COSTO OPERATIVO TOTAL

Costo total = Costo de materia prima + Costo de energía + Costo de mano de obra

Costo total = 28401.45 US\$.

CALCULO DEL COSTO UNITARIO DEL ASFALTO MODIFICADO

Costo Unitario = Costo Total / Volumen de Producción

Costo Unitario = 28.40 US\$ / barril.

V III.5 PRECIO DE VENTA DEL ASFALTO MODIFICADO

Para determinar el Precio de Venta del Asfalto Modificado se tendrá en cuenta:

1. El costo unitario de asfalto modificado calculado anteriormente, será equivalente al precio mínimo de venta del asfalto modificado.
2. El precio de asfalto modificado que genere para el cliente el mismo costo por pavimentación al año que un asfalto sin modificar, será equivalente al precio máximo de venta del asfalto modificado.

De lo anterior se plantea la siguiente ecuación:

$$\text{Costo unitario asfalto modificado} \leq \text{Precio de venta asfalto modificado} \leq \text{Precio máximo asfalto modificado} \quad (1)$$

A pesar de que los asfaltos modificados son más caros que los asfaltos convencionales, los beneficios económicos obtenidos en mantenimiento, son la clave en la producción de dichos productos, pistas con mayor tiempo de vida demuestran la calidad superior de los asfaltos modificados respecto de los convencionales, lo cual fue demostrado por el Departamento Técnico de Ultrapave.

Con la finalidad de determinar el precio de venta máximo del asfalto modificado con polímero, para fines de esta tesis, se asumirá al igual que en el estudio Texas, que:

1. El volumen de mezcla asfáltica en caliente requerida para la pavimentación de 20 millas-carril es de 10,560 ton utilizando tanto asfalto sin modificar como asfalto modificado.
2. El tiempo de servicio del asfalto sin modificar es igual a 5.10 años.
3. El tiempo de servicio del asfalto modificado es igual a 8.05 años, dado que el Copolímero es el mismo (SBR) utilizado en el caso Texas.

V III.5.1 Cálculo del Precio de Venta Máximo del Asfalto Modificado

$$\begin{array}{l} \text{Costo por pavimentación anual} \\ \text{utilizando asfalto modificado} \\ \text{(CT1)} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Costo por pavimentación anual} \\ \text{utilizando asfalto sin modificar} \\ \text{(CT2)} \end{array}$$

Donde:

$$\text{(CT1)} = \frac{(\text{PV1}) * 10560 \text{ ton}}{8.05 \text{ años}}, \text{ PV1} = \text{Precio de venta asfalto modificado US\$/tn.}$$

$$\text{(CT2)} = \frac{(\text{PV2}) * 10560 \text{ ton}}{5.10 \text{ años}}, \text{ PV2} = \text{Precio de venta asfalto sin modificar.}$$

Dato:

$$PV2 = 173.43 \text{ US\$/ton} < > 28.12 \text{ US\$/barril (PETROPERU)}.$$

Entonces:

$$(CT2) = \frac{173.43 * 10560}{5.10 \text{ años}} = 359096 \text{ US\$/año}$$

Igualando (CT1) y (CT2):

$$\frac{(PV1) * 10560 \text{ ton}}{8.05 \text{ años}} = 359096 \text{ US\$/año}$$

Luego:

$$PV1 = 273.74 \text{ US\$/ton} < > 45.69 \text{ US\$/barril (Precio de Venta Máximo)}.$$

Reemplazando en (1), el costo unitario del asfalto modificado y el precio de venta máximo, expresado en US\$ / barril:

$$28.40 \leq \text{Precio de venta asfalto modificado} \leq 45.69$$

Finalmente el Precio de venta del asfalto modificado elegido, será aquel máximo valor que dentro del rango anteriormente establecido, siga generando ganancia para el cliente, es decir, si el **AHORRO 1** (obtenido de comparar el costo de pavimentación anual utilizando asfalto sin modificar con el costo de pavimentación anual utilizando asfalto modificado), es mayor que el **AHORRO 2** (obtenido considerando la posibilidad de que el cliente decida comprar asfalto sin modificar y que prefiera guardar el dinero que pudo invertir en asfalto modificado en el banco a fin de generar intereses, a una tasa de interés anual de 4.5%).

Cálculo del Ahorro obtenido por utilizar asfalto modificado en lugar de usar asfalto sin modificar

$$\text{AHORRO 1} = (\text{CT2}) - (\text{CT1})$$

Si: $\text{PV1} = 34 \text{ US\$ / barril} < > 203.69 \text{ US\$ / ton.}$

Entonces: $(\text{CT1}) = 267204 \text{ US\$}$

Luego: $\text{AHORRO 1} = 359096 - 267204 = 91893 \text{ US\$}$

Cálculo de la ganancia obtenida por generar intereses en el banco, al preferir comprar asfalto sin modificar en lugar de usar asfalto modificado

$$\text{AHORRO 2} = (\text{PV1} - \text{PV2}) * 4.5\% * 10560 \text{ ton}$$

Siguiendo la secuencia anterior de cálculos, los resultados se muestran en el siguiente cuadro a modo de resumen:

Precio de asfalto Modificado (US\$ /barril)	Costo de Pavimentación / año Utilizando asfalto Modificado (US\$/año)	Ahorro 1 (US\$/año)	Ahorro 2 (US\$/año)
34	267204	91893	14382
35	275063	84034	17229
36	282922	76175	20076
37	290781	68316	22923
38	298639	60457	25770
39	306498	52598	28616
40	314357	44739	31463
41	322216	36880	34310
42	330075	29021	37157
43	337934	21162	40004
44	345793	13303	42851
45	353652	5444	45698

Finalmente, el precio de Venta del asfalto Modificado elegido es de 41 US\$ / barril.

VIII.6 ANALISIS COMPARATIVO DEL BENEFICIO ECONOMICO EN LA CONSTRUCCIÓN DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

VIII.6.1 EXPERIENCIA EXTRANJERA DEPARTAMENTO TÉCNICO DE ULTRAPAVE TEXAS EEUU.

Ultrapave ha realizado estudios en varios estados de los Estados Unidos. Pero entre los más significantes está el de Texas. Este estado ha empleado el polímero SBR desde 1975 y usa más asfalto modificado que cualquier otro estado del país. El Departamento de Transportes de Texas mantiene una red vial de más de 183,000 millas-carril (305,000 kilómetros-carril). El departamento hace un escrutinio anual de la condición de los pavimentos. Este escrutinio produce un compendio de datos archivados en el sistema de información del manejo de pavimentos (Pavement Management Information System o PMIS). Estos datos forman la base de un informe anual.

El PMIS usa un sistema de tanteo por dos conceptos:

- 1) La condición física del pavimento (Distress Rating).
- 2) La calidad del rodaje sobre el mismo (Ride Rating). Bajo condición física se considera ahuellamientos, grietas, baches, etc.

Bajo calidad de rodaje se usa equipos montados en un vehículo que mide el movimiento en el mismo. Ultrapave se ha concentrado lógicamente en los resultados de la condición física.

La escala de este resultado en el PMIS es de 0 a 100. Una calificación de 50 indica que el pavimento requiere mantenimiento.

Usando los datos de PMIS se realizó una regresión de tiempo contra condición vial (Distress Rating) para cada serie de datos:

- 1) La de los caminos modificados (Tyler District) y
- 2) La de los no modificados (Atlanta District). Los resultados de las regresiones se ilustran en el cuadro 1.

ANÁLISIS DE AHORROS DURANTE EL CICLO DE VIDA

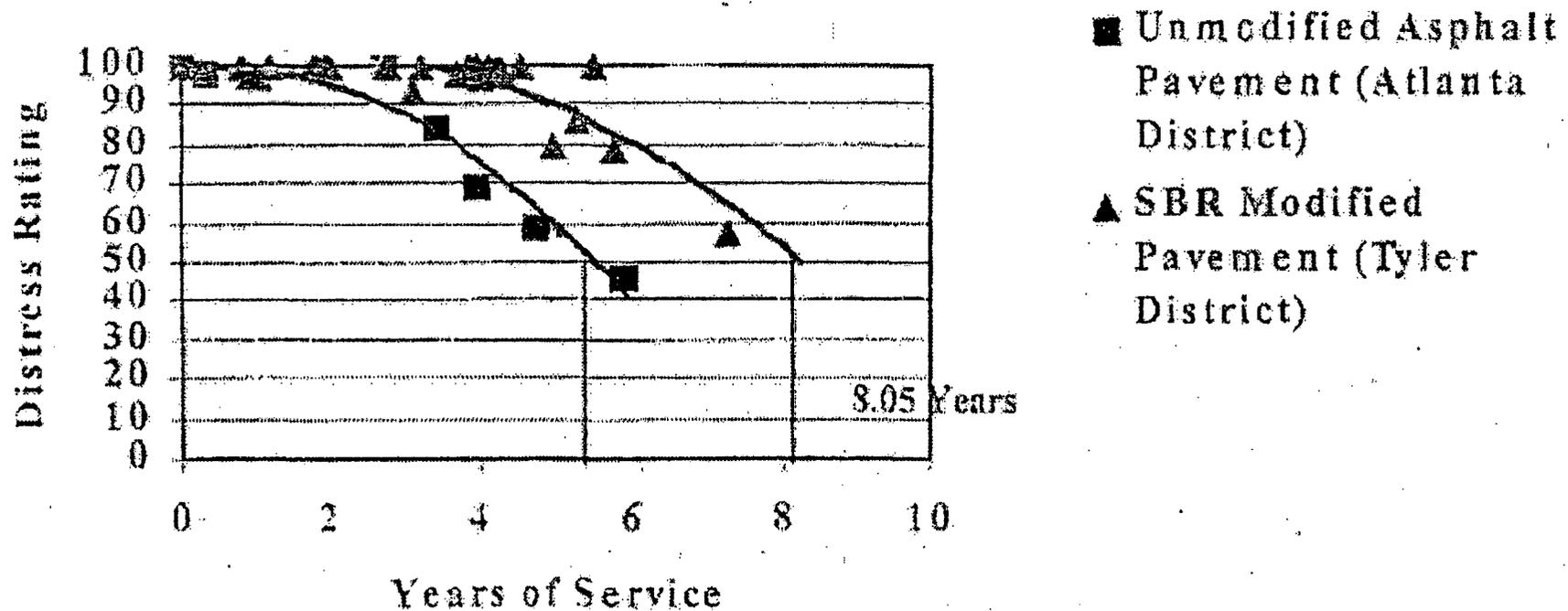
Los costos históricos en Texas para un proyecto de 20 millas-carril incluyen 10,560 toneladas (cortas) de pavimento a un precio equivalente a \$30 por tonelada de asfalto en caliente (no modificado) instalado. El costo del asfalto en este proyecto sumaría en \$316,800. Una vida-promedio de 5.1 años indicada en la regresión resultaría en un costo anual por pavimentación de \$62,117 ($\$316,800/5.1$).

Asumiendo un contenido de 5% de cemento asfáltico, un 3% de SBR en el asfalto a un precio de \$1.00/lb), el costo de polímero en el proyecto sumaría a \$31,574. O sea, la modificación aumentaría el costo de pavimentación en un 9,2%. Para equiparar tal aumento en costo, se necesitaría un aumento de 0,47 años en la vida del camino ($5,10 \times 9,2\%$).

Sin embargo, de acuerdo a la regresión la vida del asfalto modificado antes de requerir mantenimiento es de 8,05 años. El beneficio neto recibido de la modificación es de 2,48 años netos.

$8,05 - (5,1 + 0,47)$. El valor(sin descontar por concepto de valor presente) de este aumento es de \$154,050 ($2,48 \times 62,117$). El coeficiente de beneficio / costo es 4,87.

Cuadro 1: Curva de Comportamiento. Asfalto Modificado (Tyler District) vs. No Modificado (Atlanta District)



V III.7 COSTO DE LA MEZCLA MODIFICADA

CONVENCIONAL

MODIFICADA

	% PESO	U\$ S/TON	MEZCLA U\$ S/TON	U\$ S/TON	MEZCLA U\$ S/TON
Ligante	5.3	180	9.54	450	23.85
Piedra	40	21	8.4	21	8.4
Arena	52.7	18	9.48	18	9.48
Filler	2	9	0.18	9	0.18
Concreto Asfáltico	100		27.60		41.91
Incremento en el Concreto Asfáltico 51.80 %					

Costo de Elaboración	Incremento 0%	Incremento 20%
Calentar material, Energía, Mano de obra, Amortización, Riego de liga, Flete de obra	17	20.4
Costo Colocación en obra (16% Costo de Concreto Asfáltico)	6.35	7.55
Costo	50.95	62.31

Gastos Generales(15% Concreto Asfáltico)	6.90	6.9
Impuestos y Tasas (16% sobre Concreto Asfáltico)	7.00	7.00

TOTAL	64.85	76.21
--------------	--------------	--------------

Los Costos se incrementan en tres items:

- Ligantes
- Costos de Producción
- Costos de Colocación

Aunque la operatoria de mezclado y construcción de pavimento usando asfaltos mejorados es similar a las de operaciones con asfaltos convencionales, los costos aumentan debido al almacén y mezclado en la planta.

CAPITULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

IX.1 Puede concluirse que, para condiciones iguales de tipo y cantidad de agregados, y contenido de cemento asfáltico, la mezcla sin polímero ha demostrado una mayor capacidad de compactación en laboratorio, lo que ha incidido en los valores obtenidos en las relaciones de vacíos. Sin embargo, a pesar de esta aparente desventaja, que obedeció a cuestiones operacionales (temperatura de compactación), la mezcla con polímero presenta un mejor comportamiento mecánico, ya que su estabilidad es superior al de la mezcla sin polímero.

Aun cuando la estabilidad de la mezcla sea satisfactoria, se debería disminuir el contenido excesivo de vacíos.

IX.2 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.

IX.3 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.

IX.4 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.

IX.5 Los resultados obtenidos revelan el incremento en la temperatura del punto de ablandamiento del asfalto modificado, siendo este un indicador de la formación de una red continua de polímero a través del asfalto.

IX.6 Con respecto a la elección del porcentaje del polímero más adecuado los gráficos y diagramas pueden ofrecer una útil orientación pero teniendo en cuenta que un aumento desmesurado de alguna propiedad produce efectos perjudiciales para otros.

IX.7 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).

Se recomienda colocar esta clase de mezclas a una temperatura no menor de 130°C.

IX.8 Los polímeros SBR son considerados aditivos muy versátiles y fácil de incorporar en los procesos. Al incorporar látex SBR se reducen costos de mantenimiento a mediano y largo plazo de los pavimentos asfálticos.

IX.9 Al agregar un máximo de 3% de látex al asfalto se crea una mayor resistencia a la deformación de las estructuras asfálticas a altas temperaturas, el proceso de oxidación es más lento.

IX.10 Con el objetivo de predecir con mayor exactitud el comportamiento del ligante asfáltico en la vida útil del pavimento, la caracterización, de aquel debe culminar en la determinación del grado PG, según lo establecen las especificaciones SUPERPAVE, estas previamente deben ser adaptadas a las condiciones climáticas peruanas.

IX.11 En el Perú la preparación de mezclas asfálticas modificadas con polímeros es aún incipiente, por lo cual se recomienda a las entidades competentes (MTC) se empiecen a elaborar proyectos y ejecutar tramos que en un inicio pueden ser de carácter experimental de acuerdo a la exigencia de nuestra geografía, el tipo de carga que soportan, climas y especialmente el asfalto que utilizamos.

IX.12 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.

IX.13 Es necesario iniciar con la reglamentación del 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.

IX.14 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.

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. Shell Chemicals

The Preparation de Blends of Kraton And Bitumen.

Bulletin Thermoplastics Elastomers, December 1994.

9.ing. Néstor Huaman Guerrero

Polímeros Para Pavimentos Flexibles, ¿Para Qué y Cuando Utilizarlo?

Paper presentado en el Tercer Congreso Nacional del Asfalto, Lima-Perú 1999.

10. ing Mary Sancho Ponce - Leoncio Céspedes A.

Efectos Térmicos en Mezclas Asfálticas Con Asfaltos Modificados.

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

11. PETROPERU S.A

Departamento Comercial.

Lista de Precios, mayo 2001.

12.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.

13. Wendy Herencia Peña

Modificación de Asfaltos con Polímeros.

Tesis de Grado, 2001.

ANEXOS



CALIDAD DE AGREGADOS

MATERIALES : DE CANTERA LA GLORIA ING° RESPONSABLE: E. RIVAS DURAN
 SOLICITADO POR : CL CONSTRUCCIONES GENERALES S.R.L.
 PROCEDENCIA : LIMA
 OBRA : PARCHADOS MENORES EN LA CIUDAD DE LIMA MUESTREADO: INTERESADOS
 REGISTRO N° : 405 (13.08.2001) FECHA: 18.08.2001 EFECTUADO POR: E. VALLADARES - J. MORRIS

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN % EN PESO	PIEDRA									
		RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA
3"	76,200										
2"	50,800										
1 1/2"	38,100										
1"	25,400										
3/4"	19,050		100								
1/2"	12,700	1	99								
3/8"	9,525	2	97								
1/4"	6,350	48	49								
N° 4	4,760	37	12								
N° 6	3,360	9	3								
N° 8	2,380	2	1								
N° 10	2,000	1	-								
N° 16	1,190										
N° 20	0,840										
N° 30	0,590										
N° 40	0,426										
N° 50	0,297										
N° 80	0,177										
N° 100	0,149										
N° 200	0,074										
- 200											
Humedad Natural %		-	-								
Peso Unitario sin Varillar (kg/m³)		1470									
Peso Unitario Varillado (kg/m³)		1577									
PE Bulk (Base Seca) (g/cm³)		2,719									
PE Bulk (Base Saturada) (g/cm³)		2,750									
PE Aparente (Base Seca) (g/cm³)		2,805									
Absorción %		1,12									
Módulo de Fineza		-									
Abrasión %		22,6									
Impurezas Orgánicas		-	-								
Carbón y Lignito %		-	-								
Partículas Friables %		-	-								
Salas Solubles Totales %		0,0088									
Equivalente de Arena %		-									
Durabilidad 5C, SO ⁺ Na ²		2,42									
Caraş de Fractura (1 ó más) %		-									
Caraş de Fractura (2 ó más) %		-									
Partículas Chatas y Alargadas %		-									
Indice Plasticidad mat. < N° 200,%		-									
Adherencia Piedra		+95%									
Adherencia Arena (Riedel Weber)		-									

NOTA: LA INTERPRETACION AJENA DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO, SALVO LA RECOMENDACIONES EXPRESAS ADJUNTAS.



[Handwritten Signature]



CALIDAD DE AGREGADOS

MATERIALES : DE CANTERA CERRO CAMOTE ING° RESPONSABLE: E. RIVAS DURAN
 SOLICITADO POR : CL. CONSTRUCCIONES GENERALES S.R.L.
 PROCEDENCIA : LIMA
 OBRA : PARCHADOS MENORES EN LA CIUDAD DE LIMA MUESTREADO: INTERESADOS
 REGISTRO N° : 405 (13.08.2001) FECHA: 12.08.2001 EFECTUADO POR: E. VALLADARES - J. MORRIS

MALLAS SERIE AMERICANA	DESCRIPCIÓN	ARENA									
		% EN PESO	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.	PASA	RET.
3"	76,200										
2"	50,800										
1 1/2"	38,100										
1"	25,400										
3/4"	19,050										
1/2"	12,700										
3/8"	9,525			100							
1/4"	6,350	4		96							
N° 4	4,760	6		90							
N° 6	3,360	13		77							
N° 8	2,380	9		68							
N° 10	2,000	4		64							
N° 16	1,190	15		49							
N° 20	0,840	8		41							
N° 30	0,590	3		33							
N° 40	0,426	6		27							
N° 50	0,297	4		23							
N° 80	0,177	4		19							
N° 100	0,149	2		17							
N° 200	0,074	13		1							
- 200		4									
Humedad Natural %		--									
Peso Unitario sin Varillar (kg/m³)		1473									
Peso Unitario Varillado (kg/m³)		1714									
PE Bulk (Base Seca) (g/cm³)		2,645									
PE Bulk (Base Saturada) (g/cm³)		2,671									
PE Aparente (Base Seca) (g/cm³)		2,715									
Absorción %		0,98									
Módulo de Fineza		--									
Abrasión %		--									
Impurezas Orgánicas		Aceptable									
Carbón y Lignito %		--									
Partículas Frías %		--									
Sales Solubles Totales %		0,0440									
Equivalente de Arena %		77,0									
Durabilidad 5C, SO ⁴ Na ²		2,91									
Caras de Fractura (1 ó más) %		--									
Caras de Fractura (2 ó más) %		--									
Partículas Chatas y Alargadas %		--									
Indice Plasticidad mat. < N° 200 %		N.P.									
Adherencia Piedra		--									
Adherencia Arena (Riedel Weber)		--									

NOTA: LA INTERPRETACIÓN AJENA DE LOS RESULTADOS DE ENSAYOS ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL USUARIO, SALVO LA RECOMENDACIONES EXPRESAS ADJUNTAS.



[Handwritten Signature]

ALEX MAURICIO TURRY GARNICA

Av. TUPAC AMARU N° 1590 - RIMAC / TELEFONO: 4863800 CIVIL

Reg. Del Colegio de Ingenieros N° 59788



MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES,
VIVIENDA Y CONSTRUCCION

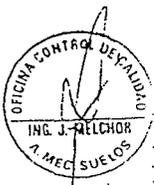
**OFICINA DE CONTROL DE CALIDAD
ÁREA DE MECÁNICA DE SUELOS Y ENSAYO DE MATERIALES**

PROYECTO : PARCHADOS MENORES EN LA CIUDAD DE LIMA
SOLICITADO : CL CONSTRUCCIONES GENERALES S.R.L.
ING.º RESPONSABLE : JOSÉ Y. MELCHOR ARECHE
EFECTUADO POR : TÉC. LUTZGARDO VÁSQUEZ VÁSQUEZ
REGISTRO N° : 405 (13.08.2001)
FECHA : Lima, Agosto 18 del 2001

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

IDENTIFICACIÓN : Cantera Cerro Camote
TIPO DE ASFALTO : RC - 250 (Refinería Conchán)

Concentración g/lit. (Na ₂ CO ₃)	Índice de Adhesividad	Calificación
Agua Destilada	0	Desprendimiento Nulo
M/256 - 0.414	1	Desprendimiento Parcial
M/128 - 0.828	2	Desprendimiento Parcial
M / 64 - 1.656	3	Desprendimiento Parcial
M / 32 - 3.312	4	Desprendimiento Parcial
M / 16 - 6.625	5	Desprendimiento Parcial
M / 8 - 13.25	6	Desprendimiento Parcial
M / 4 - 26.50	7	Desprendimiento Total
M / 2 - 53.00	8	Desprendimiento Total
M / 1 - 106.0	9	Desprendimiento Total



Adherencia Agregado Bitumen 1 - 7

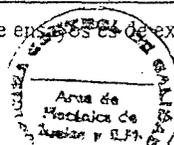
Nota : Interpretación ajena de los resultados de ensayos es de exclusiva responsabilidad del usuario, salvo las recomendaciones expresas adjuntas.



LABORATORIO



ENTRAL



ALEX MAURICIO YTORRY GARNICA

INGENIERO CIVIL

Av. Túpac Amaru N° 1590 - Rimac, Telf. 476 7077 Fax de 476 9677 Correo electrónico: N° 59788

ANALISIS GRANULOMÉTRICO

MATERIALES CANTERA LA GLORIA **REGISTRO:** S/N **FECHA:** 14/04/02
SOLICITADO TESISTA **ING* RESPONSABLE:** --
PROCEDENCIA LIMA **MUESTREADO POR:** --
PROYECTO TESIS DE GRADO **EFFECTUADO POR:** --

MALLAS SERIE AMERICANA	Descripción ABERT. (mm)	A. GRUESO		(01) AGREGADOS FINOS (02)				MEZCLA A. FINO		MEZCLA AGREGADOS	
		ARENA		ARENA				100.0	A.GRUESO	40.0	
		RET (%)	PASA (%)	RET (%)	PASA (%)	RET (%)	PASA (%)	ARENA	0.0	M.A.FINO	60.0
1"	25.400										100
3/4"	19.050		100							0	100
1/2"	12.700	1	99							0	100
3/8"	9.525	2	97		100				100	1	99
1/4"	6.350	48	49	4	96			4	96	22	77
N° 4	4.760	37	12	6	90			6	90	18	59
N° 6	3.360	9	3	13	77			13	77	11	48
N° 8	2.380	2	1	9	68			9	68	6	42
N° 10	2.000	1		4	64			4	64	3	39
N° 16	1.190			15	49			15	49	9	30
N° 20	0.840			8	41			8	41	5	25
N° 30	0.590			8	33			8	33	5	20
N° 40	0.426			6	27			6	27	4	16
N° 50	0.297			4	23			4	23	2	14
N° 80	0.177			4	19			4	19	2	12
N° 100	0.149			2	17			2	17	2	10
N° 200	0.074			13	4			13	4	8	2
-200	0.000			4	--		--	4	--	2	--
HUMEDAD NATURAL		100		100		0		100		100	
PESO UNITARIO VARILLADO		--		--		--		--		--	
Pe. BULK (BASE SECA)		2.719		2.645		--		2.645		2.675	
Pe. BULK (BASE SATURADA)		2.750		2.671		--		2.671		2.703	
Pe. APART. (BASE SECA)		2.805		2.715		--		2.715		2.751	
ABSORCION		1.12		0.98		--		0.98		1.04	

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

Criterios para Mezcla del Metodo Marshall	Transito Liviano Carpeta y Base		Transito Mediano Carpeta y Base		Transito Pesado Carpeta y Base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compactacion, numero de golpes en cada cara de la probeta	35		50		75	
Estabilidad, N (lb.)	3336 (750)	—	5338 (1200)	—	8006 (1800)	—
Flujo, 0.25 mm (0.01 pulgadas)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de Vacios	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de Vacios en el Agregado Mineral (VMA)	Ver Figura 3.20					
Porcentaje de Vacios llenos de Asfalto (VFA)	70	80	65	78	65	75

NOTAS

¹ Todos los criterios y no solo estabilidad, deben ser considerados al diseñar una mezcla asfáltica de pavimentación. Las mezclas asfálticas en caliente de base que no cumplan estos criterios, cuando se ensayen a 60°C, se consideraran satisfactorias si cumplen los criterios cuando se ensayen a 38°C, y si se colocan a 100 mm o mas por debajo de la superficie. Esta recomendación se aplica solamente a las regiones que tengan una variedad de condiciones climáticas similar a la que prevalece en casi todas las regiones de Estados Unidos. En las regiones que tengan condiciones climáticas mas extremas puede ser necesario usar temperaturas mas bajas de ensayo.

² Clasificaciones del Transito
 Liviano Condiciones de transito que resultan en un EAL de diseño < 104
 Mediano Condiciones de transito que resultan en un EAL de diseño entre 104 y 106
 Pesado Condiciones de transito que resultan en un EAL de diseño > 106

³ Los esfuerzos de compactación en el laboratorio deberán aproximarse a la densidad máxima obtenida en el pavimento bajo el transito.

⁴ Los valores de fluencia se refieren al punto en donde la carga comienza a disminuir.

⁵ Cuando se este calculando el porcentaje de vacíos, deberá permitirse cierta tolerancia en la porción de cemento asfáltico perdida por absorción en las partículas de agregado

⁶ El porcentaje de vacios en el agregado mineral debe ser calculado con base en el peso específico total ASTM del agregado.

FIGURA 3.19 - Criterios del Instituto del Asfalto (U.S.A.) para el Diseño Marshall.

Tamaño Máximo en mm Porcentaje		VMA mínimo, por ciento		
		Vacíos de Diseño, por ciento ³		
mm	in.	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

¹ Especificación Normal para Tamaños de Tamices usados en Pruebas, ASTM E 11 (AASHTO M 92)

² El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño mas grande que el primer tamiz que retiene mas de 10 por ciento del material.

³ Interpola el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

FIGURA 3.20 - Porcentaje Mínimo de VMA.

CUADRO 7
REQUERIMIENTO DE PROPIEDADES FISICAS
PARA ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS DE TIPO I SEGÚN ASTM D 5976

PROPIEDADES	METODO ESTANDAR ASTM	I-A		I-B		I-C		I-D	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
PRODUCTO ORIGINAL									
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	D 5	100	150	75	100	50	75	40	75
Viscosidad 60°C, Po	D 2171	1250		2500		5000		5000	
Viscosidad 135°C, cSt	D 2170		2000		2000		2000		5000
Flash Point COC, °C	D 92	232		232		232		232	
Solubilidad en Tricloroetileno, % Masa	D 2042	99		99		99		99	
Separación, Diferencia Pto. Ablandamiento, °C	D 5976		2.2		2.2		2.2		2.2
PRUEBA EN EL RESIDUO RTFOT ASTM 2872 O PELICULA FINA ASTM 1754									
Recuperación Elástica, a 25°C, 10 cm elongación, %	D 5976	60		60		60		60	
Penetración a 4°C, 200 gr, 60 seg, dmm	D 5	20		15		13		10	

CUADRO 8
REQUERIMIENTO DE PROPIEDADES FISICAS
PARA ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS DE TIPO II SEGÚN ASTM D 5840

PROPIEDADES	METODO ESTANDAR ASTM	II-A		II-B		II-C		II-D	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
PRODUCTO ORIGINAL									
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	D 5	100		70		85		80	
Viscosidad 60°C, Po	D 2171	800		1600		800		1600	
Viscosidad 135°C, cSt	D 2170	300		300		300		300	
Ductilidad a 4°C, 5 cm/min, cm	D 113	50		50		25		25	
Flash Point, COC, °C	D 92	232		232		232		232	
Toughness, 25°C, 20 in/min, in-lb	D 5801	75		110		75		110	
Tenacidad, 25°C, 20 in/min, in-lb	D 5801	50		758		50		75	
PRUEBA EN EL RESIDUO RTFOT ASTM 2872 O PELICULA FINA ASTM 1754									
Ductilidad a 4°C, 5 cm/min, cm	D 113	25		25		10		10	
Viscosidad 60°C, Po	D 2171		4000		8000		4000		8000
Toughness, 25°C, 20 in/min, in-lb	D 5801					75		100	
Tenacidad, 25°C, 20 in/min, in-lb	D 5801					50		75	

CUADRO 9
REQUERIMIENTO DE PROPIEDADES FISICAS
PARA ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS DE TIPO III SEGÚN ASTM D 5841

PROPIEDADES	METODO ESTANDAR ASTM	III-A		III-B		III-C		III-D		III-E	
		Min.	Máx.								
PRODUCTO ORIGINAL											
Penetración a 4°C, 200 gr, 60 seg, dmm	D 5	48		35		28		22		18	
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	D 5	30	150	30	150	30	150	30	150	30	150
Viscosidad 135°C, cSt	D 2170	150	1500	150	1500	150	1500	150	1500	150	1500
Flash Point COC, °C	D 92	218		218		218		218		218	
Punto de Ablandamiento, °C	D 36	52		54		57		60		63	
Solubilidad en Tricloroetileno, % Masa	D 2042	99		99		99		99		99	
Separación 135 °C, 18 hr	D 5841	reportar									
PRUEBA EN EL RESIDUO RTFOT ASTM 2872 O PELICULA FINA ASTM 1754											
Penetración a 4°C, 200 gr, 60 seg, dmm	D 5	24		18		14		11		9	
Pérdida de masa por calentamiento, %			1		1		1		1		1

CUADRO 10
REQUERIMIENTO DE PROPIEDADES FISICAS
PARA ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS DE TIPO IV SEGÚN ASTM D 5892

PROPIEDADES	METODO ESTANDAR ASTM	IV-A		IV-B		IV-C		IV-D		IV-E		IV-F	
		Min.	Máx.										
PRODUCTO ORIGINAL													
penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	D 5	90		75		65		50		50		35	
viscosidad 60°C, Po	D 2171	1250		4000		2500		6000		4500		8000	
viscosidad 135°C, cSt	D 2170		3000		3000		3000		3000		3000		3000
Flash Point CCIC, °C	D 92	232		232		232		232		232		232	
solubilidad en T tloroetileno, % Masa	D 2042	99		99		99		99		99		99	
separación, Diferencia Pto. Ablandamiento, °C	D 5892	reportar											
PRUEBA EN EL RESIDUO RTFOT ASTM 2872 O PELICULA FINA ASTM 1754													
recuperación Elástica, a 25°C, 10 cm elongación, %	D 5892	60		70		60		70		60		70	
penetración a 4°C, 200 gr, 60 seg, dmm	D 5	20		20		15		15		10		10	

CUADRO 11
ESPECIFICACIONES DE ASFALTO MODIFICADO EN LA COMUNIDAD EUROPEA

ENSAYOS	10/30-70	30/50-65	50/70-65	50/70-60	70/100-60	100/150-60
REQUISITOS OBLIGATORIOS						
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	10 a 30	30 a 50	50 a 70	50 a 70	70 a 100	100 a 150
Punto de Ablandamiento, °C	70 mín	65 mín	65 mín	60 mín	60 mín	60 mín
Cohesividad a 5°C, J/cm ²	5 mín ⁽¹⁾					
Fuerza de Ductilidad o Test de Tracción	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)	(2)
Punto de Inflamación, °C	235 mín	235 mín	235 mín	235 mín	220 mín	220 mín
REQUISITOS OPCIONALES						
Recuperación Elástica a 25°C, % ⁽³⁾	50 mín	50 mín	75 mín	50 mín	65 mín	65 mín
Punto de Ruptura FRAASS, °C	-4	-8	-132	-15	-15	-17
SEPARACION⁽⁴⁾						
Diferencia Punto de Ablandamiento, °C	5 máx					
Diferencia Penetración, dmm	5 mín ⁽¹⁾					
EFECTO DE CALOR Y AIRE RTFOT/TFOT						
Penetración retenida a 25°C, %	60 mín	60 mín	60 mín	60 mín	55 mín	50 mín
Aumento de Punto de Ablandamiento, °C	8 máx	8 máx	10 máx	10 máx	12 máx	14 máx
Reducción Punto de Ablandamiento, °C	4 máx	4 máx	5 máx	5 máx	6 máx	6 máx
Recuperación Elástica a 25°C, %	50 mín					

⁽¹⁾ Valor sugerido a ser confirmado

⁽²⁾ Valor aún no informado

⁽³⁾ Sólo aplicable a los Asfaltos Modificados con Polímero con Recuperación Elástica mayor que 50%

⁽⁴⁾ Si no son informadas las condiciones del ensayo de Estabilidad al Almacenamiento, la información debe ser proporcionada por el proveedor para evitar la separación del polímero

Las siguientes informaciones deben ser proporcionadas por el proveedor en el manual de datos del producto:

* Dispersión del polímero, Solubilidad (usando un solvente apropiado), Densidad

* Manipuleo (Temperatura mínima de almacenamiento, temperatura mínima de bombeo, temperatura mínima y máxima de usinagem)

CUADRO 12
ESPECIFICACIONES DE ASFALTOS MODIFICADOS DE BELGICA

ENSAYOS	ELASTOMERICO		PLASTOMERICO		CAUCHO RECUPERADO DE NEUMATICOS
	50/85	85/130	35/65	50/80	
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	50 a 85	85 a 130	35 a 65	50 a 80	80 a 100
Punto de Ablandamiento, °C	50 mín	75 mín	55 mín	50 mín	55 mín
Punto de Ruptura FRAASS, °C	-10 máx	-18 máx	-18 máx	-15 máx	-15 máx
Viscosidad a 135°C, cSt	800 mín	900 mín	600 a 1200	600 a 1200	-
Viscosidad a 205°C, cSt	-	-	-	-	300 a 1300
Densidad a 25°/25°C	1,050 a 1,120				
Ductilidad a 5°C, cm	10 mín	50 mín	2 mín	4 mín	7 mín
Recuperación Elástica a 25°C, %	25 mín	50 mín	-	-	40 mín

CUADRO 13
ESPECIFICACIONES DE ASFALTO ELASTOMERICO DE ALEMANIA

ENSAYOS	METODO	PmB 80	PmB 65	PmB 45
Punto de Ablandamiento, °C	DIN 52011	40 a 48	48 a 55	55 a 63
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	DIN 52010	120 mín	50 mín	20 mín
Punto de Ruptura FRAASS, °C	DIN 52012	-20 máx	-15 máx	-10 máx
Ductilidad a 25°C, cm	DIN 52013			40 mín
a 13°C, cm			100 mín	
a 7°C, cm		100 mín		
Densidad a 25°C, gr/cm ³	DIN 52004	1,00 a 1,10	1,00 a 1,10	1,00 a 1,10
Punto de Inflamación, °C	DIN 51376	200 mín	200 mín	200 mín
Recuperación Elástica a 25°C, %		50 mín	50 mín	50 mín
SEPARACION				
Diferencia Punto de Ablandamiento, °C	DIN 52011	2 máx	2 máx	2 máx
EFECTO DE CALOR Y AIRE RTFOT/TFOT				
Variación de masa, %	DIN 52017	1 máx	1 máx	1 máx
Aumento de Punto de Ablandamiento, °C	DIN 52011	5 máx	5 máx	5 máx
Reducción Punto de Ablandamiento, °C		2 máx	2 máx	2 máx
Reducción de Penetración a 25°C, %	DIN 52010	30 máx	30 máx	30 máx
Aumento de Penetración a 25°C, %		10 máx	10 máx	10 máx
Ductilidad a 25°C, cm	DIN 52013			
a 13°C, cm			50 mín	
a 7°C, cm		50 mín		
Recuperación Elástica a 10°C, %		50 mín	50 mín	50 mín

CUADRO 14
ESPECIFICACIONES DE ASFALTO PLASTOMERICO DE ALEMANIA

ENSAYOS	METODO	PmB 65	PmB 45
Punto de Ablandamiento, °C	DIN 52011	48 a 55	55 a 63
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	DIN 52010	50 mín	20 mín
Punto de Ruptura FRAASS, °C	DIN 52012	-15 máx	-10 máx
Ductilidad a 25°C, cm	DIN 52013		10 mín
a 13°C, cm		15 mín	
Densidad a 25°C, gr/cm ³	DIN 52004	1,00 a 1,10	1,00 a 1,10
Punto de Inflamación, °C	DIN 51376	200 mín	200 mín
SEPARACION			
Diferencia Punto de Ablandamiento, °C	DIN 52011	2 máx	2 máx
EFECTO DE CALOR Y AIRE RTFOT/TFOT			
Variación de masa, %	DIN 52017	1 máx	1 máx
Aumento de Punto de Ablandamiento, °C	DIN 52011	5 máx	5 máx
Reducción Punto de Ablandamiento, °C		2 máx	2 máx
Reducción de Penetración a 25°C, %	DIN 52010	30 máx	30 máx
Aumento de Penetración a 25°C, %		10 máx	10 máx
Ductilidad a 25°C, cm	DIN 52013		5 mín
a 13°C, cm		8 mín	

CUADRO 15
ESPECIFICACIONES DE ASFALTO ELASTOMERICO TIPO A DE POLONIA

ENSAYOS	DE 30 A	DE 80 A	DE 150 A	DE 250 A
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	20 a 45	50 a 110	120 a 180	190 a 300
Punto de Ablandamiento, °C	53 a 61	45 a 53	39 a 45	31 a 39
Punto de Ruptura FRAASS, °C	-8 máx	-10 máx	-10 máx	-20 máx
Ductilidad a 25°C, cm	40 mín	-	-	-
Ductilidad a 15°C, cm	-	80 mín	-	-
Ductilidad a 5°C, cm	-	-	80 mín	80 mín
Densidad a 25°C, gr/cm ³	1,0 a 1,1	1,0 a 1,1	1,0 a 1,1	1,0 a 1,1
Punto de Inflamación, °C	200 mín	200 mín	200 mín	200 mín
Recuperación Elástica a 25°C, %	50 mín	50 mín	50 mín	50 mín
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO				
Diferencia de Punto de Ablandamiento, °C	2 máx	2 máx	2 máx	2 máx
Diferencia Penetración, dmm	5 máx	5 máx	5 máx	5 máx
EFEECTO DE CALOR Y AIRE RTFOT/TFOT				
Variación de masa, %	1 máx	1 máx	1 máx	1 máx
Aumento de Punto de Ablandamiento, °C	6,5 máx	6,5 máx	6,5 máx	6,5 máx
Reducción Punto de Ablandamiento, °C	2 máx	2 máx	2 máx	2 máx
Aumento de Penetración a 25°C, %	40 máx	40 máx	40 máx	40 máx
Reducción de Penetración a 25°C, %	10 máx	10 máx	10 máx	10 máx
Ductilidad a 25°C, cm	20 mín	-	-	-
Ductilidad a 15°C, cm	-	50 mín	-	-
Ductilidad a 5°C, cm	-	-	50 mín	50 mín
Recuperación Elástica a 25°C, %	50 mín	50 mín	50 mín	50 mín

CUADRO 16
ESPECIFICACIONES DE ASFALTO ELASTOMERICO TIPO B DE POLONIA

ENSAYOS	DE 30 B	DE 80 B	DE 150 B
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	20 a 45	50 a 110	120 a 180
Punto de Ablandamiento, °C	63 a 73	53 a 63	45 a 53
Punto de Ruptura FRAASS, °C	-10 máx	-13 máx	-18 máx
Ductilidad a 25°C, cm	40 mín	-	-
Ductilidad a 15°C, cm	-	80 mín	-
Ductilidad a 5°C, cm	-	-	80 mín
Densidad a 25°C, gr/cm ³	1,0 a 1,1	1,0 a 1,1	1,0 a 1,1
Punto de Inflamación, °C	200 mín	200 mín	200 mín
Recuperación Elástica a 25°C, %	50 mín	50 mín	50 mín
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO			
Diferencia de Punto de Ablandamiento, °C	2 máx	2 máx	2 máx
Diferencia Penetración, dmm	5 máx	5 máx	5 máx
EFEECTO DE CALOR Y AIRE RTFOT/TFOT			
Variación de masa, %	1 máx	1 máx	1 máx
Aumento de Punto de Ablandamiento, °C	6,5 máx	6,5 máx	6,5 máx
Reducción Punto de Ablandamiento, °C	2 máx	2 máx	2 máx
Aumento de Penetración a 25°C, %	40 máx	40 máx	40 máx
Reducción de Penetración a 25°C, %	10 máx	10 máx	10 máx
Ductilidad a 25°C, cm	20 mín	-	-
Ductilidad a 15°C, cm	-	50 mín	-
Ductilidad a 5°C, cm	-	-	50 mín
Recuperación Elástica a 25°C, %	50 mín	50 mín	50 mín

CUADRO 17
ESPECIFICACIONES DE ASFALTO ELASTOMERICO TIPO C DE POLONIA

ENSAYOS	DE 30 C	DE 80 C	DE 150 C	DE 250 C
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	20 a 45	50 a 110	120 a 180	190 a 300
Punto de Ablandamiento, °C	73 a 100	63 a 100	53 a 80	39 a 60
Punto de Ruptura FRAASS, °C	-13 máx	-18 máx	-23 máx	-28 máx
Ductilidad a 25°C, cm	40 mín	-	-	-
Ductilidad a 15°C, cm	-	40 mín	-	-
Ductilidad a 5°C, cm	-	-	40 mín	40 mín
Densidad a 25°C, gr/cm ³	1,0 a 1,1	1,0 a 1,1	1,0 a 1,1	1,0 a 1,1
Punto de Inflamación, °C	200 mín	200 mín	200 mín	200 mín
Recuperación Elástica a 25°C, %	80 mín	80 mín	80 mín	80 mín
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO				
Diferencia de Punto de Ablandamiento, °C	2 máx	2 máx	2 máx	2 máx
Diferencia Penetración, dmm	5 máx	5 máx	5 máx	5 máx
EFECTO DE CALOR Y AIRE RTFOT/TFOT				
Variación de masa, %	1 máx	1 máx	1 máx	1 máx
Aumento de Punto de Ablandamiento, °C	4,5 máx	4,5 máx	4,5 máx	4,5 máx
Reducción Punto de Ablandamiento, °C	4 máx	4 máx	4 máx	4 máx
Aumento de Penetración a 25°C, %	30 máx	30 máx	30 máx	30 máx
Reducción de Penetración a 25°C, %	10 máx	10 máx	10 máx	10 máx
Ductilidad a 25°C, cm	20 mín	-	-	-
Ductilidad a 15°C, cm	-	20 mín	-	-
Ductilidad a 5°C, cm	-	-	20 mín	20 mín
Recuperación Elástica a 25°C, %	80 mín	80 mín	80 mín	80 mín

CUADRO 18
ESPECIFICACIONES DE ASFALTO PLASTOMERICO DE POLONIA

ENSAYOS	DP 30 B	DP 80 B
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	20 a 45	50 a 110
Punto de Ablandamiento, °C	36 a 73	45 a 53
Punto de Ruptura FRAASS, °C	-8 máx	-10 máx
Ductilidad a 25°C, cm	10 mín	-
Ductilidad a 15°C, cm	-	15 mín
Densidad a 25°C, gr/cm ³	1,0 a 1,1	1,0 a 1,1
Punto de Inflamación, °C	200 mín	200 mín
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO		
Diferencia de Punto de Ablandamiento, °C	2 máx	2 máx
Diferencia Penetración, dmm	5 máx	5 máx
EFECTO DE CALOR Y AIRE RTFOT/TFOT		
Variación de masa, %	1 máx	1 máx
Aumento de Punto de Ablandamiento, °C	6,5 máx	6,5 máx
Reducción Punto de Ablandamiento, °C	2 máx	2 máx
Aumento de Penetración a 25°C, %	40 máx	40 máx
Reducción de Penetración a 25°C, %	10 máx	10 máx

CUADRO 19
ENSAYOS CONSTANTES EN LAS ESPECIFICACIONES DE VARIOS ESTADOS
AMERICANOS DE ASFALTOS MODIFICADOS CON POLIMEROS

ENSAYOS	LIMITES	
	MINIMO	MAXIMO
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	Variable con el tipo	
Penetración a 4°C, 200 gr, 60 seg, dmm	Variable con el tipo	
Viscosidad a 60°C, Po	Variable con el tipo	
Viscosidad a 135°C, cSt	Variable con el tipo	
Punto de Ablandamiento, °C	Variable con el tipo	
Ductilidad a 4°C, 50 mm/min, cm	Variable con el tipo	
Punto de Inflamación, °C	232	
Solubilidad en Tricloroetileno, %	99,0	
Fuerza de Ductilidad	0,3	
Recuperación Elástica a 25°C, %	45	
Contenido de Polímero, %	2	
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO		
Diferencia de Punto de Ablandamiento, °C		2,5
Toughness a 25°C, Nm	12,4	
Tenacidad a 25°C, Nm	8,5	

CUADRO 20
ESPECIFICACION SHELL DE ASFALTOS ELASTOMERICOS

ENSAYOS	METODOS	PMAC-IC SB o SBS	PMAC-ID SB o SBS	PMAC-IIB SBR
Grado de Desempeño SUPERPAVE		70-28	76-28	70-28
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	AASHTO T 49	50 a 75	40 a 75	70 mín
Penetración a 4°C, 200 gr, 60 seg, dmm	AASHTO T 49	20 mín	15 mín	-
Viscosidad a 60°C, Po	ASTM D 4957	5000 mín	5000 mín	5000 mín
Viscosidad a 135°C, cSt	AASHTO T 201	3000 máx	3000 máx	3000 máx
Punto de Ablandamiento, °C	AASHTO T 53	54 mín	71 mín	-
Ductilidad a 4°C, 50 mm/min, cm	AASHTO T 51	-	-	500 mín
Punto de Inflamación, °C	AASHTO T 48	232 mín	232 mín	232 mín
Solubilidad en Tricloroetileno, %	AASHTO T 44	99,0 mín	99,0 mín	99,0 mín
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO				
Diferencia de Punto de Ablandamiento, °C		2,2 máx	2,2 máx	
Toughness a 25°C, Nm		-	-	12,4 mín
Tenacidad a 25°C, Nm		-	-	8,5 mín
EFECTO DE CALOR Y AIRE, RTFOT				
Recuperación Elástica a 25°C, %		45 mín	50 mín	-
Penetración a 4°C, 200 gr, 60 seg, dmm	AASHTO T 49	13 mín	13 mín	-
Viscosidad a 60°C, Po	ASTM D 4957	-	-	8000 máx
Ductilidad a 4°C, 50 mm/min, cm	AASHTO T 51	-	-	250 mín

CUADRO 21
ESPECIFICACIONES DE ASFALTOS MODIFICADOS CON EVA - MOBILPLAST

ENSAYOS	E	G3	G7	G9	20/30	A	B
Densidad a 25°C	1,0 a 1,1						
Punto de Ruptura FRAASS, °C	<= -13	<= -9	<= -9	<= -9	<= -4	<= -16	<= -16
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	52 a 82	50 a 80	35 a 65	30 a 60	20 a 30	22 a 52	30 a 60
Punto de Ablandamiento, °C	>= 50	>= 49	>= 65	>= 67	>= 57	>= 57	>= 56
Índice de Penetración, LCPC	>= +1,0	>= +0,5	>= +3,5	>= +3,5	>= +1,5	>= +3,0	>= 2,0
Intervalo de Plasticidad	>= 63	>= 58	>= 74	>= 76	>= 61	>= 73	>= 72
Temperatura máxima de calentamiento, °C	190	190	190	190	190	190*	190
Temperatura de bombeo, °C	150	130	165	165	160	170	170
Temperatura de usinagem, °C	170	160	175	175	175	200	180

* 16 horas @ 190°C o 2 horas a 220°C

CUADRO 22
ESPECIFICACIONES ASTM D 6114 PARA ASFALTO MODIFICADO
CON CAUCHO RECUPERADO DE NEUMATICOS

ENSAYOS	METODO	TIPO I	TIPO II	TIPO III
Viscosidad Aparente ^{a,b} a 175°C, cP	ASTM D 2196	1500 - 5000	1500 - 5000	1500 - 5000
Penetración a 25°C, 100 gr, 5 seg, dmm	ASTM D 5	25 - 75	25 - 75	50 - 100
Penetración a 4°C, 200 gr, 60 seg, dmm	ASTM D 5	10 mín	15 mín	25 mín
Punto de Ablandamiento, °C	ASTM D 36	57,2 mín	54,4 mín	51,7 mín
Resilencia a 25°C, %	ASTM D 5329	25 mín	20 mín	10 mín
Punto de Inflamación, °C	ASTM D 92	232,2 mín	232,2 mín	232,2 mín
Envejecimiento ^c TFOT:	ASTM D 1754			
Penetración retenida, % original	ASTM D 5	75 mín	75 mín	75 mín

* Viscosímetro BROOKFIELD puede ser usado:

Serie LV usar spindle 3 a 12 rpm

Serie RH y HA usar spindle 3 a 20 rpm

^b Viscosímetro HAAKE puede ser usado con rotor n°1 mas BROOKFIELD o el método preferido

^c Puede ser usado RTFOT o TFOT