



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

TESIS:

**CARACTERIZACIÓN DE UN ASFALTO MODIFICADO CON UN
COPOLÍMERO ELASTOMÉRICO LINEAL (SB) DE ALTO PESO
MOLECULAR CON UN BLOQUE DE POLIESTIRENO DE 22% P/P
Y 8% P/P DE ESTIRENO ALEATORIO**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA:

JOSÉ LUIS SÁNCHEZ LÓPEZ



Ciudad Universitaria, CDMX

2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: RODOLFO RUIZ TREJO
VOCAL: FILIBERTO RIVERA TORRES
SECRETARIO: JOSÉ GABRIEL TÉLLEZ ROMERO
1ER. SUPLENTE: HUGO ORTIZ MORENO
2° SUPLENTE: AMPARO MAYA ROMERO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

FACULTAD DE QUÍMICA, LABORATORIO DE INGENIERÍA QUÍMICA

ASESOR DEL TEMA:

M.I. RODOLFO RUIZ TREJO

ASESOR TECNICO:

M.I. ALEJANDRA COALT LORENZO

SUSTENTANTE (S):

SANCHEZ LOPEZ JOSE LUIS

INDICE TEMATICO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.2. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3. OBJETIVOS PARTICULARES.....	3
1.4. INTRODUCCIÓN EXPERIMENTAL.....	4
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. ANTECEDENTES PRÁCTICOS.....	6
2.2. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	7
2.3. DEFINICIÓN DE ASFALTO.....	8
2.4. TIPOS DE ASFALTO.....	8
2.4.1. ASFALTO NATURAL.....	9
2.4.2. ASFALTO DERIVADO.....	10
2.5. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y COMPOSICIÓN.....	11
2.6. FRACCIONAMIENTO DEL ASFALTO.....	12
2.6.1. SATURADOS.....	14
2.6.2. AROMÁTICOS.....	15
2.6.3. RESINAS.....	16
2.6.4. ASFÁLTENOS.....	17
2.7. MODELOS ASFÁLTICOS.....	18
2.7.1. MODELO MICRO ESTRUCTURAL.....	18
2.7.2. MODELO COLOIDAL.....	19
2.8. USOS DEL ASFALTO.....	21
2.8.1. DEFICIENCIAS EN LA PAVIMENTACIÓN.....	21
2.8.2. ACANALAMIENTO.....	21
2.8.3. FRACTURA TÉRMICA.....	22
2.8.4. FRACTURA POR FATIGA.....	22
2.9. ASFALTO MODIFICADO.....	22
2.10. POLÍMEROS.....	24
2.10.1. TIPOS DE POLÍMEROS (COMPOSICIÓN).....	24
2.10.2. POR ESTRUCTURA DE LA CADENA.....	26

2.10.3. SEGÚN SUS APLICACIONES.....	27
2.10.4 SEGÚN SU COMPORTAMIENTO AL ELEVAR SU TEMPERATURA.	28
2.10.5. SEGÚN SU MECANISMO DE POLIMERIZACIÓN.	28
2.10.6. CLASIFICACIÓN DE FLORY.....	29
2.10.7. SEGÚN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	29
2.11. COPOLÍMEROS SB Y SBS	30
2.12. ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO.....	32
2.13. TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN	33
2.13.1. PRUEBA DE PENETRACIÓN	33
2.13.2. PRUEBA DE ABLANDAMIENTO	35
2.13.3. MEDICIÓN DE VISCOSIDAD EN UN VISCOSÍMETRO BROOKFIELD.....	36
2.13.4. PRUEBA DE SEGREGACIÓN	37
CAPÍTULO 3. COMPENDIO DE MATERIALES Y DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	38
3.1. CARACTERÍSTICAS.....	39
3.2. MATERIAL Y EQUIPO	39
3.3. METODOLOGÍAS DE TRABAJO.....	42
3.3.1. PREPARACIÓN PRELIMINAR DE ASFALTO Y POLÍMERO	44
3.3.2. PREPARACIÓN DE ASFALTO MODIFICADO Y MUESTRA EN BLANCO	46
3.4. CARACTERIZACIÓN	48
3.4.1. PRUEBA DE PENETRACIÓN (PE).....	48
3.4.2. PRUEBA DE ABLANDAMIENTO	49
3.4.3. VISCOSIDAD EN UN BROOKFIELD	51
3.4.4. PRUEBA DE SEGREGACIÓN (ESTABILIDAD DE FASES).....	52
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	54
4.1 RESULTADOS	55
4.1.1. RESULTADOS PRELIMINARES A LA MODIFICACIÓN	55
4.1.2. RESULTADOS DE PRUEBA DE PENETRACIÓN (PE)	56
4.1.3. RESULTADOS DE PRUEBA DE ABLANDAMIENTO (TA)	57
4.1.4. RESULTADOS DE PRUEBA DE VISCOSIDAD BROOKFIELD.....	59
4.1.5. RESULTADOS DE PRUEBA DE SEGREGACIÓN- PENETRACIÓN	63
4.1.6. PRUEBA DE SEGREGACIÓN- ABLANDAMIENTO	64
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	65
CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN.....	67

GLOSARIO.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS	77

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Lago de brea en trinidad y Tobago (asfalto natural).....	09
2. Diagrama de fraccionamiento del petróleo.....	10
3. Representación del método SARA.....	13
4. Estructura típica de alcanos saturados.....	14
5. Estructura de aromáticos no polares.....	15
6. Estructura típica de las resinas.....	16
7. Estructura típica de asfaltenos	17
8. Estructura química del asfalto	19
9. Modelo coloidal	20
10. Polímeros por su composición de monómero.....	25
11. Representación de copolímero SBS.....	30
12. Isómeros del polibutadieno.....	31
13. Esquema de prueba de penetración.....	33
14. Penetrómetro.....	34
15. Rack para temperatura de ablandamiento.....	35
16. Viscosímetro Brookfield.....	36
17. Diagrama de actividades.....	42
18. Polímero Solprene 1322 bloque y polvo.....	45
19. Esquema de equipo para mezcla en caliente.....	46
20. Foto de tratamiento térmico (modificación).....	47
21. Fotografía de muestra modificada después de TE.....	49
22. Fotografía de anillo con muestra antes del corte	50
23. Calentador para tubos regulado a 180 °C.....	51
24. Tubo depresible con asfalto modificado	52

25. Muestra de segregación superior e inferior.....	53
26. Grafica de penetración vs % masa de polímero.....	56
27. Grafica de TA vs % masa de polímero.....	58
28. Grafica de viscosidad vs rapidez de deformación.....	62
29. Grafica de PE vs % masa de polímero para muestras segregadas.....	63
30. Grafica de TA vs % masa de polímero para muestras segregadas	65

ÍNDICE DE TABLAS

1. Composición química genérica del asfalto.....	12
2. Características del agente modificador.....	39
3. Listado de sustancias.....	40
4. Listado de equipos.....	40
5. Lista de material adicional.....	41
6. Cantidades de asfalto para modificaciones.....	44
7. Cantidades de material para la preparación de muestras.....	55
8. Penetración en mezclas asfalto-polímero.....	56
9. Valores de TA para diferentes muestras	57
10. Valores de Y , σ y η para el asfalto sin modificar.....	59
11. Valores de Y , σ y η para PG-S1.....	59
12. Valores de Y , σ y η para PG-S2.....	60
13. Valores de Y , σ y η para PG-S5.....	60
14. Valores de Y , σ y η para PG-S7.....	61
15. Valores de PE para muestras segregadas	63
16. Valores de TA para muestras segregadas.....	64

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1. JUSTIFICACIÓN

México es un país productor de petróleo y cuenta con cinco refinerías en las cuales se produce asfalto. La importancia de este material consiste en sus cualidades como material adherente para la elaboración de *carpetas de rodamiento vehicular*. La red carretera asfáltica instalada en nuestro país requiere mantenimiento, y existe una red carretera consistente en vías de terracería e incluso brechas rurales, que requieren ser reconvertidas a carreteras asfálticas para impulsar el desarrollo económico y social de estas regiones marginadas por la comunicación y tránsito deficientes.

La composición del asfalto depende del sitio de extracción del petróleo y del procesamiento de éste en relación a la obtención del asfalto. El asfalto posee características viscoelásticas y propiedades termomecánicas interesantes para su aplicación en carpetas asfálticas, pero es sensible a las temperaturas climáticas extremas ya que es quebradizo a bajas temperaturas ($<-10^{\circ}\text{C}$) y fluye a altas temperaturas ($>50^{\circ}\text{C}$). Por esta razón, el asfalto debe ser modificado a fin de mejorar su resistencia y lograr mayor estabilidad a condiciones extremas de temperatura.

Con la intención de obtener un producto mejorado, el asfalto suele ser modificado con diferentes sustancias inorgánicas, asbestos, fibras vegetales, fibras minerales, arcillas, plásticos reciclados, hule de llanta triturado, etc. Los polímeros elastoméricos, han tenido gran aceptación, en particular aquellos copolímeros de estireno-butadieno como los SBR (hules estireno-butadieno), siendo estos de principal uso.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Estudiar las propiedades termo-mecánicas de mezclas de asfalto PG 64-22 con un agente modificador (Polímero Solprene® 1322) preparadas por el método de mezclado en caliente, para su debida aplicación en carpetas de rodamiento vehicular de larga durabilidad.

1.3. OBJETIVOS PARTICULARES

- Obtener un asfalto de referencia (blanco de asfalto) con historial térmico. Someter una muestra del asfalto original PG64-22 al mismo tratamiento térmico al que se someterán los asfaltos al ser modificados.
- Caracterizar el asfalto de referencia por determinaciones de temperatura de ablandamiento (TA) y penetración (PE).
- Modificar el asfalto PG 64-22 por el método de mezclado en caliente con cuatro proporciones de polímero comercial, Solprene ® 1322: 1, 2, 5 y 7% masa.
- Caracterizar los asfaltos modificados por determinaciones de temperatura de ablandamiento y penetración.
- Efectuar la viscometría de los asfaltos modificados mediante Rotámetro Rotacional Brookfield a la temperatura de procesamiento, 180 °C.
- Someter los asfaltos modificados a la prueba de Estabilidad de Fases bajo condiciones de almacenamiento estático (Prueba de Segregación).
- Evaluar la estabilidad de fases mediante determinaciones de temperatura de ablandamiento, y penetración.
- Realizar Análisis de Resultados y formular Conclusiones.

1.4. INTRODUCCIÓN EXPERIMENTAL

En el presente estudio, se empleó asfalto grado PG 64-22, así como el polímero comercial Solprene -1322, la obtención de la mezcla asfáltica se llevó a cabo por el método de mezclado en caliente, a las condiciones típicas de procesamiento industrial. La caracterización de los asfaltos modificados se llevó a cabo determinando viscosidad en un viscosímetro Brookfield, estabilidad bajo condiciones de almacenamiento (prueba de segregación), y determinación de las propiedades termomecánicas temperatura de ablandamiento y penetración. Como resultado de la caracterización se observó que el asfalto modificado resultante presenta mejores propiedades para su aplicación en carpetas de rodamiento vehicular que el asfalto original sin modificar

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES PRÁCTICOS

La investigación en torno a la modificación de asfalto para su aplicación en carpetas de rodamiento vehicular responde a la necesidad de describir el comportamiento termomecánico de las mezclas asfálticas, así como el desarrollo de nuevos materiales con menor fragilidad a bajas temperaturas y mayor resistencia al flujo a temperaturas altas [1, 2].

Un cemento asfáltico clasificado como PG 64-22 tendrá un desempeño satisfactorio cuando trabaje a temperaturas tan altas como 64 °C y tan bajas como -22 °C [3].

Los tipos de polímero con más éxito en la formulación de asfaltos son los copolímeros en bloque estireno-butadieno-estireno y estireno-butadieno [4].

En este trabajo se estudió un asfalto PG 64-22 modificado y se empleó un polímero comercial del tipo SB con estructura lineal, denominado Solprene® 1322, con una composición global de 30% en peso de estireno, del cual 22% se presenta como bloque de poliestireno y el resto en forma aleatoria [5].

2.2. ANTECEDENTES TEÓRICOS

Es notable observar la controversia que existe respecto a la definición y empleo de los términos asfalto y betún. El término betún es un término utilizado para referirse a un asfalto que puede encontrarse en la naturaleza, reservando así el término asfalto, para aquel que proviene del procesamiento del petróleo en refinerías.

Dentro de la historia se destaca que este material fue ampliamente utilizado por civilizaciones antiguas como la Sumeria, Caldea, Fenicia, Hindú, China, además de mencionar a las civilizaciones de la América Prehispánica.

Dentro de las civilizaciones de la América prehispánica, este material fue empleado como *adhesivo* en la elaboración de armas como hachas de piedra, lanzas y flechas, al final del neolítico, posteriormente en la construcción para unir piedras, como impermeabilizante en la construcción de embarcaciones, entre los pueblos de Mesoamérica también se utilizó como combustible en lámparas ceremoniales, utilizado como colorante en estatuillas y objetos de cerámica además de ser usado como remedio para enfermedades de la piel. En México, particularmente, recibía el nombre de “chapopohtli” en el idioma náhuatl, término que actualmente aún se emplea con una pequeña derivación a “chapopote”, este término, empleado coloquialmente, no establece diferencia entre el material de origen natural y el proveniente de las refinerías [4, 6, 7].

En la actualidad, aproximadamente el 95% de los asfaltos producidos a nivel mundial se emplean en la construcción de carreteras, en donde funcionan principalmente como ligante para los materiales pétreos. Sin embargo, el sometimiento del pavimento a esfuerzos tanto térmicos como mecánicos cada vez mayores debido a las variaciones de clima, así como al incremento en el tránsito vehicular, ha provocado el desarrollo de nuevas tecnologías en esta industria, entre las que se encuentra la modificación de asfaltos con diversos materiales, siendo los polímeros los más comunes [8].

2.3. DEFINICIÓN DE ASFALTO

Se proponen varias definiciones para describir el asfalto. El asfalto (Chemical Abstracts Service, CAS No. 8052-42-4) es un adherente de color pardo oscuro a negro, semisólido o sólido o líquido viscoso, obtenido de manera natural, o producido por la destilación no destructiva de petróleo crudo. Esta definición es de uso extendido, no obstante, algunos autores consideran que este material es mejor descrito como un líquido viscoelástico, a temperatura ambiente. [9]

El asfalto es definido por la American Society for Testing and Material (ASTM) como un material aglomerante sólido o semisólido de color que varía de negro a pardo oscuro y que se licúa gradualmente al calentarse, cuyos constituyentes son betunes que se dan en la naturaleza en forma sólida y en algunos casos semisólida además de obtenerse a través de la destilación del petróleo así como las combinaciones de éstos entre sí, ya sea con el petróleo y productos derivados de estas combinaciones. [10]

En una manera de resumen podemos definir al asfalto como una sustancia adherente en fase sólida, líquida o semisólida con diferentes tonalidades como café oscuro, negro pardo y negro, obtenidos de manera natural o por métodos industriales del petróleo.

2.4. TIPOS DE ASFALTO

La composición química de un asfalto depende del sitio de extracción y tipo de procesamiento. Dentro de la categoría de lo denominado asfalto se da paso a dos vertientes que se han mencionado, que engloban el interés técnico y propio del presente trabajo, así mismo como sus capacidades y características.

2.4.1. ASFALTO NATURAL

El asfalto *nativo* o natural se ha producido a partir del petróleo por un proceso natural de evaporación de las fracciones volátiles, dejando las asfálticas como residuo. Puede encontrarse en depósitos minerales: impregnado en los poros de algunos tipos de rocas, denominadas rocas asfálticas o bien, puede estar mezclado con elementos minerales, como arenas y arcillas. Estos asfaltos se encuentran como escurrimientos superficiales en depresiones terrestres, dando origen a lagos de asfalto. Estos depósitos se pueden encontrar en diversas partes del mundo como: el lago de Asphaltites en el mar muerto, Seyssel en Francia, Val de Travers en Suiza, el lago de Guanoco en Venezuela y el lago de Brea en Trinidad y Tobago. El asfalto nativo es el menos empleado en la pavimentación, debido a que no tiene *uniformidad* ni pureza y para su empleo debe ser sometido a procesos de purificación [2, 11, 12].



Figura 1. Lago de brea en trinidad y Tobago (asfalto natural). (Foto tomada como parte de Southern Trinidad Aerial Photo Project, uso gratuito, 22 Dic.2016. Drone utilizado: DJI Phantom Wikipedia).

2.4.2. ASFALTO DERIVADO

Los asfaltos derivados son aquellos provenientes de la refinación del petróleo y representan aproximadamente el 90% de los asfaltos totales. Son los más utilizados porque son subproductos en procesos de separación del crudo (separación de gasolinas, kerosenos, etc. de otros componentes más pesados). De la destilación del petróleo puede obtenerse una amplia variedad de tipos y grados de asfaltos que van desde los sólidos duros y quebradizos, hasta líquidos casi tan fluidos como el agua, pero cuyo constituyente básico es el componente semisólido conocido como betún asfáltico. Cuando es sometido el petróleo crudo a un proceso de destilación (figura 2), se separa en fracciones livianas como *nafta* y *keroseno* de la base asfáltica, mediante la vaporización, fraccionamiento y condensación de las mismas. En consecuencia, el asfalto es obtenido como un producto residual del proceso anterior. Estos asfaltos obtenidos del crudo tienen mayor uniformidad y pureza en su composición [1, 8].

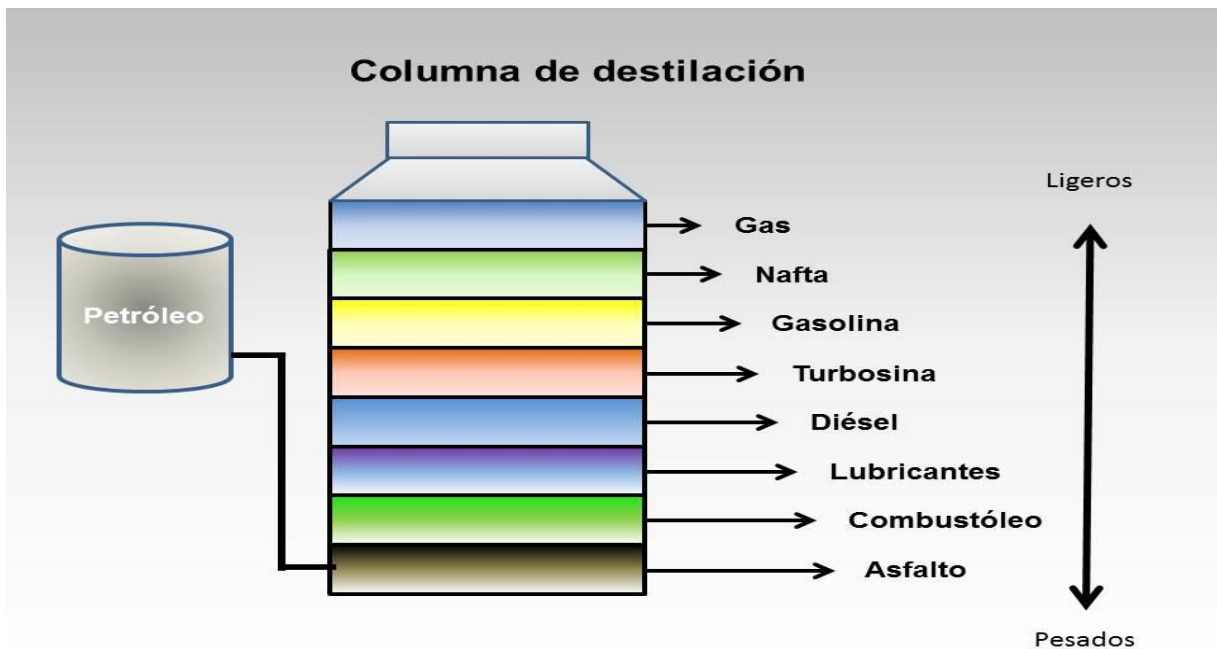


Figura 2. Diagrama de fraccionamiento del petróleo.

2.5. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y COMPOSICIÓN

El asfalto es un material aglomerante resistente, muy adherente, altamente *impermeable* y duradero, al ser mezclado con diferentes materiales *áridos* como rocas trituradas, gravilla o *sedimentos* brindando flexibilidad, además de una resistencia a la mayoría de los *álcalis*, ácidos y sales.

En un ambiente natural a temperatura ambiente, se encuentra como un líquido muy viscoso o en forma casi sólida, con una densidad que varía entre los 1.01 y 1.4 g/cm³, dependiendo del crudo del que se origina y del grado de pavimentación. Presenta una Temperatura de Transición Vítrea (Tg) alrededor de los -20 °C, aunque ésta puede variar desde los 5 hasta los -40 °C. Su peso molecular promedio varía entre los 600 y 1500 g/mol [11, 13].

Desde el punto de vista químico, los asfaltos con una mezcla compleja de *hidrocarburos* de alto peso molecular, El asfalto se compone mayoritariamente de átomos de carbono e hidrógeno, dando un contenido de hidrocarburos de aproximadamente el 90% en peso total. Adicionalmente, posee en menores cantidades *heteroátomos* de azufre, nitrógeno y oxígeno, así como trazas de metales como vanadio y níquel. La mayoría de los asfaltos muestran en su composición ciertas sales orgánicas solubles en forma de microcristales. Una composición genérica del asfalto es mostrada en la tabla 1 [14, 15, 16].

Tabla 1. Composición química genérica del asfalto.

Componente	Porcentaje de componentes (% peso)
Carbono	80-85
Hidrogeno	8-12
Oxigeno	2-8
Azufre	1-7
Nitrógeno	0-2
Metales (vanadio, níquel)	trazas

2.6. FRACCIONAMIENTO DEL ASFALTO

Debido a que el asfalto es una mezcla compleja de moléculas orgánicas que varía en su composición química y peso molecular, es difícil determinar de manera precisa la composición del asfalto, debido a que es extraído del petróleo crudo, el cual presenta una gran variabilidad en su composición de acuerdo a su origen. Otro factor importante, del cual depende la composición del asfalto, es el proceso de obtención.

Así mismo, con la finalidad de obtener un mayor entendimiento acerca de las propiedades del asfalto, se estableció un método para separarlo en cuatro grandes grupos, este método es denominado método SARA, este es un acrónimo denominado por la letra inicial de cada punto de corte (saturados, asfaltenos, resinas, y aromáticos), dentro del fraccionamiento del asfalto las moléculas que lo conforman se han dividido en diferentes familias de acuerdo a su tamaño y solubilidad en disolventes polares, no polares y aromáticos.

El método SARA estandarizado en la norma ASTM D-4124 consiste en la separación del asfalto en asfaltenos y máltenos por precipitación de los primeros con n-heptano. La norma ASTM establece el uso de este solvente, no obstante, otros solventes como el n-hexano o n-pentano suelen emplearse. Posteriormente, los máltenos, que es la parte soluble del asfalto, se fraccionan a través de una columna de alúmina (o sílica gel) con solventes de polaridad creciente. Los máltenos son sustancias solubles en n-heptano, los cuales están constituidos por: resinas, aromáticos y saturados [1, 2, 17].

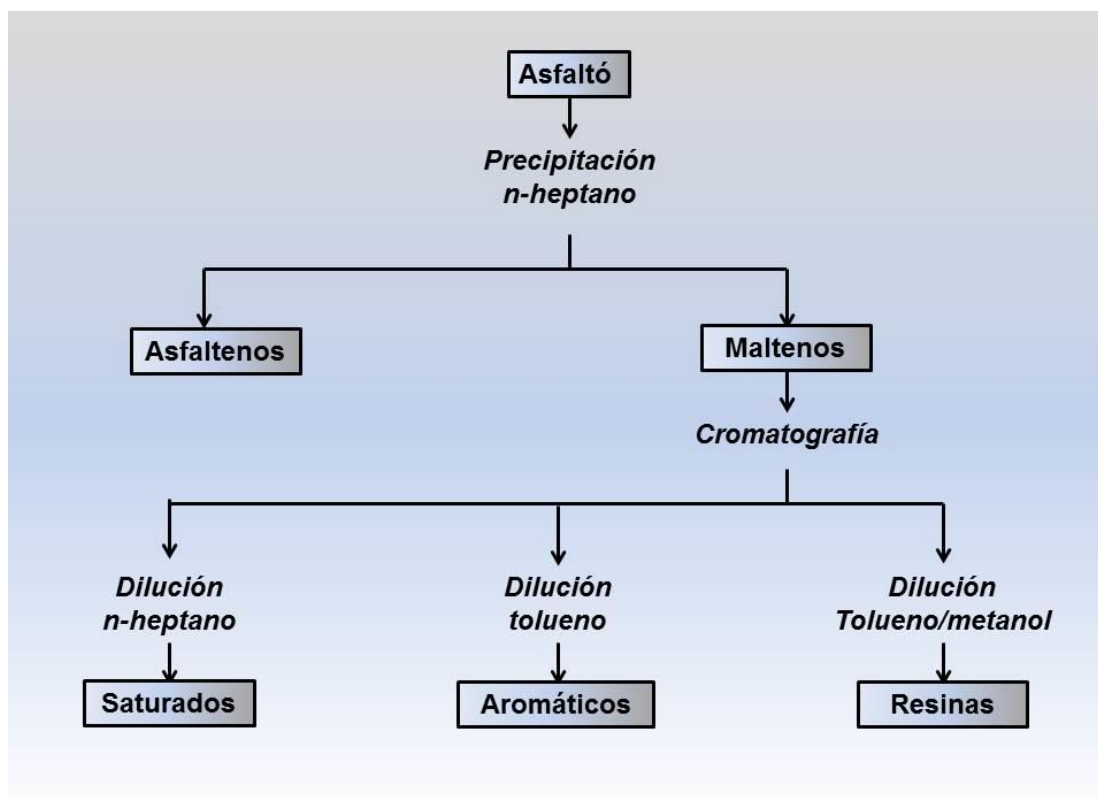
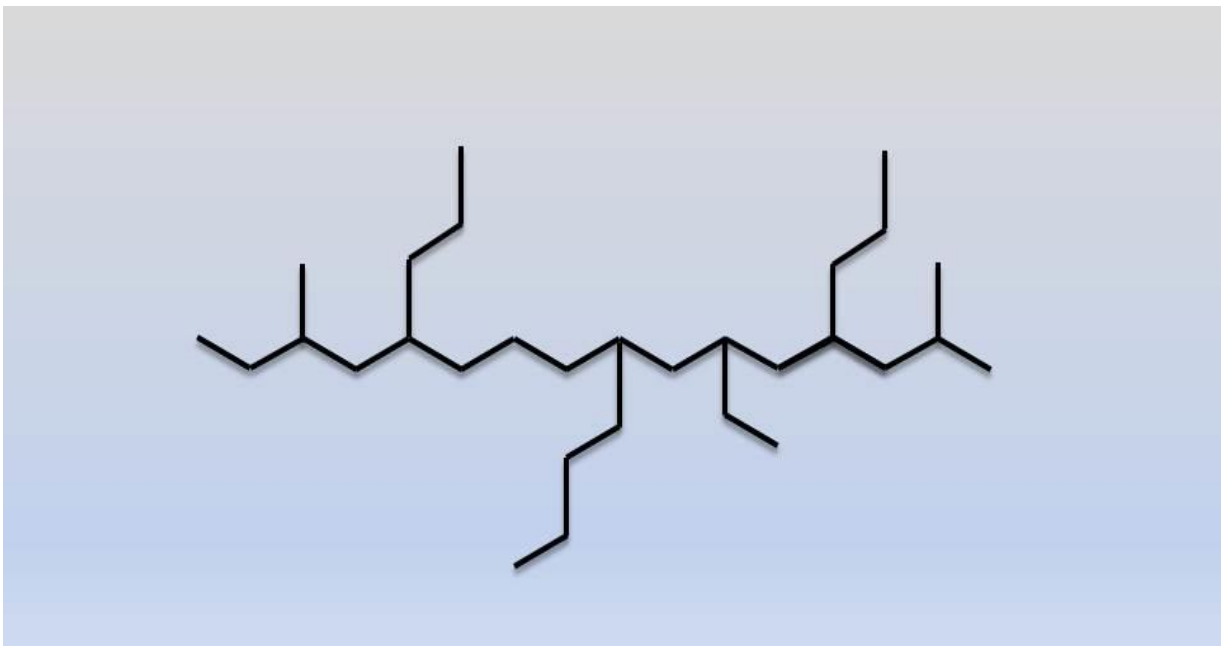


Figura 3. Representación del método SARA.

2.6.1. SATURADOS

Los compuestos saturados, prácticamente aceites viscosos, son hidrocarburos saturados, mayormente constituidos por cadenas lineales, cadenas ramificadas y de parafinas cíclicas, por lo que, tienen muy baja *reactividad*, con pesos moleculares similares a los de los compuestos aromáticos no polares. Tienen un peso molecular entre 470 y 880 g/mol, constituyen entre el 5% al 20% peso del cemento asfáltico. Se encuentran en forma de líquido incoloro o ligeramente coloreado a temperatura ambiente, debido a su baja Temperatura de Transición Vítrea (alrededor de $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$), comúnmente $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ por debajo de la del betún. Son principalmente alifáticos, se conforman de algún n-alcano lineal, muy pocos átomos polares y anillos alifáticos.



2.6.2. AROMÁTICOS

Los compuestos aromáticos incluyen compuestos de anillos bencénicos fusionados con anillos saturados unidos a cadenas de hidrocarburo. Se encuentran como un líquido de coloración amarilla-rojiza a temperatura ambiente. Estos compuestos son de mayor viscosidad que los saturados, debido a su Temperatura de Transición Vítrea (T_g) de alrededor de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ similar a la del betún. Tienen alta capacidad para disolver otros compuestos de alto peso molecular, tienen el peso molecular más bajo, entre 570 a 980 g/mol. Son los constituyentes más abundantes, comúnmente representan entre el 40 y 65% del peso total del betún, tienen una polaridad muy baja y forman un líquido viscoso café oscuro que actúa como medio de dispersión para los asfáltenos.

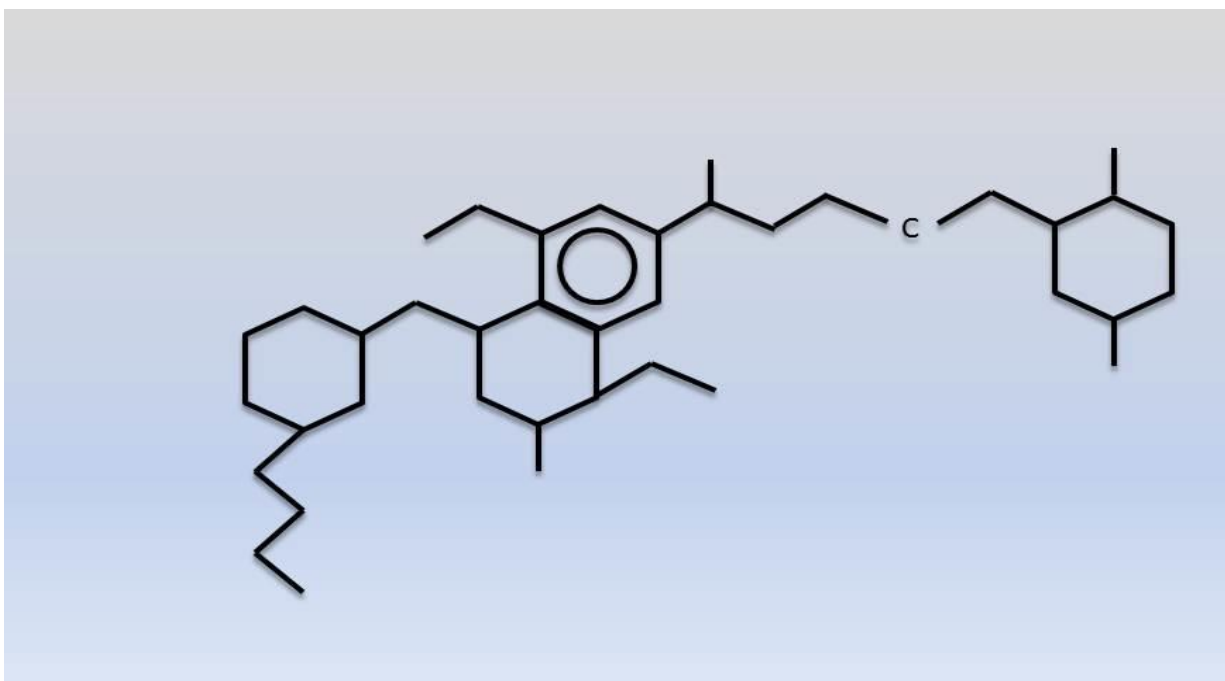


Figura 5. Estructura de aromáticos no polares.

2.6.3. RESINAS

Las resinas son sólidas o semisólido a temperatura ambiente, se encuentran de color negro o café oscuro, de composición similar a la de los asfáltenos pero de menor peso molecular y constituidas por sistemas de anillos aromáticos muy polares fuertemente adhesivos con contenido de nitrógeno, oxígeno o azufre. Se ubican rodeando a los asfáltenos haciendo que el asfalto resultante sea estable. Constituyen entre el 15% y 30% del betún asfáltico. Sus moléculas tienen un peso molecular entre 780-1400 g/mol. Las resinas contenidas en los máltenos son intermediarias en el asfalto, cumplen la misión de homogenizar y compatibilizar a los asfáltenos insolubles, actúan así como un agente *peptizante* para los asfáltenos, disminuyendo el tamaño de las micelas y, por lo tanto, aumentan la fluidez y plasticidad del asfalto.

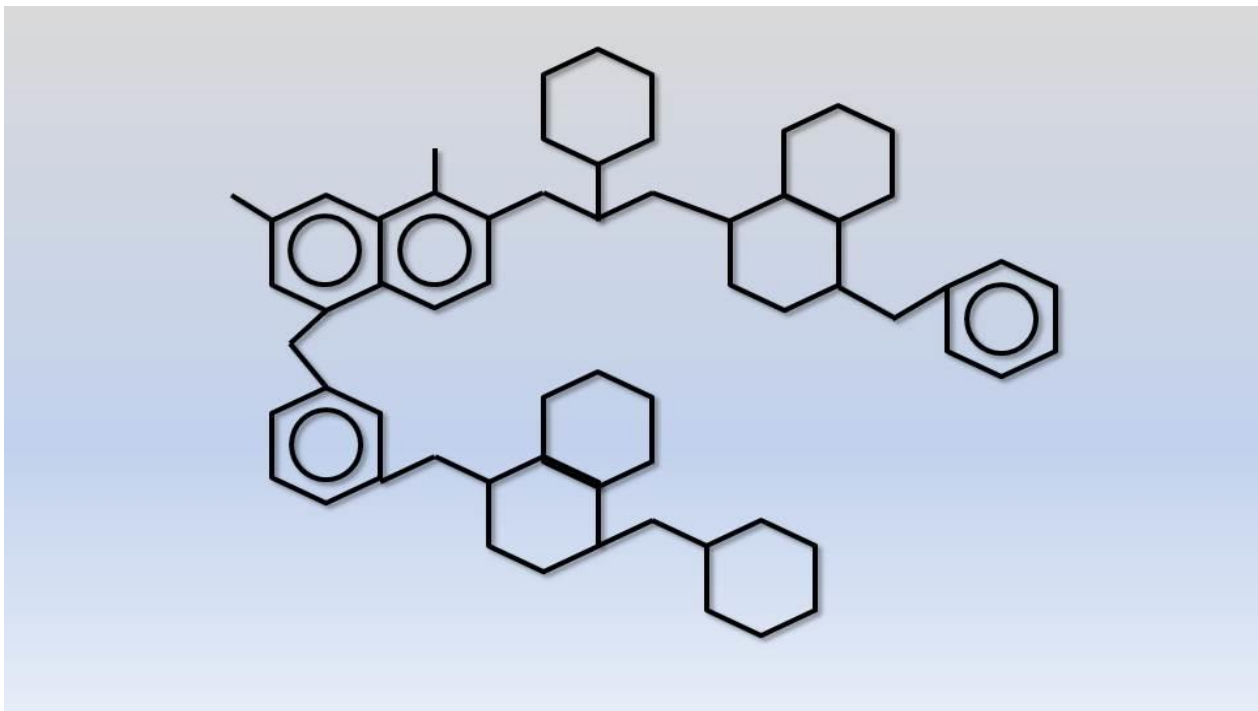


Figura 6. Estructura típica de las resinas.

2.6.4. ASFÁLTENOS

Los asfaltenos son compuestos sólidos a temperatura ambiente, forman un polvo negro responsable del color del asfalto, altamente polares, son materiales de alto peso molecular entre 800-3500 g/mol. Constituyen entre el 5 y 20 % del peso total del asfalto. Están constituidos en su mayoría por átomos de carbono e hidrógeno. Presentan de pequeñas cantidades de azufre, nitrógeno y oxígeno además de contener la mayoría de las trazas de los metales presentes en el asfalto. Contienen más anillos aromáticos condensados y grupos polares que el resto de las moléculas. Los asfaltenos son responsables de la dureza en el asfalto. Un aumento en la cantidad de asfaltenos produce endurecimiento, aumento en la viscosidad y disminución de la susceptibilidad. Confieren a éste sus propiedades elásticas, y gracias a los grupos polares, con aromáticos y complejos metálicos, contribuyen en gran manera a la actividad superficial y la adhesión del betún en los agregados minerales, no son solubles en los máltenos y se mantienen suspendidos debido a las resinas.

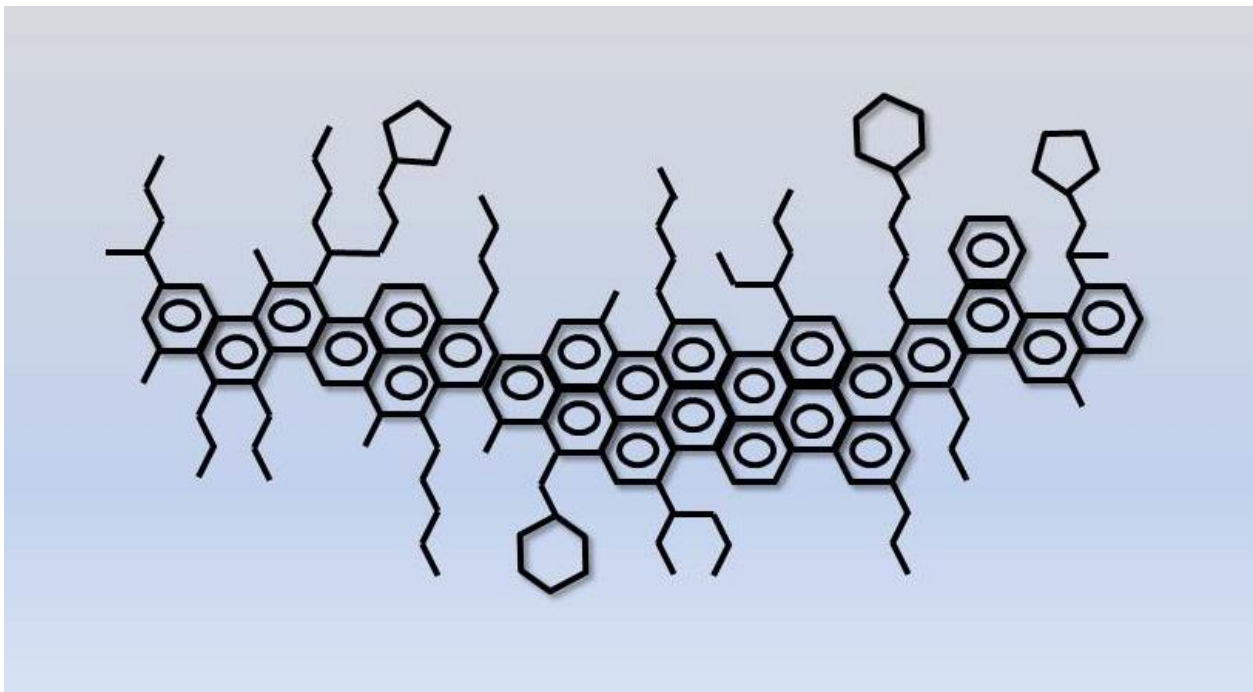


Figura 7. Estructura típica de asfaltenos.

2.7. MODELOS ASFÁLTICOS

La composición química (estructura y asociaciones moleculares) del ligante asfáltico influye en las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas. Para representar y explicar el comportamiento reológico del asfalto, se emplean principalmente dos modelos: el modelo coloidal y el modelo micro estructural [4, 20].

2.7.1. MODELO MICRO ESTRUCTURAL

Plantea que el asfalto es una mezcla de moléculas complejas que se mantienen separadas entre sí, dando lugar a asociaciones y que el *comportamiento reológico* del material está relacionado con la intensidad de las fuerzas resultado de las interacciones moleculares polares. Una variación de esta idea es que el asfalto es una mezcla de fases *amorfas* y *cristalinas*. Este modelo se ha desarrollado en el marco del programa estratégico SHRP (Strategic Highway Research Program) de EEUU. El asfalto es considerado como una mezcla de diversas moléculas, tanto polares, como no polares que interactúan unas con otras. Estas moléculas pueden formar asociaciones débiles, incluso redes que se dispersan en el asfalto, pudiendo existir concentraciones localizadas de moléculas similares. Estas asociaciones conforme se forman, se rompen, constituyendo un proceso continuo de asociación dispersión como una respuesta a los cambios en la temperatura y a los esfuerzos físicos manteniéndose unidas a través de fuerzas débiles. Las moléculas polares interactúan, confiriéndole al asfalto propiedades elásticas, las moléculas no polares contribuyen al comportamiento viscoso del asfalto, controlando sus propiedades a temperaturas bajas, como se muestra en la figura 8 [4, 20, 21, 22].

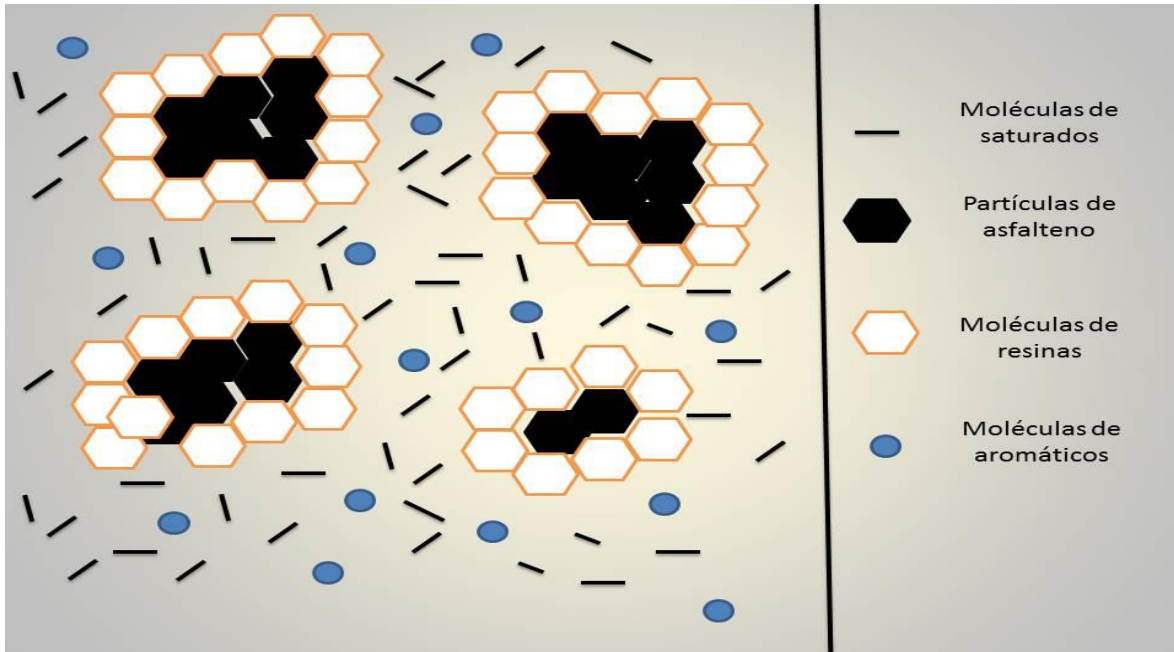


Figura 8. Estructura química del asfalto.

2.7.2. MODELO COLOIDAL

El asfalto es considerado como una *dispersión coloidal* en la cual los asfaltenos son partículas de *soluto* (con un tamaño promedio de 100 nm); las parafinas, aceites aromáticos y las resinas constituyen la fase continua llamada maltenos. En general, en una dispersión coloidal, las partículas coloidales son tan pequeñas (<10 μm) que permanecen suspendidas en el líquido indefinidamente. Un sol es una mezcla de partículas coloidales en un líquido. No es una disolución porque cada partícula contiene aún miles de moléculas, pero no es tampoco una mezcla ordinaria porque las partículas están permanentemente suspendidas en el líquido. Un sol es un fluido porque cada partícula está completamente rodeada de líquido. Sin embargo, en el caso en el que la concentración de partículas es grande, las partículas pueden adherirse hasta formar una red continua en la cual queda disperso el líquido en forma de gotitas de tamaño coloidal, entonces la dispersión recibe el nombre de gel, el cual es relativamente *rígido* comparado con el fluido sol, porque en la dispersión gel el líquido está rodeado de sólido.

Así, en el caso del asfalto, se pueden identificar dos tipos de estructuras: asfaltos tipo sol, en los cuales las micelas de asfaltenos se mueven libremente entre sí, debido a que la proporción de asfaltenos es baja en relación a la proporción de máltenos como se muestra en la figura 9-A. En tanto los asfaltos tipo gel tienen estructuras en las cuales las micelas establecen contacto entre sí por todo el volumen *bituminoso*, debido a la gran concentración de asfaltenos frente a la proporción menor de maltenos, representado en la figura 9-B. Desde luego, existen asfaltos de estructura intermedia entre sol y gel [4, 20, 21, 23].

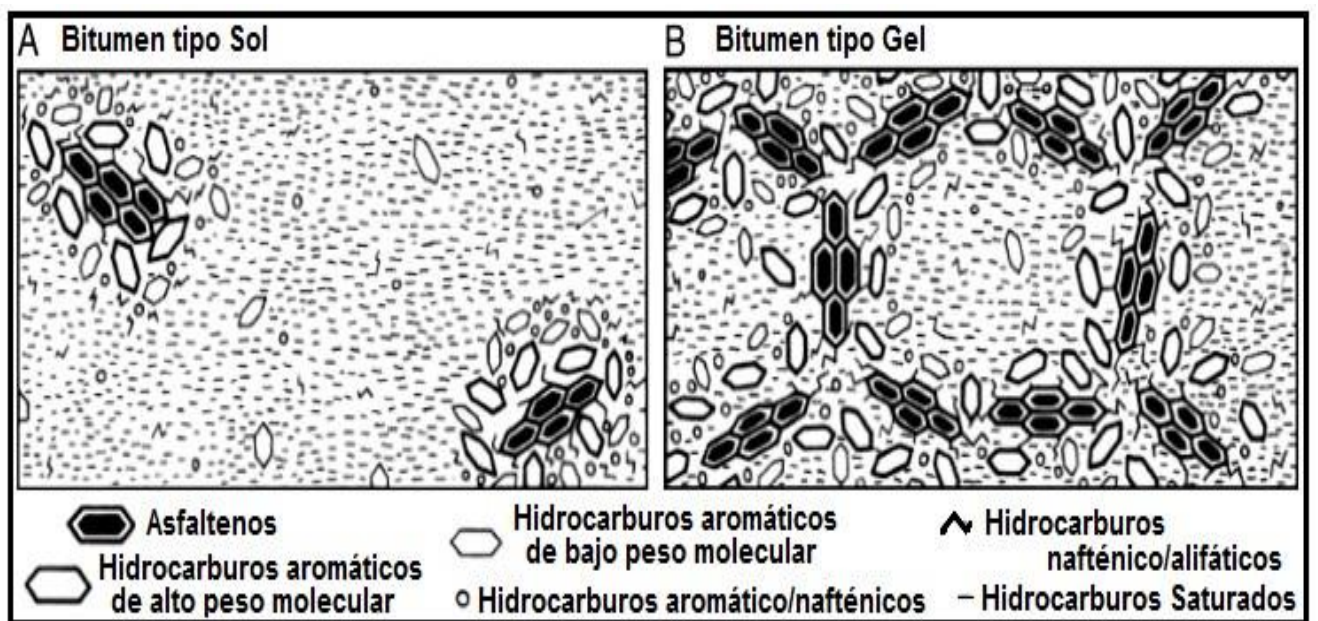


Figura 9. Modelo coloidal A) asfalto tipo sol, B) asfalto tipo gel. (D. Lesueur, advances in colloid and interface science 145, page 53, 2009).

2.8. USOS DEL ASFALTO

Debido sus propiedades termo-mecánicas, su poder aglomerante, comportamiento visco-elástico y bajo costo, el asfalto es ampliamente usado para diversas aplicaciones, entre las cuales se pueden mencionar: la impermeabilización de superficies ya sea azoteas o paredes, así como su empleo como recubrimiento, relleno y sellador debido a que es un buen *aislante* térmico, dieléctrico y acústico. Sin embargo su empleo más común, es como carpeta vehicular. Cerca del 90% de las carreteras del mundo han sido pavimentadas con asfalto [2, 24].

2.8.1. DEFICIENCIAS EN LA PAVIMENTACIÓN

Las principales deficiencias en el asfalto usado en pavimentación son: la *deformación* permanente a altas temperaturas, el fracturamiento térmico a bajas temperaturas y la carga asociada con el rompimiento por *fatiga*. Además, el envejecimiento y la *susceptibilidad* a la humedad completan estas deficiencias [25].

2.8.2. ACANALAMIENTO

Esta falla se da a altas temperatura (40-65 °C), sobre todo en carreteras donde el clima suele ser extremo, como desiertos. Consiste en la formación de ondas sobre la carpeta asfáltica, se debe a un esfuerzo ejercido por el tráfico y conlleva a una deformación permanente en la superficie. Esta deformación produce canales paralelos a la dirección del tráfico y constituye un peligro, especialmente en pisos mojados [25].

2.8.3. FRACTURA TÉRMICA

La fractura térmica es ocasionada cuando se expone la carpeta asfáltica o carretera a un ciclo térmico sencillo, donde la temperatura alcanza una temperatura crítica, ya sea por calentamiento o enfriamiento.

Este efecto suele ser más severo a temperaturas bajas de servicio, por ejemplo en zonas frías, porque se excede la capacidad del asfalto de disipar energía térmica [25].

2.8.4. FRACTURA POR FATIGA

Este tipo de falla es causada por la aplicación continua de cargas sobre un periodo largo y un volumen de tráfico que excede al criterio usado en el diseño del pavimento. Inicia en la parte baja de la carpeta asfáltica y se extiende sobre la superficie [25].

2.9. ASFALTO MODIFICADO

La razón principal para modificar el asfalto es mejorar las propiedades de desempeño de éste. El asfalto modificado consiste en una mezcla de dos componentes principales: el agente modificador y el asfalto, la selección del agente modificador se basa tanto en las características del asfalto y el resultado final que se le dará al asfalto. Esta técnica surgió en 1823, cuando una fabricada en la Gran Bretaña mezclaba hule natural con asfalto. El uso de polímero se ha implementado en países desde hace poco más de medio siglo, entre los más empleados destacan los polímeros de estireno y butadieno en bloque.

Antes de utilizar los polímeros para modificar el asfalto, se utilizaban diversos materiales para lograr los efectos deseados, tales como asbestos especiales, fibras vegetales, minerales y cauchos.

Las propiedades y comportamiento del asfalto modificado dependen de la naturaleza química del propio asfalto (ya que éstas varían dependiendo de su origen y proceso de obtención), así como de las características del agente modificador (composición global, *distribución manométrica*, *morfología*, pesos moleculares, entre otras) y de las condiciones de producción del asfalto modificado (temperatura, velocidad y tiempo de agitación). A pesar de los diversos estudios relacionados a la modificación de asfalto, empleando una gran variedad de agentes modificadores, no se ha logrado establecer con precisión el comportamiento real de estos materiales, debido a los diferentes tipos de asfaltos que existen y a su naturaleza compleja [21, 22, 24, 26].

Algunos modificadores poliméricos son:

- Homopolímeros: tienen una sola unidad estructural (monómero)
- Copolímero: tienen varias unidades estructurales distintas (EVA, SBS)
- Elastómeros: son aquellos polímeros amorfos que muestran un comportamiento elástico con una gran capacidad de deformación. Los elastómeros pueden alargarse de un 5% a un 700%, dependiendo del material y recuperan su forma original sin deformación permanente al cesar la tensión aplicada.

Una gran cantidad de polímeros se han experimentado obteniendo diversos resultados, pero los polímeros que han demostrado ser los mejores para modificación de asfaltos son los denominados SB “Styrene Butadiene” por sus siglas en inglés, este copolímero dibloque se pueden obtener mediante una operación secuencial de polimerización del estireno y del butadieno [16, 27, 28].

2.10. POLÍMEROS

Los polímeros o macromoléculas de alto peso molecular, son aquellas sustancias formadas de una larga serie de unidades simples repetidas de bajo peso molecular llamadas *monómeros*, mediante un proceso denominado *polimerización*. La palabra “polímero” significa “que tiene muchas partes” (proviene de las palabras del griego *poly* y *meros*). Como resultado de este proceso, se obtendrá un polímero con características específicas como el peso molecular, la arquitectura y la secuencia monomérica; estas características son determinantes en las propiedades que poseerá el polímero. Cuando en la polimerización se lleva a cabo la unión de pocos monómeros, se obtiene un polímero de bajo peso molecular denominado oligómero, el cual a su vez puede poseer grupos terminales que pueden polimerizarse, generalmente por calentamiento, para formar redes de polímeros. El tamaño y la forma de los polímeros están íntimamente relacionados a sus propiedades. La forma, o arquitectura del polímero puede ser lineal, ramificada, en estrella, en forma de peine, escalera, etc.

2.10.1. TIPOS DE POLÍMEROS (COMPOSICIÓN)

- Los homopolímeros tienen una sola unidad estructural (monómero A), es decir, en este tipo de polímero todas sus moléculas corresponden a un mismo y único monómero.
- Los copolímeros son polímeros constituidos por más de un tipo de unidad repetitiva. Existen distintos tipos de copolímero. Tomando como base su distribución en la cadena polimérica, se tiene [29]:

- a) Copolímero en bloque, un segmento largo formado por un monómero es seguido de un segmento hecho con el otro monómero.
- b) Copolímero aleatorio o al azar, diferentes monómeros están entrelazados en un orden no determinado.
- c) Copolímero de inserción o injertado, consiste en cadenas largas de un monómero con cadenas más cortas del otro monómero unidas como grupos laterales.
- d) Copolímero alternante, en el cual se alternan los monómeros.

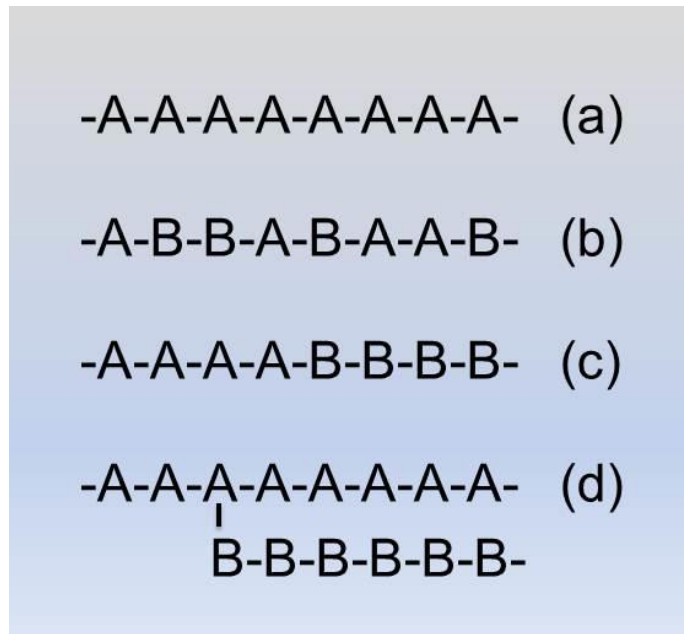


Figura 10. Polímeros por su composición de monómero: (a) homopolímeros, (b) copolímeros aleatorios, (c) copolímeros alternados, (d) copolímero injertado.

2.10.2. POR ESTRUCTURA DE LA CADENA

- *Lineales*: Surgen cuando la polimerización se da únicamente entre monómeros bifuncionales. Son cadenas largas, flexibles, esencialmente *unidimensionales*. El término lineal, no implica que necesariamente sea ésta la geometría adoptada por el polímero. Si la unidad base que forma a la molécula posee grupos laterales, el polímero no se considera como ramificado [32, 33].
- *Ramificados*: Nacen de la introducción de puntos de tri- o mayor funcionalidad en una cadena lineal. Las ramificaciones poseen una alta influencia en las propiedades debido a efectos estéricos.
- *Entrecruzados*: Al incrementarse la longitud y frecuencia de las ramificaciones, existe una mayor probabilidad de que ocurra una interacción entre una cadena y otra. Al conectarse todas las cadenas entre sí en tres dimensiones, por medio de enlaces covalentes, se forma una molécula de gran tamaño, un polímero entrecruzado. La formación de este tipo de polímeros puede originarse tanto de la reacción de una cantidad suficiente de monómeros con tres o más grupos funcionales, como de la creación química de entrecruzamientos entre moléculas lineales o ramificadas existentes.

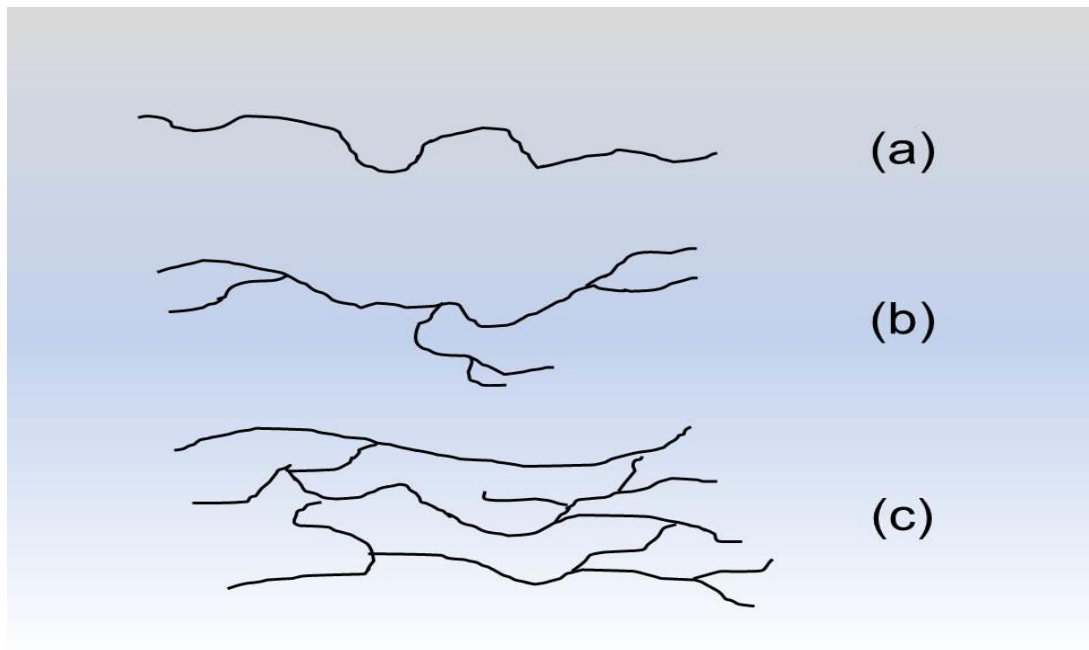


Figura 11. Polímeros por su estructura: (a) lineales, (b) ramificados, (c) entrecruzados.

2.10.3. SEGÚN SUS APLICACIONES

- **Elastómeros.** Son polímeros que cuentan con la particularidad de ser elásticos. Recuperan su forma luego de ser deformados, es decir, se pueden estirar cuando se les aplica una fuerza de tracción y cuando cesa esa fuerza los polímeros recobran su estado inicial.
- **Plásticos.** Son aquellos polímeros que, ante un esfuerzo suficientemente intenso se deforman irreversiblemente, no pudiendo volver a su forma original. Hay que resaltar que el término plástico se aplica a veces incorrectamente para referirse a la totalidad de los polímeros.
- **Fibras.** Son polímeros cuyas cadenas están extendidas en línea recta (o casi recta) una al lado de la otra a lo largo de un mismo eje. Esa característica permite confeccionar tejidos cuyas dimensiones permanecen estables.

- Recubrimientos. Son sustancias, normalmente líquidas, que se adhieren a la superficie de otros materiales para otorgarles alguna propiedad, por ejemplo resistencia a la *abrasión*.
- Adhesivos. Son sustancias que combinan una alta adhesión y una alta cohesión, lo que les permite unir dos o más cuerpos por contacto superficial [31].

2.10.4 SEGÚN SU COMPORTAMIENTO AL ELEVAR SU TEMPERATURA.

- Termoplásticos. Fluyen al calentarlos y se vuelven a endurecer al enfriarlos. Su estructura molecular presenta pocos (o ningún) entrecruzamientos.
- Termoestables. No fluyen, y lo único que se consigue al calentarlos es que se descompongan químicamente, en vez de fluir. Este comportamiento se debe a una estructura con muchos entrecruzamientos que impiden los desplazamientos relativos de las moléculas [30].

2.10.5. SEGÚN SU MECANISMO DE POLIMERIZACIÓN.

- Polímeros de condensación. Son aquellos en los que la fórmula molecular de la unidad repetitiva de la cadena de polímero carece de átomos presentes en el monómero del que está formado (o al que puede ser reducido).
- Polímeros de adición. Son aquellos en los que esta pérdida de una pequeña molécula no tiene lugar.

2.10.6. CLASIFICACIÓN DE FLORY.

- Polímeros formados por reacción en cadena. Se requiere un iniciador para comenzar la polimerización.
- Polímeros formados por reacción en etapas. El proceso molecular del polímero crece a lo largo del tiempo de manera lenta, por etapas. Ello es debido a que el monómero desaparece rápidamente, pero no da inmediatamente un polímero de peso molecular elevado, sino una distribución entre dímeros, trímeros, y en general, oligómero; Transcurrido un cierto tiempo, estos oligómeros empiezan a reaccionar entre sí, dando lugar a especies de tipo polimérico [31].

2.10.7. SEGÚN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA

- Polímeros orgánicos. Posee en la cadena principal átomos de carbono
- Polímeros no orgánicos. No están basados principalmente en átomos de carbono, entre otros ya sea basados en azufre o en silicio [27].

2.11. COPOLÍMEROS SB Y SBS

Recientemente, la tecnología de copolímeros en bloque ha sido aplicada al entrecruzamiento físico. El método involucra la síntesis de copolímeros del tipo AB y ABA en los cuales los bloques A y B difieren sustancialmente en estructura. Considerando el caso de los copolímeros SBS, una cadena flexible como el polibutadieno, unida en cada uno de sus extremos con bloques cortos de un polímero rígido como el poliestireno. A causa de que el polibutadieno y el poliestireno son inherentemente inmiscibles (incompatibles), los bloques de poliestireno tienden a agregarse y forman fases separadas (micro dominios) dentro de la matriz polimérica. Los copolímeros SBS poseen una morfología bifásica, con dominios esféricos formados por la parte estirénica dentro de una matriz o malla de polibutadieno. Los dominios de poliestireno actúan como entrecruzamientos físicos, formando así redes elastoméricas. La naturaleza termoplástica de los polímeros SBS a altas temperaturas y la posibilidad que tienen de formar una red continúa a bajas temperaturas, hacen a estos polímeros adecuados para el uso en modificación de asfaltos.

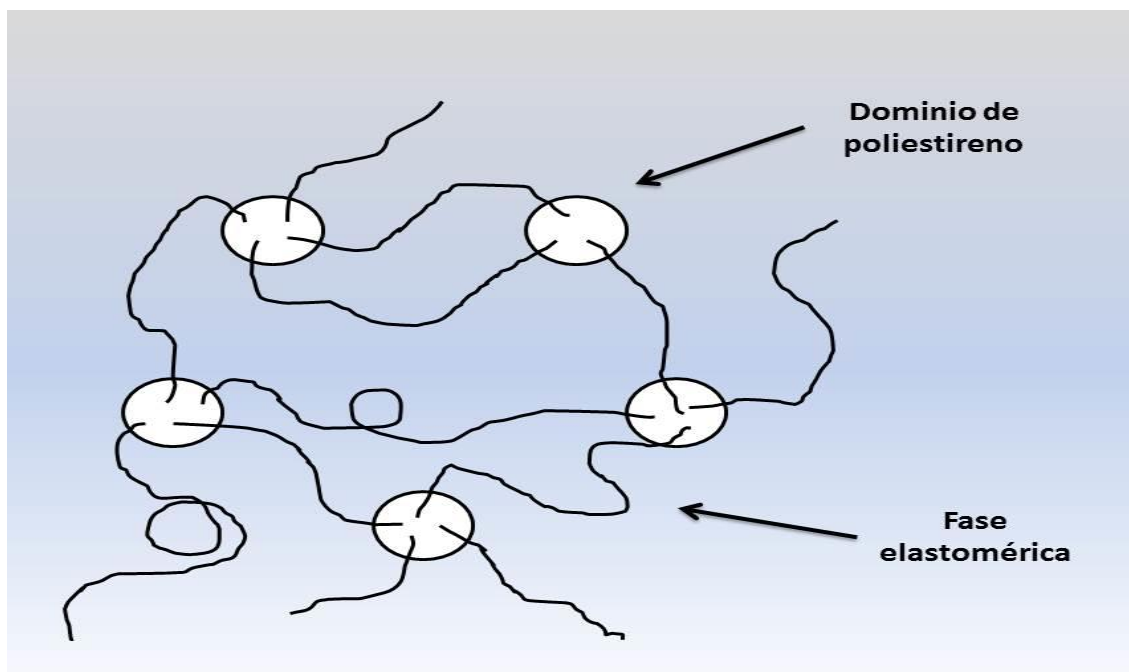


Figura 11. Representación de copolímero SBS.

El polibutadieno es uno de los materiales sintéticos de mayor uso para mejorar las propiedades viscoelásticas de materiales compuestos, tal es el caso del asfalto modificado con polímero. Este polímero puede presentar isomería y diferentes configuraciones en función de la cantidad relativa de sus isómeros 1,4 cis, 1,4-trans y 1, 2-Vinilo y del arreglo de éstos en la cadena polimérica.

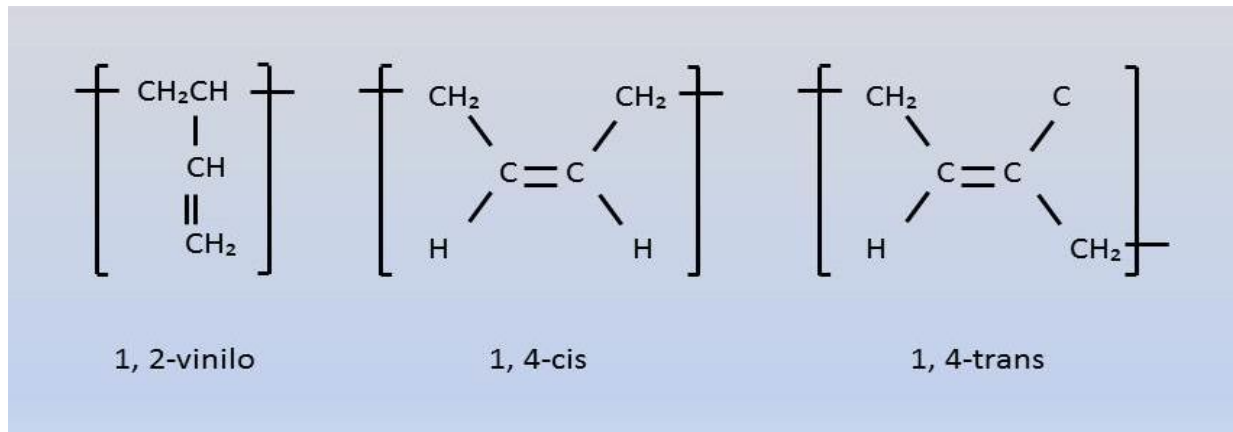


Figura 12. Isómeros del butadieno.

La macroestructura de los polímeros y el peso molecular se controlan mediante las propiedades del iniciador que es usado, el cual comprende un complejo organometálico basado en n-butil-Litio (n-(C₄H₉) Li, trioctil Aluminio [Al (C₈H₁₇)₃] y etil-hexóxido de Bario (RO)₂ Ba [1, 11,16, 28, 30, 33].

2.12. ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO

La modificación de asfaltos se ha realizado con polímeros de naturaleza variada, tales como cauchos de estireno-butadieno (SBR), copolímeros de estireno butadieno-estireno (SBS), polietileno y acetato de etil vinilo (EVA), entre otros. Sin embargo, los materiales que han presentado los resultados más satisfactorios son los copolímeros de estireno-butadieno-estireno debido a que mejoran la resistencia mecánica del asfalto en un amplio intervalo de temperatura. Al mezclar un polímero con un asfalto en caliente sin precauciones especiales ocurre uno de los siguientes tres casos:

- Mezcla heterogénea. Ocurre cuando el asfalto y el polímero son incompatibles. Los componentes de la mezcla se separan y el conjunto presenta las mismas características que el *ligante* original.
- Mezcla totalmente homogénea. Incluso molecularmente es el caso menos frecuente de compatibilidad perfecta. En este caso, el ligante es extremadamente estable, pero la modificación de sus propiedades de uso es muy débil respecto al asfalto original y sólo aumenta su viscosidad. Este no es el resultado deseado.
- Mezcla micro heterogénea. Constituida por dos fases. Esta es la compatibilidad deseada. En un sistema de esas características el polímero compatible se *hincha* luego de *absorber* una parte de las fracciones aceitosas ligeras del asfalto para formar una fase polimérica diferente de la fase residual, constituida por las fracciones deseadas del ligante, los aceites restantes, las resinas y los asfáltenos [34].

Cuando el polímero se adiciona al asfalto caliente y manteniendo agitación el primero absorbe los maltenos hinchándose hasta nueve veces su volumen inicial con un contenido bajo de polímero, menos de 6%, se forman pequeñas esferas, las cuales se distribuyen homogéneamente en una fase continua de asfalto y al incrementar el contenido del polímero se provoca una inversión de fases, donde la fase continua es el polímero y la dispersa es el asfalto [16].

2.13. TÉCNICAS DE CARACTERIZACIÓN

La caracterización del asfalto es sumamente importante, ya que permite realizar una comparación entre las propiedades de una muestra modificada y el asfalto blanco, y observar si la modificación es una mejora al comportamiento termomecánico de éste. La caracterización es referida a un conjunto de pruebas para la determinación de las propiedades específicas de los asfaltos. Estas pruebas están compiladas en técnicas estandarizadas nombradas normas ASTM.

2.13.1. PRUEBA DE PENETRACIÓN

Determinada por la norma ASTM D5. La prueba de penetración cuantifica la dureza de un material bituminoso, expresada como la distancia en décimas de milímetro que una aguja estándar penetra verticalmente una muestra de material bajo condiciones definidas de carga, tiempo y temperatura, siendo éstas normalmente de 100 g, 5 s, y 25 °C, respectivamente.

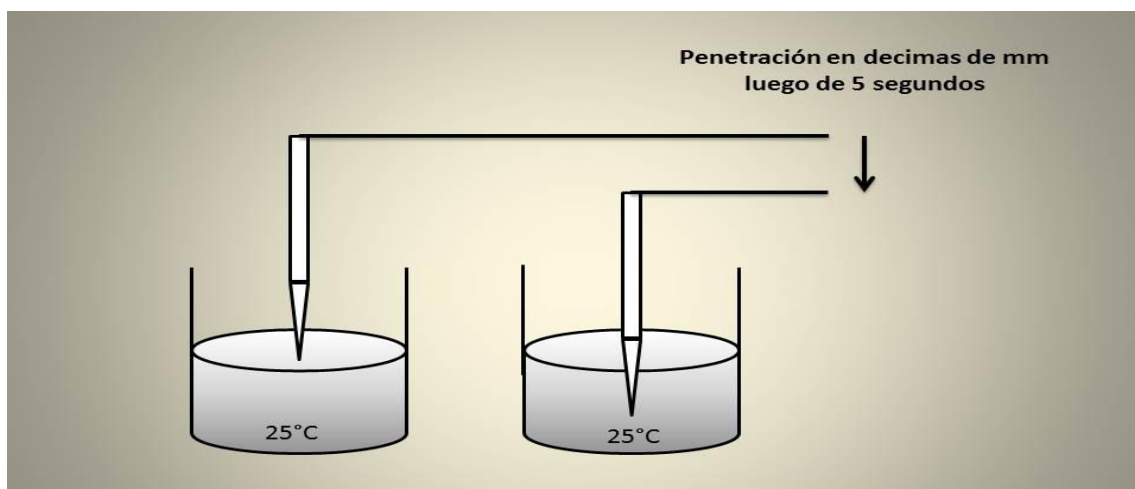


Figura 13. Esquema de prueba de penetración.

Esta prueba se aplica para materiales con penetraciones entre 0 y 350 (1/10 mm), presentando valores mayores aquellos con una menor dureza. La medición se lleva a cabo con un aparato de penetración o penetrómetro que permita al huso moverse verticalmente sin que exista una fricción apreciable y con una resolución de hasta 1/10 mm. El peso del huso debe ser de 47.50 ± 0.05 g, sumando un peso con la aguja de 50.00 ± 0.05 g, y finalmente de 100.00 ± 0.05 g como carga total. La aguja es de acero inoxidable endurecido y templado, con una longitud de 50 mm y un diámetro de entre 1.00 y 1.02 mm [36].



Figura 14. Penetrómetro

2.13.2. PRUEBA DE ABLANDAMIENTO

La temperatura de ablandamiento (TA) es un indicativo de la tendencia que presenta un material a fluir a elevadas temperaturas. Se determina usualmente por el método de anillo y bola marcado por la norma ASTM D36. La prueba consiste en llenar con una muestra de asfalto un anillo de latón de alrededor de 20 mm de diámetro, para colocarse en un soporte con un termómetro y dos porta anillos denominado columpio, posteriormente, en el centro del anillo , con la muestra colocada o preparada ,se coloca una esfera de acero de 9.5 mm de diámetro y una masa de 3.50 ± 0.05 g, y el conjunto se sumerge en un baño que puede ser de agua destilada, glicerina o etilenglicol, quitando la presencia de burbujas al sumergirse y manteniendo en agitación moderada. A continuación se calienta el baño de manera uniforme a una velocidad de 5°C por minuto y se toma la temperatura en el momento en que la muestra fluye debido al peso del balín, y recorre una distancia vertical descendente de 25 mm, haciendo contacto con una laminilla colocada a esa distancia en la parte inferior. Dependiendo del tipo de asfalto se puede utilizar como baño al agua destilada (con un intervalo de $30\text{-}80^{\circ}\text{C}$) para evitar burbujas en la superficie, o etilenglicol ($30\text{-}110^{\circ}\text{C}$) [36].

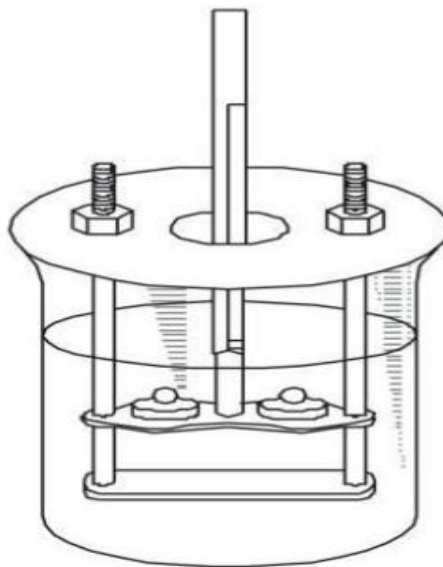


Figura 15. Rack para temperatura de ablandamiento.
(ASTM D36 ASSHTO T53-96, acceso libre, página 4,1996)

2.13.3. MEDICIÓN DE VISCOSIDAD EN UN VISCOSÍMETRO BROOKFIELD

El viscosímetro Brookfield DV-III + programable mide la viscosidad de fluidos a rangos de corte dados. La principal operación del viscosímetro DV III + Pro es guiar una aguja (que está sumergida en el líquido a ensayar) a través de un resorte calibrado. El arrastre debido a la viscosidad del fluido contra la aguja está medido por la deflexión del resorte. La deflexión del resorte está medida por un transductor giratorio. El principio de medida se basa en aplicar una velocidad de giro constante y medir la resistencia (par de torsión) que ofrece la muestra al giro de la aguja. Se dispone además de un horno eléctrico cerámico controlado por un programador de temperaturas para la medida de la viscosidad a varias temperaturas.



Figura 16. Viscosímetro Brookfield

2.13.4. PRUEBA DE SEGREGACIÓN

Debido a que la mayoría de los polímeros comerciales son incompatibles con el asfalto, la mezcla de cualquier polímero en un sistema como el asfalto puede resultar en una separación de fases dándose un empobrecimiento en las propiedades originales. La prueba de *estabilidad* de almacenamiento a altas temperaturas consiste en someter una muestra de asfalto modificado, en un tubo en posición vertical a altas temperaturas durante un largo periodo, con la finalidad de determinar la existencia de una separación de los componentes de la mezcla. La formación de más de una fase se puede comprobar mediante la comparación de las temperaturas de ablandamiento de las partes superior e inferior de la muestra tomando del tubo con asfalto modificado [2, 16].

CAPÍTULO 3. COMPENDIO DE MATERIALES Y DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. CARACTERÍSTICAS

Como se ha mencionado con anterioridad para llevar a cabo la modificación de un asfalto se compone de un agente modificador y un asfalto. Para el caso de este estudio se empleó un agente modificador de estilo polimérico de nombre comercial Solprene® 1322 y el asfalto PG 64/22.

Características:

Tabla 2. Característica del agente modificador

copolímero	nombre comercial	Estructura	% estireno/butadieno	Estireno aleatorio
1322	Solprene	Lineal	30/70	8

El asfalto ocupado es un asfalto que tiene parámetros de trabajo de temperaturas altas a 64°C y a bajas temperaturas de – 22 °C.

3.2. MATERIAL Y EQUIPO

Para el desarrollo de las pruebas es necesario el uso de diferentes aparatos para formar un sistema, este va desde las sustancias necesarias que se estudiarán hasta el equipo necesario de limpieza lo cual es enlistado en las tablas 3, 4 y 5.

Tabla 3. Listado de sustancias

Sustancia	Observaciones
Asfalto	PG64/22
Copolímero	Solprene® 1322
Aceite	Resistente a degrado térmico
Lana industrial	Para recubrimientos o enchaquetados ,puede ser usado estopa o algodón de margen industrial
Grasa de silicón	El crisol S.A. de C.V.
Agua	Usada para baños
Heptano	Por su propiedad ,es usado para limpiar instrumentos

Tabla 4 - Listado de equipos

Equipo	Observaciones
Parilla eléctrica	-----
Transformador variable	También denominado variac, reóstato .etc.
Termómetros	De diferentes escalas
Motor agitador	Tipo propela de cuatro remos
Termopar	Con terminal de registro
Parrilla electromagnética con agitador	-----
Penetrómetro universal	Con aguja estandarizada así como aditamentos
Brookfield	Medidor de densidades
Rack de TA	Incluye anillos balines y lo necesario para la prueba

Tabla 5. Lista de material adicional

Material	Observaciones
Recipientes de aluminio	Corresponden a varios tamaños así como para contención de muestras, como para el proceso de modificación
Vasos de precipitados	Diferentes tamaños
Tubos despresible	Para contención de la prueba de segregación
Placas de acrílico	-----
Cinta aislante	Usos múltiples
Cucharillas	Usos múltiples
Guantes para procesos térmicos	Para manipulación de muestras a temperaturas altas, equipo de protección
Soportes universales	Usados en los equipos
Pisetas	Para administración de líquidos
Equipo de limpieza	Para limpieza del equipo
Protectores plásticos	Tipo manteles para contener suciedad
Equipo de protección	BPL

3.3. METODOLOGÍAS DE TRABAJO

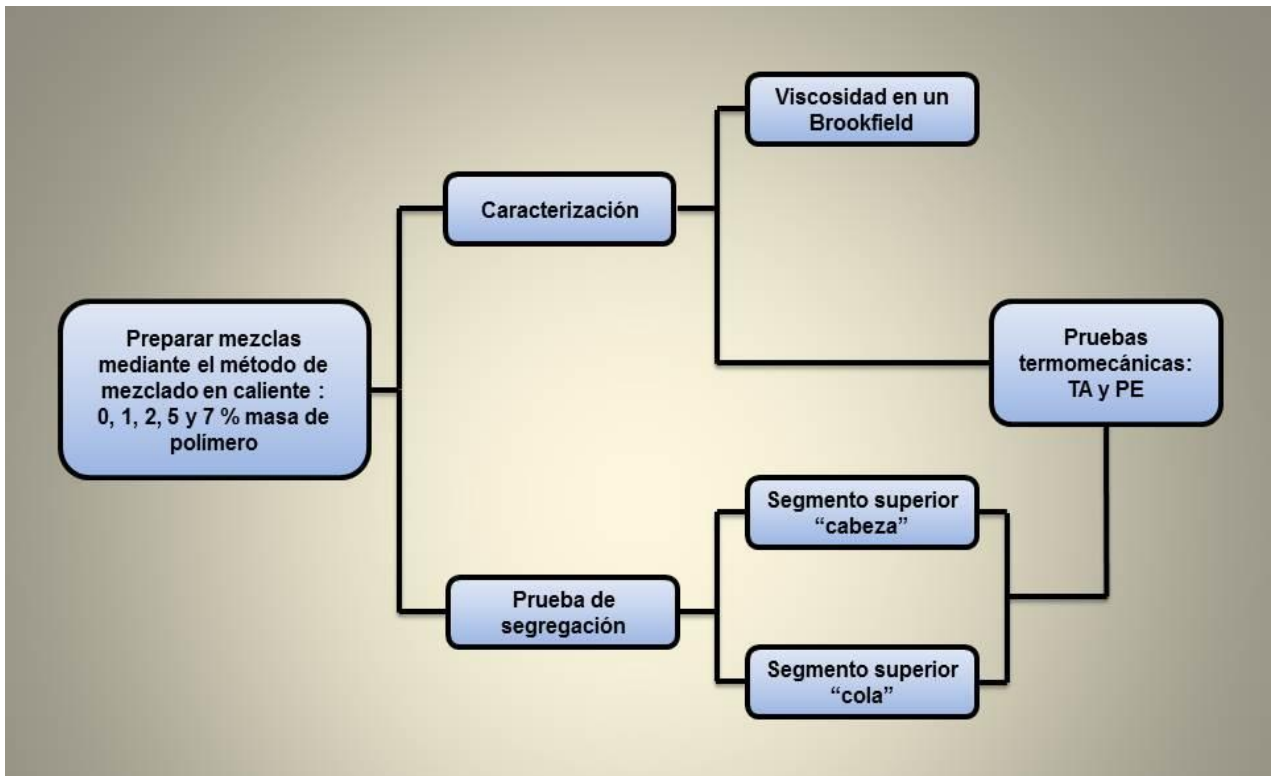


Figura 17. Diagrama de actividades.

1. *Tratamiento térmico. Obtención del asfalto de referencia (blanco)*

Someter una muestra de asfalto al método de mezclado en caliente para proporcionarle la misma historia térmica que tendrán los asfaltos modificados.

2. *Tratamiento térmico. Obtención del asfalto modificado*

Se produce la mezcla entre asfalto y polímero a través de mezclado en caliente 180 °C.

3. *Prueba de penetración (PE)*

Se realiza la prueba de penetración a la muestra en blanco (sin polímero) para tener marcos comparativos.

4. *Temperatura de ablandamiento (TA)*

Se realiza la prueba de temperatura de ablandamiento a la muestra en blanco (sin polímero) para tener marcos comparativos.

5. *Preparación de mezclas asfalto-polímero mediante el método de mezclado en caliente.*

Elaborar mezclas asfalto-polímero, a cuatro niveles de composición: 1, 2, 5 y 7 % w/w de polímero. Determinar parámetros termomecánicos a las muestras resultantes.

6. *Caracterización de las mezclas.*

Realizar a las mezclas obtenidas la prueba de temperatura de ablandamiento, prueba de penetración y determinación de viscosidad Brookfield a la temperatura de procesamiento.

7. *Prueba de estabilidad en almacenamiento estático (prueba de segregación).*

De cada mezcla asfalto-polímero se procede a ejecutar la prueba de estabilidad para dar paso a las muestras superior e inferior de cada tubo de cada mezcla asfáltica.

8. *Determinar parámetros termomecánicos para muestras de segregación.*

Determinar temperatura de ablandamiento y penetración al segmento superior e inferior.

9. *Análisis de resultados*

Determinación del índice de penetración a mezclas. Análisis, y discusión de resultados.

10. Tratamiento de los residuos.

Todos los residuos que se producen, a saber, aceite de baño quemado, aceite con asfalto, asfalto con polímero, heptano, son colectados y remitidos a la instancia responsable de la facultad para su tratamiento.

3.3.1. PREPARACIÓN PRELIMINAR DE ASFALTO Y POLÍMERO

Con la obtención de cinco recipientes completamente limpios y cilíndricos, se procede a colocar en su interior una determinada cantidad de asfalto, por lo cual, primeramente se hace un balance de materia teórico, el cual los resultados de las cantidades vienen representadas y registradas en la tabla 6. Con la obtención de estos datos, se procedió en un recipiente de mayor tamaño calentar trozos sólidos de asfalto para llevarlos de sólido a líquido y hacer más fácil la colocación del mismo en los recipientes.

Con ayuda de una balanza granataria y descontando del peso total el peso del recipiente, se alcanzó en cada uno de ellos el peso dado del balance de materia teórico, dando así la cantidad necesaria de asfalto para cada una de las muestras de estudio. Posteriormente, el asfalto dentro de cada recipiente se deja reposar para su uso posterior.

Tabla 6. Cantidades de asfalto para modificaciones.

MUESTRA	% masa DE POLIMERO	PG 64-22 (g)
1	0	120.00 ± 0.05
2	1	118.80 ± 0.05
3	2	117.60 ± 0.05
4	5	114.00 ± 0.05
5	7	111.60 ± 0.05

Para llevar a cabo la modificación, es necesario la preparación del polímero, en este caso el polímero Solprene® 1322, fue entregado en un “bloque”, para lo cual era necesario llevarlo a una dimensión de partícula más pequeña. El bloque pasó por un triturador, alcanzando así convertirlo en polvo de características semi homogéneas definido al tamaño de partícula. Esto para garantizar la correcta homogenización al momento de la modificación.

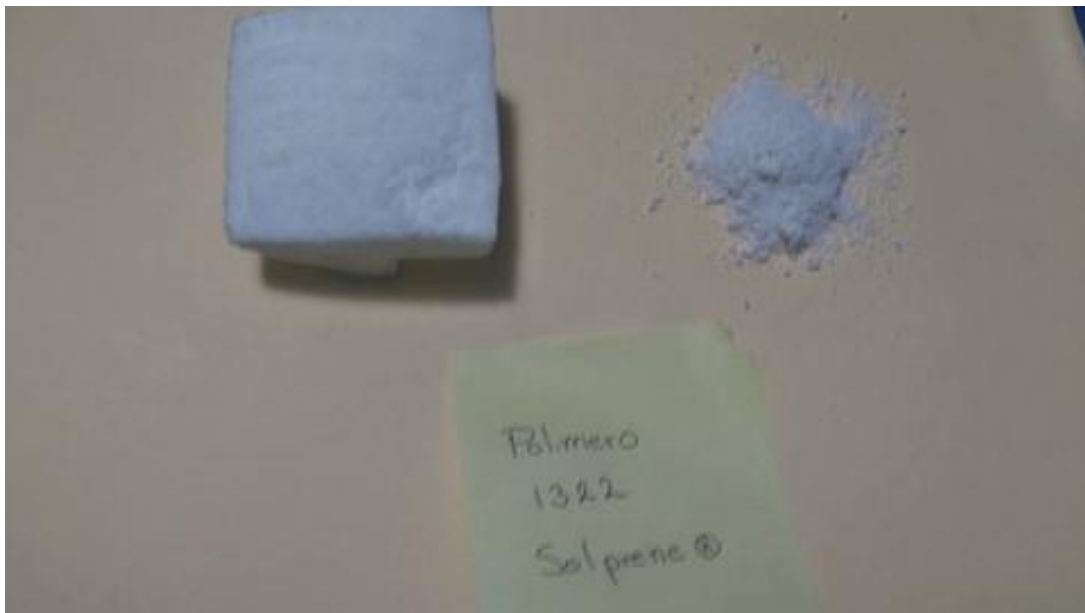


Figura 18. Polímero comercial Solprene 1322 bloque y polvo.

3.3.2. PREPARACIÓN DE ASFALTO MODIFICADO Y MUESTRA EN BLANCO

Para la preparación de modificaciones así como nuestro parámetro de comparación (muestra en blanco) se procedió al montaje del equipo como se muestra en la figura 19.

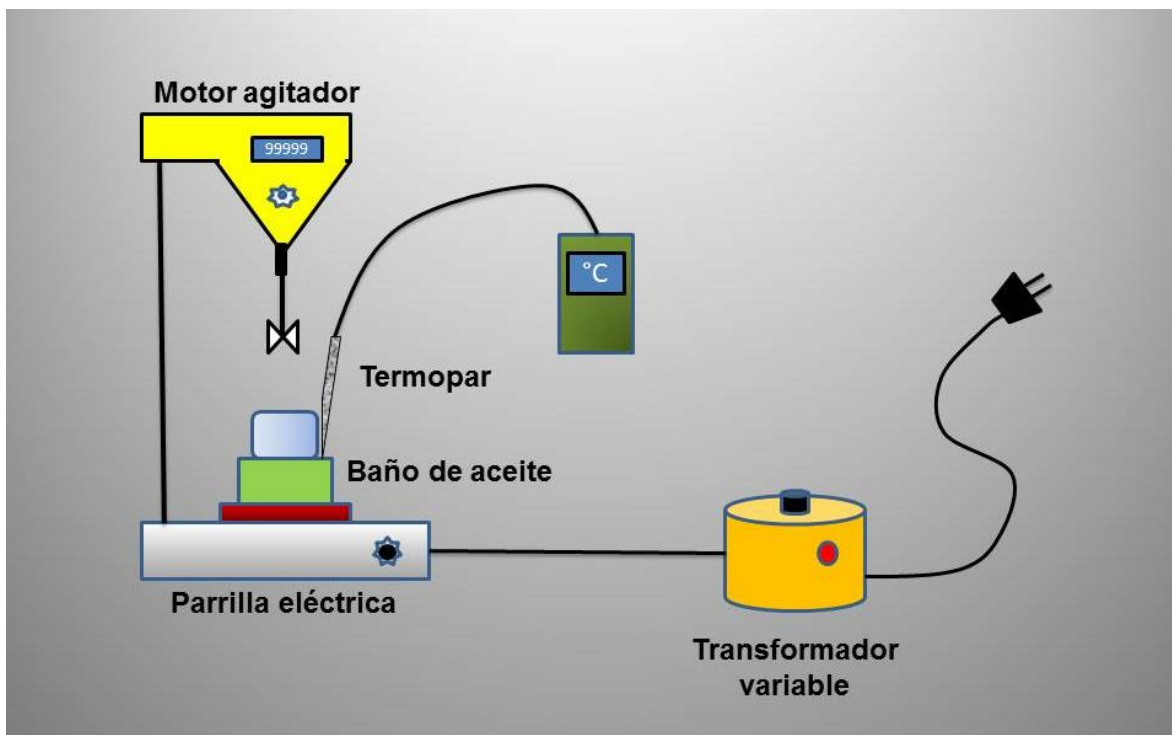


Figura 19. Esquema de equipo para mezcla en caliente.

El montaje del equipo consta de una parrilla de calentamiento conectada a un Variac, esto para regular la intensidad de la parrilla y amortiguar la transición térmica. Para la agitación se usó un rotomotor de velocidades que contiene a su vez una propipela, la cual será la que este en contacto con el asfalto sin modificar así como el modificado. En la base del rotomotor sobre la parrilla se encuentra un contenedor, este es contiene un baño de aceite resistente a la degradación térmica en el que será sumergido nuestro recipiente con asfalto. Entre el baño de aceite y el recipiente de preparación, se cuenta con un termopar que será sumergido en el baño, el cual monitorea la temperatura. Todo este equipo se encuentra resguardado dentro de una campana de extracción de gases.

Después del montaje del equipo, se procede a la modificación, primeramente se enciende la parrilla para que empiece a calentar el baño de aceite de manera gradual, hasta alcanzar una temperatura de 70 °C. Alcanzada esta temperatura, el baño de aceite proporcionara el calor al asfalto el cual empezara a pasar de estado sólido a líquido. Posteriormente, se procede a introducir la propipela con una agitación de 60 a 100 rpm, esto a la par con el incremento de la temperatura. Mientras esto ocurre, se procede a pesar la cantidad necesaria de polímero Solprene ® 1322 (polvo) con ayuda de una balanza digital que, posteriormente, se agregará. Una vez alcanzada la temperatura de 180 °C, se aumentará la agitación hasta alcanzar una velocidad de agitación de 200 rpm. En este punto el asfalto tiene una fase líquida y se agrega el polímero de manera lenta y consistente al interior del punto de agitación máximo (centro de agitación), esto se hace de manera lenta para que se pueda realizar la mezcla polímero-asfalto de manera uniforme y homogénea.



Figura 20. Foto de tratamiento térmico (modificación)

Completada la incorporación del polímero al asfalto, se aumenta la velocidad de agitación a 500 rpm y se mantiene la temperatura a 180 °C, esto durante un tiempo de una hora. Una vez transcurrido el tiempo, la mezcla ahora modificación, aun en estado caliente y con equipo de protección, se divide a materiales necesarios para la caracterización. A mencionar, se llena un tubo depresible para efectuar la prueba de segregación; un anillo para realizar la prueba de ablandamiento; un tubo contenedor para realizar la prueba de viscosidad y en una charola de aluminio para realizar la prueba de penetración.

Este método es ocupado para las modificaciones de 1, 2, 5 y 7 %, siguiendo el mismo procedimiento. Para el caso de la muestra en blanco o marco de comparación, se omiten pasos haciendo el procedimiento más sencillo, pero con la misma mecánica de procedimiento.

3.4. CARACTERIZACIÓN

3.4.1. PRUEBA DE PENETRACIÓN (PE)

Para esta prueba es requerido un baño de agua con agitación, un penetrómetro y las muestras en charolas de aluminio. Montado el equipo, las charolas de aluminio que contienen las muestras modificadas son sumergidas en un baño de agua a temperatura de 25°C y con una agitación constante durante una hora, esto con el fin para garantizar un equilibrio térmico y que las muestras posean la misma temperatura en toda la muestra. Una vez transcurrido el periodo de tiempo, se saca la muestra y se lleva al penetrómetro, el penetrómetro consta de una aguja de penetración, la cual va descendiendo al ser accionado un pistón manual. En la parte superior de la aguja se encuentra una pesa de 50 g, la cual permite que descienda. Se coloca la charola que sale del baño de agua en el soporte justo debajo de la aguja, la cual se ajusta para que la aguja quede a ras de la superficie de la muestra modificada, teniendo esta posición se acciona el pistón por cinco segundos.

Pasado el tiempo, se detiene soltando el pistón y se toma la medición con ayuda del medidor. Esta medición se realiza 10 veces para cada muestra, esto para tener un amplio rango en resultados.



Figura 21. Fotografía de muestra modificada después de PE

3.4.2. PRUEBA DE ABLANDAMIENTO

La temperatura de ablandamiento está definida como aquella, en la cual el asfalto cambia de un material sólido a uno prácticamente fluido. Para esto se vertió una muestra de asfalto modificado caliente en un anillo de latón, con un diámetro interno de 1.58 cm. Posteriormente, se dejó que la muestra se enfriara a temperatura ambiente por lo menos un día 24 h. Pasado este tiempo se procede a “cortar el anillo” lo cual simplemente se retira el exceso en la parte superior del anillo para que quede una superficie plana, después de cortar el anillo, se deja reposar por aproximadamente 8 h o más esto para alcanzar el equilibrio térmico con el ambiente. Una vez que la muestra alcanzó un estado sólido en equilibrio térmico, se instaló en un soporte que tiene un termómetro y dos porta anillos denominado columpio.

En el centro de cada uno de los anillos se colocó un pequeño balín de aproximadamente 3.50 ± 0.05 g. El arreglo se sumergió en un baño de agua, el cual se calentó con una rapidez de 5 °C /min con una agitación lenta con ayuda de una parrilla de agitación y calentamiento.

Conforme pasó el tiempo, el asfalto se ablanda, hasta que el balín envuelto en asfalto cayó a través del anillo y toca la placa inferior del sistema. Cuando esto ocurre, se toma la temperatura que registra el termómetro, dando así la toma de datos, haciendo esta prueba solo una vez para cada muestra.



Figura 22. Fotografía de anillo con muestra antes del corte.

3.4.3. VISCOSIDAD EN UN BROOKFIELD

La prueba de viscosidad permite observar la naturaleza reológica de las sustancias de estudio (asfalto modificado y blanco). Esta prueba se lleva a cabo con un Brookfield, el cual nos permitirá conocer la viscosidad η (cP), la rapidez de deformación $\dot{\gamma}$ (1/s) y esfuerzos cortantes σ (dinas / cm²), que en esencia nos cuantifica la resistencia ejercida, y que surge a partir de una falta de desplazamiento de un fluido. Para esta prueba, primero lleva la muestra de asfalto modificado contenida en un tubo de aluminio, este tubo será insertado en un contenedor térmico alcanzando los 180 °C. Mientras éste se está calentando, se prepara el viscosímetro Brookfield con usillo de punta, el cual se limpia con anterioridad para no tener algún residuo, alcanzado el estado de fluido. Se procede a introducir el usillo al interior del tubo y empezar el análisis, variando las revoluciones de operación desde 20 rpm hasta 260 rpm, y recopilando los datos. Terminando el análisis y el registro de los datos se desmonta y se limpia para no dejar residuos.



Figura 23. Calentador de tubos regulado a 180 °C.

3.4.4. PRUEBA DE SEGREGACIÓN (ESTABILIDAD DE FASES)

La prueba de segregación permite determinar si una mezcla asfáltica es estable bajo condiciones de almacenamiento estático a altas temperaturas. Llevando esta prueba a cabo se llena un tubo metálico de 1.25 cm de radio y 12 cm de longitud dejando un margen con respecto al borde para evitar derrames debido a la dilatación. Con ayuda de una parrilla de calentamiento, se montó en ella un baño de aceite enchaquetado para evitar pérdidas de calor, se introduce en el baño de aceite el tubo depresible con la muestra asfáltica modificada, el baño alcanzara la temperatura de 180 °C esta medida con ayuda de un termopar, con esta temperatura e introducido el tubo dentro del baño se deja por una hora sin agitación mecánica. Una vez transcurrida la hora, ocupando equipo de protección se retiró el tubo del baño de aceite y se dejó en enfriamiento a temperatura ambiente.



Figura 24. Tubo depresible con asfalto modificado

Luego del reposo estático de la muestra por aproximadamente un día se cortó el tubo en dos secciones (la inferior y superior con una longitud de aproximadamente 6 cm cada una). Una vez obtenidas las partes superior e inferior estas se calientan para obtener el asfalto que contienen, cada una por separado, recolectado el asfalto y en caliente, se procede a llenar una charola de aluminio más pequeña para hacerle prueba de penetración y un anillo para realizar prueba de ablandamiento para cada parte del tubo correspondiente como se muestra en la figura 25.



Figura 25. Muestras de segregación superior e inferior.

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 RESULTADOS

4.1.1. RESULTADOS PRELIMINARES A LA MODIFICACIÓN

Para la preparación previa de las muestras se calculó la cantidad de asfalto y de polímero en gramos con respecto al siguiente modelo matemático:

$$m_T = 120 \text{ g}$$

$$\% \text{ masa} = \frac{m_p}{m_T} * 100$$

$$m_p = \left(\frac{\% \text{ masa}}{100} \right) * m_T$$

$$m_A = m_T - m_p$$

Dónde:

- $m_T = \text{masa total de la muestra (g)}$
- $m_p = \text{masa del polímero (g)}$
- $m_A = \text{masa del asfalto (g)}$

Efectuados los cálculos para cada una de las muestras se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 7.cantidades de material para la preparación de muestras.

Numero de Muestra	% masa de polímero	PG 64-22 (g)	S 1322 (g)
1	0	120.00 ± 0.05	0
2	1	118.80 ± 0.05	1.20 ± 0.05
3	2	117.60 ± 0.05	2.40 ± 0.05
4	5	114.00 ± 0.05	6.00 ± 0.05
5	7	111.60 ± 0.05	8.40 ± 0.05

En la tabla 7 se muestra la cantidad de asfalto PG 64-22 y de polímero S 1322 que cada recipiente contiene en gramos según el % masa que debe tener.

4.1.2. RESULTADOS DE PRUEBA DE PENETRACIÓN (PE)

En la tabla 8 se muestran los resultados de la prueba de penetración (PE) de cinco muestras: una (PG 64-22) asfalto solo denominada blanco y cuatro de asfalto modificado (PG-S1, PG-S2, PG-S5 y PG-S7) con diferentes cantidades de polímero todas con unidades de 1/10 milímetros.

Tabla 8. penetracion en mezclas asfalto-polímero.

MUESTRA	PE (1/10 mm)
BLANCO	50.0 ± 0.5
PG-S1	47.0 ± 0.5
PG-S2	40.0 ± 0.5
PG-S5	36.0 ± 0.5
PG-S7	36.0 ± 0.5

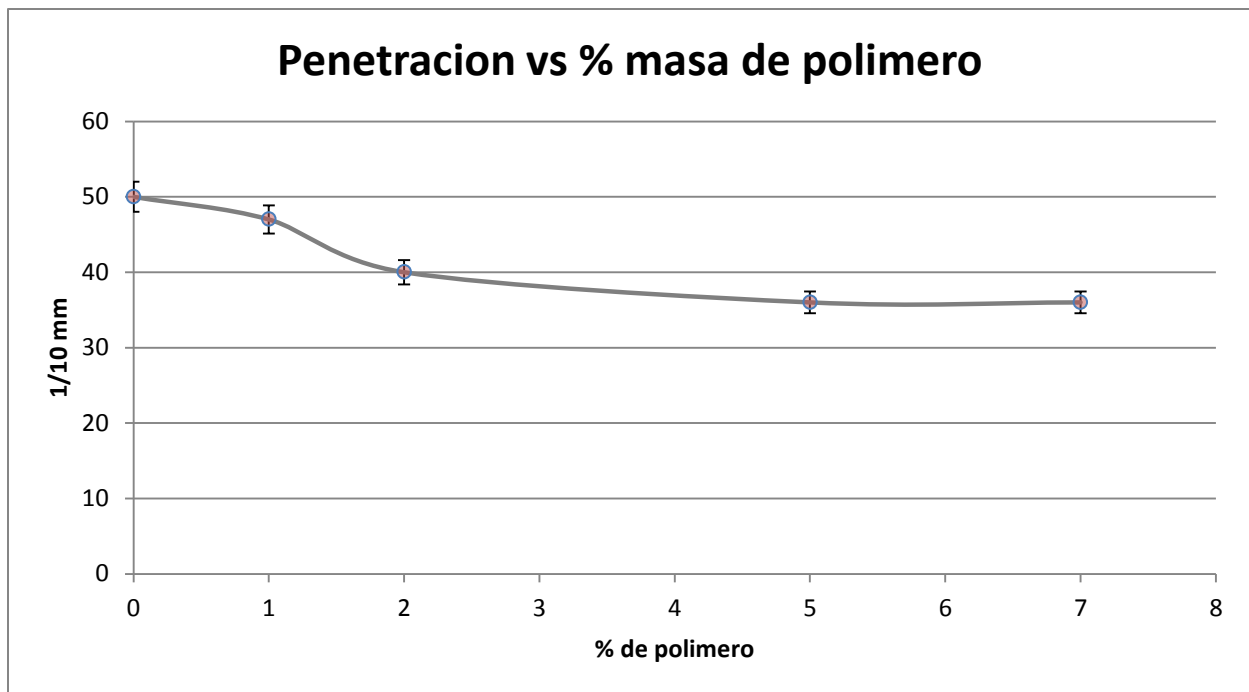


Figura 26. grafica de penetración vs % masa de polímero.

En la figura 26 se observa que en las modificaciones de asfalto con polímero, a bajas concentraciones de polímero (1-5 % masa de polímero), la penetración disminuye al aumentar la concentración del polímero en la mezcla. A partir de 5 % masa de polímero la penetración se mantiene constante. La incorporación del polímero en el asfalto produce materiales con mayor resistencia termo-mecánica que el asfalto esto quiere decir un aumento en su dureza.

4.1.3. RESULTADOS DE PRUEBA DE ABLANDAMIENTO (TA)

En la tabla 9 se muestran los resultados de la prueba de ablandamiento (TA) de cinco muestras: una (PG 64-22) asfalto solo denominada blanco y cuatro de asfalto modificado (PG-S1, PG-S2, PG-S5 y PG-S7) con diferentes cantidades de polímero todas con unidades de grados centígrados (° C).

Tabla 9. Valores de TA para diferentes muestras.

MUESTRA	TA (°C)
BLANCO	51.0 ± 0.5
PG-S1	53.0 ± 0.5
PG-S2	58.0 ± 0.5
PG-S5	66.0 ± 0.5
PG-S7	72.0 ± 0.5

Los datos que se obtuvieron muestran un incremento en la temperatura con forme aumenta la cantidad de polímero adicionado, estos datos fueron representados gráficamente en la figura 27.

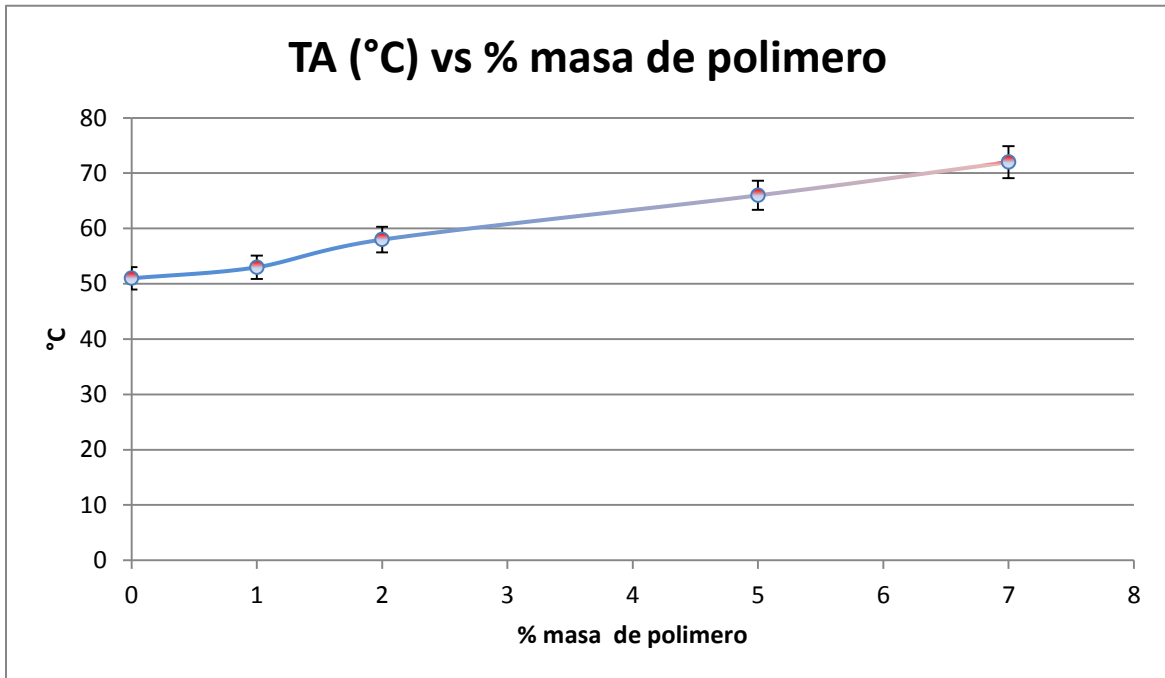


Figura 27. Grafica de Temperatura de Ablandamiento vs % masa de polímero.

Se observa que el incremento de temperatura de ablandamiento es proporcional al % masa de polímero, esto quiere decir que la incorporación de polímero en el asfalto produce materiales con mayor resistencia termo-mecánica. Además, en el intervalo de concentraciones investigadas, en el porcentaje de polímero adicionado de 7 %, existe un incremento mayor a la resistencia térmica a comparación de las demás muestras de asfalto modificado.

4.1.4. RESULTADOS DE PRUEBA DE VISCOSIDAD BROOKFIELD

En las tablas 10, 11 y 12 se presentan valores para rapidez de deformación $\dot{\gamma}$ (1/s), esfuerzo cortante σ (dinas/cm²) y Viscosidad η (cP) tomadas con un viscosímetro Brookfield, para muestras con menor cantidad de polímero (0, 1 y 2 % masa de polímero).

Tabla 10. Valores de $\dot{\gamma}$, σ y η para el asfalto sin modificar (PG 64-22).

$\dot{\gamma}$ (1/S)	σ (dinas/cm ²)	η (cP)
79.20 ± 0.05	84.0 ± 0.5	107.0 ± 0.5
81.60 ± 0.05	85.0 ± 0.5	106.0 ± 0.5
85.30 ± 0.05	88.0 ± 0.5	104.0 ± 0.5

Tabla 11. Valores de $\dot{\gamma}$, σ y η para la mezcla con 1 % masa de polímero.

$\dot{\gamma}$ (1/S)	σ (dinas/cm ²)	η (cP)
27.20 ± 0.05	72.0 ± 0.5	309.0 ± 0.5
34.00 ± 0.05	80.0 ± 0.5	275.0 ± 0.5
40.80 ± 0.05	89.0 ± 0.5	245.0 ± 0.5
47.60 ± 0.05	100.0 ± 0.5	216.0 ± 0.5
54.40 ± 0.05	104.0 ± 0.5	198.0 ± 0.5
61.20 ± 0.05	110.0 ± 0.5	176.0 ± 0.5
68.00 ± 0.05	118.0 ± 0.5	156.0 ± 0.5
81.00 ± 0.05	134.0 ± 0.5	141.0 ± 0.5

Tabla 12. Valores de Υ , σ y η para la mezcla con 2 % masa de polímero.

Υ (1/S)	σ (dinas/cm ²)	η (cP)
6.80 ± 0.05	59.0 ± 0.5	912.0 ± 0.5
13.60 ± 0.05	81.0 ± 0.5	682.0 ± 0.5
20.40 ± 0.05	99.0 ± 0.5	602.0 ± 0.5
27.20 ± 0.05	120.0 ± 0.5	520.0 ± 0.5
34.00 ± 0.05	130.0 ± 0.5	480.0 ± 0.5
40.80 ± 0.05	145.0 ± 0.5	430.0 ± 0.5
47.60 ± 0.05	159.0 ± 0.5	410.0 ± 0.5
54.00 ± 0.05	169.0 ± 0.5	370.0 ± 0.5
61.00 ± 0.05	180.0 ± 0.5	348.0 ± 0.5
68.00 ± 0.05	184.0 ± 0.5	320.0 ± 0.5
74.00 ± 0.05	198.0 ± 0.5	307.0 ± 0.5
81.60 ± 0.05	200.0 ± 0.5	208.0 ± 0.5

En las tablas 13 y 14 se presentan valores para rapidez de deformación Υ (1/s), esfuerzo cortante σ (dinas /cm²) y Viscosidad η (cP) tomadas con un viscosímetro Brookfield, para muestras con mayor cantidad de polímero (5 y 7 % masa de polímero).

Tabla 11. Valores de Υ , σ y η para la mezcla con 5 % masa de polímero.

Υ (1/S)	σ (dinas/cm ²)	η (cP)
6.80 ± 0.05	88.0 ± 0.5	1337.0 ± 0.5
13.60 ± 0.05	138.0 ± 0.5	1056.0 ± 0.5
20.40 ± 0.05	178.0 ± 0.5	900.0 ± 0.5
27.00 ± 0.05	210.0 ± 0.5	800.0 ± 0.5
34.00 ± 0.05	243.0 ± 0.5	717.0 ± 0.5
40.00 ± 0.05	271.0 ± 0.5	677.0 ± 0.5
47.00 ± 0.05	295.0 ± 0.5	630.0 ± 0.5
54.00 ± 0.05	316.0 ± 0.5	589.0 ± 0.5
61.00 ± 0.05	337.0 ± 0.5	554.0 ± 0.5
68.00 ± 0.05	362.0 ± 0.5	536.0 ± 0.5
74.00 ± 0.05	380.0 ± 0.5	511.0 ± 0.5
81.00 ± 0.05	402.0 ± 0.5	496.0 ± 0.5
85.00 ± 0.05	411.0 ± 0.5	483.0 ± 0.5

Tabla 14. Valores de $\dot{\gamma}$, σ y η para la mezcla con 7 % masa de polímero.

$\dot{\gamma}$ (1/S)	σ (dinas/cm ²)	η (cP)
6.80 ± 0.05	250.0 ± 0.5	5067.0 ± 0.5
13.16 ± 0.05	345.0 ± 0.5	3670.0 ± 0.5
20.40 ± 0.05	455.0 ± 0.5	2856.0 ± 0.5
27.20 ± 0.05	515.0 ± 0.5	2420.0 ± 0.5
34.00 ± 0.05	595.0 ± 0.5	1969.0 ± 0.5
40.80 ± 0.05	620.0 ± 0.5	1700.0 ± 0.5
47.60 ± 0.05	713.0 ± 0.5	1532.0 ± 0.5
54.40 ± 0.05	742.0 ± 0.5	1386.0 ± 0.5
61.20 ± 0.05	756.0 ± 0.5	1272.0 ± 0.5
68.00 ± 0.05	795.0 ± 0.5	1184.0 ± 0.5
74.80 ± 0.05	814.0 ± 0.5	1102.0 ± 0.5
81.60 ± 0.05	878.0 ± 0.5	1006.0 ± 0.5

La muestra que no contiene polímero agregado muestra el comportamiento de viscosidad del cual partió el análisis siendo así el marco de comparación para las cuatro muestras a las que se le adiciono polímero, en la figura 28 se grafica la viscosidad η vs la rapidez de deformación $\dot{\gamma}$ de las cinco muestras.

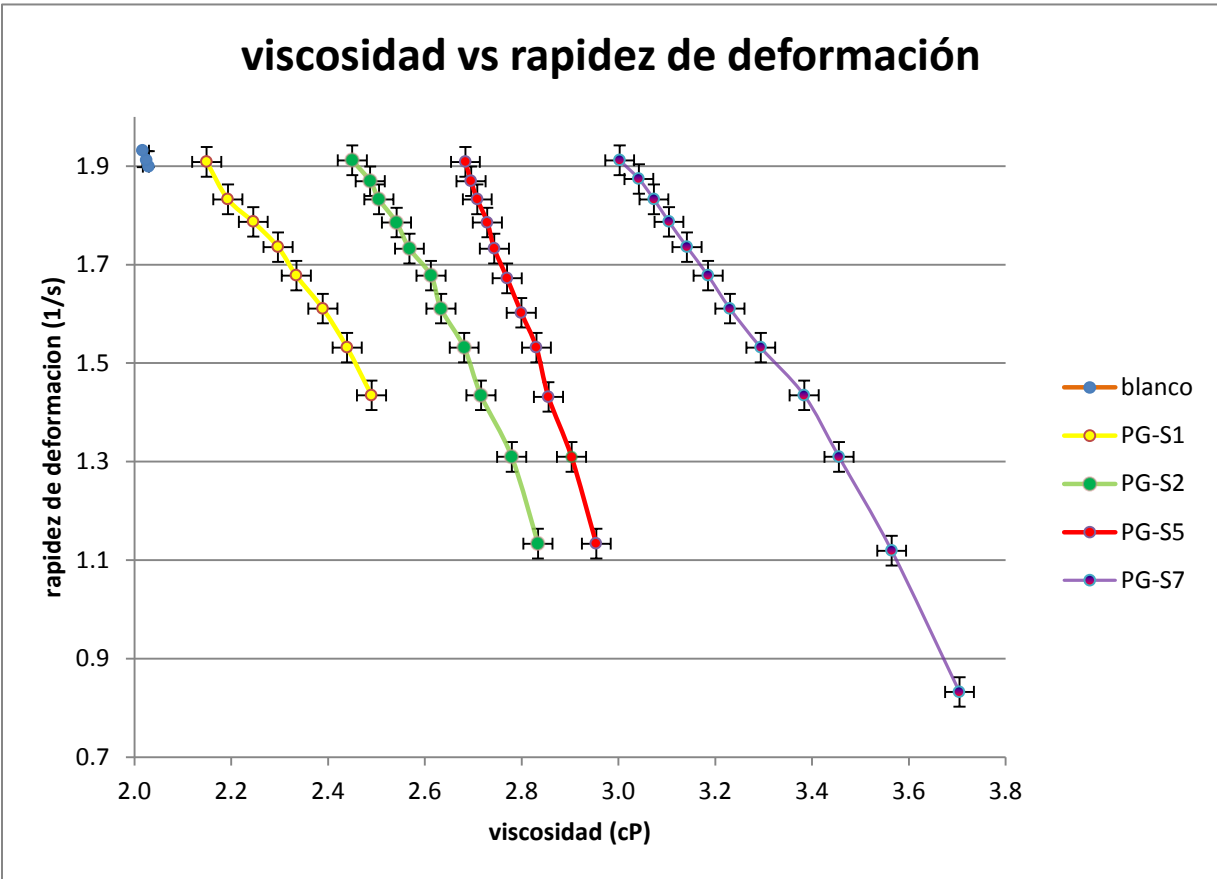


Figura 28. Grafica de viscosidad vs rapidez de deformación (datos en base log).

Se observa que para cuatro muestras de asfalto modificado: PG-S1, PG-S2, PG-S5 y PG-S7, la viscosidad disminuye monóticamente con el incremento de la rapidez de deformación ($\dot{\gamma}$), es decir, $\eta = \eta(\dot{\gamma})$. Para bajas concentraciones de polímero (1 y 2% masa de polímero) la viscosidad de las muestras no cambia con el incremento de la concentración del polímero en la mezcla. Mientras que para altas concentraciones del polímero (5 y 7% masa de polímero), la viscosidad aumenta con el incremento de la concentración de polímero.

4.1.5. RESULTADOS DE PRUEBA DE SEGREGACIÓN-PENETRACIÓN

Después del almacenamiento estático así como el corte del tubo correspondiente a la prueba de segregación, se efectuó la prueba de penetración y la obtención de datos para los segmentos superior (cabeza) e inferior (cola) del mismo. Estos datos son mostrados en la tabla 15 con unidades de 1/10 milímetros.

Tabla 15. Valores de PE para muestras segregadas.

MUESTRA	SECCIÓN	
	PE 1/10 mm (CABEZA)	PE 1/10 mm (COLA)
PG-S1	36.10 ± 0.05	35.00 ± 0.05
PG-S2	37.00 ± 0.05	35.40 ± 0.05
PG-S5	72.60 ± 0.05	43.00 ± 0.05
PG-S7	84.40 ± 0.05	40.30 ± 0.05

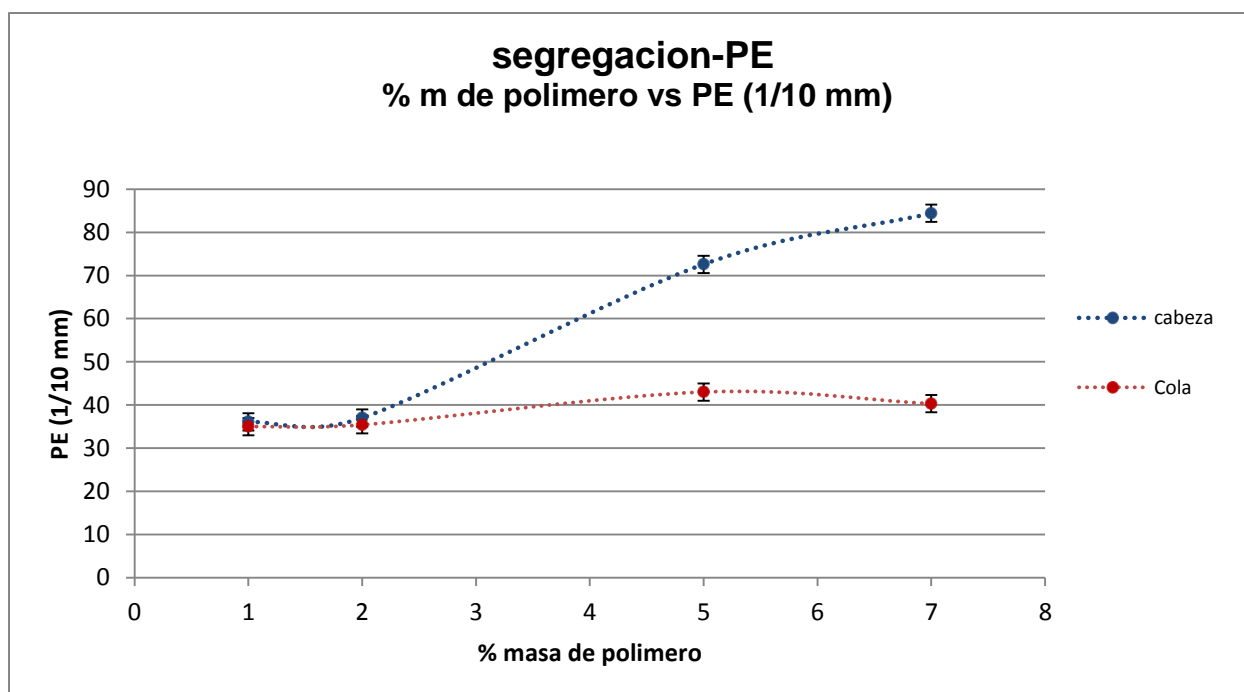


Figura 29. Grafica de penetración vs % masa de polímero para muestras segregadas.

En la Figura 29 se observa que en las modificaciones de asfalto con polímero de las muestras segregadas, la penetración en las muestras de cabeza aumenta a medida aumenta la concentración de polímero, esto debido a la separación en fases del mismo. Mientras que en contraparte en colas se mantiene una constancia mostrando que, en efecto, hay una segregación del polímero-asfalto.

4.1.6. PRUEBA DE SEGREGACIÓN- ABLANDAMIENTO

Se efectuó la prueba de temperatura de ablandamiento (TA) y la obtención de datos para los segmentos superior (cabeza) e inferior (cola) para el tubo correspondiente a la prueba de segregación. Estos datos son mostrados en la tabla 16 con unidades de °C.

Tabla 16. Valores de TA para muestras segregadas.

MUESTRA	SECCIÓN	
	TA °C (CABEZA)	TA °C (COLA)
PG-S1	54.0 ± 0.05	53.0 ± 0.05
PG-S2	57.0 ± 0.05	55.0 ± 0.05
PG-S5	67.0 ± 0.05	63.0 ± 0.05
PG-S7	87.0 ± 0.05	72.0 ± 0.05

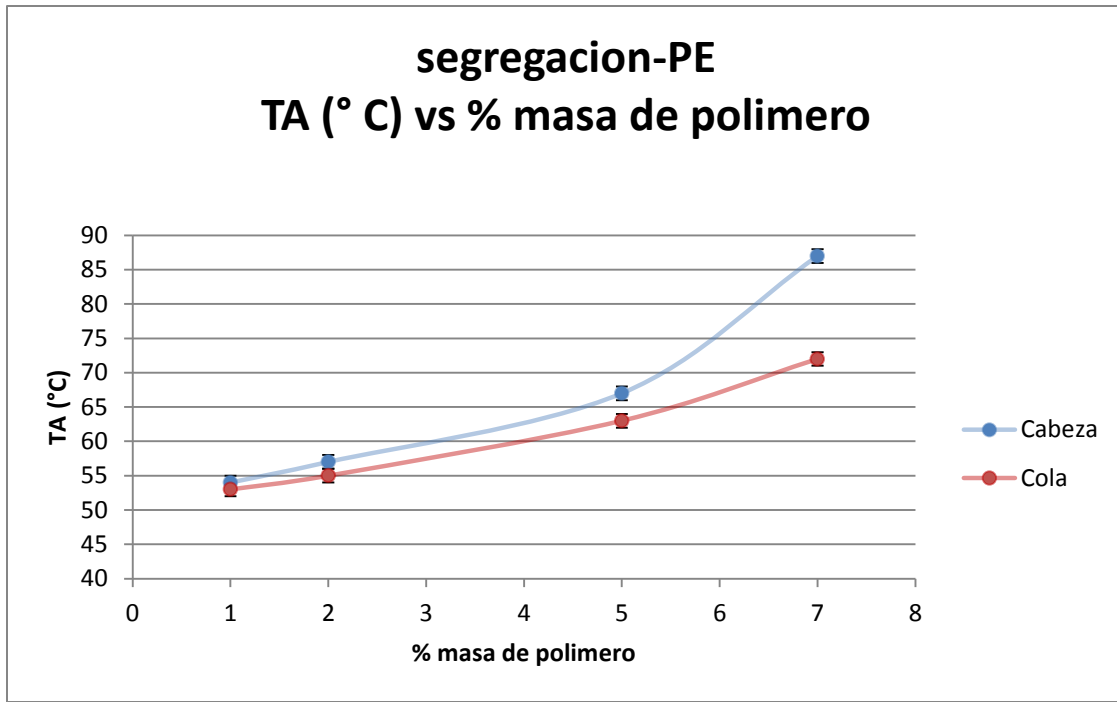


Figura 30. Grafica de temperatura de ablandamiento vs % masa de polímero para muestras segregadas.

En la figura 30 se observa que para cuatro muestras de asfalto: PG-S1, PG.S2, PG-S5 y PG-S7, la variación de las temperaturas dadas la posición de las cuales fueron tomadas (superior o inferior), lo cual implica una separación de dos tipos distintos uno con temperaturas bajas, y otra en el caso de las cabezas una resistencia térmica mayor

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para explicar el comportamiento de los asfaltos modificados con polímero se considera que el asfalto es una mezcla heterogénea de maltenos y asfaltenos la cual, de acuerdo al modelo micelar, está constituida por micelas de asfaltenos estabilizadas por las resinas y dispersas en una matriz de maltenos (compuestos aromáticos y saturados). Además, debido a que los asfaltenos son los compuestos de mayor peso molecular ellos son los responsables principales de la elasticidad (dureza) del asfalto.

Durante el proceso de mezclado de asfalto y polímero, éste interacciona con los maltenos pero no con los asfaltenos, por la compatibilidad que existe entre dichos materiales, como resultado, ocurre una transferencia de los maltenos desde la fase rica en asfaltenos hacia el polímero con lo cual se incrementa el tamaño de las micelas de asfaltenos y se forma la fase rica en polímero, constituyendo así dos fases, una constituida por polímero hinchado con maltenos y otra de asfaltenos.

Considerando este proceso, en las composiciones de baja concentración de polímeros existe una matriz continua de asfalto en la que se encuentra disperso el polímero sin afectar en gran escala las características del asfalto; pero si se aumenta la proporción de polímero en el asfalto se produce una inversión de fases, estando la fase continua constituida por el polímero hinchado y la fase discontinua corresponde al asfalto que se encuentra disperso en ella.

Es necesario mencionar también que cuando hay suficiente compatibilidad entre el polímero y los componentes del asfalto, se obtiene un material que ofrece mayor resistencia a la deformación tanto térmica como mecánica en un intervalo de temperatura más amplio que la resistencia que ofrece el asfalto solo.

Por lo tanto, de acuerdo con lo antes mencionado, las observaciones generales de la disminución de *PE*, el incremento en la *TA* y el incremento en la viscosidad tomada en un viscosímetro Brookfield que presentaron los asfaltos modificados en comparación con el asfalto sin modificar pueden explicarse considerando que se deben a la integración que se logró del polímero en el asfalto al incrementarse la cantidad de polímero. En la prueba de segregación los resultados que se obtuvieron de la prueba de penetración y la prueba de temperatura de ablandamiento nos permiten diferenciar entre las mezclas que no son estables, es decir, nos muestra la estabilidad de las modificaciones, esto se observa cuando los valores entre la porción “cola” y la porción “cabeza” se alejan al ser sometidos a la temperatura de trabajo de 180 °C sin agitación y 24 h de reposo estático.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIÓN

Como queda demostrado mediante los resultados experimentales obtenidos, se logró la modificación del asfalto PG 64-22 agregándole un polímero comercial (Solprene® 1322) a diferentes concentraciones de polímero mediante el proceso de mezclado en caliente.

La prueba de penetración revela que al ser agregado polímero se obtuvieron asfaltos con un valor menor de la penetración que con un asfalto sin modificar, esto indica que la “dureza” del asfalto se incrementa conforme se incrementa la cantidad de polímero agregado, siendo la muestra PG-S7 (7% masa de polímero) la más “dura ” entre las muestras analizadas.

En cuanto a los resultados de la prueba de temperatura de ablandamiento, lo que se esperaba era obtener el valor más alto, ya que esto indica que esta formulación es la que es menos susceptible a la temperatura, por lo cual, se observa que a mayor cantidad de polímero agregado la temperatura de ablandamiento aumenta, siendo la menos susceptible a la temperatura la muestra PG-S7 (7% masa de polímero) de entre las muestras analizadas.

En el caso de la viscosidad tomada con un viscosímetro tipo Brookfield los resultados dan evidencia de que esta propiedad aumenta a razón del aumento de polímero agregado al asfalto, siendo la muestra PG-S7 la que cuenta con una mayor viscosidad, aunque este aumento de viscosidad está presente en todas las modificaciones el incremento de la viscosidad es notable desde la muestra PG-S1.

En la prueba de segregación, los resultados que se obtuvieron de la prueba de penetración (PE) y la prueba de ablandamiento (TA) permiten diferenciar entre las mezclas que mantienen una estabilidad, la prueba de penetración (PE) muestra que la estabilidad de la mezcla se pierde conforme aumenta la cantidad de polímero ya que los valores de PE y TA entre la porción “cabeza” y la porción “cola” se alejan entre sí, dando la evidencia de que las muestras con una menor cantidad de polímero (1 y 2% masa de polímero) son más estables.

De acuerdo a lo antes mencionado, se puede afirmar que en cuestión de selección de una muestra que mejore su cohesión, incremente su resistencia termo-mecánica y además se mantenga estable, se opta por la muestra PG-S2 (2% masa de polímero) de las demás muestras de estudio.

No obstante, hay que hacer notar que un asfalto modificado con mayor proporción de polímero puede mantenerse homogéneo en la mezcla simplemente manteniendo la agitación durante etapas de almacenamiento, traslado y procesamiento.

GLOSARIO

- **Abrasión:** Se denomina así a la acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca la erosión de un material o tejido.
- **Absorber:** Es la acción de un cuerpo de atraer y retener entre sus moléculas a otro en estado líquido o gaseoso
- **Adherente:** Sustancia usada para unir dos materiales
- **Aglomerante:** Se aplica al material que sirve para unir fragmentos de una o varias sustancias y darles cohesión.
- **Aislante:** Cuerpo que no conduce calor o electricidad.
- **Álcalis:** Oxido metálico que, por ser muy soluble en agua, puede actuar como base energética. Compuesto químico que presenta reacción básica.
- **Amorfas:** Que no tiene forma precisa.
- **Arcillas:** Roca sedimentaria impermeable, compuesta de partículas muy finas del grupo de los silicatos, usada para fabricar objetos de cerámica.
- **Áridos:** Se aplica a materiales secos, grava y arenas mezcladas para formar materiales de construcción.
- **ASTM:** Por sus siglas en ingles de The American Society for Testing and Materials.
- **Bituminoso:** Que contiene betún asfáltico o es parecido a este.
- **Carpeta de rodamiento vehicular:** Sinónimo de carretera, denominación a la capa de concreto asfáltico por la cual hay movimiento de automóviles.
- **CAS:** Por sus siglas en inglés Chemical Abstracts Service.
- **Comportamiento reológico:** Conjunto de características dadas a un fluido.
- **cP: centipoise** Unidad de medida de la viscosidad equivalente a un miliPascal por segundo.
- **Deformación:** Es el cambio en el tamaño o forma de un cuerpo debido a esfuerzos externos producidos por una o más fuerzas aplicadas sobre el mismo o a la ocurrencia de dilatación térmica.
- **Dispersión coloidal:** Es un sistema formado por dos o más fases, conformado por una fase fluida y otra fase dispersa encontrada en menor proporción.

- **Distribución manométrica:** Proviene de la variedad de presiones en una región.
- **Estabilidad:** Noción que hace referencia a la permanencia de características dadas a una sustancia, cuerpo, o estado.
- **EEUU:** Estados Unidos de América.
- **EVA:** Acetato de Etil Vinilo.
- **Fatiga:** Se refiere a la ruptura de los materiales debido a fuerzas aplicadas sobre ellos.
- **Heteroátomos:** Es cualquier átomo, excepto carbono o hidrogeno, que forman parte de un compuesto.
- **Hidrocarburos:** Compuestos formados por carbono e hidrogeno.
- **Hinchar:** Acción de un cuerpo al aumentar de tamaño o forma.
- **Impermeable:** Que no permite el paso de humedad, agua u otro líquido.
- **Keroseno:** Mezcla de hidrocarburos, que se obtiene de la destilación del petróleo natural.
- **Ligante:** Comúnmente en la química inorgánica el átomo central en un complejo es un metal o metaloide, pero, también el ligante es usado en la química orgánica, para proteger grupos funcionales o estabilizar compuestos reactivos.
- **Monómeros:** Molécula de pequeño peso molecular. Parte de un polímero
- **Morfología:** Se refiere a la forma molecular en estado sólido de las cadenas poliméricas y a su comportamiento en estados de agregación molecular. Estructura de los polímeros Para abordar este estudio se hace referencia a la estructura química y estructura física.
- **Nafta:** También conocido como éter de petróleo, es un derivado del petróleo extraído por destilación directa.
- **Nativo:** Del lugar de donde es o nace.
- **PE:** Penetración.
- **Peptizante:** La peptización es, en química, un proceso generalmente indeseado, en el que un precipitado cristalino al entrar en contacto con el disolvente frío, retorna a su primitiva forma coloidal. Los agentes peptizante son sustancia que propician este proceso
- **PG:** Se refiere al rango de temperaturas en el cual se presenta un asfalto

- **PG-SX:** Designado el termino para muestras modificadas a x% de masa de polímero
- **Polimerización:** Es un proceso químico por el que los reactivos, monómeros se agrupan químicamente entre sí, dando lugar a una molécula de gran peso, llamada polímero.
- **Reactividad:** Es su capacidad para reaccionar en presencia de otras sustancias químicas o reactivos.
- **Rígido:** No presenta deformación, que no puede doblarse o torcerse.
- **rpm:** Abreviación de revoluciones por minuto.
- **SARA:** Método de separación en constitución del asfalto, por sus componentes Saturados, Aromáticos, Resinas y Asfaltenos.
- **SB:** Estireno-Butadieno
- **SBR:** Estireno-Butadieno-Ramificación.
- **SBS:** Estireno-Butadieno-Estireno.
- **Sedimentos:** Es un material sólido acumulado sobre la superficie terrestre provocado por la erosión debido a los cambios atmosféricos.
- **SHRP:** Por sus siglas en ingles Strategic Highway Research Program.
- **Soluto:** Es la sustancia que se disuelve, es decir, que se reparte o se dispersa en otra sustancia, que es el disolvente, por lo que se puede encontrar en un estado de agregación diferente al comienzo del proceso de disolución y experimentar una transición de fase.
- **Susceptibilidad:** Capacidad de ser maleable o modificado por alguna acción.
- **TA:** Temperatura de Ablandamiento.
- **Tg:** Temperatura de Transición Vítrea
- **Unidimensional:** que solo responde en una dimensión
- **Uniformidad:** Semejanza o igualdad que presentan las características de los distintos elementos de un conjunto.

BIBLIOGRAFÍA

1. Coatl, A. (2013). “*Estudio de propiedades termomecánicas de mezclas asfalto-hule de llanta*”. Tesis UNAM, Facultad de Química.
2. Ramírez, P. (2015). “*Estudio de propiedades termomecánicas temperatura de ablandamiento y penetración de mezclas asfalto-hule de llanta adicionadas con azufre, para aplicación de carpetas de rodamiento vehicular*”. Tesis UNAM, Facultad de Química.
3. Libro CMT; Norma N-CMT-4-05-004/05- Materiales para pavimentos.
4. Ruiz, R. (2013). “*Estudio del comportamiento reológico de mezclas maltenos- copolímeros en bloque de estireno-butadieno con microestructura definida, empleando curvas maestras obtenidas mediante pruebas oscilatorias de pequeña amplitud en flujo cortante simple*”. Tesis de maestría, UNAM, Facultad de Química.
5. Hoja Técnica Solprene 1322; Dynasol.
6. krishnan, J.M. y Rajagopal, k. R. (2003). “*Applied mechanics reviews*”, vol. 56, ISSUE 2, 149-214. EUU.
7. Aguilera, C. (1980). “*Estudios de cultura Náhuatl*”, V. 14, p. 335-343
8. Vargas, P. (2014). “*Caracterización termo mecánica de mezclas asfalto/hule de llanta estabilizadas con un copolímero radial de estireno-butadieno*”, Tesis UNAM, Facultad de Química.
9. LESUEUR, D. (2009). “*Advances in colloid and interface science 145*”, pp. 42-82.
10. ASTM D8, The American Society for Testing and Materials. (1991). “*The American Society for Testing and Materials standard Terminology Relating to Materials for Roads and pavements*”.

11. Velázquez, M. (1973). *“Manual del asfalto”*, Bilbao, España. The Asphalt Institute, URMO.
12. Carranza, A. (2013). *“Modificación de asfalto con polietilenos funcionalizados con anhídrido maleico”* Tesis UNAM, Facultad de Química.
13. Leuseur, D. (2009). *“The colloidal structure of bitumen: consequences on the rheology and on the mechanisms of bitumen modification”*. Madrid: Elsevier, *Advances in colloid and interface science* 145, pp. 42 -82.
14. Mercado, R., Bracho, C. y Avendaño, J. (2009). *“Emulsiones asfálticas usos-rompimientos”*. Mérida Venezuela: Laboratorio de formulación, interface, Reaología y procesos, Universidad de los Andes.
15. Rafael, A. (2003). *“Estudio Reológico de Mezclas Maltenos – Copolímeros Estireno – Butadieno”*. Tesis Maestro en Ingeniería Química, Facultad de Química UNAM.
16. Apaez, L. A. (2007). *“Estudio del comportamiento termo-mecánico de asfaltos modelo modificados con un polímero lineal dibloque del tipo SB”* Tesis UNAM, Facultad de Química.
17. ASTM D 4124. The American Society for Testing and Materials. (1986) *“Standard Test Methods for Separation of Asphalt into Four Fractions”*.
18. González, E. A. (2012). *“Estudio de la modificación de asfaltos con polímeros parcialmente hidrogenados y azufre. Tesis de Maestría en Ingeniería Química”*. México: Facultad de Química, UNAM.
19. Martínez, A. (2009). *“Efecto del azufre sobre las propiedades mecánicas de asfalto modificado con polímeros del tipo SB y SBS”*. Tesis de Doctorado en Ingeniería Química. México: Facultad de Química, UNAM.
20. Vargas, X., Afanasjeva, N., Álvarez, M., Marchal, P. y Choplin, L. (2008). *“DYNA”*, No. 155, PP. 191-198. Medellín.
21. LESUEUR, D. (2009). *“The Shell Bitumen Handbook”*, UK, 1991.

22. Moreira, L.F.B, González, G. y Lucas, E.F. (1998) "*Polímeros: ciencia y tecnología v. 8*", No. 3, Sao Carlos, bras.
23. Cromer. (1996). "*Física para las ciencias de la vida*". 2ª ed. editorial Reverte.
24. Olivos, E. U. (2013). "*Estudio de asfalto modificado con polímero tipo SBS y micro-esfera de óxido de silicio*". D.F, México. : Tesis UNAM, Facultad de química.
25. Virudes, J. O. (2004). "*Estudio de las propiedades mecánicas a baja temperatura (CREEP) de asfalto modificado con copolímero modelo de estireno-butadieno*". D.F, México. : Tesis UNAM, Facultad de química.
26. Vargas, M. de los Á. (2005). "*Estudio de la modificación de asfalto con polímeros parcialmente hidrogenados*". D.F, México. : Tesis UNAM, Facultad de química.
27. García, G. (2008). "*Caracterización de asfaltos modificados con copolímeros tipo SB y SBS puros y parcialmente hidrogenados mediante índice de penetración y morfología*". Tesis UNAM, facultad de química.
28. Vargas, A. V. (2003). "*Estudio de la modificación de asfalto con mezclas de copolímeros de estireno-butadieno*". Tesis UNAM, facultad de química.
29. KOTZ, TREICHEL y WEAVER. (1997). "*Química y reactividad química*". Edit. THOMSON, 6ª edición.
30. <http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pp/Polimeros.htm>.
31. <http://es.wikipedia.org/wiki/Pol%C3%ADmero>.
32. CHALLA, G. (1993). "*Polymer chemistry. An introduction*". London: Ellis Horwood Limited.
33. ROSEN, L. (1993) "*Fundamental principles of polymeric materials*". 2nd ed. New York: John Wiley & Sons.

34. Figueroa, A. S., Fonseca, E.B. y Reyes, F.A. (2009). "*Caracterización fisicoquímica y morfológica de asfaltos modificados con material reciclado*". Ing. Universidad Bogotá (Colombia), 13(1) pp. 45-70.
35. ASTM D5. The American Society for Testing and Materials. (1986). "*Standard test method for penetration of bituminous materials*".
36. ASTM D36. The American Society for Testing and Materials. (1986). "*Standard test method for softening point of bitumen (Ring and Ball Apparatus)*".
37. ASTM. The American Society for Testing and Materials. (1991). "*The American Society for Testing and materials standard Terminology Relating to materials for roads and pavements*".
38. <http://www.e-asphalt.com/aditivos/aditivos.htm>.
39. <https://www.textoscientificos.com/polimeros/introduccion>.
40. <https://www.researchgate.net/...POLIMEROS/.../FUNDAMENTOS-DE-POLIMEROS>.
41. www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/09_Polimeros.pdf.
42. http://www.quimicosypolimeros.com/admin/images/productos/datashee/TECHNIC AL_DATA_SHEET_S1322.pdf.
43. http://www.quimicosypolimeros.com/admin/images/productos/msds/MSDS_S122_INGLES.pdf.
44. http://www.quimicosypolimeros.com/producto_interior.php?lang=&id_familia=5&id_grupo=4&id_producto=38.

ANEXOS

**LIBRO: CMT. CARACTERÍSTICAS DE
LOS MATERIALES**

PARTE: 4. MATERIALES PARA PAVIMENTOS

TÍTULO: 05. Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

CAPÍTULO: 004. Calidad de Materiales Asfálticos Grado PG

A. CONTENIDO

Esta Norma contiene los requisitos de calidad de los cementos asfálticos Grado PG, para ser utilizados en la elaboración de mezclas asfálticas o para la fabricación de emulsiones asfálticas, que se utilicen en la construcción de carpetas estructurales o carpetas delgadas de rodamiento, ya sea como cementos asfálticos convencionales o modificados.

B. DEFINICIONES

B.1. CEMENTOS ASFÁLTICOS GRADO PG

Son aquellos cuyo comportamiento en los pavimentos está definido por las temperaturas máxima y mínima que se esperan en el lugar de su aplicación, dentro de las cuales se asegura un desempeño (performance) adecuado para resistir deformaciones o agrietamientos por temperaturas bajas o por fatiga, en condiciones de trabajo que se han correlacionado con ensayos especiales y simulaciones de envejecimiento a corto y a largo plazo. Estos ensayos miden propiedades físicas que pueden ser directamente relacionadas, mediante principios de ingeniería, con el comportamiento en obra, y forman parte de los productos del Programa de Investigación de Carreteras desarrollado por la Unión Americana, conocida como la Tecnología SHRP.

B.2. GRADO DE DESEMPEÑO (PG)

El grado de desempeño o Grado PG es el rango de temperaturas, máxima a mínima, entre las que un cemento asfáltico se desempeña satisfactoriamente. El Grado PG permite seleccionar el cemento asfáltico más adecuado para una determinada obra, en función del clima dominante y de la magnitud del tránsito a que estará sujeta durante su vida útil.

Un cemento asfáltico clasificado como PG 64-22 tendrá un desempeño satisfactorio cuando trabaje a temperaturas tan altas como sesenta y cuatro (64) grados Celsius y tan bajas como menos veintidós (-22) grados Celsius. Las temperaturas máximas y mínimas se extienden tanto como sea necesario con incrementos estandarizados de seis (6) grados. Sin embargo, generalmente las temperaturas máximas se consideran de sesenta y cuatro (64) a ochenta y ocho (88) grados Celsius y las mínimas, de menos cuarenta (-40) a menos veintidós (-22) grados Celsius.

Los grados PG pueden ser tantos y tan amplios como la gama de temperaturas que se registran en el país, sin embargo, para fines prácticos, es recomendable seleccionar un cemento asfáltico que corresponda a uno de los tres (3) grados PG que se indican en la Figura 1 de esta Norma, de acuerdo con el clima de la zona geográfica donde se le pretenda utilizar, de entre las zonas en que se ha dividido la República Mexicana que se muestran en la misma Figura, pero considerando que dentro de una misma zona, las condiciones del clima en un área determinada pueden variar, lo que se debe tomar en cuenta para elegir el Grado PG adecuado.

La temperatura máxima del Grado PG seleccionado según el clima, se ajusta de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada en términos del número de ejes equivalentes de ocho coma dos (8,2) toneladas, acumulados durante un periodo de servicio del pavimento de diez (10) años (ΣL_{10}) y de acuerdo con la velocidad de operación, como se indica en la Tabla 1 de esta Norma.

C. REFERENCIAS

Esta Norma se complementa con los siguientes:

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Calidad de Materiales Asfálticos.....	N-CMT-4-05-001

Calidad de Materiales Asfálticos Modificados	N-CMT-4-05-002
Muestreo de Materiales Asfálticos	M-MMP-4-05-001
Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos	M-MMP-4-05-002
Viscosidad Rotacional Brookfield de Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-005
Punto de Inflamación Cleveland en Cementos Asfálticos	M-MMP-4-05-007
Módulo Reológico de Corte Dinámico	M-MMP-4-05-025
Pérdida por Calentamiento de Película de Asfalto en Movimiento Rotatorio	M-MMP-4-05-027
Envejecimiento a Largo Plazo Presurizado del Ligante Asfáltico	M-MMP-4-05-028
Rigidez de Flexión de Deformación del Ligante Asfáltico.....	M-MMP-4-05-029



FIGURA 1.- Regiones geográficas para la utilización recomendable de cementos asfálticos Grado PG

TABLA 1.- Ajustes del Grado PG seleccionado por clima de acuerdo con la intensidad del tránsito esperada y con la velocidad de operación

Intensidad del tránsito (ΣL_{10}) [1]	Grado PG seleccionado por clima	Ajuste por intensidad del tránsito	Ajuste por velocidad lenta (Entre 10 y 30 km/h)	Ajuste por tránsito detenido (Cruceos)
$\Sigma L_{10} < 10^6$	PG 64	PG 64	PG 70	PG 76
	PG 70	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 76	PG 76	PG 82	PG 88
$10^6 \leq \Sigma L_{10} \leq 10^7$	PG 64	PG 70	PG 76	PG 82
	PG 70	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 76	PG 82	PG 88	PG 88
$\Sigma L_{10} > 10^7$	PG 64	PG 76	PG 82	PG 88
	PG 70	PG 82	PG 88	PG 88
	PG 76	PG 88	PG 88	PG 88

[1] ΣL_{10} = Número de ejes equivalentes de 8,2 t (ESAL), esperado durante un periodo de servicio del pavimento de 10 años.

D. REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTOS ASFÁLTICOS GRADO PG

D.1. Los cementos asfálticos Grado PG, antes y después de envejecidos en el laboratorio para simular las condiciones del envejecimiento que se espera tengan durante su vida útil en la obra, cumplirán con los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 2 de esta Norma.

D.2. Cuando un cemento asfáltico Grado PG se utilice para producir una emulsión asfáltica convencional que se empleará para la construcción de una carpeta estructural o de una carpeta delgada de rodamiento, además de satisfacer lo establecido en la Fracción anterior, la emulsión asfáltica, según su tipo, cumplirá con los requisitos de calidad indicados en la Norma N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*, antes de la prueba de película delgada.

D.3. Cuando un cemento asfáltico Grado PG se utilice para producir un material asfáltico modificado, además de satisfacer lo establecido en la Fracción D.1. de esta Norma, el material asfáltico modificado, según su tipo y el modificador utilizado, cumplirá con los requisitos de calidad indicados en la Norma N-CMT-4-05-002, *Calidad de Materiales Asfálticos Modificados*.

E. TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO DE MATERIALES ASFÁLTICOS GRADO PG

Con el propósito de evitar la alteración de las propiedades de los materiales asfálticos Grado PG antes de su utilización en la obra, ha de tenerse cuidado en su transporte y almacenamiento, atendiendo lo señalado para ello en la Norma N-CMT-4-05-001, *Calidad de Materiales Asfálticos*.

F. CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

Para que un material asfáltico Grado PG sea aceptado por la Secretaría, antes de su utilización, el Contratista de Obra, o el proveedor cuando se trate de emulsiones asfálticas o asfaltos modificados en obras por administración directa, entregará a la Secretaría un certificado de calidad por cada lote o suministro, que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta Norma, según el tipo de material asfáltico establecido en el proyecto, expedido por su laboratorio o por un laboratorio externo, aprobados por la Secretaría.

En todo momento la Secretaría puede verificar que el material asfáltico suministrado cumpla con cualquiera de los requisitos de calidad establecidos en esta Norma, siendo motivo de rechazo el incumplimiento de cualquiera de ellos.

G. BIBLIOGRAFÍA

Asphalt Institute, *Background of SUPERPAVE Asphalt Mixture Design and Analysis*, Lexington, KY, EUA (Nov. 1994).

American Association of State Highway and Transportation Officials, *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, Norma AASHTO M 320-03, Performance Graded Asphalt Binder*, Washington, DC, EUA (2003).

American Association of State Highway and Transportation Officials, *Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing, AASHTO MP1, Performance Graded Asphalt Binders*, Washington, DC, EUA.

Solprene® 1322

DESCRIPTION:

Solprene 1322 is a high molecular weight linear random-block styrene-butadiene copolymer having 30% of styrene content, 22% present as a polystyrene block.

It has a non-staining antioxidant system, FDA approved for use in food contact applications. It is a high purity polymer, essentially gel free with a very clear color.

Solprene 1322 is used as an elastomeric impact modifier for plastics, especially in high gloss HIPS and ABS by the "in situ" polymerization process.

It is available in bales wrapped in rubber-modified polystyrene film soluble in styrene monomer.

TECHNICAL DATA:

<i>Polymer Properties</i>	<i>Value</i>	<i>Test Method</i>
Volatile matter, % max	0.75	ASTM D-5668
Styrene solution viscosity 5%, cps	25	NM 300-32
Total styrene, %	30	ASTM D-5775
Block styrene, %	22	NM 202-07
Insolubles, % max	0.04	NM 300-15
Monsanto gel, grade max	3	NM 300-19
Color (apha), max	10	NM 300-33
Specific gravity	0.94	DIN 53479

www.dynasolelastomers.com

December, 2003

The information contained in this document is property of the Dynasol Group, and should not be shared or discussed with third parties without written permission from the Company.

The Dynasol logo features a stylized square icon composed of diagonal lines to the left of the word "Dynasol" in a bold, italicized sans-serif font.

TECHNICAL DATA SHEET

Hoja de datos de seguridad del material

Sección 1: INFORMACIÓN SOBRE EL PRODUCTO Y LA COMPAÑÍA

Nombre(s) del producto: Cemento asfáltico Lafarge (Asfalto)

Identificadores del producto: Cemento asfáltico Lafarge, Asfalto de petróleo, Cemento asfáltico sin modificar, Cemento asfáltico modificado con polímeros, Cemento asfáltico solo, Betún, 40-50, 60-70, 85-100, 120-150, 150-200, 160-180, 200-300, 300-400, AC-10, AC-20, PG 46-34, PG 52-28, PG 52-34, PG 52-34 PMA, PG 52-40, PG 52-40 PMA, PG 58-22, PG 58-28, PG 58-34, PG 58-34 PMA, PG 58-40, PG 58-40 PMA, PG 64-22, PG 64-22 PMA, PG 64-28, PG 64-28 PMA, PG 64-34, PG 64-34 PMA, PG 64-40, PG 64-40 PMA, PG 70-22, PG 70-22 PMA, PG 70-28, PG 70-28 PMA, PG 70-34, PG 70-34 PMA, PG 76-22, PG 76-22 PMA, PG 76-28, PG 76-28 PMA.

Fabricante:
Lafarge North America Inc.
8700 West Bryn Mawr Avenue, Suite 300
Chicago, IL 60631 USA

Teléfono de información:
773-372-1000 (de 9 a 17 EST)

Teléfono de emergencias:
1-800-451-8346 (3E línea directa)

Uso del producto: El asfalto se utiliza como aglutinante en aplicaciones de pavimentación con asfalto como por ejemplo las de carreteras, caminos de entrada a casas, aparcamientos y otras zonas, tanto de superficie como subterráneas.

Nota: En esta HDSM se describen los peligros para la salud de los cementos asfálticos Lafarge. La hoja se aplica a los productos de cemento asfáltico Lafarge con calidad de pavimentación, incluyendo: calidades de penetración, AC (cemento asfáltico clasificado por viscosidad original a 140 °F), AR (cemento asfáltico clasificado por la viscosidad de residuos de la prueba al horno de película fina y rotatoria), PG (calidad de rendimiento), PBA (asfaltos basados en el rendimiento) y PMA (cemento asfáltico modificado con polímeros). La composición individual de los componentes peligrosos variará según las clases de asfalto.

Esta hoja no se aplica a los asfaltos industriales (calidades de techados), emulsionados y diluidos.

Sección 2: COMPOSICIÓN/INFORMACIÓN SOBRE LOS INGREDIENTES

Componente	Porcentaje (de peso)	Número CAS	OSHA PEL – TWA (mg/m ³)	ACGIH TLV-TWA (mg/m ³)	LD ₅₀ (rata, oral)	LC ₅₀ (Inhalación)
Cemento asfáltico (como gas)	80-100	8052-42-4	No disponible	0,5	No disponible	No disponible
Polímero	0-12	Varios	No disponible	No disponible	71,3 mg/kg	No disponible
Azufre	0-7	7704-34-9	No disponible	No disponible	>3.000 mg/kg	1,7 g/m ³

Nota: El asfalto se produce a partir de la destilación al vacío y alta temperatura del petróleo crudo. La composición varía según el origen del crudo y las especificaciones del producto final. Puede contener trazas de compuestos de azufre, nitrógeno y oxígeno, así como metales pesados. Las distintas calidades de asfalto pueden contener un aditivo para evitar la aparición de rayas y hendiduras en el material.

Los productos de asfalto pueden contener sulfuro de hidrógeno ya que dicho compuesto se encuentra de forma natural en el petróleo crudo del cual se deriva el asfalto. El sulfuro de hidrógeno también puede estar presente como subproducto del procesamiento del asfalto.

Sección 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

AVISO		
	<p>El producto caliente puede provocar quemaduras</p> <p>Tóxico - Nocivo por inhalación.</p> <p>El producto caliente puede liberar sulfuro de hidrógeno.</p> <p>Irritante: provoca irritación en ojos, piel y por inhalación.</p> <p>Use controles técnicos adecuados, buenas prácticas laborales y equipo de protección personal.</p> <p>Lea la HDSM para más detalles.</p>	<p>Protección para los ojos</p> <p>Guantes</p>

Sección 3: IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS (continuación)

Vista general de situaciones de emergencia:	El asfalto es un material sólido o semisólido de color entre marrón oscuro y negro que huele a petróleo. El producto caliente provoca quemaduras graves. Si usted se quema con el producto caliente, debe refrescar la zona afectada de inmediato con agua fría. No intente quitar el producto solidificado de la piel. Acuda al médico. Cuando se calienta, este producto puede liberar sulfuro de hidrógeno tóxico (H ₂ S). El contacto prolongado o repetido con la piel puede secarla, lo cual puede producir irritación o dermatitis.
Efectos posibles sobre la salud:	El riesgo de lesión depende de la duración y el nivel de exposición.
Contacto con los ojos:	El producto caliente provoca quemaduras graves. El contacto de gases de asfalto con los ojos puede provocar irritación moderada, enrojecimiento y picazón en los ojos. La exposición de los ojos requiere primeros auxilios inmediatos para evitar daños en los ojos.
Contacto con la piel:	El contacto directo con asfalto caliente provoca quemaduras graves. El contacto prolongado o repetido con el asfalto puede provocar sequedad en la piel, malestar, irritación y dermatitis.
Inhalación:	<p>El asfalto caliente libera gases o vapores irritantes como humo, dióxido de carbono, monóxido de carbono e hidrocarburos sin quemar. A elevadas temperaturas, este producto puede despedir sulfuro de hidrógeno y otros gases que contienen azufre. La exposición a los gases o vapores puede provocar irritación nasal y de garganta y síntomas como dolor de cabeza, mareos, pérdida de la coordinación y somnolencia.</p> <p>A elevadas temperaturas, este producto puede despedir sulfuro de hidrógeno y otros gases que contienen azufre. El sulfuro de hidrógeno puede provocar parálisis respiratoria o la muerte, según las concentraciones y la duración de la exposición. No confíe en la capacidad de oler vapores ya que la fatiga olfativa se manifiesta rápidamente. Los efectos de una exposición excesiva incluyen irritación de nariz y garganta, náuseas, vómitos y síntomas de depresión del sistema nervioso.</p>
<u>Carcinogenicidad:</u>	Ni la IARC ni el NTP clasifican al asfalto como carcinógeno.
Ingestión:	No mastique ni ingiera asfalto. El producto caliente provoca quemaduras térmicas. La ingestión puede provocar náuseas, vómitos, diarrea e inquietud. Masticar asfalto ha provocado efectos gastrointestinales. Se han descrito obstrucciones estomacales en individuos que han masticado y tragado asfalto.
Afecciones agravadas por la exposición:	La exposición puede tener efectos agravantes en individuos con historial de afecciones dérmicas.

Sección 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Contacto con los ojos:	En caso de contacto con el producto, lave la zona con abundante agua fría durante al menos 15 minutos, incluyendo debajo de los párpados. Ante quemaduras e irritación grave, acuda a un médico.
Contacto con la piel:	<p>Lave la zona con agua fría y un jabón neutro o detergente para pieles sensibles. No emplee disolventes ni diluyentes para quitar el producto de la piel. Acuda a un médico en caso de quemaduras, erupciones, irritación y dermatitis.</p> <p>En caso de contacto con el producto caliente, sumerja o lave la piel con agua fría durante al menos 15 minutos. Llame a un médico. No intente quitar el producto solidificado, ya que los tejidos podrían dañarse aún más.</p>

Sección 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS (continuación)

Inhalación:	Lleve a la persona al aire libre. Busque atención médica si no desaparecen las molestias, la tos u otros síntomas.
Ingestión:	No provoque el vómito. Si la persona está consciente, procure que beba agua en abundancia. Busque atención médica o póngase en contacto inmediatamente con un centro de control de intoxicaciones.
Nota para el médico:	Jamás se debería intentar quitar el asfalto firmemente adherido a la piel. Una vez el asfalto se ha enfriado, ya no provocará más daño y, por otra parte, proporciona una protección esterilizada sobre la zona quemada. A medida que la quemadura se vaya curando, el asfalto se desprenderá por sí solo, normalmente al cabo de unos días.

Sección 5: MEDIDAS PARA COMBATIR INCENDIOS

Punto de inflamación y método:	> 230 °C (> 446 °F) Copa abierta Cleveland	Equipo para combatir incendios:	Se recomienda un equipo de respiración autónomo para limitar las exposiciones a los productos de la combustión al combatir cualquier fuego.
Peligro general:	Combustible sólido. Evite respirar gases.		
Límite de inflamabilidad superior e inferior:	No disponible.		
Temperatura de autoignición:	> 370 °C (> 698 °F)	Productos de la combustión:	Gases tóxicos producidos en el fuego como CO, CO ₂ y H ₂ S.
Medios de extinción:	Utilice medios de extinción apropiados para la envergadura del incendio. El agua rociada y la espuma pueden provocar efervescencia. Aplicar agua sobre el producto cuando esté a más de 100 °C (212 °F) puede hacer que se dilate con fuerza explosiva.		
Peligros específicos:	Si un depósito, una vagoneta o un camión cisterna se ven envueltos en un incendio, aíse la zona en 800 metros (1/2 milla) en todas direcciones; considere también la evacuación inicial en un radio de 800 metros (1/2 milla) en todas direcciones. Para hacerlo sin peligro, corte, si es posible, el suministro de combustible en la zona del fuego. Enfríe los buques contenedores por medio de atomización de agua a fin de evitar un aumento de presión, la autoignición o una explosión. Evite verter este producto en cloacas, arroyos u otras masas de agua.		

Sección 6: MEDIDAS EN CASO DE LIBERACIÓN ACCIDENTAL

Generales:	Tome las precauciones apropiadas para proteger la salud y seguridad propias antes de intentar controlar o limpiar el derrame. Retire todas las posibles fuentes de ignición. Aíse el área del derrame y restrinja el acceso. Para derrames pequeños, absorba el asfalto derramado con material absorbente inerte, quítelo con palas y colóquelo en un contenedor. Contenga los derrames grandes con materiales inertes. Evite usar absorbentes combustibles como el serrín. Transfiera los líquidos y el material sólido a contenedores apropiados para recuperarlos o eliminarlos. No permita que los derrames y residuos líquidos de la limpieza se introduzcan en desagües, cloacas, aguas subterráneas, zanjas de desagüe o aguas superficiales. Lleve el equipo de protección apropiado tal como se describe en la sección 8.
Método de eliminación de residuos:	Elimine el asfalto de acuerdo con las regulaciones federales, estatales, provinciales y locales.

Sección 7: MANIPULACIÓN Y ALMACENAMIENTO

General:	<p>Manipule el material con cuidado y tome las medidas de control apropiadas. Use las prácticas apropiadas de conexión y puesta a tierra. Almacene en contenedores correctamente cerrados y rotulados, en un área fresca y bien ventilada. No exponga el producto a focos de calor, llamas, agentes oxidantes fuertes u otras fuentes de ignición. No corte, perforo, muele ni suelde en los contenedores vacíos ya que pueden contener residuos inflamables.</p> <p>Se pueden generar y acumular concentraciones importantes de sulfuro de hidrógeno (H₂S) en tanques de almacenamiento y compartimentos de transporte de grandes volúmenes de carga que pueden requerir precauciones y procedimientos adicionales durante la carga y descarga. Al abrir las tapas y salidas de los tanques de almacenamiento, póngase careta y guantes para evitar posibles lesiones causadas por el producto presurizado. Manténgase contra el viento y abra las escotillas para que se ventilen antes de descargar. Recubra de producto los serpentines de calefacción y conductos de humos de tanques de almacenamiento, camiones y hervidores. No someta los materiales a un calor excesivo.</p>
Uso:	<p>Evite el contacto con la piel, los ojos y la ropa. Tome precauciones adicionales al manejar el material caliente. Mantenga los niveles de exposición de los empleados por debajo de los límites de las normativas establecidas. No permita que el producto caliente entre en contacto con la piel. Asegúrese de que la ventilación sea adecuada. Use todos los controles técnicos y el equipo de protección personal (PPE) apropiados descritos en la sección 8.</p>
Temperatura de almacenamiento:	<p>Almacene lejos de toda fuente de ignición y llamas. No permitir que se congele.</p>
Almacenamiento:	<p>No exponga el material a llamas, agentes oxidantes fuertes u otras fuentes de ignición. Consulte a las autoridades federales, estatales, provinciales y locales apropiadas antes de volver a utilizar, reciclar o eliminar contenedores vacíos o residuos de este producto.</p>

Sección 8: CONTROLES DE EXPOSICIÓN Y PROTECCIÓN PERSONAL

Controles técnicos:	<p>Use sistemas locales de ventilación a través de tubos de escape o de dilución general cuando se emplee el producto a temperaturas elevadas o durante actividades que generen vapores o vahos, para mantener los niveles por debajo de los límites de exposición. Asegúrese de que haya una instalación de lavado ocular de emergencia y una ducha de seguridad cerca del área de trabajo.</p>
Equipo de protección personal (PPE):	
Protección respiratoria:	<p>No se requiere protección respiratoria en condiciones normales. Use un respirador aprobado por el NIOSH, que esté correctamente ajustado y en buenas condiciones, cuando se exponga a vapores en concentraciones que superen los límites de exposición.</p>
Protección para los ojos:	<p>Al manipular asfalto, póngase gafas, lentes de seguridad o una careta de protección aprobadas por el ANSI para evitar el contacto con los ojos.</p>
Protección para la piel:	<p>Lleve guantes resistentes a agentes químicos (por ejemplo, de neopreno o goma de butilo) para evitar el contacto con la piel y guantes aislantes al manejar material caliente. No confíe en las cremas protectoras como sustitución de guantes impermeables. A fin de evitar el contacto con la piel, tal vez sea necesaria una protección adicional, incluyendo el uso de delantales, fundas de protección de los brazos, caretas o botas. Quítese y lave la ropa que se haya manchado de asfalto. Lávese a fondo las manos y otras zonas de la piel que se hayan expuesto al asfalto.</p>

Sección 9: PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS

Estado físico:	Sólido o semisólido	Tasa de evaporación:	No disponible.
Aspecto:	Color negro o marrón.	pH (en agua):	No disponible.
Olor:	Ligero olor a petróleo.	Punto de ebullición:	> 400 °C.
Presión del vapor:	No disponible.	Punto de congelación:	No disponible.
Densidad del vapor:	No disponible.	Viscosidad:	139-3.000 cP a 135 °C (275 °F).
Gravedad específica:	0,95 – 1,13	Solubilidad en agua:	Insoluble

Sección 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad:	Estable. Evite el contacto con materiales incompatibles, calor excesivo, fuentes de ignición y llamas.
Incompatibilidad:	El asfalto es incompatible con ácidos o bases fuertes y agentes oxidantes como los nitratos, cloratos y peróxidos.
Polimerización peligrosa:	Ninguna.
Descomposición peligrosa:	Al calentarse, puede liberar monóxido de carbono, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, trazas de óxidos de azufre y nitrógeno y diversos hidrocarburos.

Secciones 11 y 12: INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA Y ECOLÓGICA

Para preguntas relacionadas con información toxicológica y ecológica, consulte la información de contacto de la sección 1.

Sección 13: CONSIDERACIONES SOBRE LA ELIMINACIÓN

Elimine los residuos y contenedores según las normativas federales, estatales, provinciales y locales aplicables.

Sección 14: INFORMACIÓN SOBRE EL TRANSPORTE

Este producto está clasificado como material peligroso bajo las normativas del DOT de EE.UU. cuando se transporta a temperaturas superiores a 212 °F (100 °C). Se considera que este producto no es peligroso cuando se transporta a temperatura ambiente.

Sección 15: INFORMACIÓN SOBRE NORMATIVAS

Comunicación de peligros de la OSHA y la MSHA:	Tanto la OSHA como la MSHA consideran que este producto es una sustancia química peligrosa y debería incluirse en el programa de comunicación de peligros del empleador.
CERCLA/SUPERFUND:	Este producto no aparece en la lista de sustancias peligrosas de la CERCLA.
EPCRA, título III de la SARA:	Este producto se ha examinado de acuerdo con las categorías de peligro de la EPA promulgadas en las secciones 311 y 312 de la Ley de Enmienda y Reautorización de Superfondos de 1986, y se considera un peligro agudo para la salud (irritación).
EPRCA, sección 313 de la SARA:	Este producto no contiene ninguna de las sustancias sujetas a los requisitos de notificación de la sección 313 del título III de la Ley de Enmienda y Reautorización de Superfondos de 1986 y el apartado 372 del CFR 40.
RCRA:	Si se desecha en el mismo estado que se compró, este producto no será un residuo peligroso, ni por aparecer en cualquier lista ni por sus características. Sin embargo, según la RCRA, es responsabilidad del usuario del producto determinar en el momento de la eliminación si un material que contiene el producto o se deriva del mismo se debería clasificar como residuo peligroso.
TSCA:	Este producto y/o sus componentes aparecen en el inventario de la Ley de Control de Sustancias Tóxicas (TSCA).
Propuesta 65 de California:	Este producto y/o sus componentes no aparecen en la lista de la Propuesta 65 de California.
WHMIS/DSL:	Los productos que contienen asfalto se clasifican como D2B y están sujetos a los requisitos del WHMIS.



Sección 16: OTRA INFORMACIÓN
Abreviaturas:

>	Mayor que	NA	No disponible
ACGIH	Congreso Americano de Higienistas Industriales Gubernamentales	NFPA	Asociación Nacional para la Protección Contra Incendios
CAS No	Número de servicio químico abstracto	NIOSH	Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Laboral
CBI	Información comercial confidencial	NTP	Programa nacional de toxicología
CERCLA	Ley Global de Respuesta, Compensación y Responsabilidad Medioambiental	OSHA	Administración de Seguridad y Salud Laboral
		PEL	Límite de exposición permisible
CFR	Código de normativas federales	pH	Logaritmo negativo de iones de hidrógeno
CL	Valor techo	PPE	Equipo de protección personal
DOT	Departamento de Transporte de EE.UU.	R	Partícula respirable
EST	Hora oriental estándar	RCRA	Ley de Conservación y Recuperación de Recursos
HEPA	Alta eficiencia de partículas en el aire	SARA	Ley de Enmienda y Reautorización de Superfondos
HMIRC	Comisión Revisora de Información sobre Materiales Peligrosos	SCBA	Equipo de respiración autónomo
HMIS	Sistema de identificación de materiales peligrosos	T	Total de partículas
IARC	Agencia Internacional de Investigación del Cáncer	TDG	Transporte de Mercancías Peligrosas
LC ₅₀	Concentración letal	TLV	Valor del límite del umbral
LD ₅₀	Dosis letal	TWA	Tiempo medio ponderado (8 horas)
(mg/m ³)	Miligramos por metro cúbico	WHMIS	Sistema de información sobre materiales peligrosos en el trabajo
MSHA	Administración de Seguridad y Salud en Minas		

Esta HDSM (Secciones 1-16) fue enmendada el 1 de marzo de 2014.

Una versión electrónica de esta HDSM está disponible en: www.lafarge-na.com bajo la sección de Continuidad. Por favor, dirija cualquier pregunta relacionada con el contenido de esta MSDS para SDSinfo@Lafarge.com.

Lafarge North America Inc. (LNA) cree que la información contenida en la presente HDSM es precisa; sin embargo, LNA no garantiza dicha precisión ni asume responsabilidad alguna relacionada con el uso de la información aquí contenida, la cual no pretende ser ni debería interpretarse como consejo jurídico ni compromiso de conformidad con ninguna ley o normativa federal, estatal o local. Cualquiera que use este producto debería revisar todas esas leyes, normas o normativas antes de utilizarlo, incluyendo, pero sin limitarse a, las normativas federales, provinciales y estatales de EE.UU. y Canadá.

NO SE OFRECE GARANTÍA ALGUNA, EXPRESA O IMPLÍCITA, DE COMERCIABILIDAD, IDONEIDAD PARA UN PROPÓSITO PARTICULAR O CUALQUIER OTRA CLASE.

MÉTODO PARA DETERMINAR EL PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON EL APARATO DE ANILLO Y BOLA (ASTM D 36 AASHTO T53-96)

OBJETO

Este método describe un procedimiento para determinar el punto de ablandamiento de materiales asfálticos, cuyo valor se encuentre en el rango de 30 a 200°C, por medio del aparato de anillo y bola.

GENERALIDADES

En general, con materiales de este tipo, el ablandamiento no ocurre a una temperatura definida; a medida que la temperatura aumenta, el material cambia gradual e imperceptiblemente, de un estado quebradizo o excesivamente espeso y de poca fluidez, a líquidos blandos y menos viscosos. Por esta razón, la determinación del punto de ablandamiento se debe efectuar mediante un método arbitrario, pero bien definido, de manera de comparar resultados.

DEFINICIONES

1. Punto de Ablandamiento

Es la menor temperatura a la que una muestra, suspendida en un anillo horizontal de dimensiones especificadas, es forzada a caer 25 mm por el peso de una bola de acero especificada, cuando la muestra se calienta mediante incrementos a una velocidad prescrita, en un baño de agua o de glicerina.

EQUIPOS Y MATERIALES

2. Equipo Normal

- a) Anillo de bronce que cumpla con las dimensiones que se muestran en la **Figura A0110_1, Figura 1.**
- b) Bolas de acero con un diámetro de 9,5 mm y que pesen entre $3,50 \pm 0,050$ g.
- c) Una guía para centrar la bola, construida de bronce, que tenga en general la forma y las dimensiones indicadas en la **Figura A0110_1, Figura 3.**

3. Baño

Un vaso de vidrio de 800 ml, capaz de resistir el calor, que tenga un diámetro no menor que 85

mm y una profundidad no menor que 120 mm.

4. Soporte del Anillo

El anillo deberá estar sujeto sobre un soporte (**Figura A0110_1, Figura 2**), como se muestra en el conjunto en la **Figura A0110_1, Figura 4.**

- a) Los anillos deberán sujetarse en posición horizontal, con el fondo a 25 mm por encima de la superficie superior de la placa, y la superficie inferior de ésta a una distancia de por lo menos 13 mm y no mayor de 19 mm al fondo del vaso. La profundidad del líquido en el vaso deberá ser mayor que 100 mm.
- b) El termómetro deberá suspenderse de manera que el fondo del bulbo esté a nivel con el fondo del anillo y dentro de 13 mm de distancia del anillo, pero de manera que no lo toque.

5. Termómetros

Termómetros del tipo ASTM para punto de ablandamiento bajo que tengan un rango de -2° a $+80^{\circ}\text{C}$ y cumplan con los requisitos para termómetro 15C, descritos en la **Norma ASTM E 1** y un ASTM 16C (rango 30 a 200°C) para puntos de ablandamientos altos.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

6. Caliente con cuidado la muestra, agitándola continuamente para prevenir un sobrecalentamiento local, hasta que esté suficientemente fluida para verterla. En ningún caso la temperatura de la muestra debe exceder de 110°C por sobre del punto de ablandamiento estimado. Elimine las burbujas de aire incorporadas en la muestra mediante agitación continua.
7. Lleve la muestra de asfalto a la temperatura de vertido, en un tiempo no mayor que 240 min; vierta la muestra caliente dentro de los dos anillos, precalentados aproximadamente a la temperatura de vertido. Mientras se llenan los anillos debe apoyarse sobre una placa de bronce, previamente recubierta con un agente desmoldante, para prevenir que el material bituminoso se adhiera a la placa. Enfríe por lo menos durante 30 min; en ningún caso deje transcurrir más de 4 h antes de terminar el ensayo. Las muestras que estén blandas a temperatura ambiente, se deben enfriar durante un mínimo de 30 min. a una temperatura mínima de 8°C por debajo del punto de ablandamiento esperado.
8. Después de enfriado, corte el exceso de material con una espátula o cuchillo ligeramente caliente. En caso de que se repita el ensayo, utilice una muestra nueva y un recipiente limpio.

PROCEDIMIENTO

Procedimiento para materiales que tengan un punto de ablandamiento igual o menor que 80°C

9. Ensamble el aparato con los anillos, el termómetro y la guía para centrar las bolas en posición y llene el baño con agua fresca destilada a $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ a una profundidad no menor de 100 mm ni mayor de 110mm. Mantenga la temperatura del baño a 5°C durante 15 min, colocando el recipiente del ensayo en agua helada, si es necesario. Utilizando unas pinzas, coloque una bola previamente ajustada a la misma temperatura del baño, en cada una de las guías de centraje de las bolas.

10. Aplique calor de tal manera que la temperatura del líquido aumente con una velocidad uniforme de 5°C por min; evite el efecto de las corrientes de aire, utilizando protectores si es necesario.

Nota 1: Para el calentamiento se permite el uso de un mechero de gas o un plato caliente eléctrico. Sin embargo; el plato eléctrico precisa tener un sistema para incrementar las temperaturas sin demora, para mantener la velocidad de calentamiento.

11. La velocidad de aumento de temperatura deberá ser uniforme y no se promediará durante el período del ensayo. La variación máxima permisible para cualquier minuto de tiempo, después de los tres minutos, será $\pm 5^\circ\text{C}$. Elimine todos los ensayos en los que la velocidad de aumento de temperatura no esté dentro de estos límites.

12. Anote para cada anillo y bola la temperatura indicada por el termómetro; en el instante que la muestra que rodea la bola, toque la placa inferior. Si la diferencia entre estos dos valores excede 1°C , repita el ensayo.

Procedimiento para materiales que tengan un punto de ablandamiento mayor que 80°C

Utilice el mismo procedimiento descrito en 10, con las siguientes modificaciones:

- a) Use glicerina en vez de agua.
- b) La temperatura inicial del baño de glicerina será 32°C .

PRECISIÓN

El siguiente criterio se debe utilizar para juzgar la aceptabilidad de los resultados (95% de probabilidad).

- c) Repetibilidad. La duplicidad del punto de ablandamiento obtenido por el mismo operador no se considerará dudosa a menos que difiera de ésta más de 1°C (desviación normal estimada 0,73%).
- d) Reproducibilidad. Los puntos de ablandamiento informados por cada uno de dos laboratorios, no se considerarán dudosos a menos que los dos informes difieran en más de 2°C (desviación normal estimada 1,26%).

INFORME

13. Calcule el promedio de los valores de las temperaturas registradas en el ensayo. Informe este valor con precisión de $0,5^\circ\text{C}$ como el punto de ablandamiento para termómetros 16C, y de $0,2^\circ\text{C}$ para termómetros 15C.

14. Para materiales con un punto de ablandamiento cercano a 80°C , anote en el informe el tipo de baño utilizado, agua o glicerina; el baño de glicerina da un punto de ablandamiento mayor que el de agua.

Nota 2: La utilización de agua recién destilada es esencial, ya que de otra manera pueden formarse burbujas de aire en la muestra, lo cual afecta los resultados. El ceñirse a la velocidad prescrita de calentamiento es absolutamente esencial para la reproducibilidad de los resultados.

Nota B: Este diámetro debe ser ligeramente más grande (aproximadamente 0,05 mm) que la dimensión "A" de fig. 1 Anillo-para deslizar sobre el anillo.

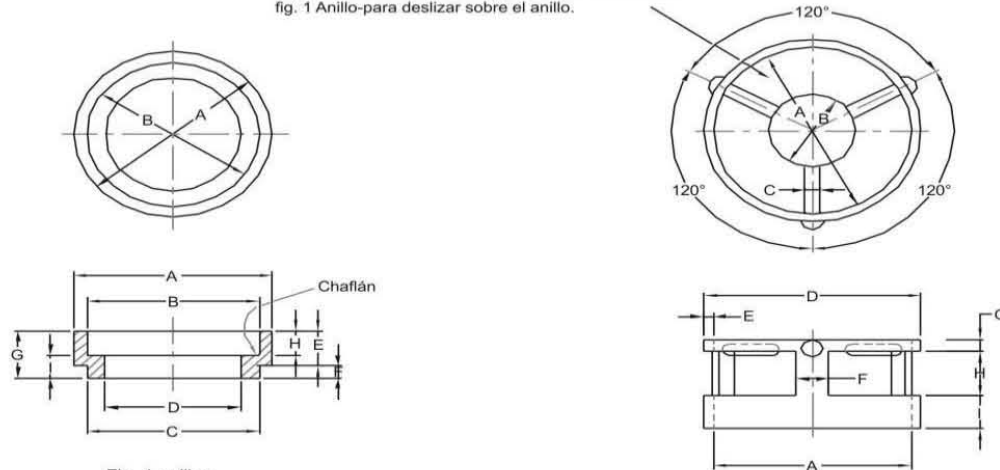


Fig. 1 anillos.

- A 23,1 mm ± 0,3 mm
- B 19,8 mm ± 0,3 mm
- C 19,1 mm ± 0,3 mm
- D 15,9 mm ± 0,3 mm
- E 4,4 mm ± 0,3 mm
- F 2,0 mm ± 0,3 mm
- G 6,4 mm ± 0,4 mm
- H 3,5 mm ± 0,3 mm
- I 2,8 mm ± 0,3 mm

Nota C : Esta dimensión debe ser ligeramente más grande (aprox. 0,05 mm) que 9,6 mm para permitir la colocación y centrado de la bola.

Fig. 3 guía para centrar la bola

- A 23,1 mm ver Nota B
- B 3,5 mm ver Nota C
- C 1,5 mm ± 0,6 mm
- D 24,6 mm ± 0,3 mm
- E 0,8 mm ± 0,5 mm
- F 3,0 mm ± 0,5 mm
- G 1,5 mm ± 0,3 mm
- H 4,8 mm ± 0,3 mm
- I 4,3 mm ± 0,3 mm

Nota A: Este diámetro debe ser ligeramente más grande (aproximadamente 0,05 mm) que la dimensión "C" de la fig. 1 Anillos-para permitir la colocación del anillo. El ensamble final del bulbo del termómetro será a 12,7 mm de la bola.

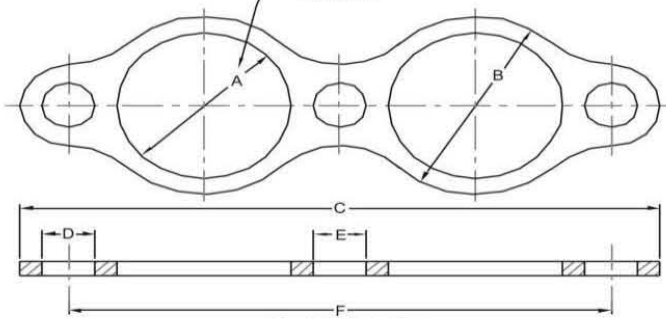


Fig. 2 Porta-anillos.

- A 19,1 mm ver Nota A
- B 23,9 mm ± 0,5 mm
- C 76,2 mm ± 0,5 mm
- D 5,6 mm ± 0,5 mm
- E 5,6 mm ± 0,5 mm
- F 66,5 mm ± 0,5 mm

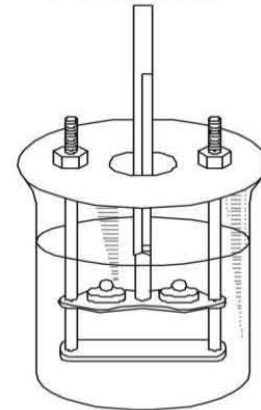


Fig. 4 Conjunto de dos anillos.

ANILLO, PORTA-ANILLO, GUÍA PARA CENTRAR LA BOLA Y ENSAMBLE DEL APARATO MOSTRANDO DOS ANILLOS

CAPÍTULO A0103 - MÉTODO DE ENSAYO DE PENETRACIÓN (ASTM D5 - AASHTO T49-97)

OBJETO

Este método describe un procedimiento para determinar la dureza, mediante penetración, de materiales bituminosos sólidos y semisólidos. **ANEXO DETALLES ESPECIFICOS AO 103**

El ensayo de penetración se usa como una medida de consistencia; valores altos de penetración indican consistencias más blandas.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Penetrómetro

Cualquier equipo que permita el movimiento vertical sin fricción apreciable del vástago sostenedor de la aguja, y que sea capaz de indicar la profundidad de la penetración con una precisión de 0,1 mm. El peso del vástago será de $47,5 \pm 0,05$ g. El peso total de la aguja y el vástago será de $50,0 \pm 0,05$ g. Para cargas totales de 100 g y 200 g, dependiendo de las condiciones en que se aplique el ensayo, se estipulan pesas de $50,0 \pm 0,05$ g y $100,0 \pm 0,05$ g.

La superficie sobre la que se apoya la cápsula que contiene la muestra será lisa y el eje del émbolo deberá estar aproximadamente a 90° de esta superficie. El vástago deberá ser fácilmente desmontable para comprobar su peso.



EQUIPO PARA EL ENSAYO DE PENETRACIÓN

2. Aguja de penetración

La aguja (ver Figura A0103_1) es de acero inoxidable templado y duro, grado 440-C o equivalente, HRC 54 a 60; debe tener aproximadamente 50 mm de largo y su diámetro entre 1,00 y 1,02 mm.

Será simétricamente afilada en forma cónica, con un ángulo entre 8,7 y 9, 7º con respecto al largo total del cono, el que debe ser coaxial con el cuerpo recto de la aguja. La variación total axial de la intersección del cono y la superficie recta no debe exceder de 0,2 mm. La punta truncada del cono debe tener un diámetro entre 0,14 y 0,16 mm y en ángulo recto al eje de la aguja con una tolerancia de 2º.

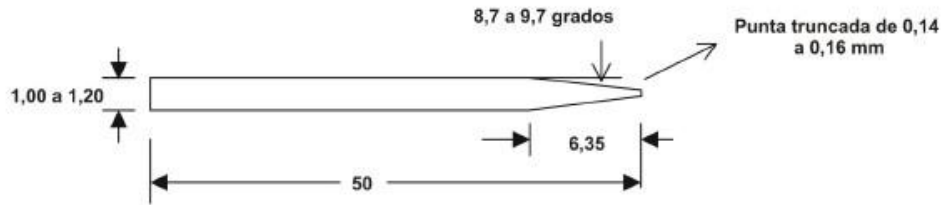
El filo de la superficie de la punta truncada debe ser bien formado y libre de rugosidad. Cuando la textura de la superficie se mide de acuerdo con la **American National Standard B 46.1 o ISO468**, la aspereza superficial (Ra) del cono aguzado debe estar entre 0,2 y 0,3 µm como promedio aritmético.

La aspereza superficial (Ra) del eje de la aguja debe estar entre 0,025 y 0,125 micrones.

La aguja debe montarse en un casquete de metal no corrosivo, que tenga un diámetro de $3,2 \pm 0,05$ mm y una longitud de 38 ± 1 mm. La longitud expuesta de la aguja estándar debe estar comprendida entre 40 y 45 mm.

La aguja debe estar rígidamente montada en el casquete. La carrera (lectura del indicador de penetración total) de la punta de la aguja y cualquier porción de la aguja relativa al eje del casquete, no deberá exceder de 1 mm.

La masa del conjunto casquete - aguja será de $2,50 \pm 0,05$ g (se puede perforar con taladro o limar el casquete, para controlar el peso). Coloque marcas de identificación individual en el casquete de cada aguja; las mismas marcas no deberían repetirse por un mismo fabricante dentro de un período de tres años.



Dimensiones en mm

FIGURA A0103_1 AGUJA PARA ENSAYO DE PENETRACIÓN

3. Cápsulas

Las cápsulas deben ser de metal o vidrio, de forma cilíndrica y con fondo plano. Sus dimensiones son las siguientes:

- Para penetraciones bajo 200. Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 35.
- Para penetraciones entre 200 y 350: Diámetro (mm) 55 Profundidad (mm) 70.

4. Baño de agua

Tendrá una capacidad mínima de 10l. y un sistema apto para mantener la temperatura a 25°C, o cualquiera de ensayo, con una tolerancia de $\pm 0,1^\circ\text{C}$; tendrá, además, una bandeja perforada ubicada a no menos de 50 mm del fondo, ni menos de 100 mm bajo el nivel del líquido en el baño.

Si el ensayo de penetración se realiza en el mismo baño, éste debe estar provisto de una bandeja que soporte el peso del penetrómetro. Para determinaciones a bajas temperaturas se puede utilizar una solución salina (Nota 1).

Nota 1: Se recomienda usar agua destilada en el baño. Se debe evitar la contaminación del baño de agua por agentes superficiales activos, agentes residuales u otros agentes químicos, pues su presencia puede afectar los valores de penetración.

5. Transportador de cápsula

Debe tener una capacidad mínima de 350 ml y una profundidad suficiente de agua que permita cubrir la altura del contenedor de la muestra. Debe estar provisto de algún medio que asegure firmemente la cápsula y evite el balanceo; para lo que tendrá tres brazos que permitan a lo menos tres puntos de contacto para sostener la cápsula.

6. Aparato medidor de tiempo

Para operar un penetrómetro manual, utilice cualquier aparato que mida el tiempo, tal como un medidor de tiempo eléctrico, un cronómetro o cualquier dispositivo a cuerda, que esté graduado en 0,1 o menos y cuya precisión esté dentro de $\pm 0,1$ seg. para un intervalo de 60 seg.

También se puede utilizar un contador de segundos audible, ajustado para proporcionar un pulso cada 0,5 seg. El tiempo para un intervalo de cuenta de 11 pulsos debe ser de $5 \pm 0,1$ seg.

Cualquier dispositivo automático que se vaya a conectar al penetrómetro debe ser cuidadosamente calibrado para proporcionar el intervalo de ensayo deseado dentro de $\pm 0,1$ seg.

7. Termómetros

Se pueden usar termómetros de vidrio de rango adecuado, con subdivisiones y escala máxima de error de $0,1^{\circ}\text{C}$, o cualquier otro aparato que mida temperaturas con igual exactitud, precisión y sensibilidad. Los termómetros deben cumplir los requisitos de la Especificación ASTM E1. Los termómetros comúnmente utilizados son los que se indican en la Tabla A0103_1:

TABLA A0103_1 TIPOS DE TERMÓMETROS

ASTM n°	Rango	Temperatura de ensaye
17 C	19 a 27 °C	25 °C
63 C	- 8 a + 32 °C	0 a 4 °C
64 C	25 a 55 °C	46 °C

El termómetro para el baño de agua se debe calibrar periódicamente de acuerdo con el **Método de Ensayo ASTM E 77**.

CONDICIONES GENERALES

Cuando no se especifiquen las condiciones de ensayo, considere la temperatura, carga y tiempo, en 25°C , 100 g y 5 seg., respectivamente. Otras condiciones de temperatura, carga y tiempo pueden usarse para ensayos especiales, tales como los que se muestran en la Tabla A0103_2.

TABLA A0103_2 CONDICIONES PARA ENSAYOS ESPECIALES

Temperatura (°C)	Carga (g)	Tiempo (s)
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

En los casos especiales deben informarse las condiciones especificadas de ensayo.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

8. Caliente la muestra cuidadosamente, agitando para prevenir sobrecalentamientos locales, hasta que esté lo suficientemente fluida para vaciar. En ningún caso la temperatura debe elevarse más allá de 60°C sobre el punto de ablandamiento esperado para los alquitranes, de acuerdo con el **Método de Ensayo ASTM D 36**, o no más allá de 90°C sobre el punto de ablandamiento para el Caso de los asfaltos. No caliente la muestra por más de 30 min. y evite la incorporación de burbujas en la muestra.
9. Vierta la muestra en la cápsula a una profundidad tal que cuando se enfríe a la temperatura de ensayo, la profundidad de la muestra sea a lo menos 10 mm mayor que la profundidad a la cual se espera que la aguja penetre. Vierta dos porciones separadas para cada variación de las condiciones de ensayo.
10. Proteja la cápsula contra el polvo, cubriéndola con un vaso y déjela enfriar al aire a una temperatura entre 15 y 30°C, entre 1 y 1,5 h. para una cápsula pequeña (90 ml) y 1,5 y 2 h., para el más grande (175 ml). Cuando utilice el transportador de cápsula, coloque las muestras junto con éste en el baño de agua, manteniéndolas a la temperatura de ensayo.
11. Las muestras en cápsulas pequeñas deben permanecer entre 1 y 1,5 h. y en las más grandes, entre 1,5 y 2 h.

PROCEDIMIENTO

12. Examine la aguja y guía para comprobar que esté perfectamente seca y libre de otros materiales extraños. Si la penetración esperada excede 350 use una aguja larga; en otros casos, utilice una aguja corta. Limpie la aguja de penetración con tolueno u otro solvente adecuado, seque con un paño limpio e inserte la aguja en el penetrómetro. A menos que se especifique otra cosa, coloque el peso de 50 g sobre la aguja, obteniendo una masa total de $100 \pm 0,1$ g.
 13. Si el ensayo se hace con el penetrómetro en el baño, coloque la cápsula con muestra directamente sumergida sobre la superficie de éste (Nota 2), y deje la cápsula con la muestra en el baño, completamente cubierta con agua. Si el ensayo se realiza con el penetrómetro fuera del baño, coloque la muestra en el transportador de cápsula, cúbrala completamente con agua a la temperatura del baño (constante) y ubique el transportador sobre la superficie del penetrómetro.
- Nota 1:** Para ensayos cuando las penetraciones son a temperaturas diferentes de 25°C, las mismas deben realizarse sin remover la muestra del baño.
14. Posicione la aguja descendiendo lentamente hasta que la punta haga contacto con la superficie de la muestra; realice esto con la punta de la aguja haciendo contacto real con su imagen reflejada sobre la superficie de la muestra, para lo cual empleé una fuente luminosa (Nota 2).

Nota 2: La posición de la aguja se puede visualizar mejor con la ayuda de un tubo de iluminación de polimetil metacrilato.

15. Haga un mínimo de tres penetraciones en la superficie de la muestra en puntos distanciados al menos 10 mm de la pared de la cápsula y a no menos de 10 mm entre uno y otro. Si se usa el transportador de cápsula, retorne la muestra y el transportador al baño de agua entre determinaciones; use una aguja limpia para cada determinación. Si la penetración es mayor que 200, use un mínimo de tres agujas, dejándolas en la muestra hasta completar las tres penetraciones.

PRECISIÓN

Use el siguiente criterio para juzgar si los resultados de penetración son aceptables para asfaltos a 25°C. (El criterio de precisión para otras temperaturas está siendo determinado).

16. Precisión para un solo operador

El coeficiente de variación determinado para un solo operador, es de 1,4% para penetraciones sobre 60 y la desviación estándar para un solo operador, desde 0,35 para penetraciones bajo 50.

Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados por el mismo operador, con el mismo material de cualquier penetración y usando el mismo equipo, no deberían diferir uno del otro en más de 4% de su media o 1 unidad en otros casos.

17. Precisión entre laboratorios

El coeficiente de variación encontrado entre laboratorios es de 3,8% para penetraciones sobre 60 y la desviación estándar entre laboratorios es de 1,4 para penetraciones bajo 50. Por lo tanto, los resultados de dos ensayos adecuadamente ejecutados, con el mismo material de cualquier penetración y en dos laboratorios diferentes, no deberían diferir uno del otro en más de 11% de su media o 4 unidades en otros casos.

Nota 4: Los valores antes indicados representan los límites de ambas desviaciones estándar.

En la **Tabla A0103_3** se entregan los criterios de precisión para los distintos casos.

TABLA A0103_3 CRITERIOS DE PRECISIÓN

Material	Desviación estándar o Coeficiente de Variación, (Unidades o %)	Rango de aceptación de dos resultados de Ensayo (Unidades o %)
Precisión para un solo operador:		
Asfaltos a 25°C, penetraciones bajo 50, (unidades)	0,35	1
Asfaltos a 25° C, penetraciones sobre 60, (% de su media)	1,4	4
Alquitranes a 25° C(*), (% de su media)	5,2	15
Precisión entre laboratorios:		
Asfaltos a 25° C, penetraciones bajo 50, (unidades)	1,4	4
Asfaltos a 25°C, penetraciones sobre 60, (% de su media)	3,8	11
Alquitranes a 25° C (*), (unidades)	1,4	4

(*) La estimación de la precisión para los alquitranes está basada en los resultados de dos destilados de hulla con penetraciones de 7 y 24. La estimación puede no ser aplicable a materiales de dureza diferente.

**I
N
F
O
R
M
E**

Informe el promedio de tres determinaciones, aproximando a la unidad. Los valores no deben diferir más allá de las magnitudes que se indican en la Tabla A0103_4 para cada grado de penetración.

TABLA A0103_4 MÁXIMA ENTRE MEDICIONES

PENETRACION	0 a 49	50 a 149	150 a 249	250 a 500
Máxima diferencia entre la mayor y la menor determinación	2	4	12	20