



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA.**

**PUNTOS CRÍTICOS EN LA ELABORACIÓN DE ASFALTOS
MODIFICADOS CON UN POLÍMERO Y SU EFECTO EN LA
VISCOSIDAD.**

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

XARENI GONZÁLEZ SÁNCHEZ

DIRECTOR DEL TESIS:

I.Q CONSUELO MATÍAS GARDUÑO



MÉXICO D.F. OCTUBRE 2015



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.



INDICE

INDICE DE FIGURAS	4
INDICE DE GRAFICAS.....	4
INDICE DE TABLAS.....	4
AGRADECIMIENTOS.....	6
RESUMEN.....	8
CAPÍTULO I – INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	9
1. 1 FUNDAMENTACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL TEMA	10
1.1.1 <i>Asfalto</i>	10
1.1.1 Historia del asfalto	12
1.1.2 Obtención	13
1.1.3 Composición del asfalto	15
1.1.4 Aplicaciones más comunes.....	17
1.2. <i>Definición de mezcla asfáltica.</i>	18
1.2.1 Clasificación de mezcla asfáltica	18
1.2. OBJETIVOS	24
1.2.1 <i>Objetivo general</i>	24
1.2.2 <i>Objetivos específicos</i>	24
1.3 HIPÓTESIS.....	24
CAPÍTULO II – FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	25
2.1 REOLOGÍA.....	26
2.2 VISCOSIDAD	27
2.2.1 <i>Variación de la viscosidad con respecto a la temperatura</i>	27
2.3 TORQUE.....	28
2.4 TIPOS DE FLUIDOS	29
2.4.1 <i>Fluidos newtonianos</i>	31
2.4.2 <i>Fluidos no newtonianos</i>	31
2.4.2.1 Fluidos independientes del tiempo de aplicación.	31
2.4.2.2 Fluidos dependientes del tiempo de aplicación.	32
2.4.3 <i>Fluidos newtonianos</i>	33
2.5 POLÍMEROS	34
2.5.1 <i>Principales modificadores utilizados en el Asfalto</i>	34
2.5.1.1 POLÍMERO TIPO I	34
2.5.1.2 POLÍMERO TIPO II	34



2.5.1.3 POLÍMERO TIPO III	35
2.5.1.4 HULE MOLIDO DE NEUMÁTICOS.....	35
2.5 COMPATIBILIDAD ASFALTO-POLÍMERO.....	36
CAPÍTULO III – PRUEBAS EXPERIMENTALES.....	38
3.1 PENETRACIÓN	39
3.1.1 Preparación del equipo	39
3.1.2 Aguja de penetración	39
3.1.3 Cápsula de penetración	40
3.1.4 Baño de agua.....	40
3.1.5 Procedimiento de la prueba.....	41
3.2 TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO	43
3.2.1 Equipo y materiales.....	43
3.2.1.1 Anillos.....	43
3.2.2 Preparación de la muestra.....	44
3.2.3 Procedimiento de la prueba.....	44
3.3 VISCOSIDAD DE BROOKFIELD	46
3.3.1 Preparación del equipo.....	47
3.3.2 Preparación de la muestra.....	47
3.2.3 Procedimiento de prueba	48
CAPÍTULO IV – ASFALTO ECOEFICIENTE	49
IMPACTO AMBIENTAL	50
CAPÍTULO V – RESULTADOS	52
CAPÍTULO VI – ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	58
6.1 RELACIÓN VISCOSIDAD Y TORQUE	59
6.2 DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD APARENTE.....	63
CONCLUSIONES	67
APENDICE	70
HOJAS DE SEGURIDAD.....	71
1. HEPTANO	71
2. TRICLOROETILENO.....	75
3. SOLPRENE.....	80
4. PERCLOROETILENO	81
5. ASTM PRUEBA DE PENETRACIÓN.....	83



6 ASTM PRUEBA TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO.....	86
6.2 RESULTADOS	90
BIBLIOGRAFÍA	93

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Asfalto fundido	10
Figura 2. Toma de temperatura en tanques de almacenamiento.....	11
Figura 3. El asfalto en los años 70's.....	12
Figura 4. Estructura molecular de los asfaltenos.....	16
Figura 5. Estructura molecular de los máltenos.....	17
Figura 7. Tipos de fluidos	30
Figura 8. Aguja para la prueba de penetración.....	39
Figura 9. Charola para penetración con muestra.....	40
Figura 10. Método de penetración mediante la norma ASTM,.....	42
Figura 11. Anillo para la prueba de temperatura de ablandamiento.....	43
Figura 12. Montaje del equipo para prueba de temperatura de ablandamiento	45
Figura 13. Viscosímetro digital Brookfield.....	46
Figura 13 Acanalamiento del pavimento asfaltico.....	61

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica. 1 Asfalto modificado con el 2% de polímero a 110°C.....	61
Gráfica. 2 Asfalto con aditivo TB-2 a 110°C	62
Gráfica. 3 Asfalto sin modificar a dos temperaturas diferentes (120 y 130°C)	62
Gráfica. 4 Velocidad angular para un asfalto con el 2% de polímero a 110 °C	64
Gráfica. 5 Velocidad angular contra la diferencia de los inversos de los diámetros para un asfalto con el 2% de aditivo a 110°C	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Asfalto sin modificación	53
Tabla 2. Asfalto con polímero al 2% a 110°C	54



Tabla 3 Datos de penetración para un asfalto con polímero	55
Tabla 4. Asfalto con aditivo TB-2 a 110°C	56
Tabla 5 Datos de penetración para asfalto con el aditivo TB-2.....	57
Tabla 6 Cálculos para obtener la velocidad angular de un asfalto con el 2% de polímero	90
Tabla 7 Cálculos de velocidad angular para un asfalto con el 2% de aditivo	91
Tabla 8 Cálculos para velocidad angular de un asfalto sin modificar a 120 y 130 °C.....	92



AGRADECIMIENTOS

El primer agradecimiento va dirigido a Dios y a mis padres: **Francisco González Rodríguez y Griselda Sánchez Villanueva**, por brindarme las bases, apoyo y comprensión durante todo este tiempo. A mis hermanas **Lizet e Irais González Sánchez** porque a pesar de todas esas críticas, regaños y correcciones me han servido de ayuda para lograr realizar muchas metas en mi vida, con todo esto quiero decirles que los amo, gracias por ese apoyo. A mis abuelitos **Roberto Sánchez González y María Villanueva Díaz**, por llenarme de su humildad, amor y sabiduría.

Quisiera dar un agradecimiento especial a **María de los Ángeles Galván Villanueva**, por el apoyo que me dio a pesar de las circunstancias.

Sin duda quisiera agradecer a **Angel Alberto Méndez Hernández**, por estar conmigo gran parte de este camino, por brindarme su apoyo, comprensión y amor, durante los momentos más estresantes, felices y tristes, de verdad muchas gracias por estar ahí.

A mis amigos de vida **Perla Karina Calzada, Jaqueline Primero Rivera, Ana Badillo y Patricia Anaya**.

A mis amigos de la universidad; **Amado, Dulce Anel, Monserrat Calzada, Monserrat, Rita, Miriam, Candy, Victoria, Zavaleta, Mariela, Rosaura, Gerardo, Hiram, Nayeli, Yasmin, Peter, Ulises**, y los que me faltó mencionar, de igual manera quiero agradecerles porque, de todos los momentos que viví dentro de esta gran universidad la mayoría fueron a lado de cada uno de ustedes, en serio gracias por formar parte de mi vida y espero yo también formar parte de la suya.

Deseo expresar un agradecimiento especial a la **I.Q Consuelo Matías Garduño**, por brindarme su apoyo durante la realización de este trabajo y sacarlo adelante.



A la **Planta de Asfalto del GDF**, por contribuir en la elaboración de esta tesis, al **I.Q Pedro José Carvajal Solano** y a los señores; **Pedro, Oswaldo, Martín y Sergio**, por haberme enseñado lo que ahora plasmo dentro de este trabajo.

A la Facultad de Química, por abrirme sus puertas y realizar pruebas dentro del laboratorio **E 312**, en especial al **M. en C. Rodolfo Ruiz Trejo**.

Y por último a mi **Universidad Nacional Autónoma de México**, por llevarme de la mano durante toda mi vida profesional y a la **FES Zaragoza**, por formarme.



RESUMEN

Esta tesis fue desarrollada para hacer un comparativo entre un asfalto no modificado y un asfalto modificado con un aditivo y un polímero. Se pudo observar que se mejoran las propiedades del asfalto adicionándole un polímero a una temperatura de 110°C ya que a esta temperatura se encuentra el asfalto en condiciones óptimas para la modificación y para que el aditivo no sufra el fenómeno de flasheo (se volatilice) El objetivo principal es evitar la deformación al momento del tránsito vehicular, además de un agrietamiento futuro lo que permite prolongar el tiempo de vida media de la carpeta asfáltica y una mejora en las condiciones ambientales al reducir la temperatura de proceso y almacenamiento, lo que ocasiona la disminución de emisión de gases al atmósfera. Debido a que existen variables en las cuales se tiene que llevar un control ya que en ciertas circunstancias pueden tomarse como críticas, las cuales son; temperatura y torque, tomando en cuenta los valores establecidos en la norma N-CMT-4-05-002-06. El porcentaje de polímero y aditivo con el que se experimentó son de acuerdo a lo establecido en la Norma de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes N-CTM-4-05-003/02, el cual es de 2% para ambos productos.

En cuestiones económicas se reducen costos debido al tiempo de vida media que se prolonga y por lo tanto hay un ahorro ya que la carpeta asfáltica se cambiara alrededor de unos 10 años y se evitaría la producción de baches.



CAPÍTULO I – *INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS*





1. 1 FUNDAMENTACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL TEMA

1.1.1 Asfalto

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfáltenos, resinas y aceites, elementos que proporcionan características de consistencias [23], aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientales normales [21]. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida *Figura 1*. Este puede tener dos orígenes: los derivados de petróleos y los naturales.



Figura 1. Asfalto fundido

En términos de producción, el asfalto es uno de los materiales más producidos, por su aplicación en lazos de construcción, aglutinante de carreteras, adhesivo, sellador y como recubrimiento a prueba de agua, entre otros. Aproximadamente el 96% de las carreteras pavimentadas y calles son superficies con mezclas asfálticas.

Se puede obtener como el residuo en la refinación del petróleo crudo, y también puede encontrarse en la naturaleza. Varía su composición dependiendo



de su origen y el método utilizado para la refinación de dicho petróleo crudo. El desglose de todos los constituyentes del mismo es una tarea difícil de llevar a cabo. Se sabe que es un material heterogéneo comprendido de dos fases: asfáltenos (1,000-10,000 g/mol, 5-25%) y máltenos. Los asfáltenos son materiales insolubles en disolventes orgánicos como el n-heptano, mientras que los máltenos no. Los máltenos es posible separarlos dentro de tres grupos funcionales, llamados: saturados (200-5000 g/mol, 5-20%), aromáticos (200-5000 g/mol, de 40-65%) y resinas (1500 g/mol, 15-30%), en conjunto con los asfáltenos comúnmente denominados como SARA. Desde una perspectiva reológica, el asfalto también es un material altamente complejo variando de un carácter viscoso a uno elástico dependiendo de la temperatura y tiempo del proceso.



Figura 2. Toma de temperatura en tanques de almacenamiento

El envejecimiento del asfalto convencional, como el de los asfaltos modificados, es inducido por cambios químicos o físicos, que ocurren durante la producción y la vida útil del pavimento. El envejecimiento (endurecimiento) es primeramente asociado con la pérdida de componentes volátiles y la oxidación del asfalto en la preparación de la mezcla asfáltica y la debida por el paso del tiempo en el lugar de permanencia del mismo. Ambos procesos son acompañados por el endurecimiento de la mezcla lo cual genera el deterioro del pavimento asfáltico. Otro factor que también contribuye al envejecimiento es la radiación ultravioleta.



1.1.1 Historia del asfalto

El asfalto es un componente natural de la mayor parte de los petróleos, La palabra asfalto, deriva del acadio, lengua hablada en Asiria, en las orillas del Tigris superior, en los años 1400 y 600 A.C. en esta zona se encuentra en efecto la plabra “Sphalto” que significa “lo que se hace caer”. Luego la palabra fue adoptada por el griego, pasó a latín y, mas adelante, al francés (asphalte), al español (asfalto). Estudios arqueológicos, indican que es uno de los materiales constructivos mas antiguos que el hombre ha utilizado [26].



Figura 3. El asfalto en los años 70's

En el sector de la construcción, la utilización más antigua se remonta aproximadamente al año 3200 A.C. Excavaciones efectuadas en Tell Asmer, a 80 km al noroeste de Bagdad, permitieron constatar que los Sumerios habían utilizado un mastic de asfalto para la construcción, dicho mastic, compuesto por betún, finos minerales y paja, se utilizaba en la pega de ladrillos, en la realización de pavimentos interiores y como revestimiento impermeable. Los Egipcios le habían encontrado otra aplicación al betún, como relleno del cuerpo en trabajos de momificación, práctica que se extiende aproximadamente hasta el año 300 A.C.[26]. Los Arabes desarrollaron un uso medicinal al asfalto, el cual se extendio hasta nuestra época.

El betún natural fue descubierto a mediados del siglo XVI, en la isla de Trinidad, por Cristóbal Colón.

El primer antecedente en el cual se usó un tipo de asfalto fue en Francia en 1802. En 1824, la firma Pillot et Eyquem comenzó a fabricar adoquines de asfalto, que en 1837 se utilizaron para pavimentar la Plaza de la Concordia y los



Campos Eliseos en Paris. En 1852, la construcción de la carretera Paris-Perpiña utilizó el asfalto Val Travers, significando el comienzo de una nueva forma de construcción vial. En 1869, se introduce el procedimiento en Londres, y en 1870 en Estados Unidos con similar ligante. Desde esta época, el “asfalto” se implantó sólidamente en las vías urbanas y propició su uso vial. La construcción del primer pavimento, tipo Sheet Asphalt, ocurre en 1876 en Washington D.C., con asfalto natural importado. En 1900, aparece la primera mezcla en caliente, utilizada en la Rue Du Louvre y en la Avenue Victoria en Paris, la cual fue confeccionada con asfalto natural de la isla de Trinidad. A partir del año 1902, se inicia el empleo de asfaltos destilados de petróleo en los Estados Unidos, que por sus características de pureza y economía en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento. Finalmente, en México, desde 1920, se han realizado diversas pruebas con varios materiales para ser utilizados en riegos superficiales y profundos. Las emulsiones asfálticas se utilizaron por primera vez en las carreteras en los años treinta, pero fue hasta los años setenta cuando debido a la crisis energética, se incrementan los estudios de este tipo de materiales asfálticos llamados emulsiones.

1.1.2 Obtención

1.1.1.1 Obtención del asfalto mediante destilación.

En general, se emplean dos métodos para la recuperación del asfalto del petróleo crudo.

1. Método de destilación por vapor.- Con este método el crudo se carga en columnas horizontales que normalmente tienen capacidad de 1200 barriles: se aplica gradualmente calor externo, al subir la temperatura los aceites ligeros empiezan a hervir y destilan recondenándose en forma líquida en una unidad separada llamada condensador. Cuando las



fracciones pasadas alcanzan en el destilador una temperatura determinada, se introduce vapor vivo a través de un serpentín perforado, que se encuentra en el fondo del destilador; los vapores mezclados (el agua y el aceite), se llevan a los condensadores y la carga del destilador se mantiene en agitación continua, evitándose así que haya un sobrecalentamiento local en el fondo de la columna. El vapor también abate el punto de ebullición de los aceites, que son eliminados cuando se aproxima la densidad del residuo a la consistencia buscada del asfalto. Se sube cuidadosamente el calor y se aumenta el volumen de vapor condensado a aceite sea alta (como de 6 a 8 %). Cuando se ha llegado prácticamente a la consistencia deseada, se cierra el vapor y se procede a bombear el asfalto a tanques de almacenamiento.

El método de destilación por vapor, generalmente queda limitado en su aplicación a crudos ricos en asfalto como los mexicanos: tiene frecuentemente la ventaja de que permiten la fabricación de pequeñas cantidades de material.

2. Método de destilación continua en columna.- La destilación continua en columna, consiste en lo siguiente:

El petróleo asphaltico crudo se bombea continuamente a través de largos serpentines situados dentro de un horno. Además de ser calentada la carga, se mantiene bajo presión por medio de una válvula. El aceite caliente, después de salir del serpentín se descarga en la superficie de un evaporador y al fluir hacia abajo de la torre pasa sobre unos platos, volviéndose más pesados hasta que finalmente, al alcanzar el fondo, se descarga a través de una válvula como asfalto listo para su uso.



El asfalto en el fondo de la torre se trata continuamente con vapor vivo que sale de un serpentín perforado localizado en el fondo de la columna. El vapor que va de abajo hacia arriba, toma en los platos las fracciones más ligeras del aceite, cuando desciende, después una tubería central, lleva los vapores mezclados de aceite y agua a los condensadores. La velocidad, la temperatura de la carga y el volumen de los vapores determinan el grado o la consistencia final del asfalto. Este procedimiento es generalmente económico y rápido, por lo que se utiliza mucho.

1.1.3 Composición del asfalto

Actualmente se conoce que los asfaltos son mezclas químicas muy complejas, fundamentalmente son moléculas de hidrocarburos con cantidades mínimas de estructuras heterocíclicas y grupos funcionales de azufre, nitrógeno y oxígeno, además de algunas trazas de metales (vanadio, níquel, fierro, magnesio y calcio).

El asfalto está constituido principalmente por tres grupos de compuestos, los cuales son: asfáltenos, resinas y aceites.

El asfalto nombrado como AC-20, significa: AC = asfalto y el 20 después del guion indica el porcentaje en peso de asfáltenos contenidos. De esta manera el asfalto AC-20 es un asfalto constituido por 20% de asfáltenos y 80% de otros componentes.

Los petróleos se clasifican generalmente en los tres grupos principales siguientes, dependiendo del tipo de hidrocarburos que predominen en ellos:

1. Parafínicos
2. Alicíclicos
3. Asfálticos



La mayoría de los crudos contienen una diversidad de hidrocarburos, que comprenden desde el hidrocarburo gaseoso más sencillo, el metano, hasta la parafina o el betún sólido que son los más complejos. En los hidrocarburos más pesados pueden existir muchos grupos diferentes, y así, por ejemplo, un hidrocarburo pesado que contenga 35 átomos de carbono puede existir como uno cualquiera de los tipos:

1. *Parafínico*. Conteniendo 4 grupos asfálticos, 1 alicíclico y 1 aromático.
2. *Alicíclico*. Conteniendo 3 grupos alicíclicos, 2 alifáticos y 1 aromático
3. *Asfáltico*. Conteniendo 3 grupos aromáticos, 2 alifáticos y 1 alicíclico.

1.1.3.1 Asfáltenos y maltenos

Asfáltenos.

Los asfáltenos son compuestos aromáticos y nafténicos de alto peso molecular con un rango de 1000 a 50,000 Kg/Kgmol, que se encuentran en dispersión coloidal en algunos crudos. Se definen como fracciones que se encuentran en el crudo, solubles en

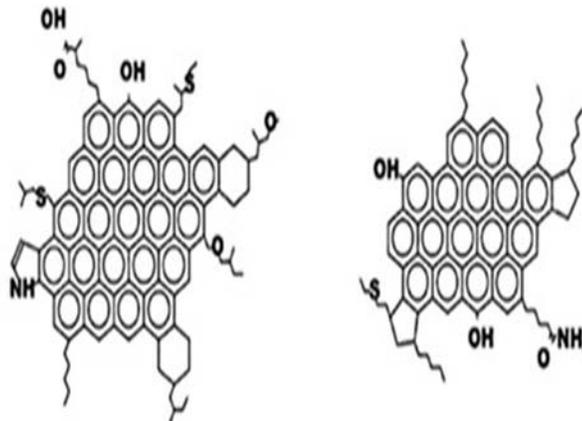


Figura 4. Estructura molecular de los asfáltenos

solventes aromáticos como el benceno, tolueno y xileno, pero insoluble en n-alcános de cadena corta (bajo peso molecular) como por ejemplo el n-pentano, y pueden ser derivados del petróleo y/o carbón. Los asfáltenos son partículas sólidas semi-cristalinas de color café o negro que contienen anillos condensados de hidrocarburos aromáticos. Los asfáltenos no son una especie química sino una familia de compuestos que presentan sólo un comportamiento global característico. Se caracterizan por ser de tipo polar, de estructura amorfa y de fórmula empírica promedio ($C_{74}H_{87}NS_2O$). Bajo el término “asfáltenos” se agrupa



a los componentes que quedan como fracción insoluble luego de tratar una mezcla en determinadas condiciones (solventes, temperaturas, etc). La composición de esta fracción insoluble varía de petróleo en petróleo y la característica común, que los hace importantes en el estudio de los yacimientos y en la producción de petróleo, es que suelen originar precipitados (sólidos) al agruparse por sufrir alteración en su ambiente, dañando el medio poroso o bloqueando las tuberías de producción, evitando así el flujo de hidrocarburos en pozos petroleros. La cantidad de asfaltenos en el petróleo varía dependiendo de la fuente, profundidad, gravedad API del crudo y contenido de azufre.

Maltenos

Los maltenos son componentes ligeros del medio fluido aceitoso de la fase continua. Están constituidos por mezcla de hidrocarburos cíclicos, saturados o no, que carecen de poder aglomerante, pero desempeñan una función fundamental en el conjunto ya que son el líquido que mantiene en

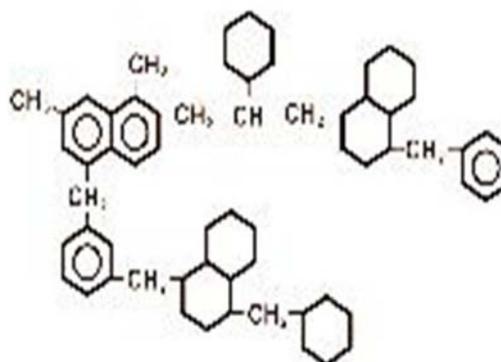


Figura 5. Estructura molecular de los máltenos

disolución parcial el sólido (los asfaltenos en este caso) sin llegar a la total solución, esto es, a separar las moléculas. En esta función de los máltenos, influye decisivamente la cantidad de productos aromáticos que contienen: su proporción tiene que ser suficiente, en relación a los asfaltenos, para que la solución coloidal sea estable.

1.1.4 Aplicaciones más comunes

Como el asfalto es un material altamente impermeable, adherente y cohesivo, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción de cargas



permanentes, presenta las propiedades ideales para la construcción de pavimentos cumpliendo las siguientes funciones:

- Impermeabilizar la estructura del pavimento, haciéndolo poco sensible a la humedad y eficaz contra la penetración del agua proveniente de la precipitación.
- Proporciona una íntima unión y cohesión entre agregados, capaz de resistir la acción mecánica de disgregación producida por las cargas de los vehículos. Igualmente mejora la capacidad portante de la estructura, permitiendo disminuir su espesor.

Además el asfalto es utilizado en la industria impermeabilizante y de pinturas asfálticas, revestimiento de diques y canales y materia prima para las emulsiones asfálticas. El cemento asfáltico a temperatura ambiente, es semisólido y altamente viscoso, por lo que se requiere licuarlo temporalmente por calentamiento, para su manejo durante las operaciones de construcción, tales como bombeo por tubería, transporte de cisternas, mezcla con agregado, etc.

1.2. Definición de mezcla asfáltica.

Producto obtenido por la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en un agregado pétreo.

1.2.1 Clasificación de mezcla asfáltica

1.2.1.1 Mezcla asfáltica en caliente

Como es de conocimiento general, en la mezcla asfáltica caliente convencional que produce la Planta de Asfalto intervienen dos materias primas, el cemento asfáltico AC-20, que es la sustancia cementante y el triturado basáltico que es roca de origen volcánico, en tamaños que van de 3/4" a finos,



su temperatura de elaboración es entre 150-160° C, la de tendido entre 140 – 145° C y la de compactación es entre 130°-140°C.

Es considerada de buena calidad, con excelentes propiedades de estabilidad, durabilidad y flexibilidad.

Se puede emplear para bacheo, obras de pavimentación y repavimentación. A su vez, esta mezcla asfáltica en caliente se clasifica en:

1.2.1.1.1 Mezcla asfáltica de granulometría densa

Elaborada en caliente con cemento asfáltico y agregados pétreos graduados, cuyo tamaño nominal varía entre 37,5 mm y 9,5 mm y que cumpla con lo señalado en la Norma de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal 4.01.01.007 “Materiales pétreos para carpeta, mezcla asfáltica y riego de sello”.

1.2.1.1.2 Mezcla asfáltica de granulometría abierta

Elaborada en caliente en forma uniforme, homogénea, con un alto porcentaje de vacíos, con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal que varía entre 12,5 mm y 6,3 mm y que cumpla además con lo establecido en la Norma de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal 4.01.01.007 “Materiales pétreos para carpeta, mezcla asfáltica y riego de sello”.

1.2.1.2 Mezcla asfáltica en frío.

Elaboradas en frío, mediante emulsiones asfálticas y agregados pétreos en una planta mezcladora. A su vez, esta mezcla asfáltica se clasifica en:



1.2.1.2.1 Mezcla asfáltica de granulometría densa

Mezcla elaborada en frío en forma uniforme y homogénea, mediante emulsión asfáltica y materiales pétreos, cuyo tamaño nominal varía entre 37,5 mm y 9,5 mm y que cumpla además con lo establecido en la Norma de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal 4.01.01.007 “Materiales pétreos para carpeta, mezcla asfáltica y riego de sello”.

1.2.1.2.2 Mortero asfáltico.

Mezcla asfáltica de granulometría densa, elaborada en frío en forma uniforme y homogénea, mediante emulsión asfáltica, agua y arena, con tamaño máximo de 2,36 mm y que cumpla además con lo establecido en la Norma de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal 4.01.01.007 “Materiales pétreos para carpeta, mezcla asfáltica y riego de sello”.

1.2.1.3 Mezclas asfálticas por el sistema de riego.

Elaborada mediante la aplicación de uno o de dos riegos de material asfáltico, intercalados con una, dos o tres capas de material pétreo triturado, de tamaños decrecientes que de acuerdo a su dominación, satisfagan lo establecido en la Norma de Construcción de la Administración Pública del Distrito Federal 4.01.01.007 “Materiales pétreos para carpeta, mezcla asfáltica y riego de sello”.



1.2.1.4 Mezcla asfáltica templada

La mezcla asfáltica templada, está constituida de agregados pétreos de $\frac{3}{4}$ " a finos, con AC-20 y aditivo, su temperatura de producción va de un rango de 120 ° C a 125 ° C, estando por debajo de las convencionalmente empleadas, lo cual la hace potencialmente más eco-eficiente.

Así mismo presenta una mejor adhesividad entre el asfalto y el agregado pétreo, después de ser tendida y compactada conforme al procedimiento constructivo, presenta una mejor fuerza de cohesión entre partículas.

Ofrece beneficios económicos y ambientales, sin sacrificar la calidad del producto terminado, así como mejora en las condiciones laborales del personal de obra, al ser posible su compactación entre 95– 97 °C, generando disminución de la radiación térmica, además de su facilidad de aplicación.

1.2.1.5 Mezcla asfáltica modificada

La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito. Los agentes modificadores utilizados en los asfaltos, mejoran el comportamiento reológico de los mismos. Se puede decir que un asfalto modificado es un ligante hidrocarbonado resultante de la interacción física y/o química de los polímeros con un ligante asfáltico.

Un asfalto puede modificarse con rellenos minerales, cauchos, plásticos o hidrocarburos. Los asfaltos se caracterizan por variar su comportamiento según



la temperatura a la que se encuentren; es por ello que a distintas temperaturas el asfalto posee distintas consistencias, propiedad que se denomina susceptibilidad térmica, la cual debería ser lo más baja posible, de modo que a bajas temperaturas y tiempos cortos de aplicación de cargas, sean lo suficientemente flexibles para evitar el fisuramiento y a tiempos prolongados de aplicación de cargas, sean resistentes a las deformaciones. La situación ideal sería un asfalto que mantenga su consistencia en un amplio intervalo de temperatura. Los polímeros son sustancias orgánicas de alto peso molecular que logran hidratarse e hincharse dentro del asfalto. Así por ejemplo tenemos los cauchos, de comportamiento elastomérico. Algunos polímeros generan cadenas lineales, otros en bloque pero en general la macro dispersión lograda consta de un sistema de dos fases en donde el polímero se dispersa sin ejercer efecto alguno. Absorben los aceites máltenos y se hinchan. Se dispersan en forma molecular. El grado de dispersión depende de la temperatura de trabajo, del esfuerzo de corte ejercido, de la aromaticidad de los máltenos del asfalto base y de la cantidad de asfáltenos presentes. En general un agente modificador logra:

- Disminuir la susceptibilidad térmica.
- Aumentar la cohesión interna.
- Mejorar la elasticidad y flexibilidad a bajas temperaturas.
- Mejorar el comportamiento de fatiga.
- Aumentar la resistencia al envejecimiento.

Los asfaltos modificados quedan así constituidos por dos fases diferenciables:

1) Polímero

2) Ligante Asfáltico.

Cuando hay bajas concentraciones de polímeros existe una matriz continua de ligante asfáltico en la que se encuentra disperso el polímero, a altas



concentraciones de ligante asfáltico se invierten las fases. Esta estructura da origen al cambio de comportamiento de los asfaltos modificados.

Los ensayos que se realizan a un asfalto modificado sirven para evaluar:

- Elasticidad.
- Propiedades mecánicas.
- Compatibilidad.
- Estabilidad del almacenamiento.



1.2. OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo general

Realizar el estudio de la modificación de un asfalto AC-20, adicionando un polímero tipo II (Solprene 1205 al 2%) y un aditivo (TB-2 al 2%).

1.2.2 Objetivos específicos

1. Desarrollar el proceso a nivel laboratorio para la modificación de un asfalto AC-20, adicionando un polímero tipo II (Solprene 1205 al 2%) y un aditivo (TB-2 al 2%).
2. Realizar las pruebas de penetración utilizando el penetrómetro (HUMBOLDT H-1200) y viscosidad utilizando un viscosímetro Brookfield (IRAM 6837) en la Facultad de Química de la UNAM.
3. Controlar los puntos críticos como son la temperatura y el torque en el proceso de modificación de asfalto AC-20, para no alterar las propiedades del asfalto.
4. Determinar la viscosidad aparente haciendo uso de la ecuación de esfuerzo cortante y velocidad angular.

1.3 Hipótesis.

Con la elaboración de asfalto modificado con el 2% de polímero y aditivo respectivamente, se espera incrementar el tiempo de vida media de éste, en comparación con un asfalto tradicional y reducirá el problema ambiental.

Si una carpeta asfáltica se encuentra bien construida, será económicamente viable durante muchos años



CAPÍTULO II – *FUNDAMENTOS TEÓRICOS*





2.1 Reología

La Reología es la ciencia que estudia la forma en que los materiales se deforman cuando se les aplica una fuerza. El término se aplica más comúnmente al estudio de líquidos tales como pinturas, cátsup, aceite, sangre, soluciones poliméricas y plásticos fundidos, materiales que fluyen, aunque la reología también incluye el estudio de la deformación de sólidos tal como ocurre al estirar un hule.

El flujo de plásticos en procesos reales es un mecanismo muy complejo que involucra flujo en tres dimensiones bajo condiciones no-isotérmicas y no-estacionarias. En muchos casos es razonable aproximar el comportamiento modelando el flujo como una serie de flujos viscométricos ideales simplificados.

Los objetivos de la reología son:

- Estudiar el comportamiento del plástico con respecto al proceso de conversión.
- Cuantificar la respuesta del material.
- Usar los datos para predecir el comportamiento del polímero.
- Relacionar la estructura molecular a la respuesta reológica del polímero.

No hay duda de que los estudios reológicos más avanzados han conducido a procesos mejor diseñados y han permitido al químico en polímeros hacer “polímeros a la medida” para encajar en aspectos particulares de los procesos de conversión”.

Las dos palabras clave en la definición de reología son deformación y fuerza. Para saber algo acerca de las propiedades reológicas de un material, se debe; ya sea, medir la deformación resultante de una fuerza dada o medir la fuerza necesaria para producir cierta deformación.



2.2 Viscosidad

La viscosidad es una característica de los fluidos en movimiento, que muestra una tendencia de oposición hacia su flujo ante la aplicación de una fuerza. Cuanta más resistencia oponen los líquidos a fluir, más viscosidad poseen. Los líquidos, a diferencia de los sólidos, se caracterizan por fluir, lo que significa que al ser sometidos a una fuerza, sus moléculas se desplazan, tanto más rápidamente como sea el tamaño de sus moléculas. Si son más grandes, lo harán más lentamente.

La viscosidad es medida con un viscosímetro que muestra la fuerza con la cual una capa de fluido al moverse arrastra las capas contiguas. Los fluidos más viscosos se desplazan con mayor lentitud. El calor hace disminuir la viscosidad de un fluido lo que hace desplazarse con más rapidez. Cuanto más viscoso sea el fluido más resistencia opondrá su a deformación.

Algunos materiales viscosos tienen la característica de ser pegajosos, como los aceites o la miel. Si se vuelcan, no se derraman fácilmente, sino que se pegotean. Lo contrario ocurre con el agua, que tiene poca viscosidad. La sangre también posee poca viscosidad, pero más que el agua. La unidad de viscosidad es el Poise [Pa.s].

2.2.1 Variación de la viscosidad con respecto a la temperatura

A parte de depender de la velocidad de cizalla y del tiempo de aplicación de la misma, la viscosidad es fuertemente dependiente de la temperatura. La mayoría de los materiales disminuyen su viscosidad con la temperatura; la dependencia es exponencial y puede haber variaciones de hasta un 10% por cada °C modificado. Por ejemplo, la sensibilidad a la temperatura del agua es de 3% por grado centígrado a temperatura ambiente, así que para tener una precisión del



1% requiere que la temperatura sea regulada en 0.3°C. Para líquidos más viscosos esta dependencia es mayor, y ha de tomarse mayores precauciones en el control de la temperatura. Respecto a los polímeros, la dependencia con la temperatura que estos presentan es lógicamente una función de la estructura y del tipo del polímero estudiado. Por ejemplo el estudio de dicho factor es de gran importancia y tiene cierto interés práctico durante el procesado de cualquier polímero.

2.3 Torque

Cuando se aplica una fuerza en algún punto de un cuerpo rígido, el cuerpo tiende a realizar un movimiento de rotación en torno a algún eje. La propiedad de la fuerza para hacer girar al cuerpo se mide con una magnitud física que llamamos torque o momento de la fuerza. Se prefiere usar el nombre torque y no momento, porque este último se emplea para referirnos al momento lineal.

Se define el torque τ de una fuerza F que actúa sobre algún punto del cuerpo rígido, en una posición r respecto de cualquier origen O, por el que puede pasar un eje sobre el cual se produce la rotación del cuerpo rígido, al producto vectorial entre la posición r y la fuerza aplicada F , por la siguiente expresión:

$$\tau = r * F$$

El torque es una magnitud vectorial, si α es el ángulo entre r y F , su valor numérico, por definición del producto vectorial, es:

$$\tau = r(F \sin \alpha)$$



2.4 Tipos de fluidos

Existen tres tipos de fluidos: newtonianos, no newtonianos y viscoelásticos:

- **Newtonianos:** Proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación.
- **No Newtonianos.** No hay proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación.
- **Viscoelásticos:** Se comportan como líquidos y sólidos, presentando propiedades de ambos.

La relación entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de deformación viene dada por la Ley de viscosidad de Newton la cual responde a la ecuación[17]:

$$\tau_{xy} = \mu \frac{du}{dt}$$

Siendo:

τ_{xy} = Esfuerzo cortante (m.Pa)

μ = Viscosidad dinámica del fluido (m.Pa.s)

$\frac{du}{dt}$ = Velocidad de deformación del fluido (s-1) = D

De acuerdo con la breve descripción de los tres tipos de fluidos existentes, a continuación se explica de manera detallada su clasificación con respecto a sus características, en la *Figura 7* se muestra de manera resumida los tipos de fluidos.

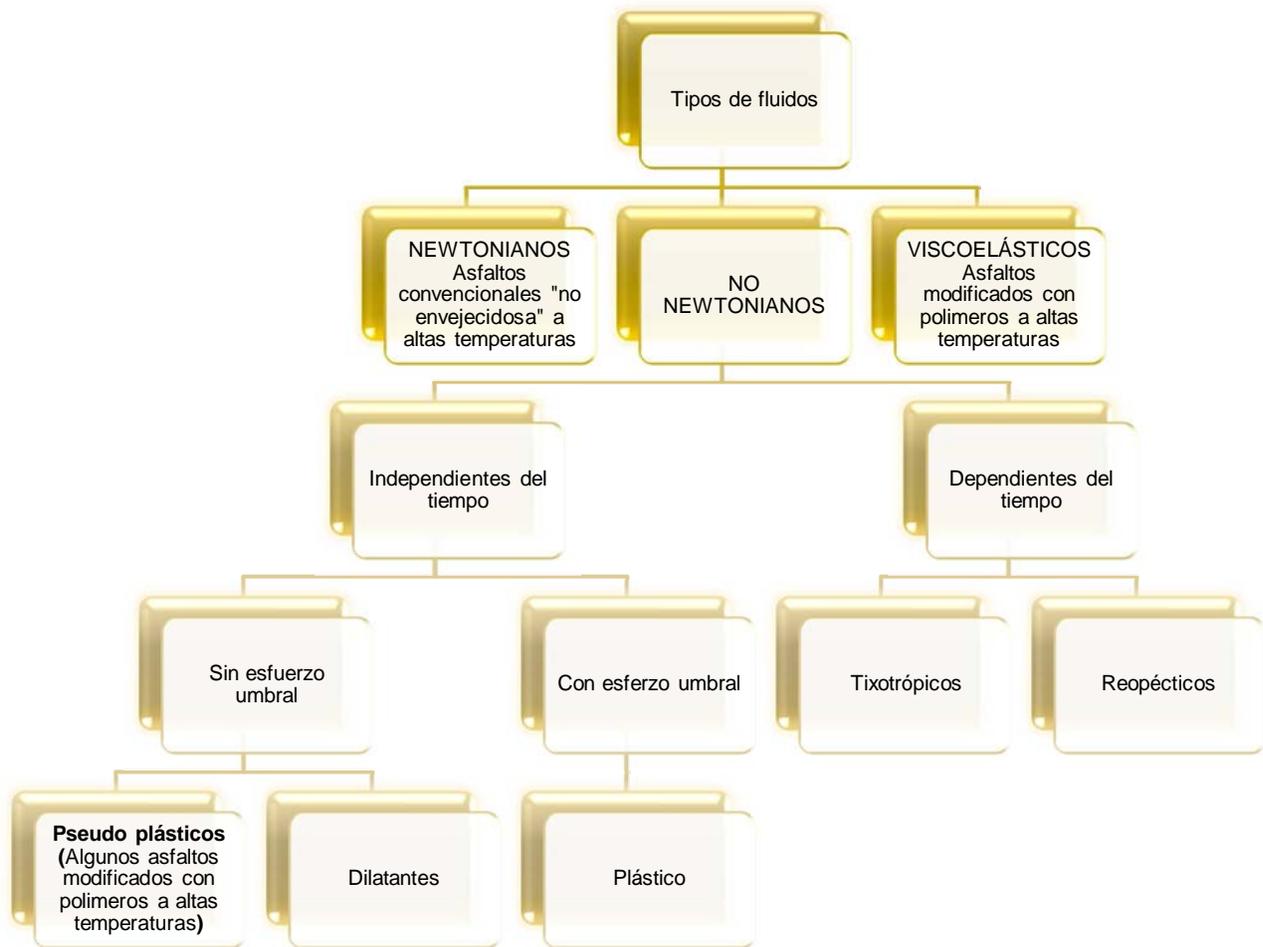


Figura 6. Tipos de fluidos



2.4.1 Fluidos newtonianos

Este se caracteriza por cumplir la Ley de Newton, es decir, que existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Si por ejemplo se triplica el esfuerzo cortante, la velocidad de deformación se va a triplicar también. Esto es debido a que el término μ (viscosidad) es constante para este tipo de fluidos y no depende del esfuerzo cortante aplicado.

Hay que tener en cuenta también que la viscosidad de un fluido newtoniano no depende del tiempo de aplicación del esfuerzo, aunque si puede depender tanto de la temperatura como la presión a la que se encuentre[17].

2.4.2 Fluidos no newtonianos

Son aquellos en los que la relación entre esfuerzo cortante y la velocidad de deformación no es lineal. Estos fluidos a su vez se diferencian en dependientes e independientes del tiempo.

2.4.2.1 Fluidos independientes del tiempo de aplicación.

Estos fluidos se pueden clasificar dependiendo de si tienen o no esfuerzo umbral, es decir, si necesitan un mínimo valor de esfuerzo cortante para que el fluido se ponga en movimiento.

2.4.2.1.1 Fluidos sin esfuerzo umbral

- **Fluidos pseudoplásticos**

Este tipo de fluidos se caracterizan por una disminución de su viscosidad, y de su esfuerzo cortante, con la velocidad de deformación.



- **Fluidos dilatantes.**

Estos son suspensiones en las que se produce un aumento de la viscosidad con la velocidad de deformación, es decir, un aumento del esfuerzo cortante con dicha velocidad.

El fenómeno de dilatación se produce debido a la fase dispersa del fluido. En dicho fluido tiene lugar un empaquetamiento de las partículas, dejando a la fase continua casi sin espacio.

Si a continuación se aplica un esfuerzo, el empaquetamiento se altera y los huecos entre las partículas dispersas aumentan. Además, conforme aumenta la velocidad de deformación aplicada, mayor turbulencia aparece y más difícil es el movimiento de la fase continua por los huecos, dando lugar a un mayor esfuerzo cortante (la viscosidad aumenta).

2.4.2.1.2 Fluidos con esfuerzo umbral, llamados también plásticos

Este tipo de fluido se comporta como un sólido hasta que sobrepasa un esfuerzo cortante mínimo (esfuerzo umbral) y a partir de dicho valor se comporta como líquido.

Los fluidos plásticos, a su vez, se diferencian en la existencia de la proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación, a partir de su esfuerzo umbral. Si existe proporcionalidad, se denominan fluidos plásticos de Bingham y si no la hay, se denominan solo plásticos.

2.4.2.2 Fluidos dependientes del tiempo de aplicación.

Este tipo de fluidos se clasifican en dos tipos: los fluidos tixotrópicos, en los que su viscosidad disminuye al aumentar el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante, recuperando su estado inicial después de un reposo prolongado, y los fluidos reopécticos, en los cuales su viscosidad



aumenta con el tiempo de aplicación de la fuerza y vuelven a su estado anterior tras un tiempo de reposo.

2.4.2.2.1 Fluidos tixotrópicos

Estos se caracterizan por un cambio de su estructura interna al aplicar un esfuerzo. Esto produce la rotura de las largas cadenas que forman sus moléculas.

Dichos fluidos, una vez aplicado un estado de cizallamiento (esfuerzo cortante), solo pueden recuperar su viscosidad inicial tras un tiempo de reposo.

2.4.2.2.2 Fluidos reopécticos

Los fluidos reopécticos, se caracterizan por tener un comportamiento contrario a los tixotrópicos, es decir, que su viscosidad aumenta con el tiempo y con la velocidad de deformación aplicada y presentan una histéresis inversa a estos últimos.

Esto es debido a que si se aplica una fuerza se produce una formación de enlaces intermoleculares conllevando un aumento de la viscosidad, mientras que si cesa ésta se produce una destrucción de los enlaces, dando lugar a una disminución de la viscosidad.

2.4.3 Fluidos newtonianos

Los fluidos viscoelásticos se caracterizan por presentar a la vez tanto propiedades viscosas como elásticas. Esta mezcla de propiedades puede ser debida a la existencia en el líquido de moléculas muy largas y flexibles o también a la presencia de partículas líquidas o sólidos dispersos.



2.5 Polímeros

Se denomina polímero a una molécula gigante de peso molecular entre 10^4 - 10^7 ; algunos polímeros se encuentran en la naturaleza (celulosa, seda, hule natural, ADN, etc.), mientras que el polietileno, poliéster, nylon, y otros son sintéticos. La base de la formación de tales moléculas está en la habilidad de ciertos monómeros a unirse entre ellos repetidamente a través de enlaces químicos primarios (covalentes). Este proceso químico se llama polimerización y las moléculas resultantes pueden ser lineales, con ramificaciones o redes tridimensionales [8].

2.5.1 Principales modificadores utilizados en el Asfalto

Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

2.5.1.1 Polímero tipo I

Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas. Es fabricado con base en bloques de estireno, en polímeros elastoméricos radiales de tipo bibloque o tribloque, mediante configuraciones como Estireno-Butadieno-Estireno (SBS) o Estireno-Butadieno (SB), entre otras. Se utiliza en mezclas asfálticas para carpetas asfálticas; delgadas y estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito y de vehículos pesados, en climas fríos cálidos, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales [8].

2.5.1.2 Polímero tipo II

Es un modificador de asfaltos que mejora comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas. Es fabricado con base en polímeros elastoméricos lineales, mediante una configuración de caucho de



Estireno, Butadieno-Látex o Neopreno-Látex. Se utiliza en todo tipo de mezclas asfálticas para pavimentos en los que se requiera mejorar su comportamiento de servicio, en climas fríos y templados, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales [8].

2.5.1.3 Polímero tipo III.

Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo elastómero, mediante configuraciones como Etil-Vinil-Acetato (EVA) o polietileno de alta o baja densidad, entre otras. Se utiliza en climas calientes, en mezclas asfálticas para carpetas estructurales de pavimentos con elevados índices de tránsito, así como para elaborar emulsiones que se utilicen en tratamientos superficiales.

2.5.1.4 Hule molido de neumáticos

Es un modificador de asfaltos que mejoran la flexibilidad y resistencia a la tensión de las mezclas asfálticas, reduciendo la aparición de grietas por fatiga o por cambios de temperatura. Es fabricado con base en el producto de la molienda de neumáticos. Se utiliza en carpetas delgadas de granulometría abierta y tratamientos superficiales [8].

El ligante asfáltico y las propiedades de la mezcla pueden ser diseñadas eligiendo el polímero correcto para determinada aplicación, y asegurándose que es compatible con el asfalto base. En general, se eligen elastómeros para proporcionar una mayor resistencia y flexibilidad al pavimento, mientras que los resultados con los elastómeros generan una mezcla de alta estabilidad y rigidez. Los resultados obtenidos de un proceso de modificación de asfalto dependen altamente de la



concentración, peso molecular, composición química y orientación molecular del polímero, así como, de la fuente del crudo, del proceso de refinación y del grado del asfalto que se utiliza.

2.5 Compatibilidad asfalto-polímero

Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptica para mejorar las propiedades reológicas del ligante. Todo efecto cuya acción sea la modificación de la composición química del asfalto conduce inevitablemente a la modificación de su estructura y propiedades. Al mezclar un polímero con un asfalto en caliente sin precauciones especiales ocurre uno de los siguientes casos [15]:

- Mezcla heterogénea [15]. 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 [15]. 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 solo aumenta su viscosidad. Este no es el resultado deseado.
- Mezcla micro-heterogénea [15]. Constituida por dos fases finamente sobrepuestas. Esta es la compatibilidad deseada, que permite realmente modificar el ligante. En un sistema de estas 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 asfáltica residual, constituida por las fracciones deseadas del ligante, los aceites restantes, las resinas y los asfaltenos.

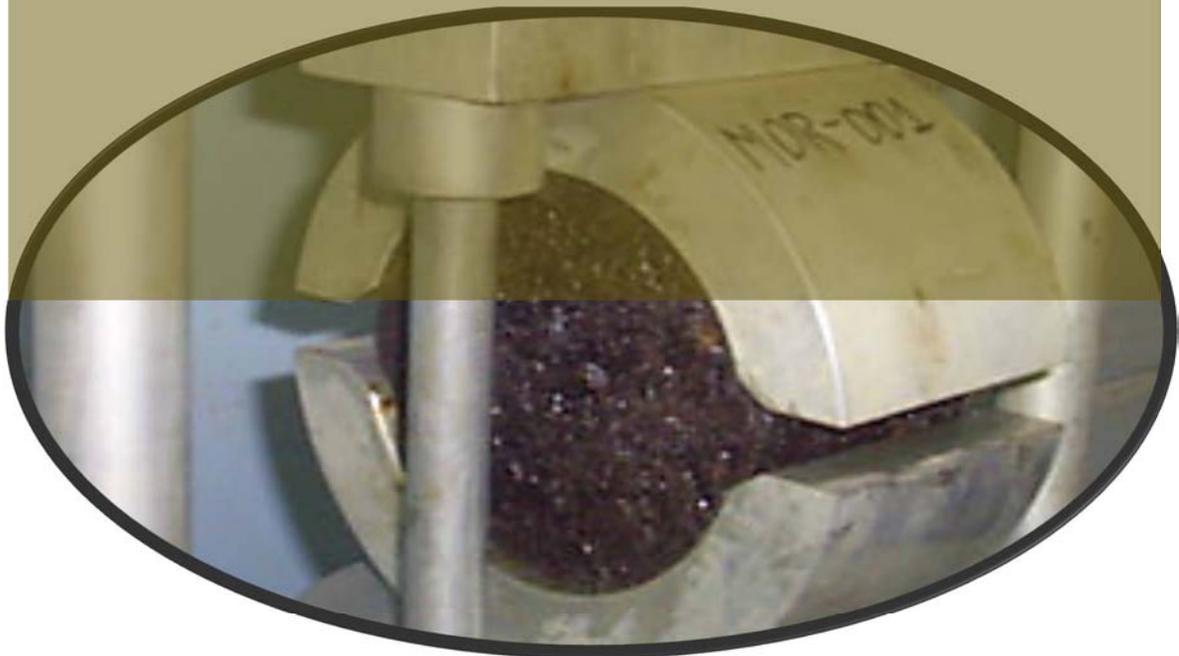


Se debe hacer una estimación a priori de la compatibilidad para el caso de polímeros termoplásticos y cauchos sin vulcanizar, comparando los parámetros de solubilidad del polímero y del ligante, o bien mediante la relación hidrofílica-lipofílica si el polímero es termo endurecible; pero el control de la dispersión del polímero en el ligante se realiza con técnicas microscópicas. En los ligantes modificados con polímeros a elevadas temperaturas es posible producir fenómenos de cremado y sedimentación que enriquecen el ligante en el polímero en la parte superior o inferior del tanque, dependiendo de la densidad del polímero respecto al ligante. Esta desestabilización se puede producir por falta de compatibilidad entre ambos o por la dispersión incorrecta del polímero, porque el sistema y las condiciones de mezclado son deficientes.

La mayoría de procedimientos ideados para valorar este fenómeno consisten en mantener al ligante-polímero en un recipiente, en posición vertical, sobre una estufa a temperatura elevada, durante un período razonable, y tomar muestras en la parte superior e inferior del recipiente para detectar las diferencias de concentración del polímero entre ellas; por lo general, de forma indirecta a través del ensayo de punto de ablandamiento.



CAPÍTULO III – *Pruebas experimentales.*



3.1 Penetración

Se conoce como la consistencia de un material bituminoso, expresado como la distancia en décimas de milímetros que una aguja estándar penetra sobre una muestra de material con condiciones previamente conocidas de carga, tiempo y temperatura [2].

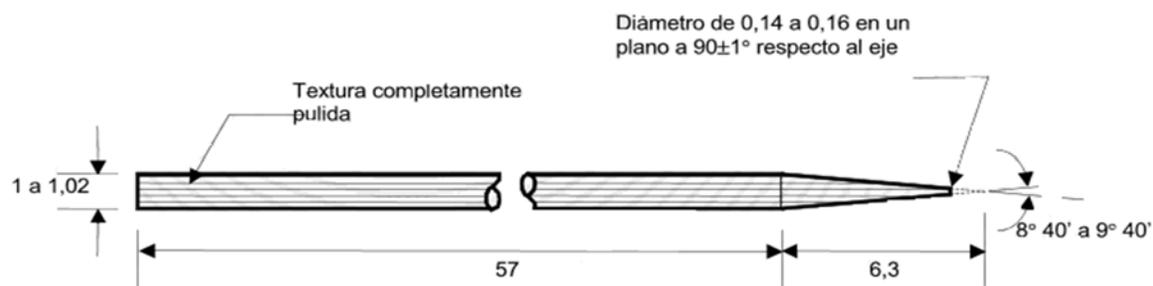
3.1.1 Preparación del equipo

Cualquier aparato que permite remover la aguja del soporte de forma vertical sin tener fricción y capaz de indicar la profundidad de penetración a lo más cercano de 0.1 mm, podría ser aceptable. El peso del husillo debe ser 47.5 ± 0.05 g. El peso total de la aguja y el husillo debe ser 50.0 ± 0.05 g. Los pesos de 50 ± 0.05 g y 100 ± 0.05 deben ser también equivalentes a la carga total de 100 g y 200 g, como requisito de algunas condiciones de la prueba. La superficie sobre la cual contienen la muestra debe ser plana y el eje del embolo debe estar a 90° aproximadamente de la superficie. El husillo debe ser fácil de retirar para checar su peso [2].

3.1.2 Aguja de penetración

Debe ser de acero inoxidable, totalmente endurecida y perfectamente pulida, con la forma y dimensiones que se muestran en la *Figura 7*, que se acoplen al penetroméetro mediante un casquillo de bronce o de acero inoxidable, sobresaliendo de este último entre 40 y 45 mm [7].

Figura 7. Aguja para la prueba de penetración



3.1.3 Cápsula de penetración

De metal o de vidrio refractario, de forma cilíndrica y con el fondo plano como se muestra en la *Figura 9*; con el diámetro interior de 55 mm y altura interior de 35 mm, para penetraciones menores de 200×10^{-1} mm; o diámetro interior de 70 mm y altura de 45 mm para penetraciones entre 200 y 350×10^{-1} mm [7].

Figura 8. Charola para penetración con muestra



3.1.4 Baño de agua

Con temperatura controlable hasta 50°C y aproximación de 0.1°C , con dimensiones y características tales que le permitan una capacidad mínima de 10l. Estará provisto de un entrepaño con perforaciones, colocado a no menos de 5 cm del fondo del baño y a no menos de 10 cm de la superficie libre del líquido.



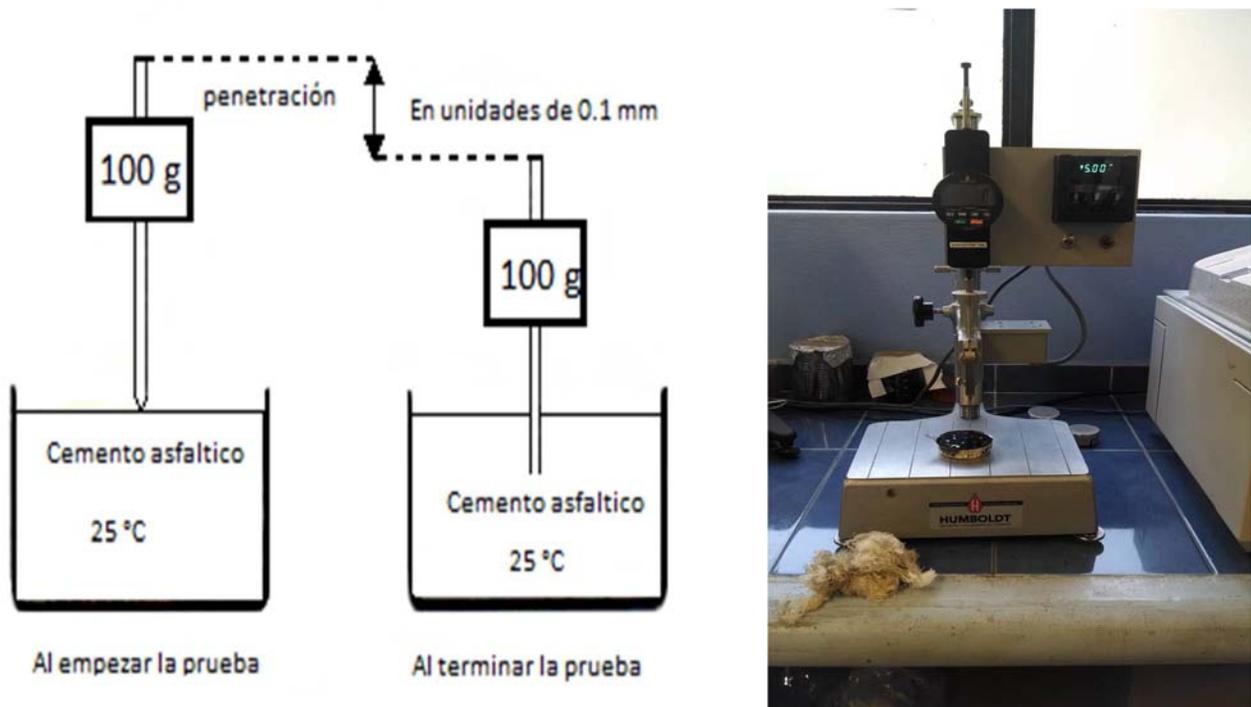
3.1.5 Procedimiento de la prueba

La prueba se realiza en la forma siguiente:

1. Se coloca la cápsula de penetración que contiene la muestra de prueba dentro del recipiente de manejo, para introducirlos posteriormente en el baño de agua, cuando éste mantenga una temperatura de 25°C o la que se especifique para la prueba. Se sumerge dicho recipiente completamente y se mantiene así por el espacio de 2 h, con objeto de que el producto asfáltico adquiriera esa temperatura.
2. Se coloca el penetrométero sobre una superficie plana, firme y sensiblemente horizontal, se le acopla la aguja y se lastra para que el elemento que se desplaza tenga una masa de 100 ± 0.1 g o la masa que se especifique para la prueba y finalmente se nivela perfectamente el penetrométero.
3. Se saca del baño de agua el recipiente de manejo, el cual contiene la muestra de prueba en su cápsula de penetración, cuidando que tenga agua suficiente para cubrir completamente la cápsula. Se colocan el recipiente y la cápsula sobre la base del penetrométero, de tal manera que la muestra quede bajo la aguja. Se ajusta la altura de la aguja hasta que haga contacto con la superficie de la muestra, lo que se logra haciendo coincidir la punta de la aguja hasta que hacer contacto con la superficie de la muestra, lo que se logra haciendo coincidir la punta de la aguja con la de su imagen reflejada en la superficie de la muestra.
4. Se hace coincidir la manecilla del penetrométero con el cero de su carátula, hecho esto se oprime el sujetador para liberar la aguja únicamente durante 5 s o durante el tiempo que se especifique para la prueba, después de lo cual se toma la lectura registrándola en décimos de milímetro.

5. Se deben hacer por lo menos tres penetraciones sobre puntos diferentes de la superficie de la muestra de prueba, separados entre sí y de la pared de la cápsula de penetración 10 mm como mínimo. Se limpiará cuidadosamente la aguja después de cada penetración sin desmontarla y, de ser necesario, para ajustar la temperatura a 25°C o a la especificada para la prueba, se regresará el recipiente de manejo con la muestra al baño de agua. Para la limpieza de la aguja se utilizara un paño humedecido con tricloroetileno, y después un paño seco y limpio.
6. Para materiales asfálticos suaves, con penetraciones mayores de 225×10^{-1} mm, se tienen que emplear por lo menos tres agujas, las que se deben ir dejando introducidas en la muestra de la prueba al hacer las penetraciones.

Figura 9. Método de penetración mediante la norma ASTM,



3.2 Temperatura de ablandamiento

Esta prueba permite estimar la consistencia de los cementos asfálticos y se basa en la determinación de la temperatura a la cual una esfera de acero produce una deformación de 25 mm, en una muestra de asfalto sostenida en un anillo horizontal, que se calienta gradualmente dentro de un baño de agua o glicerina.

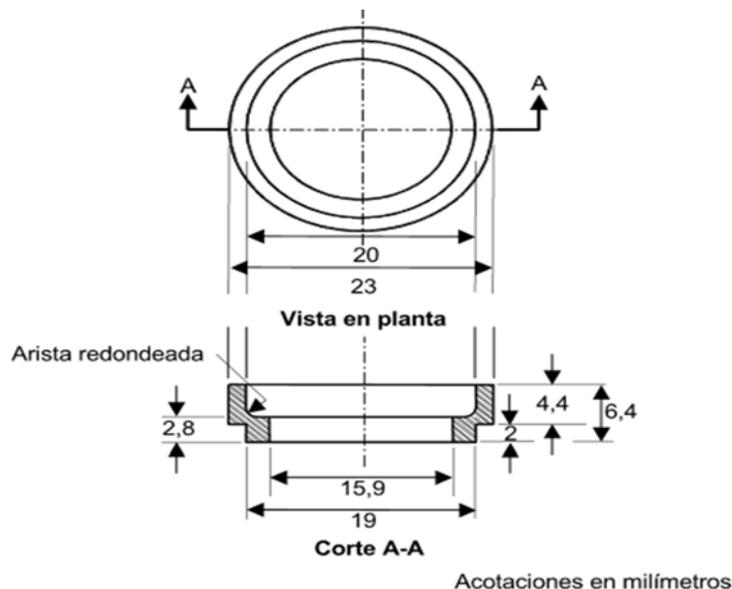
3.2.1 Equipo y materiales

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Todos los materiales deben ser de calidad y emplearse dentro de la fecha de caducidad.

3.2.1.1 Anillos

Dos anillos de latón, con el diseño y dimensiones señalados a continuación en la *Figura 10*.

Figura 10. Anillo para la prueba de temperatura de ablandamiento





3.2.2 Preparación de la muestra

La muestra de cemento asfáltico, obtenida según se establece en el Manual M-MMP-4-05-001 Muestreo de Materiales Asfálticos, se prepara de la siguiente manera:

1. De la muestra se toma una porción de volumen ligeramente mayor al necesario para llenar los anillos y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua para distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez que permita su vaciado en los anillos, cuidando que durante su calentamiento y vaciado no se formen burbujas de aire, que la temperatura alcanzada no exceda $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ y que esta operación se realice en un lapso menor de 60 min.
2. Se calientan los anillos a una temperatura aproximadamente igual a la de la muestra y se colocan sobre la placa de apoyo, la que se prepara previamente para que no se le adhiera la muestra de cemento asfáltico, aplicándole con el paño silica gel. A continuación se vierte en los anillos de cemento asfáltico, se cubren adecuadamente para protegerlos del polvo y se deja enfriar durante aproximadamente 30 min para que recobre su consistencia sólida, debiendo alcanzar una temperatura de cuando menos 10°C debajo a la que corresponda al punto de reblandecimiento estimado. Enseguida se corta el exceso de material asfáltico con la espátula o el cuchillo calentados previamente para facilitar el corte.

3.2.3 Procedimiento de la prueba

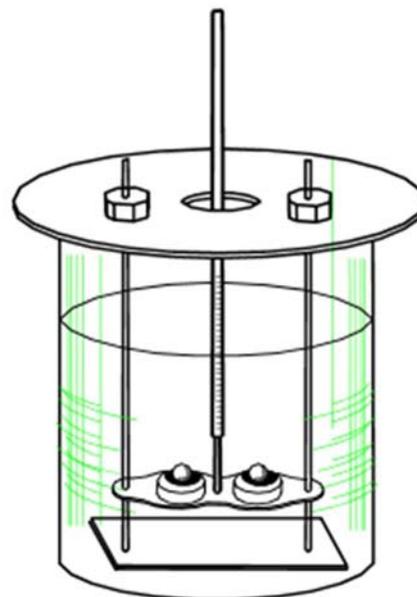
1. Se ensambla el sistema de soporte colocando en su lugar los anillos como se muestra en la *Figura 12*, las guías y el termómetro de manera que la parte inferior de los anillos no toquen las paredes del orificio central del porta anillos [3]. Se llena al vaso de vidrio hasta una altura de 10 cm, con agua potable a $5 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ si el punto de reblandecimiento esperado es menor de $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ o glicerina a $30 \pm 1^{\circ}\text{C}$ si es mayor y con



las pinzas se colocan las esferas en el fondo del vaso. Se introduce en el vaso el sistema de soporte y se deja el conjunto durante 15 min, manteniéndolo a la temperatura indicada para el líquido que se utilice, introduciendo el vaso en agua helada si es necesario

2. Se extrae el sistema de soporte, con las pinzas se colocan las esferas en las guías e inmediatamente se vuelve a introducir en el vaso, quedando el montaje del equipo.
3. Se coloca el conjunto en la parrilla eléctrica o mechero y se incrementa uniformemente la temperatura del líquido a razón de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, con una tolerancia $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ en lecturas hechas cada minuto después de los primeros 3 min [3].
4. Se registra para cada anillo la temperatura en el momento en que el material asfáltico toque la placa inferior del soporte, con aproximación de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Las temperaturas registradas no deben diferir entre sí en más de 1°C , de lo contrario se debe repetir la prueba utilizando una nueva muestra de prueba.

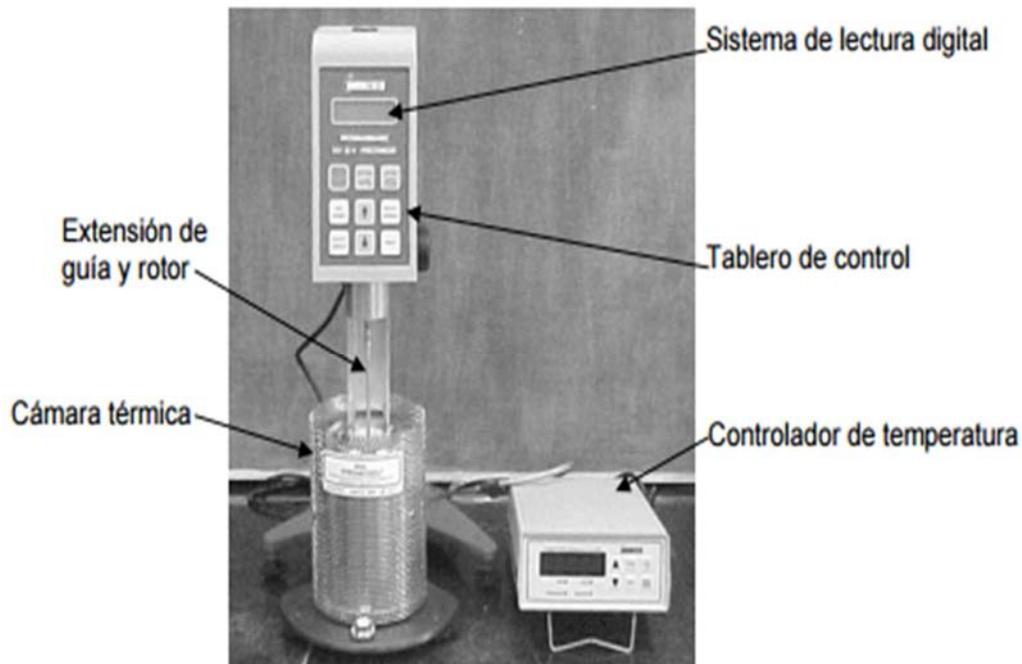
Figura 11. Montaje del equipo para prueba de temperatura de ablandamiento



3.3 Viscosidad de Brookfield

El viscosímetro Brookfield DV-II+Pro que se muestra en la *Figura 13* mide la viscosidad de fluidos a rangos de corte dados. La principal operación del viscosímetro DV II + 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, esta 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 12. Viscosímetro digital Brookfield





3.3.1 Preparación del equipo

1. Previamente a la realización de la prueba, el equipo estará debidamente calibrado, considerando las instrucciones del fabricante.
2. Se selecciona el rotor adecuado de acuerdo con las recomendaciones del fabricante y se coloca éste en la cámara de prueba.
3. Se fijan los controles para precalentar el equipo hasta la temperatura de prueba y se espera por aproximadamente 1.5 h o hasta que la temperatura de equilibrio se haya alcanzado en la cámara de prueba y el rotor.
4. Se retira la cámara de prueba y se vierte en ella la muestra.

3.3.2 Preparación de la muestra

La preparación de la muestra según se establece en el manual M-MMP.4.05.001, Muestreos de Materiales Asfálticos, se hace de la siguiente manera

1. Se evita el sobrecalentamiento de la muestra o su inflamación.
2. Se elige el volumen de la muestra de prueba, entre de 8 y 10 ml, según el rotor seleccionado y de acuerdo con las recomendaciones del fabricante del equipo; se puede calcular la masa de muestra necesaria considerando su masa específica o densidad.
3. Se evita exceder el llenado del contenedor, ya que el resultado de la prueba es muy sensible a la cantidad de muestra que se utilice. El nivel superior de la muestra debe interceptar al brazo del rotor, aproximadamente 3,2 mm arriba de la parte superior de la interface entre el cuerpo cónico del rotor y su brazo.
4. Se agita suficientemente la muestra para homogeneizarla.



3.2.3 Procedimiento de prueba

Si la prueba requiere que se tome lectura a diferentes temperaturas, se inicia con la temperatura menor. Se realiza el siguiente procedimiento para cada una de las temperaturas.

1. Una vez preparada la muestra, se coloca de nuevo la cámara de prueba en el contenedor térmico.
2. Se ajusta el rotor introduciéndolo despacio y con cuidado hasta que este sumergido a la profundidad indicada; entonces se mueve la cámara de prueba en un plano horizontal hasta que el rotor este localizado aproximadamente en el centro de la misma. Es posible que para seleccionar el rotor adecuado, sea necesario realizar la prueba con distintos rotores.
3. Se deja reposar la prueba aproximadamente 15 min, para permitir que llegue a un equilibrio de temperatura entre el horno y la muestra.
4. Si la lectura es superior de 98 unidades, se disminuye la velocidad del rotor. Si la lectura sigue siendo mayor de 98, se cambia por otro rotor más pequeño. Al hacer esto, es necesario ajustar el volumen de la muestra de prueba. Cuando la lectura esté entre 2 y 98, se registran las lecturas.



CAPÍTULO IV – *Asfalto ecoeficiente*





Impacto ambiental

El asfalto es un material negro y pegajoso de olor penetrante es producto de un proceso altamente contaminante que no puede soslayarse más por nuestras autoridades ambientales y de salud. Se estima que una planta con capacidad para producir 130 toneladas por hora produce al menos 312 mil toneladas de asfalto al año, si trabajara sólo 200 de los 365 días. Cálculos hechos en los Estados Unidos perfectamente aplicables en nuestro país, nos dicen que una planta de ese tamaño emitiría 76.300 kilogramos de contaminantes gaseosos por año.

No ha de sorprender pues que según la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de EE.UU., las plantas de procesamiento de asfalto y las fábricas de producción de techos con ese material, están dentro de las principales fuentes de contaminación del aire, contándose entre ellos con formaldehído, hexano, fenol, materia orgánica policíclica y tolueno. Además, las labores de transporte y almacenamiento hacen que se liberen “compuestos orgánicos volátiles, hidrocarburos aromáticos policíclicos y partículas condensadas muy finas”.

Así mismo, pueden producir humos, gases y vapores conteniendo sustancias letalmente tóxicas, como el sulfuro de hidrógeno, arsénico, benceno, cadmio y se cita como muy peligrosos la presencia en el procesamiento de solventes como tolueno, xileno y nafta, además de estireno, asbestos, sílice y hule reciclado.

Según la organización ambientalista Blue Ridge Environment Defense League (BREDL) en estudios relacionados con el impacto adverso sobre el valor de las propiedades y la salud de los residentes cercanos a las plantas, en un radio de menos de 2 km, documentaron pérdidas de hasta un 56% en el precio de los inmuebles, aparte de que cerca del 50% de los residentes experimentaron



deterioro evidente en su salud a partir del momento en que las plantas iniciaron su operación. Las enfermedades más frecuentes fueron alta presión arterial (18%), sinusitis (18%), dolor de cabeza (14%) y problemas respiratorios (9%). Para la citada agencia federal estadounidense (EPA), “la exposición a tales sustancias tóxicas presentes en el aire, puede causar cáncer, problemas en el sistema nervioso central, lesiones hepáticas, problemas respiratorios e irritación de la piel”, informándose además de dolor de cabeza, tos, mareos y náuseas, aparte de que en animales de experimentación se demostraron efectos en los procesos reproductivos, defectos en recién nacidos y problemas en el sistema inmunológico.

El asfalto, originalmente sólido o semisólido, es mezclado con solventes para hacerlo más líquido, usando para ello solventes venenosos como la nafta, el tolueno y el xileno, aparte de otras sustancias químicas usadas como pegamentos que a veces contienen estireno (un tóxico que puede producir daños en el sistema nervioso), asbesto y sílice, ambos relacionados con enfermedades respiratorias.



CAPÍTULO V – *Resultados*





En la *Tabla 1* que se muestra a continuación se presentan los datos que se obtuvieron durante la prueba de viscosidad con ayuda de un viscosímetro de Brookfield DV-II+Pro para un asfalto AC-20 a dos temperaturas distintas (120 y 130°C), sin agregar polímero y aditivo, en la *Gráfica 3 de la página 61*, se puede apreciar la tendencia que sigue con respecto al torque.

Se realizaron 5 mediciones cada 2 min, a una temperatura de 120°C con el fin de estudiar el comportamiento de la viscosidad con respecto al tiempo y al torque. También se repitió la misma prueba pero a una temperatura de 130°C con 7 mediciones cada 2 min.

Tabla 1. Asfalto sin modificación

Asfalto sin modificación			
Velocidad (RPM)	Temperatura (°C)	Torque (%)	Viscosidad (cP)
50	120	83	1330
		20	1285
		19.2	1219
		18.1	910
		17.3	870
100	130	10.8	540
		10.3	515
		9.9	495
		9.7	485
		18.9	472
		18.7	467
		18.6	465

En la *Tabla 2*, se muestran los datos obtenidos mediante la prueba de viscosidad con el viscosímetro de Brookfield DV-II+Pro a una temperatura de 110°C, la cual se eligió, debido a que a esa temperatura el asfalto se encuentra en óptimas condiciones para poder adicionar tanto el polímero y el aditivo, se tomaron 5 medidas cada 2 min a 5 velocidades diferentes (10, 20, 40, 60 y 65 RPM) respectivamente, con las cuales se aprecia la tendencia que tiene un



asfalto AC-20 con el 2% de polímero Solprene 1205, (con lo cual se puede ver la tendencia en la *Grafica 1* que se encuentra en la *página 60*), en donde se aprecia que mientras el torque sea menor, existe menor resistencia al movimiento del rotor y por lo tanto aumenta la viscosidad, esto permite que al momento de la aplicación la carpeta asfáltica sea más flexible y pueda soportar las deformaciones y no se formen agrietamientos ni acanalamientos y tenga una vida media más larga.

Tabla 2. Asfalto con polímero al 2% a 110°C

Asfalto con polímero al 2%		
Velocidad (RPM)	Torque (%)	Viscosidad (cP)
10	16.8	4,075
	15.6	3,925
	16	3,900
	15.5	3,825
	15.1	3,700
20	29.3	3,650
	28.7	3,588
	28.8	3,563
	28.4	3,525
	28.4	3,523
40	54.3	3,469
	54.7	3,450
	55.3	3,444
	55.2	3,431
	55	3,412
60	80.3	3,379
	80.8	3,375
	79.8	3,354
	80.2	3,346
	80.1	3,325
65	85.6	3,315
	85.7	3,312
	84.7	3,296
	85.6	3,273
	85.7	3,269



En esta sección se presentan los datos que se obtienen en la prueba de penetración, todo con respecto a las norma ASTM D5 [2], a la temperatura de 25 °C dentro de un baño de agua y los 5 segundos que se toman para dejar caer la aguja dentro de la muestra, se realizaron 7 mediciones en diferentes puntos dentro de la cápsula para tener certeza que la mezcla del polímero y el asfalto se encuentra homogénea.

Tabla 3 Datos de penetración para un asfalto con polímero

Penetración (dmm)
39
37
36
35
34
33
31

La temperatura de ablandamiento que se obtiene es de 41°C

En la siguiente sección se muestra en la *Tabla 3*, los datos obtenidos en la misma prueba de viscosidad pero con un asfalto AC-20 y un aditivo de marca TB-2 a una temperatura de 110°C el que permite disminuir la temperatura de proceso, ya que permite que el asfalto no pierda sus propiedades y pueda trabajar como si fuera la temperatura optima de proceso. Para esto se realizaron este número de mediciones; 8, 14, 5, 5 y 4; a estas velocidades de; 10, 20, 50, 60 y 70 RPM, respectivamente con lo que se observa el cambio de la viscosidad



que tiene el asfalto AC-20 conforme cambia la velocidad y toque. Con este procedimiento se puede lograr baja la cantidad de emisiones toxicas a altas temperaturas las cuales afectan en los organismos de los trabajadores y de la población cercana a la zona de trabajo

Tabla 4. Asfalto con aditivo TB-2 a 110°C

Asfalto mas aditivo TB-2		
Velocidad (RPM)	Torque (%)	Viscosidad (cP)
10	19.4	5,870
	18.1	4,900
	17.1	4,375
	16.1	4.175
	16	3.900
	13.7	3,775
	13.7	3,450
	13.4	3,450
20	23.4	2,950
	22.3	2,813
	21.4	2,713
	21.5	2,650
	20.4	2,638
	20.6	2,625
	20.3	2,563
	20.4	2,500
	20.6	2,475
	29.2	2,467
	28.1	2,417
	28.1	2,417
	28	2,325
22.7	2,037	
50	46.6	2295
	44.1	2260
	44.1	2245
	45.5	2235
	45	2195
60	53.8	2247
	52.4	2225
	53.4	2200



	52.2	2192
	52.4	2167
70	61.6	2175
	60.9	2168
	59.7	2164
	60.1	2175

Los datos que se obtuvieron de la prueba de penetración para el asfalto con el aditivo TB-2, se realizaron 5 mediciones de igual manera es para confirmar que se encuentre homogénea la mezcla, como se muestran a continuación en la *Tabla 5*.

Tabla 5 Datos de penetración para asfalto con el aditivo TB-2

Penetración (dmm)
41
40
39
37
30

Mientras tanto dio como resultado en la temperatura de ablandamiento de 45°C



CAPÍTULO VI – Análisis de *resultados*





6.1 RELACIÓN VISCOSIDAD Y TORQUE

En los gráficos siguientes se puede apreciar el comportamiento del asfalto AC-20 al agregarle un polímero y aditivo respectivamente, a una temperatura dada (110°C), variando la velocidad para poder apreciar el cambio en el torque y viscosidad, teniendo cuidado de siempre estar en el rango que marca la norma (10-90%). Por lo tanto en la *gráfica 1* se observa el aumento de viscosidad mientras que el torque se mantiene dentro de un rango de 10 a 30%, esto depende de la velocidad en la que se encuentra el rotor, lo cual permitiría disminuir la deformación dentro de una carpeta asfáltica, mientras tanto en la *gráfica 2*, de igual manera se observa que mientras el torque sea menor la viscosidad tiende a aumentar, y si aumenta el torque la viscosidad aparentemente se mantiene constante.

En la *gráfica 3*, se encuentran los datos de viscosidad y torque a diferentes temperaturas, en la que se puede observar que el torque se establece dentro de (10-20%), y la viscosidad aumenta.

El asfalto es comúnmente conocido como chapopote y es la base fundamental para realizar la carpeta asfáltica, debido a que sus propiedades físicas son adecuadas para el tránsito de vehículos y maquinaria pesada, sin dejar de lado que es resistente a los cambios climáticos. La carpeta asfáltica está constituida por agregado pétreo y asfalto, con estos compuestos se realizan diferentes tipos de mezclas.

El asfalto es un material que resiste a los cambios de temperatura, es adhesivo y de alta durabilidad. Para poder determinar que las condiciones del asfalto se encuentran dentro de los estándares de las Normas del Gobierno del Distrito Federal, se realizan las diferentes pruebas físicas, las más comunes son; penetración, viscosidad, temperatura de ablandamiento y punto de inflación.



En la Planta de Asfalto del Distrito Federal, hace algunos años se procesaba mezcla asfáltica en caliente, su temperatura de proceso era alrededor de los 140-150°C, lo cual era riesgoso, requería de un alto gasto energético y por lo tanto era difícil mantener estable la temperatura al momento del tendido. Dado a los problemas que causaba este tipo de asfalto, se tomó la decisión de realizar la mezcla asfáltica templada, la cual requiere de un abatidor de viscosidad comercial, que tiene por objeto bajar las temperaturas de proceso hasta los 120-135°C, como también hace un cambio significativo en la viscosidad.

En esta tesis se realiza la modificación de asfalto, esto quiere decir que se agrega polímero y un aditivo a una temperatura adecuada para no alterar las propiedades químicas del asfalto, para lo cual se realiza una comparación de las diferentes pruebas como; penetración, temperatura de ablandamiento y viscosidad.

Las pruebas tienen por objeto, verificar que el abatidor de viscosidad cumpla su función de disminuir la temperatura de proceso y cumplir con los estándares.

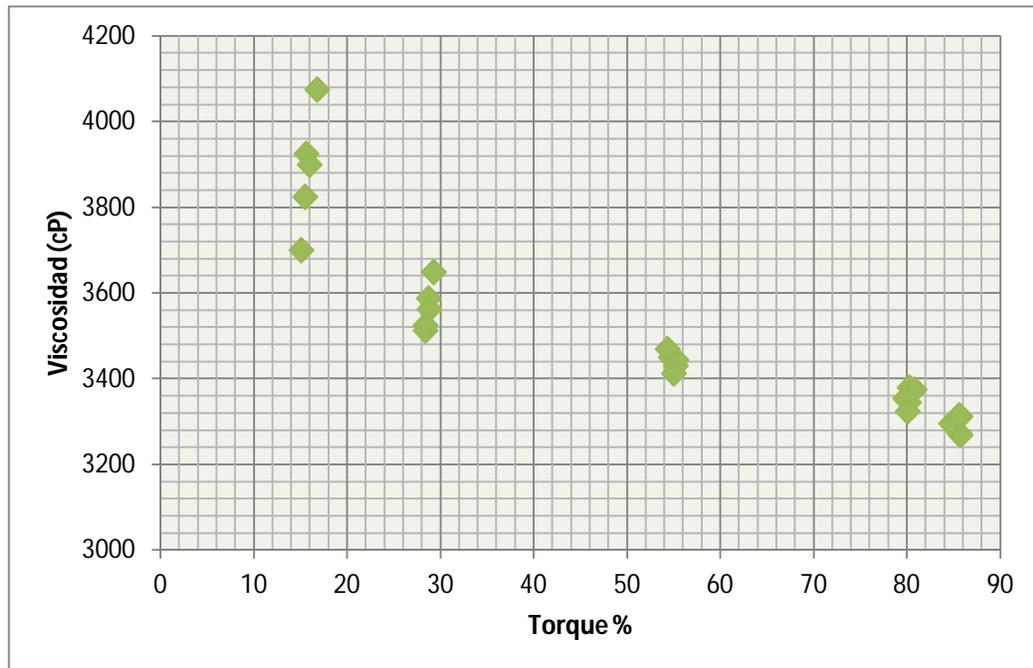
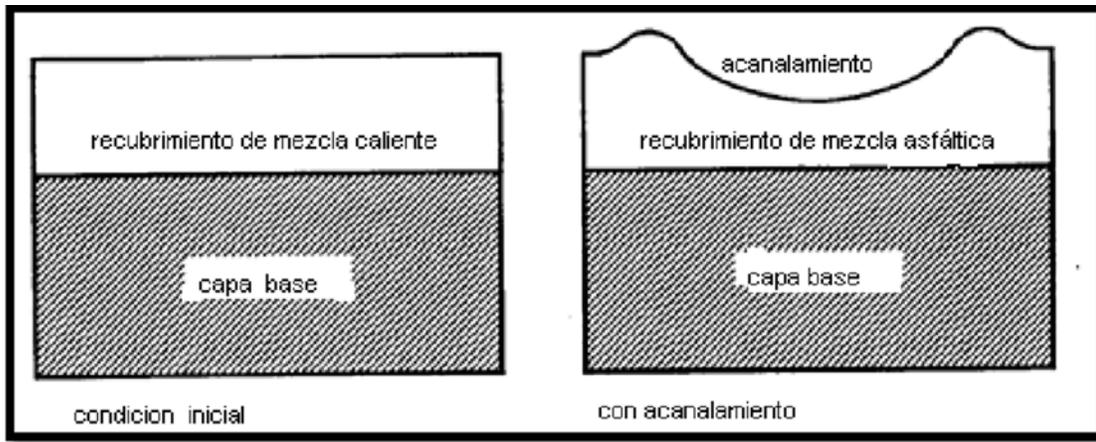
El asfalto tiene diferentes comportamientos conforme aumenta la temperatura, ya que puede tomar el comportamiento de un fluido newtoniano, no newtoniano y viscoelástico. Por lo tanto se debe tener mucho cuidado en su manejo, debido a que puede llegar a ser un mal conductor de calor en el momento de ser calentado, ya que se forma una capa fundida, pero eso no indica que se encuentre fundido en su totalidad, esto se lleva un tiempo aproximado de unos 30 min en que llegue al equilibrio térmico.

La modificación del asfalto en pavimentos ha ido creciendo rápidamente en la última década, buscan este tipo de asfalto para mejorar la vida de las carreteras, en un mundo con un tráfico en aumento. Uno de los principales problemas del pavimento asfáltico es el acanalamiento (deformación permanente) como se muestra en la *Figura 13*. [16]

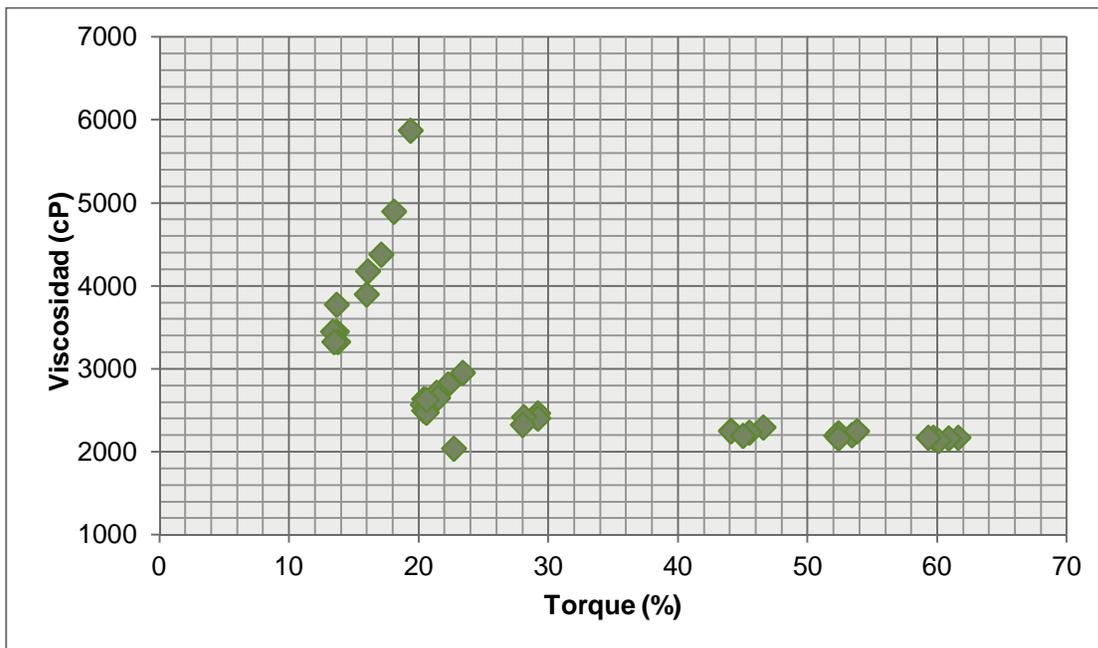


Debido a que dentro de la Ciudad de México, existen una gran variedad de deformaciones coloquialmente llamados “baches”, es por lo cual sería un ahorro para el Gobierno del Distrito Federal a largo plazo, ya que el repavimentar las carreteras intervienen diversos gastos económicos.

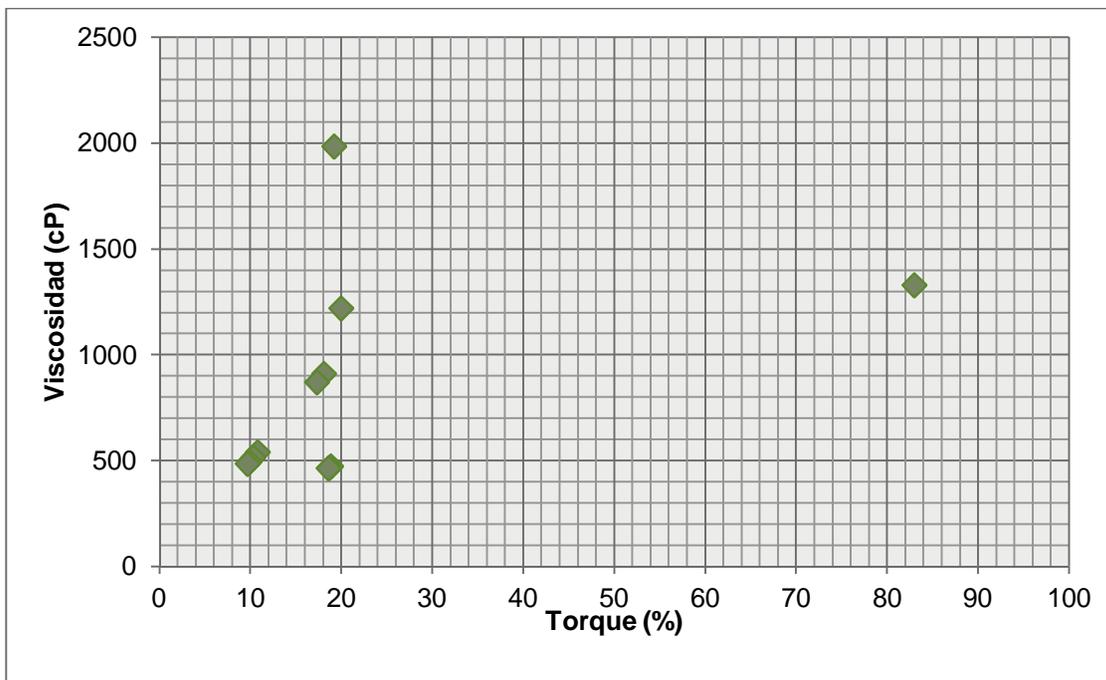
Figura 13 Acanalamiento del pavimento asfáltico



Gráfica. 1 Asfalto modificado con el 2% de polímero a 110°C



Gráfica. 2 Asfalto con aditivo TB-2 a 110°C



Gráfica. 3 Asfalto sin modificar a dos temperaturas diferentes (120 y 130°C)



6.2 DETERMINACIÓN DE VISCOSIDAD APARENTE

Resolviendo el problema 3F2 del Bird, para un viscosímetro Stomer, tomando en cuenta que tiene características similares al viscosímetro de Brookfield DV-II+PRO:

De la tabla 3.4-3 (D,E,F), y asumiendo que $V_\theta = V_\theta(r)$ y $V_r = V_L = 0$ los componentes- θ de la ecuación que se muestra a continuación:

$$0 = \frac{d}{dr} \left(\frac{1}{r} \frac{d}{dr} (rv_\theta) \right) \dots\dots\dots \text{Ec}(1)$$

Cuando integramos la ec.1 con respecto a $r \left(\frac{d}{dr} \right)$, obtenemos la siguiente expresión:

$$v_\theta = C_1 r + \frac{C_2}{r} \dots\dots\dots \text{Ec. (2)}$$

Tomando en cuenta las siguientes condiciones de frontera

$$r = kR, V_\theta = kR\Omega_i \dots\dots \text{Condición (1)}$$

$$r = R. V_\theta = 0 \dots\dots\dots \text{Condición (2)}$$

Evaluando ambas condciones en la Ec. (2), se obtiene:

$$\left(\frac{v_\theta}{r} \right) = \frac{kR^2\Omega_i}{\left(\frac{1}{k} - k \right)} \left[\frac{1}{r^2} - \frac{1}{R^2} \right] \dots\dots\dots \text{Ec. (3)}$$

Usando la Ec. de la tabla 3.4-6 del Bird para obtener el torque se obtiene la siguiente expresion:

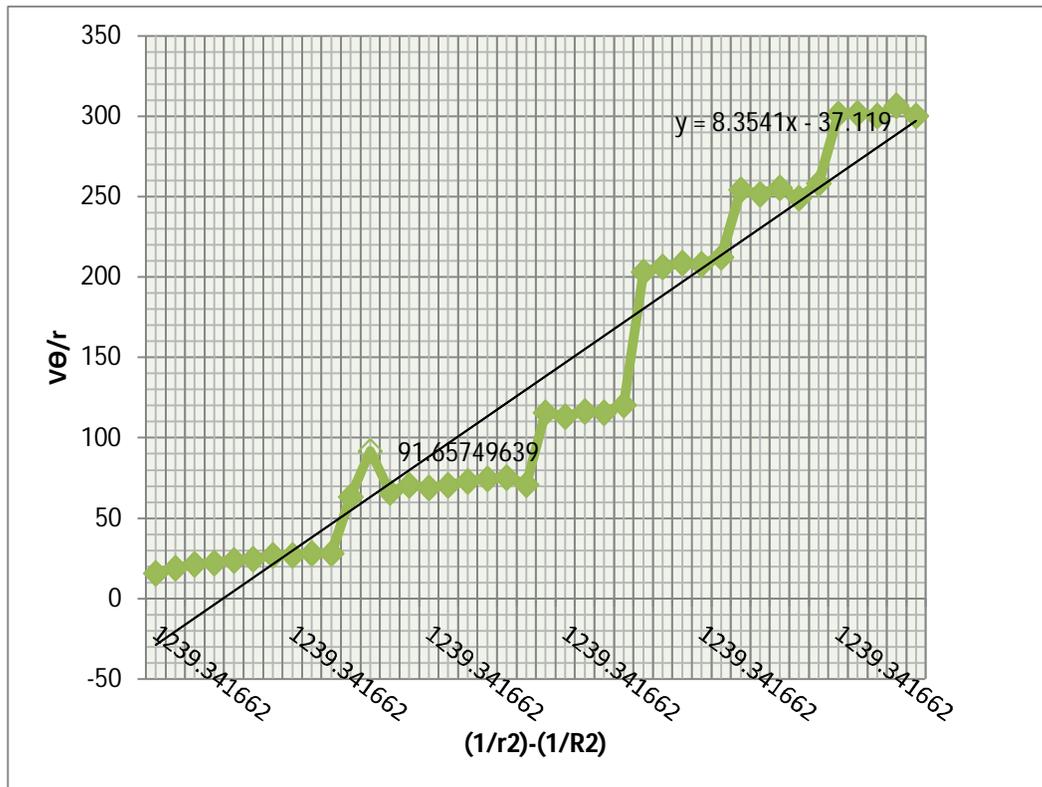
$$\tau = (2\pi k^2 R^2 L) \left(-\mu r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v_\theta}{r} \right) \right)_{r=kR} \dots\dots\dots \text{Ec. (4)}$$

Usando la velocidad de distribución se obtiene

$$\tau = 4\pi L \Omega_i R^2 \left(\frac{k^2}{1-k^2} \right) \dots\dots\dots \text{Ec. (5)}$$



en ese punto. De igual manera obtiene mediante la pendiente de esta grafica la viscosidad aparente aproximadamente a 1. Esta prueba se realizó a 6 velocidades diferentes las cuales están representadas dentro del gráfico.



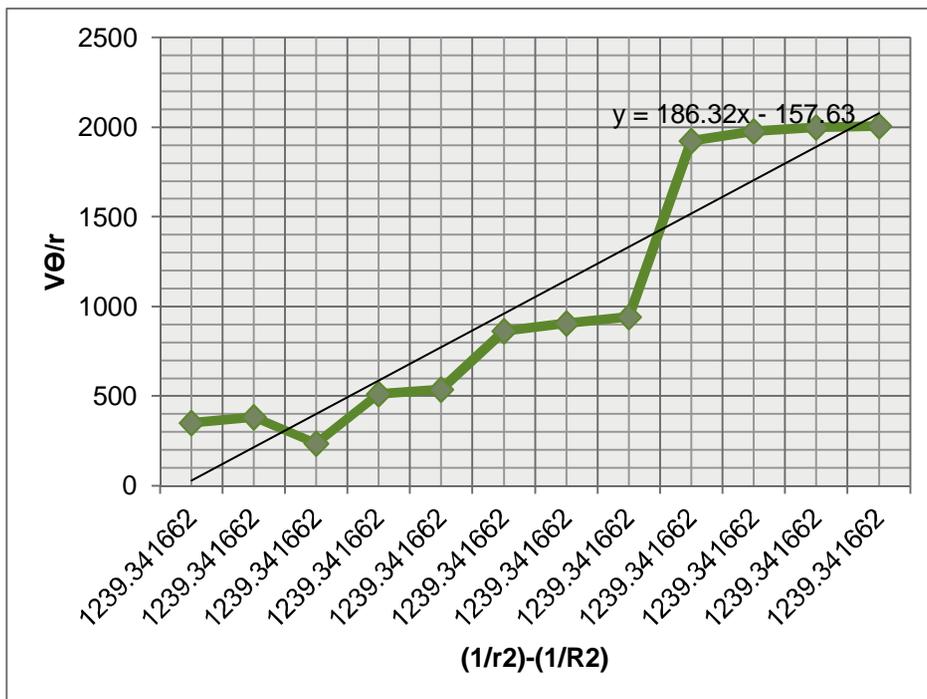
Gráfica. 5 Velocidad angular contra la diferencia de los inversos de los diámetros para un asfalto con el 2% de aditivo a 110°C

- **Asfalto sin modificación a 120 y 130 °C**

En la siguiente grafica se muestra la tendencia que sigue un asfalto sin modificación a 120 y 130 °C, ya que este rango de temperaturas son las adecuadas para adicionar tanto un polímero y aditivo. Se aprecia que como es razonable que a menor temperatura la viscosidad y la velocidad angular se encuentran debajo de la línea de tendencia, y sin embargo las que se aprecian por encima son las que se encuentran a una temperatura de 130°C, comparado con las gráficas anteriores, en la que se agrega el 2% de polímero se aprecia que disminuye la viscosidad conforme aumenta la velocidad, sin embargo el



asfalto modificado con el 2% de aditivo, se aprecia a una velocidad más baja de lo marcado en la grafica de un asfalto sin modificar, por lo tanto el aditivo cumple con el objetivo de bajar la temperatura de proceso.



Gráfica. 6 Asfalto sin modificación a 120 y 130°C



CONCLUSIONES

De la prueba de viscosidad con un asfalto AC-20 sin modificación se tomó como referencia para hacer una comparación con el asfalto a 110°C, agregando 2 % de polímero Solprene 1205 y aditivo TB-2, respectivamente, al momento que se agrega el polímero inmediatamente cambió la consistencia y se vuelve más densa que al inicio y en los resultados se puede apreciar que si existe un cambio que duplica el número, en tanto a la penetración no varía considerablemente por lo tanto se puede decir que se encuentra parcialmente homogéneo y se puede confirmar con la temperatura de ablandamiento que los dos anillos caen al mismo tiempo a una temperatura de 41°C. Mientras tanto el asfalto AC-20 con el aditivo TB-2, al momento de agregarlo, el asfalto tiende a dilatarse, por lo tanto se tuvieron las precauciones necesarias como colocarlo en un recipiente del doble de su volumen para evitar accidentes, ya que es muy violenta la reacción. Pero el aumento de la viscosidad en la primera medición fue considerable, sin embargo, conforme pasa el tiempo va decreciendo, pero siempre duplicando la viscosidad de un asfalto sin modificar y en la prueba de penetración se hicieron 5 mediciones en la que se puede notar que hay poca discrepancia en los datos, ya que esto puede afectar poco con respecto en la consistencia, de igual manera se puede notar con la temperatura de ablandamiento que caen los anillos ligeramente desfasados a una temperatura de 45°C.

Se tomaron en cuenta los datos establecidos en las normas del Gobierno del Distrito Federal N-CMT-4-05-002-06, de un asfalto AC-20 modificado con un polímero llamado Solprene 1205 al 2% y con un aditivo de marca comercial TB-2, lo cual dió como resultado que si se agrega el polímero se puede aumentar la viscosidad y por lo tanto aumenta la flexibilidad. Dado que la temperatura de ablandamiento y la penetración son las que permiten hacer un estimado de la



consistencia del asfalto, se puede notar que el asfalto con polímero tiene ligeramente más consistencia y de igual manera se ve el mismo resultado en la temperatura de ablandamiento.

Con la deducción de la ecuación de la velocidad angular y el esfuerzo cortante, con las cuales al momento de graficar la velocidad angular contra la diferencia de los inversos de los radios, se aprecia que la pendiente es aproximadamente 1, la cual representa a la viscosidad aparente, ya que la viscosidad real se determina mediante un reómetro. Las gráficas demuestran que comparando la de asfalto con aditivo y el asfalto sin modificar, se observa con claridad que baja la temperatura de proceso y hay un aumento en la viscosidad, por lo tanto la velocidad también disminuye.

Con todo esto se puede decir que teniendo una mezcla asfáltica templada modificada, se disminuye la emisión de gases, lo cual beneficiaría la salud de la gente relacionada con el trabajo de asfalto, y la temperatura de almacenamiento sería menor, lo cual ayudaría a disminuir costos ya que se debe ocupar un material aislante que no permita la liberación de calor y al agregar un polímero permite que el tiempo de vida media del asfalto sea mayor, ya que la deformación sería uniforme y no provocaría el acanalamiento en las avenidas y por lo tanto los famosos baches.

Haciendo una propuesta para un trabajo a largo plazo sería recomendable seguir haciendo pruebas futuras al asfalto AC-20, las mismas pruebas a distintas temperaturas y con diferentes polímeros en particular con el que se obtiene del hule de llanta, ya que es un gran contaminante y podría ser la solución a muchos problemas de contaminación debido a que son desechadas y quemadas haciendo aún más grave el problema de contaminación, En previas investigaciones por parte de alumnos de la Facultad de Química, se ha demostrado que esto se puede llevar a cabo con un bajo presupuesto, teniendo en cuenta la compra del neumático y su preparación para obtener el polímero



deseado, el ahorro sería el doble. Es una opción viable ya que el costo del neumático es sumamente barato, comparado con el polímero comercial que se utiliza (cuesta el doble del precio del neumático).



APENDICE



Hojas de seguridad

1. HEPTANO

I. SUSTANCIA QUIMICA/IDENTIFICACION DE LA COMPAÑIA

Nombre Comercial: Heptano		Empresa: CHEMICAL OIL, S.A. DE C. V.	
Nombre Químico: n-Heptano		Dirección: Blvd. de las Fuentes No. 250, Piso 1 Desp. 202 Fuentes del Valle, Tultitlán Edo. de México 54910	
Sinónimos: n-heptano, heptil hidride, dipropil metano	Fórmula: $CH_3(CH_2)_5CH_3$	Teléfono de Emergencia Química (derrame, fugas, incendio, explosión o accidente): SETIQ 01 800 00 214 00 y en el D. F 5559 1588	
Familia Química: Hidrocarburo del petróleo		Teléfono de Información: 01(55) 5890 6359	

II. COMPOSICION, INFORMACION SOBRE INGREDIENTES

Nombre de los componentes	%	Numero CAS	Límites de exposición				Clasificación del grado de riesgo 0=INSIGNIFICANTE 1= LIGERO 2= MODERADO 3= ALTO 4= EXTREMO
			IPVS (IDLH) ppm	LMPE mg/m3	LMPE-CT mg/m3	LMPE-P mg/m3	
Heptano	97	142-82-5	750	1600	ND	ND	<p>Símbolo de Peligrosidad</p> <p>INFLAMABILIDAD</p> <p>SALUD 1 REACTIVIDAD 0</p> <p>RIESGO ESPECIAL 3</p>



III. RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSION

III.1 EQUIPO DE PROTECCION PERSONAL:

Use equipo de respiración autónoma, con aire comprimido y el equipo de bomberos.

III.2 MEDIOS DE EXTINCION:

Los medios más eficaces son polvo químico seco, espuma tipo alcohol y espuma regular o bióxido de carbono.

III.3 PROCEDIMIENTO Y PRECAUCIONES ESPECIALES EN EL COMBATE DE INCENDIO:

Use rocío de agua o neblina para enfriar contenedores expuestos al fuego y continúe con chorro de agua hasta después de que el incendio quede extinto.

III.4 CONDICIONES QUE CONDUCEN A OTRO RIESGO ESPECIAL:

Extreme precauciones, ya que los vapores de este material son más pesados que el aire, se dispersan a lo largo del suelo y se depositan en áreas bajas o confinadas (alcantarillas, sótanos, tanques) y pueden encenderse al entrar en contacto con llamas, equipo eléctrico, descargas estáticas u otras fuentes de ignición ubicadas a distancia del punto de manejo; produciéndose riesgo de fuego flotante.

III.5 PRODUCTOS DE LA COMBUSTION NOCIVOS PARA LA SALUD:

Monóxido de carbono.

IV. RIESGOS A LA SALUD Y PRIMEROS AUXILIOS

IV.1 INGESTION:

Bajo grado de toxicidad, pequeñas cantidades aspiradas durante la ingestión o con el vómito pueden causar daños pulmonares.

IV.2 INHALACION:

Una elevada concentración de vapor irrita los ojos y las vías respiratorias, puede causar dolor de cabeza, mareos, anestesia, somnolencia, desvanecimiento y otros efectos en el sistema nervioso central incluyendo la muerte.

IV.3 CONTACTO:

Tiene acción desengrasante en la piel produciendo enrojecimiento e irritación, la absorción por piel es poca con bajo grado de toxicidad. Alta concentración en los ojos puede ser irritante pero no lesiona el tejido ocular.

IV.4 EFECTOS POR EXPOSICION CRONICA:

SUSTANCIAS QUIMICAS CONSIDERADAS COMO:

CARCINOGENICA: no existen datos



MUTAGÉNICA: no existen datos
TERATOGÉNICA: no existen datos

Información Complementaria:

DL50 > 5000 mg/kg oral (Rata)
DL50 > 3160 mg/kg Dermal (Conejo)
CL50 103,000mg/m³ / 4hrs inhalación (Rata)

IV. 5 PARTE DE EMERGENCIA Y PRIMEROS AUXILIOS:

Contacto con los Ojos.

Lavar inmediatamente con abundante agua corriente durante 15 minutos, si se presenta cualquier síntoma después del lavado, busque atención médica.

Contacto con la Piel.

Lavar inmediatamente con abundante agua. Quite la ropa contaminada. Si se presenta cualquier síntoma después del lavado, busque atención médica.

Ingestión.

No inducir el vómito y buscar atención médica inmediatamente.

Inhalación.

Retire al lesionado del área contaminada, llevarla al aire fresco. Si deja de respirar aplique respiración artificial. Aplique oxígeno si lo necesita. Llame inmediatamente al médico si persisten los síntomas.

V. DATOS DE REACTIVIDAD

V.1 ESTABILIDAD QUIMICA: Químicamente estable

V.2 INCOMPATIBILIDAD:

Evitar agentes oxidantes fuertes, halógenos, ácidos y bases.

V.3 CONDICIONES A EVITAR:

Fuego, chispas y calor.

V.4 PRODUCTOS DE DESCOMPOSICION:

Monóxido de carbono.

V.5 POLIMERIZACION ESPONTANEA: No ocurre



VI. INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME

Derrames pequeños: eliminar toda fuente de ignición, chispa o flama, confinar el derrame con diques de arena o absorbente no inflamable.

Derrames grandes: formar un dique más adelante del derrame, si existe posibilidad de incendio cubra con espuma tipo alcohol o usar chorro de agua nebulizada, todo el equipo que se use durante el manejo deberá estar conectado eléctricamente a tierra. Evitar que el líquido derramado llegue a las alcantarillas o a espacios confinados, transferir el material a otro contenedor y lavar el área con agua.

Colocarse en posición contraria al sentido del viento con respecto al derrame.

VII. PROTECCION ESPECIAL

En caso de derrames en donde es posible el contacto, usar mangas largas, guantes resistentes a productos químicos y lentes de seguridad con protección lateral.

Cuando la concentración en el aire exceda los límites, será necesario usar equipo de respiración autónomo. (SCUBA), y en caso de incendio, use el equipo de bomberos con equipo de respiración autónomo cuando haya emanación de gases.

Contar con instalaciones de lavaojos, regaderas de emergencia y usar ropa de algodón y zapatos de seguridad.

VIII. PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Propiedad	Resultado
Temperatura de ebullición, °C	97.7
Temperatura de Autoignición, °C	215
Densidad Relativa @ 25° C	0.685
Apariencia	Líquido incoloro
Densidad de Vapor (AIRE=1)	3.5
Temperatura de Inflamación, °C (CC)	-9
Presión de vapor, mmHg@ 20°C	40
Velocidad de evaporación (ac.de butilo 1):	5.8
Peso molecular gr/gr mol	100.2
% de volatilidad	100 en volumen

IX. INFORMACION DE TRANSPORTACION

IX.1 Las unidades destinadas al transporte de materiales y residuos peligrosos, no pueden transportar personas, residuos sólidos municipales, productos alimenticios de consumo humano o animal.



2. TRICLOROETILENO

Nombre del Producto: **TRICLOROETILENO**

Fecha de Revisión: Agosto 2014. Revisión N°3



ONU.
UN:1770



NFPA

SECCION 1 : IDENTIFICACION DEL PRODUCTO Y DE LA COMPAÑÍA

PRODUCTO

Nombre Químico: TRICLOROETILENO - C₂HCl₃

Número CAS: 79-01-6

Sinónimos: Tricloroetano; ECT; tricloruro de acetileno; tricloruro de etinil

COMPAÑÍA: GTM

Teléfonos de Emergencia

México : +55 5831 7905 – SETIQ 01 800 00 214 00

Guatemala: +502 6628 5858

El Salvador: +503 2251 7700

Honduras: +504 2540 2520

Nicaragua: +505 2269 0361 – Toxicología MINSA: +505 22897395

Costa Rica: +506 2537 0010 – Emergencias 9-1-1. Centro Intoxicaciones +506 2223-1028

Panamá: +507 512 6182 – Emergencias 9-1-1

Colombia: +018000 916012 Cisproquim / (571) 2 88 60 12 (Bogotá)

Perú: +511 614 65 00

Ecuador: +593 2382 6250 – Emergencias (ECU) 9-1-1

Argentina +54 115 031 1774

SECCION 2 : COMPOSICION / INFORMACION SOBRE LOS INGREDIENTES

TRICLOROETILENO

CAS: 79-01-6

100%

SECCION 3 : IDENTIFICACION DE PELIGROS

Clasificación ONU: Clase 6.1 Tóxico

Clasificación NFPA: Salud: 2 Inflamabilidad: 1 Reactividad: 0



EFFECTOS ADVERSOS POTENCIALES PARA LA SALUD:

Inhalación: Los vapores pueden irritar las vías respiratorias. Causa depresión del sistema nervioso central, con síntomas de trastornos visuales y confusión mental, incoordinación, dolor de cabeza, náuseas, euforia, y mareo. La inhalación de altas concentraciones puede causar pérdida del conocimiento, efectos al corazón, al hígado, riñones, y la muerte.

Ingestión: Se han presentado casos de irritación del tracto gastrointestinal. También puede causar efectos similares a la inhalación. Puede causar tos, dolor abdominal, diarrea, mareos, edema pulmonar, pérdida del conocimiento. La insuficiencia renal puede resultar en casos graves. La dosis letal estimada es de 3-5 ml/kg.

Contacto con la piel: Puede causar irritación, enrojecimiento y dolor. Pueden causar ampollas. El contacto continuo con la piel ocasiona pérdida de grasa, aspereza, piel seca, y enrojecimiento. Puede presentarse una infección secundaria.

Contacto con los ojos: Los vapores pueden causar irritación severa con enrojecimiento y dolor. Las salpicaduras pueden causar daño a los ojos.

La exposición crónica: La exposición prolongada puede causar daño al hígado, riñón, sistema nervioso central y periférico, y efectos sobre el sistema nervioso. Los trabajadores expuestos de forma crónica pueden presentar depresión del sistema nervioso, la intolerancia al alcohol, y el aumento del gasto cardíaco. Este material está vinculado a efectos mutagénicos en los seres humanos. Se sospecha que el tricloroetileno es carcinógeno.

Agravación de condiciones pre-existentes: Las personas con desórdenes cutáneos ya existentes, trastornos cardiovasculares, problemas de hígado o riñón, función respiratoria, central o periférico y trastornos del sistema nervioso pueden ser más susceptibles a los efectos de la sustancia.

SECCION 4: MEDIDAS DE PRIMEROS AUXILIOS

Inhalación: Sacar a la víctima al aire fresco. Si no respira, dar respiración artificial. Si la respiración es difícil, dar oxígeno. Llame a un médico.

Ingestión: Provocar el vómito inmediatamente como lo indique el personal médico. No dar nada por boca a una persona inconsciente. Llame a un médico.

Contacto con la piel: Lavar la piel inmediatamente con abundante agua y jabón durante al menos 15 minutos mientras se quita la ropa y zapatos contaminados. Obtener atención médica. Lave la ropa antes de usarla nuevamente. Limpie completamente los zapatos antes de volver a usarlos.

Contacto con los ojos: Lavar los ojos inmediatamente con abundante agua durante al menos 15 minutos, elevando los párpados superior e inferior ocasionalmente para asegurar la remoción del químico. Obtener atención médica inmediatamente.

Nota para el médico: No administrar adrenalina o epinefrina a una víctima de la intoxicación por disolventes clorados.



SECCION 5: MEDIDAS PARA EXTINCION DE INCENDIOS

Fuego:

Temperatura de autoignición: 420C (788F)

Límites inflamables en el aire% por volumen: LEL: 8 - UEL: 12,5

Explosión: Una fuente de ignición fuerte, por ejemplo, un soplete de soldadura, puede producir la ignición. Los contenedores sellados pueden romperse al calentarse.

Medios de extinción de incendios: Utilice pulverización de agua para mantener fríos los recipientes expuestos al fuego. Si la sustancia se inflama, use CO₂, polvo químico seco o espuma.

Información Especial: En el caso de un fuego, use vestidos protectores completos y aprobados por NIOSH y equipo autónomo de respiración con mascarilla completa operando en la demanda de presión u otro modo de presión positiva. Los productos de combustión son el fosgeno y los gases de cloruro de hidrógeno. La ropa de bomberos proporciona una protección limitada a los productos de la combustión de este material.

SECCION 6: MEDIDAS PARA FUGAS ACCIDENTALES

Ventilar el área de la fuga o derrame. Eliminar todas las fuentes de ignición. Use el apropiado equipo de protección personal. Aislar el área de peligro. Mantener alejado al personal innecesario y no protegido. Contenga y recupere el líquido cuando sea posible. Utilizar herramientas anti-chispas y equipos. Recoja el líquido en un recipiente adecuado, absórbalo con un material inerte (Ej. vermiculita, arena seca, tierra) y colóquelo en un recipiente de desechos químicos. No use materiales combustibles, como el serrín. No los tire a la alcantarilla.

SECCION 7: MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Mantener en un recipiente cerrado herméticamente, almacene en un lugar fresco, seco y ventilado. Proteger contra daño físico. Aislar de cualquier fuente de calor o ignición. Aislar de sustancias incompatibles. Los envases de este material pueden ser peligrosos cuando están vacíos ya que retienen residuos del producto (vapores, líquido); observar todas las advertencias y precauciones indicadas para el producto.

SECCION 8: CONTROLES DE EXPOSICION Y PROTECCION PERSONAL

Límites de Exposición:

OSHA Limite exposición permisible (PEL): 100 ppm (TWA), 200 ppm (techo), 300 ppm/5min/2hr(Max)
ACGIH Threshold Limit Value (TLV): 10 ppm (TWA) 25 ppm (STEL), A2 sospecha carcinógeno humano.

Sistema de Ventilación: Un sistema de ventilación local y/o general es recomendado para las exposiciones de empleados debajo de los Límites de Exposición Aérea. La extracción local es generalmente preferida porque se pueden controlar las emisiones del contaminante en su fuente, impidiendo dispersión del mismo en el área de trabajo general.



Respiradores Personales (Aprobados por NIOSH): Si el límite de exposición es excedido y los controles de ingeniería no son factibles, use un respirador de pieza facial completa, capucha airlined, completo o auto máscara de respiración. La calidad del aire que se respira debe cumplir con los requisitos de la norma de protección respiratoria de OSHA (29CFR1910.134). Esta sustancia tiene malas propiedades de advertencia. Cuando se requieren respiradores, se debe tener un programa escrito que cubre los requisitos básicos en el estándar de OSHA para respiradores. Estos incluyen la

formación, las pruebas de ajuste, la aprobación médica, limpieza, mantenimiento, programas de cambio de cartucho, etc.

Protección de la piel: Usar ropa protectora impermeable, incluyendo botas, guantes, bata de laboratorio, delantal o monos, según proceda, para evitar el contacto de la piel. El neopreno es un material recomendado para el equipo de protección personal.

Protección de los ojos: Utilice gafas protectoras contra productos químicos y/o un protector de cara completo donde el contacto es posible. Mantenga una fuente de lavado de ojos y regaderas de emergencia en el área de trabajo.

SECCION 9: PROPIEDADES FISICAS Y QUIMICAS

Aspecto: Líquido incoloro, claro.
Olor: Cloroformo
Solubilidad: Ligeramente soluble en agua: 0,11 H₂O g/100g @ 20 °C. Fácilmente miscible en solventes orgánicos.
Peso específico: 1,47 @ 20C/4C
pH: 7,10
% De Volátiles por Volumen @ 21C (70F): 100
Punto de ebullición: 86 a 88 °C (189°F)
Punto de fusión: -86° C
Densidad de vapor (Aire = 1): 4,54 (aire = 1)
Presión de Vapor (mm Hg): 57,8 @ 20° C (68° F)
Tasa de evaporación (BuAc = 1): 0.69
Gravedad específica @ 20 °C: 1,448 to1.465
Evaporación: 100%
Umbral de olor más bajo: 20 ppm

SECCION 10: ESTABILIDAD Y REACTIVIDAD

Estabilidad: Estable bajo condiciones normales de uso y almacenamiento. Se descompone lentamente en ácido clorhídrico cuando se expone a la luz y a la humedad.

Productos de descomposición peligrosos: Puede producir monóxido de carbono, dióxido de carbono, cloruro de hidrógeno y fosgeno cuando se calienta hasta la descomposición.

Polimerización peligrosa: No ocurrirá.

Incompatibilidades: Cáusticos y álcalis fuertes, oxidantes fuertes, metales químicamente activos, tales como bario, litio, sodio, magnesio, titanio y berilio, oxígeno líquido.



SECCION 11: INFORMACION TOXICOLOGICA

Datos Toxicológicos:

DL50 (oral, ratas): 5650 mg/kg. Investigado como tumorigeno, mutagénico y causante de efectos reproductivos.

Toxicidad reproductiva: Este material se ha relacionado con efectos mutagénicos en los seres humanos.

SECCION 12: INFORMACION ECOLOGICA

Toxicidad aguda peces:

LC50/96h/minnows = 5400 mg/l

LC50/96h/algae = 95 mg/l

LC50/96h/shrimp = 14 mg/l

Destino ambiental: Cuando se elimina en el suelo, el tricloroetileno puede filtrarse en las aguas subterráneas. Se espera que se evapore rápidamente tanto en el suelo como en el agua. Este material tiene un factor de bioconcentración (BCF) de menos de 100. No se espera una bioacumulación significativa. Cuando se libera en el aire, puede ser moderadamente degradado por reacción con radical hidroxilo producido fotoquímicamente, y se espera que tenga una vida media entre 1 y 10 días.

Toxicidad Ambiental: Los valores de LC50/96-horas para peces se encuentran entre 10 y 100 mg / l. Ligeramente tóxico para la vida acuática.

SECCION 13 : CONSIDERACIONES SOBRE DISPOSICION

Tratamientos de residuos:

Tratar según legislación vigente

Eliminación de envases:

Lavar y descartar según legislación vigente

SECCION 14 : INFORMACION SOBRE TRANSPORTE

Nombre de embarque apropiado: TRICLOROETILENO

Clase de peligro: 6.1

UN / NA: UN1710

Grupo de embalaje: III

SECCION 15 : INFORMACION REGLAMENTARIA

Esta hoja de seguridad cumple con la normativa legal de:

México: NOM-018-ST5-2000

Guatemala: Código de Trabajo, decreto 1441

Honduras: Acuerdo Ejecutivo No. STSS-053-04

Costa Rica: Decreto Nº 28113-S

Panamá: Resolución #124, 20 de marzo de 2001

Colombia: NTC 445 22 de Julio de 1998

Ecuador: NTE INEN 2 266:200



3. SOLPRENE

Solprene® 1205



DESCRIPTION

Solprene 1205 is a linear random-block styrene-butadiene copolymer with a total content of 25% of styrene, 17.5% is present as a polystyrene block.

It has a non-staining antioxidant system; FDA approved for use in food contact applications. Is essentially gel free with a clear color.

Solprene 1205 is an excellent modifier for asphalt, formulations of caulks and sealants; it is also an excellent processing aid for most polymers, giving a good resistance to low temperature. Used in extruded goods, soles and heels. It can also be used as modifier for thermoplastic resins and in adhesive formulations.

It is available in bales wrapped in low melting point polyethylene. In case of polymer modification by chemical reaction it can be wrapped in styrene-butadiene film.

TECHNICAL DATA

Polymer Properties	Value	Test Method
Mooney viscosity ML (1+4) @ 100°C	47	ASTM D-1646
Volatile matter, % max	0.75	ASTM D-5668
Color (Apha), max.	15	NM 300-33
Total styrene, %	25	ASTM D-5775
Block styrene, %	17.5	NM 202-07
Toluene viscosity (30%), cP	4000	NM 300-18
Insolubles, % max	0.1	NM 300-15
Specific gravity	0.93	DIN 53479

APPLICATIONS

- » Sealants
- » Adhesives
- » Paving
- » Polymer modification
- » Carpet underlay
- » Footwear



4 PERCLOROETILENO

TETRACLOROETILENO		ICSC: 0076	
		Abril 2000	
	1,1,2,2-Tetracloroetileno	Percloroetileno	Tetracloroetano
CAS:	127-18-4	$C_2Cl_4 / Cl_2C=CCl_2$	
RTECS:	KX3850000	Masa molecular: 165.8	
NU:	1897		
CE Índice Anexo I:	602-028-00-4		
CE / EINECS:	204-825-9		
TIPO DE PELIGRO / EXPOSICIÓN	PELIGROS AGUDOS / SÍNTOMAS	PREVENCIÓN	PRIMEROS AUXILIOS / LUCHA CONTRA INCENDIOS
INCENDIO	No combustible. En caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes.		En caso de incendio en el entorno: están permitidos todos los agentes extintores.
EXPLOSIÓN			
EXPOSICIÓN		¡HIGIENE ESTRICTA! ¡EVITAR LA FORMACIÓN DE NIEBLA DEL PRODUCTO!	
Inhalación	Vértigo. Somnolencia. Dolor de cabeza. Náuseas. Debilidad. Pérdida del conocimiento.	Ventilación, extracción localizada o protección respiratoria.	Aire limpio, reposo. Respiración artificial si estuviera indicada. Proporcionar asistencia médica.
Piel	Piel seca. Enrojecimiento.	Guantes de protección. Traje de protección.	Quitar las ropas contaminadas. Aclarar y lavar la piel con agua y jabón.
Ojos	Enrojecimiento. Dolor.	Gafas ajustadas de seguridad, pantalla facial.	Enjuagar con agua abundante durante varios minutos (quitar las lentes de contacto si puede hacerse con facilidad), después proporcionar asistencia médica.
Ingestión	Dolor abdominal (para mayor información, véase Inhalación).	No comer, ni beber, ni fumar durante el trabajo.	Enjuagar la boca. NO provocar el vómito. Dar a beber agua abundante. Reposo.
DERRAMES Y FUGAS		ENVASADO Y ETIQUETADO	
Ventilar. Recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama y el ya derramado en recipientes herméticos. Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro. NO permitir que este producto químico se incorpore al ambiente. Protección personal: Filtro respiratorio para vapores orgánicos y gases.		No transportar con alimentos y piensos. Contaminante marino. Clasificación UE Símbolo: Xn, N R: 40-51/53 S: (2-)23-36/37-61 Clasificación NU Clasificación de Peligros NU: 6.1 Grupo de Envasado NU: III	
RESPUESTA DE EMERGENCIA		ALMACENAMIENTO	
Ficha de emergencia de transporte (Transport Emergency Card): TEC (R)-61S1897 Código NFPA: H 2; F 0; R 0;		Separado de metales (Véanse Peligros Químicos), alimentos y piensos. Mantener en la oscuridad. Ventilación a ras del suelo.	



DATOS IMPORTANTES

ESTADO FÍSICO; ASPECTO:

Líquido incoloro, de olor característico.

PELIGROS FÍSICOS:

El vapor es más denso que el aire.

PELIGROS QUÍMICOS:

En contacto con superficies calientes o con llamas, esta sustancia se descompone formando humos tóxicos y corrosivos (ácido clorhídrico, fosgeno y cloro). La sustancia se descompone lentamente en contacto con humedad, produciendo ácido tricloroacético y ácido clorhídrico. Reacciona con metales como aluminio, litio, bario, berilio.

LÍMITES DE EXPOSICIÓN:

TLV: 25 ppm (como TWA); 100 ppm (como STEL); A3 (cancerígeno animal); BEI establecido (ACGIH 2004). MAK: H (absorción dérmica), Cancerígeno: categoría 3B (DFG 2004).

VÍAS DE EXPOSICIÓN:

La sustancia se puede absorber por inhalación y por ingestión.

RIESGO DE INHALACIÓN:

Por evaporación de esta sustancia a 20°C se puede alcanzar bastante lentamente una concentración nociva en el aire.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN DE CORTA DURACIÓN:

La sustancia irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La ingestión del líquido puede dar lugar a la aspiración del mismo por los pulmones y la consiguiente neumonitis química. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central. La exposición a altas concentraciones puede producir pérdida del conocimiento.

EFFECTOS DE EXPOSICIÓN PROLONGADA O REPETIDA:

El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. La sustancia puede afectar al hígado y riñón. Esta sustancia es probablemente carcinógena para los seres humanos.

PROPIEDADES FÍSICAS

Punto de ebullición: 121 °C
 Punto de fusión: -22 °C
 Densidad relativa (agua = 1): 1,6
 Solubilidad en agua, g/100 ml a 20°C: 0,015
 Presión de vapor, kPa a 20°C: 1,9
 Densidad relativa de vapor (aire = 1): 5,8

Densidad relativa de la mezcla vapor/aire a 20°C (aire = 1): 1,09
 Coeficiente de reparto octanol/agua como log Pow: 2,9

DATOS AMBIENTALES

La sustancia es tóxica para los organismos acuáticos. La sustancia puede causar efectos prolongados en el medio acuático.

NOTAS

Está indicado examen médico periódico dependiendo del grado de exposición. La alerta por el olor es insuficiente. NO utilizar cerca de un fuego, una superficie caliente o mientras se trabaja en soldadura. Estabilizadores o inhibidores añadidos pueden influir sobre las propiedades toxicológicas de esta sustancia; consultar a un experto. Esta ficha ha sido parcialmente actualizada en abril de 2005: ver Límites de exposición.

INFORMACIÓN ADICIONAL

Límites de exposición profesional (INSHT 2012):

VLA-ED: 25 ppm; 172 mg/m³

VLA-EC: 100 ppm, 689 mg/m³

Notas: alterador endocrino.

VLB: 3 ppm en la fracción final del aire exhalado (aire alveolar). 0, 5 mg/L en sangre.

Nota legal

Esta ficha contiene la opinión colectiva del Comité Internacional de Expertos del IPCS y es independiente de requisitos legales. Su posible uso no es responsabilidad de la CE, el IPCS, sus representantes o el INSHT, autor de la versión española.



5 ASTM PRUEBA DE PENETRACIÓN

ASTM Designation: D 5 - 86

Standard Test Method for Penetration of Bituminous Materials¹

This standard is issued under the fixed designation D 5; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This method has been approved for use by agencies of the Department of Defense and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.

1. Scope

1.1 This test method covers determination of the penetration of semi-solid and solid bituminous materials. Materials having penetrations below 350 can be tested by the standard apparatus and procedure described. Materials having penetrations between 350 and 500 can be determined using the special apparatus and modifications given in 9.3.

1.2 This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of whoever uses this standard to consult and establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials²

D 2398 Test Method for Softening Point of Bitumen in Ethylene Glycol (Ring-and-Ball)³

E 1 Specification for ASTM Thermometers⁴

E 77 Method for Inspection and Verification of Liquid-in-Glass Thermometers⁴

2.2 ANSI Standards:

B 46.1 Surface Texture

2.3 IP Standards:

IP Standard Thermometers

3. Definition

3.1 *penetration*—consistency of a bituminous material expressed as the distance in tenths of a millimeter that a standard needle vertically penetrates a sample of the material under known conditions of loading, time, and temperature.

4. Summary of Method

4.1 The sample is melted and cooled under controlled conditions. The penetration is measured with a penetrometer by means of which a standard needle is applied to the sample under specific conditions.

5. Significance and Use

5.1 The penetration test is used as a measure of consistency. Higher values of penetration indicate softer consistency.

6. Apparatus

6.1 *Penetration Apparatus*—Any apparatus that permits the needle holder (spindle) to move vertically without measurable friction and is capable of indicating the depth of penetration to the nearest 0.1 mm, will be acceptable. The weight of the spindle shall be 47.5 ± 0.05 g. The total weight of the needle and spindle assembly shall be 50.0 ± 0.05 g. Weights of 50 ± 0.05 g and 100 ± 0.05 g shall also be provided for total loads of 100 g and 200 g, as required for some conditions of the test. The surface on which the sample container rests shall be flat and the axis of the plunger shall be at approximately 90° to this surface. The spindle shall be easily detached for checking its weight.

6.2 Penetration Needle:

6.2.1 The needle (see Fig. 1) shall be made from fully hardened and tempered stainless steel, Grade 440-C or equal, HRC 54 to 60. It shall be approximately 50 mm (2 in.) in length and 1.00 to 1.02 mm (0.0394 to 0.0402 in.) in diameter. It shall be symmetrically tapered at one end by grinding to a cone having an angle between 8.7° and 9.7° over the entire cone length. The cone should be coaxial with the straight body of the needle. The total axial variation of the intersection between the conical and straight surfaces shall not be in excess of 0.2 mm (0.008 in.). The truncated tip of the cone shall be within the diameter limits of 0.14 and 0.16 mm (0.0055 and 0.0063 in.) and square to the needle axis within 2° . The entire edge of the truncated surface at the tip shall be sharp and free of burrs. When surface texture is measured in accordance with American National Standard B46.1 or the United Kingdom equivalent, the surface roughness height of the tapered cone surface shall be 0.2 to $0.3 \mu\text{m}$ (8 to 12 $\mu\text{in.}$) arithmetic average. The needle shall be mounted in a brass or stainless steel ferrule and the exposed length shall be within the limits of 40 and 45 mm (1.57 and 1.77 in.).

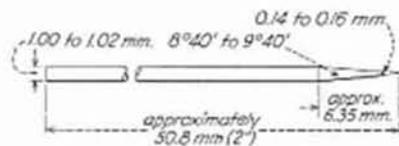


FIG. 1 Needle for Penetration Test

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-4 on Road and Paving Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D04.44 on Rheological Tests.

Current edition approved April 25, 1986. Published May 1986. Originally published as D 5 - 59 T. Last previous edition D 5 - 83.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

³ Discontinued—see 1984 Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.04.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.03.



1.77 in.). The ferrule shall be 3.2 ± 0.05 mm (0.12 ± 0.003 in.) in diameter and 38 ± 1 mm (1.50 ± 0.04 in.) in length. The needle shall be rigidly mounted in the ferrule. The run-out (total-indicator reading) of the needle tip and any portion of the needle relative to the ferrule axis shall not exceed 1 mm (0.04 in.). The weight of the ferrule needle assembly shall be 2.50 ± 0.05 g. (A drill hole at the end of the ferrule or a flat on the side is permissible to control the weight.) Individual identification markings shall be placed on the ferrule of each needle; the same markings shall not be repeated by a manufacturer within a 3-year period.

6.2.2 Needles used in testing materials for conformance to specifications shall be shown to have met the requirements of 6.2.1 when tested by a qualified agency.

NOTE 1—In the United States the manufacturer or commercial laboratories will certify the test needles for conformance to the permissible variations. In the United Kingdom the National Physical Laboratory will certify needles.

6.3 Sample Container—A metal or glass cylindrical, flat-bottom container of essentially the following dimensions shall be used:

For penetrations below 200:	
Diameter, mm	55
Internal depth, mm	35
For penetrations between 200 and 350:	
Diameter, mm	70
Internal depth, mm	45

NOTE 2—In the United States containers known as tin boxes or as seamless ointment boxes may be obtained in dimensions approximating the above requirements. A 3-oz container is used for penetrations below 200 and a 6-oz container is used for penetrations between 200 and 350.

6.4 Water Bath—A bath having a capacity of at least 10 litres and capable of maintaining a temperature of 25 ± 0.1°C or any other temperature of test within 0.1°C. The bath shall have a perforated shelf supported in a position not less than 50 mm from the bottom and not less than 100 mm below the liquid level in the bath. If penetration tests are to be made in the bath itself, an additional shelf strong enough to support the penetrometer shall be provided. Brine may be used in the bath for determinations at low temperatures.

NOTE 3—The use of distilled water is recommended for the bath. Take care to avoid contamination of the bath water by surface active agents, release agents, or other chemicals; as their presence may affect the penetration values obtained.

6.5 Transfer Dish—When used, the transfer dish shall have a capacity of at least 350 mL, and of sufficient depth of water to cover the large sample container. It shall be provided with some means for obtaining a firm bearing and preventing rocking of the container. A three-legged stand with three-point contact for the sample container is a convenient way of ensuring this.

6.6 Timing Device—For hand-operated-penetrometers any convenient timing device such as an electric timer, a stop watch, or other spring activated device may be used provided it is graduated in 0.1 s or less and is accurate to within ±0.1 s for a 60-s interval. An audible seconds counter adjusted to provide 1 beat each 0.5 s may also be used. The time for a 11-count interval must be 5 ± 0.1 s. Any automatic timing device attached to a penetrometer must be accurately calibrated to provide the desired test interval within ±0.1 s.

6.7 Thermometers—Calibrated liquid-in-glass thermometers of suitable range with subdivisions and maximum scale error of 0.1°C (0.2°F) or any other thermometric device of equal accuracy, precision and sensitivity shall be used. Thermometers shall conform to the requirements of Specification E 1.

6.7.1 Suitable thermometers commonly used are:

ASTM Number	Range
17C or 17F	19 to 27°C (66 to 80°F)
63C or 63F	-8 to +32°C (18 to 89°F)
64C or 64F	25 to 55°C (77 to 131°F)

6.7.2 The thermometer used for the water bath shall periodically be calibrated in accordance with Method E 77.

7. Preparation of Test Specimen

7.1 Heat the sample with care, stirring when possible to prevent local overheating, until it has become sufficiently fluid to pour. In no case should the temperature be raised to more than 60°C above the expected softening point for tar pitch in accordance with Test Method D 2398, or to more than 90°C above for asphalt (bitumen). Do not heat samples for more than 30 min. Avoid incorporating bubbles into the sample.

7.2 Pour the sample into the sample container to a depth such that, when cooled to the temperature of test, the depth of the sample is at least 10 mm greater than the depth to which the needle is expected to penetrate. Pour two separate portions for each variation in test conditions.

7.3 Loosely cover each container as a protection against dust (a convenient way of doing this is by covering with a lipped beaker) and allow to cool in an atmosphere at a temperature between 15 and 30°C for 1 to 1½ h for the small container and 1½ to 2 h for the larger. Then place the two samples together with the transfer dish, if used, in the water bath maintained at the prescribed temperature of test. Allow the smaller (3 oz) container to remain for 1 to 1½ h and the larger (6 oz) container to remain for 1½ to 2 h.

8. Test Conditions

8.1 Where the conditions of test are not specifically mentioned, the temperature, load, and time are understood to be 25°C (77°F), 100 g, and 5 s, respectively. Other conditions may be used for special testing, such as the following:

Temperature, °C (°F)	Load, g	Time, s
0 (32)	200	60
4 (39.2)	200	60
46.1 (115)	50	5

In such cases the specific conditions of test shall be reported.

9. Procedure

9.1 Examine the needle holder and guide to establish the absence of water and other extraneous matter. Clean a penetration needle with toluene or other suitable solvent, dry with a clean cloth, and insert the needle in the penetrometer (Note 4). Unless otherwise specified place the 50-g weight above the needle, making the total moving load 100 ± 0.1 g. If tests are made with the penetrometer in the bath, place the sample container directly on the submerged stand of the penetrometer. Keep the sample container completely covered with the water in the bath. If the tests are made with the



penetrometer outside the bath, place the sample container in the transfer dish, cover the container completely with water from the constant temperature bath and place the transfer dish on the stand of the penetrometer. In either case, position the needle by slowly lowering it until its tip just makes contact with the surface of the sample. This is accomplished by bringing the actual needle tip into contact with its image reflected by the surface of the sample from a properly placed source of light (Note 5). Either note the reading of the penetrometer dial or bring the pointer to zero. Quickly release the needle holder for the specified period of time and adjust the instrument to measure the distance penetrated in tenths of a millimetre. If the container moves, ignore the result.

NOTE 4—For certain types of asphalts erratic results are sometimes obtained. When this occurs, the customary practice in the United Kingdom is to pretreat the needles by immersing them for 5 min in a 1% solution of oleic acid prior to drying and running the test. This practice is not followed in the United States.

NOTE 5—The positioning of the needle can be materially aided by using an illuminated methyl methacrylate tube.

9.2 Make at least three determinations at points on the surface of the sample not less than 10 mm from the side of the container and not less than 10 mm apart. If the transfer dish is used, return the sample and transfer dish to the constant temperature bath between determinations. Use a clean needle for each determination. If the penetration is greater than 200, use at least three needles leaving them in the sample until the three determinations have been completed.

NOTE 6—For referee tests, penetrations at temperatures other than 25°C (77°F) should be made without removing the sample from the bath.

9.3 The needles, containers, and other conditions described in this method provide for determinations of penetrations up to 350. However, the method may be used for direct determinations up to 500 provided special containers and needles are used. The container shall be at least 60 mm in depth. The over-all volume of material in the container should not exceed 125 mL to permit proper temperature adjustment of the sample.

9.3.1 Specially made needles for such determination shall meet all the requirements of 6.2 for dimensions and weight except that the minimum exposed length of the needle shall be 50 mm.

9.3.2 An approximation of the penetration of such high penetration materials may also be obtained by determining the penetration using the standard needle and 6-oz container but with a 50-g loading. The penetration is then calculated by multiplying the result for the 50-g load by the square root of 2. That is:

Penetration under 100-g load = penetration under 50-g load × 1.414

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

TABLE 1 Precision Criteria

Table with 3 columns: Material, Standard Deviation or Coefficient of Variation (S) or (S%), and Acceptable Range of Two Test Results (D2S) or (D2S %). Rows include Single-operator precision for Asphalts and Tar pitches, and Multilaboratory precision for Asphalts and Tar pitches.

Estimates of precision for tar pitches are based on results from 2 pitches with penetration of 7 and 24. Estimates may not be applicable to appreciably harder or softer materials.

The report of results obtained by this procedure shall indicate the basis of the test.

10. Report

10.1 Report to nearest whole unit the average of three penetrations whose values do not differ by more than the following:

Table with 4 columns: Penetration ranges (0 to 49, 50 to 149, 150 to 249, 250) and Maximum difference between highest and lowest determination (2, 4, 6, 8).

10.1.1 If the differences are exceeded repeat the test using the second sample.

10.1.2 If the appropriate tolerance is again exceeded, ignore all results and repeat the test completely.

11. Precision and Bias (Note 7)

11.1 Criteria for judging the acceptability of penetration results obtained by this method are given in Table 1. The figures given in Column 2 of Table 1 are the standard deviations or coefficients of variation that have been found to be appropriate for the materials and conditions of test described in Column 1. The figures given in Column 3 are the limits that should not be exceeded by the difference between the results of two properly conducted tests. The range of two acceptable results for single operation precision is often referred to as repeatability. The range for multilaboratory precision is often referred to as reproducibility. A "test result" is the average of acceptable penetrations as described in Section 10.

NOTE 7—For definition of terms and significance of the parameters indicated reference should be made to Practice C 670.



6 ASTM PRUEBA TEMPERATURA DE ABLANDAMIENTO

Standard Test Method for Softening Point of Bitumen (Ring-and-Ball Apparatus)¹

This standard is issued under the fixed designation D 36; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

NOTE—A formula in 10.4 was corrected editorially and the year date changed on Feb. 10, 1986.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of the softening point of bitumen in the range from 30 to 157°C (86 to 315°F) using the ring-and-ball apparatus immersed in distilled water (30 to 80°C), USP glycerin (above 80 to 157°C), or ethylene glycol (30 to 110°C).

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

1.3 *This standard may involve hazardous materials, operations, and equipment. This standard does not purport to address all of the safety problems associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 670 Practice for Preparing Precision and Bias Statements for Test Methods for Construction Materials²
- D 92 Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup³
- D 140 Practice for Sampling Bituminous Materials⁴
- E 1 Specification for ASTM Thermometers⁵

3. Summary of Test Method

3.1 Two horizontal disks of bitumen, cast in shouldered brass rings, are heated at a controlled rate in a liquid bath while each supports a steel ball. The softening point is reported as the mean of the temperatures at which the two disks soften enough to allow each ball, enveloped in bitumen, to fall a distance of 25 mm (1.0 in.).

4. Significance and Use

4.1 Bitumens are viscoelastic materials without sharply defined melting points; they gradually become softer and less viscous as the temperature rises. For this reason, softening points must be determined by an arbitrary and closely defined method if results are to be reproducible.

4.2 The softening point is useful in the classification of bitumens, as one element in establishing the uniformity of shipments or sources of supply, and is indicative of the tendency of the material to flow at elevated temperatures encountered in service.

5. Apparatus

5.1 *Rings*—Two square-shouldered brass rings conforming to the dimensions shown in Fig. 1(a).

5.2 *Pouring Plate*—A flat, smooth, brass plate approximately 50 by 75 mm (2 by 3 in.).

5.3 *Balls*—Two steel balls, 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ in.) in diameter, each having a mass of 3.50 ± 0.05 g.

5.4 *Ball-Centering Guides*—Two brass guides for centering the steel balls, one for each ring, conforming to the general shape and dimensions shown in Fig. 1(b).

5.5 *Bath*—A glass vessel, capable of being heated, not less than 85 mm in inside diameter and not less than 120 mm in depth from the bottom of the flare.

NOTE 1—An 800-mL, low-form Griffin beaker of heat-resistant glass meets this requirement.

5.6 *Ring Holder and Assembly*—A brass holder designed to support the two rings in a horizontal position, conforming to the shape and dimensions shown in Fig. 1(c), supported in the assembly illustrated in Fig. 1(d). The bottom of the shouldered rings in the ring holder shall be 25 mm (1.0 in.) above the upper surface of the bottom plate, and the lower surface of the bottom plate shall be 15 ± 3 mm ($\frac{5}{8} \pm \frac{1}{8}$ in.) from the bottom of the bath.

5.7 Thermometers:

5.7.1 An ASTM Low Softening Point Thermometer, having a range from -2 to $+80^\circ\text{C}$ or 30 to 180°F , and conforming to the requirements for Thermometer 15C or 15F as prescribed in Specification E 1.

5.7.2 An ASTM High Softening Point Thermometer, having a range from 30 to 200°C or 85 to 392°F , and conforming to the requirements for Thermometer 16C or 16F as prescribed in Specification E 1.

5.7.3 An ASTM Bituminous Materials Softening Point Thermometer, having a range from -1 to $+175^\circ\text{C}$ or 30 to 350°F , and conforming to the requirements for Thermometer 113C or 113F as prescribed in Specification E 1.

5.7.4 The appropriate thermometer shall be suspended in the assembly as shown in Fig. 1(d) so that the bottom of the bulb is level with the bottom of the rings and within 13 mm (0.5 in.) of the rings, but not touching them or the ring holder.

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-8 on Roofing, Waterproofing, and Bituminous Materials and is the direct responsibility of Subcommittee D08.01 on Surfacing and Bituminous Materials for Membrane Waterproofing and Builtup Roofing.

Current edition approved Feb. 10, 1986. Published April 1986. Originally published as D 36 - 62T. Last previous edition D 36 - 84.

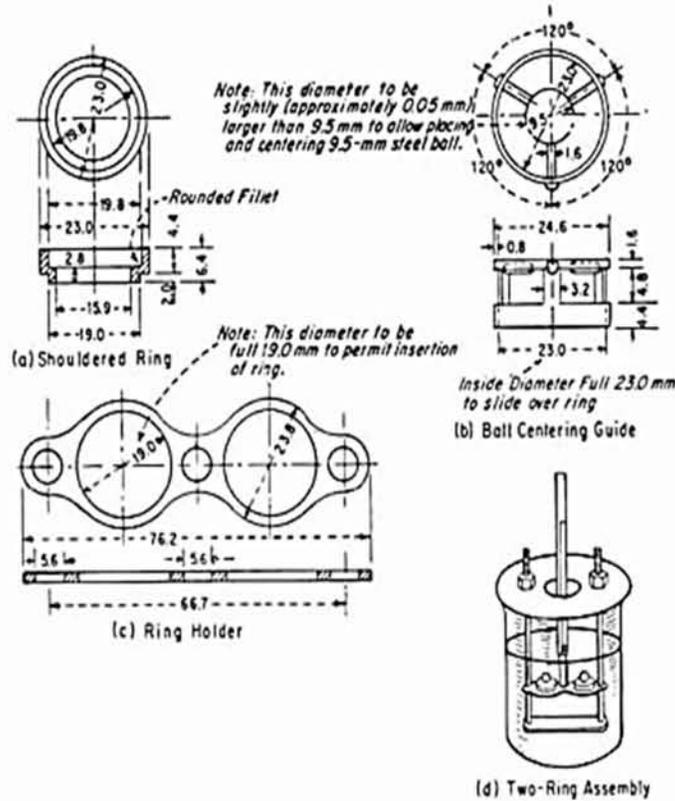
² Annual Book of ASTM Standards, Vols 04.01, 04.02, 04.04, and 04.08.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vols 04.04, 05.01, and 10.03.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vols 04.03, 04.04, and 04.08.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vols 05.03 and 14.01.

D 36



NOTE—All dimensions are in millimetres.

FIG. 1 Shouldered Ring, Ball-Centering Guide, Ring Holder, and Assembly of Apparatus Showing Two Rings

6. Reagents and Materials

6.1 Bath Liquids:

6.1.1 Freshly Boiled Distilled Water.

NOTE 2—The use of freshly boiled distilled water is essential to avoid trapping air bubbles on the surface of the specimen which may affect the results.

6.1.2 USP Glycerin, or

NOTE 3—CAUTION—Glycerin has a flash point of 160°C (320°F) in accordance with Test Method D 92.

6.1.3 Ethylene Glycol, with a boiling point between 195 and 197°C (383 and 387°F).

NOTE 4—CAUTION—Ethylene glycol is toxic when taken internally or inhaled as a vapor. Avoid prolonged or repeated skin contact and inhalation of vapors. Its flash point is 115°C (239°F) in accordance with Test Method D 92. When using this bath liquid, conduct the test in a vented laboratory hood with adequate exhaust fan capacity to ensure removal of toxic vapors.

6.2 Release Agents:

6.2.1 To prevent adhesion of bitumen to the pouring plate when casting disks, the surface of the brass pouring plate

may be thinly coated just before use with silicone oil or grease (Note 5), a mixture of glycerin and dextrin, talc, or china clay.

NOTE 5—CAUTION—Isolate silicones from other bituminous testing equipment and samples to avoid contamination, and wear disposable rubber gloves whenever handling silicones or apparatus coated with them. Silicone contamination can produce erroneous results in other tests such as those for penetration and flash point.

7. Sampling

7.1 Sample the material in accordance with Practice D 140.

8. Test Specimens

8.1 Do not start unless it is planned to complete preparation and testing of all asphalt specimens within 6 h and all coal-tar pitch specimens within 4½ h. Heat the bitumen sample with care, stirring frequently to prevent local overheating, until it has become sufficiently fluid to pour (Note 6). Stir carefully to avoid incorporation of air bubbles in the sample.



NOTE 6—An electric hot plate having a minimum power to unit-surface-area ratio of 37 kW/m² has been found satisfactory for this purpose.

8.1.1 Take no more than 2 h to heat an asphalt sample to its pouring temperature; in no case shall this be more than 110°C (200°F) above the expected softening point of the asphalt.

8.1.2 Take no more than 30 min to heat a coal-tar pitch sample to its pouring temperature; in no case shall this be more than 55°C (100°F) above the expected softening point of the coal-tar-pitch.

8.1.3 If the test must be repeated later, do not reheat this sample; use a fresh sample in a clean container to prepare new test specimens.

8.2 Heat the two brass rings (but not the pouring plate) to the approximate pouring temperature, and place them on the pouring plate treated with one of the release agents.

8.3 Pour a slight excess of the heated bitumen into each ring, and then allow the specimens to cool in ambient air for at least 30 min. For materials that are soft at room temperature, cool the specimens for at least 30 min at an air temperature at least 10°C (18°F) below the expected softening point. From the time the specimen disks are poured, no more than 240 min shall elapse before completion of the test.

8.4 When the specimens have cooled, cut away the excess bitumen cleanly with a slightly heated knife or spatula, so that each disk is flush and level with the top of its ring.

9. Procedure

9.1 Select one of the following bath liquids and thermometers appropriate for the expected softening point:

9.1.1 Freshly boiled distilled water for softening points between 30 and 80°C (86 and 176°F); use Thermometer 15C or 15F, or Thermometer 113C or 113F. The starting bath temperature shall be 5 ± 1°C (41 ± 2°F).

9.1.2 USP glycerin for softening points above 80°C (176°F) and up to 157°C (315°F); use Thermometer 16C or 16F, or Thermometer 113C or 113F. The starting bath temperature shall be 30 ± 1°C (86 ± 2°F).

9.1.3 Ethylene glycol for softening points between 30 and 110°C (86 and 230°F); use Thermometer 113C or 113F. The starting bath temperature shall be 5 ± 1°C (41 ± 2°F).

NOTE 7—For referee purposes, all softening points up to 80°C (176°F) shall be determined in a water bath and all softening points above 80°C (176°F) shall be determined in a glycerin bath.

9.2 Assemble the apparatus in the laboratory hood with the specimen rings, ball-centering guides, and thermometer in position, and fill the bath so that the liquid depth will be 105 ± 3 mm (4 1/8 ± 1/8 in.) with the apparatus in place. If using ethylene glycol, make sure the hood exhaust fan is turned on and operating properly to remove toxic vapors. Using forceps, place the two steel balls in the bottom of the bath so they will reach the same starting temperature as the rest of the assembly.

9.3 Place the bath in ice water, if necessary, or gently heat to establish and maintain the proper starting bath temperature for 15 min with the apparatus in place. Take care not to contaminate the bath liquid.

9.4 Again using forceps, place a ball from the bottom of the bath in each ball-centering guide.

9.5 Heat the bath from below so that the temperature indicated by the thermometer rises at a uniform rate of 5°C (9°F)/min (Note 8). Protect the bath from drafts, using shields if necessary. Do not average the rate of temperature rise over the test period. The maximum permissible variation for any 1-min period after the first 3 min shall be ± 0.5°C (± 1.0°F). Reject any test in which the rate of temperature rise does not fall within these limits.

NOTE 8—Rigid adherence to the prescribed heating rate is essential to reproducibility of results. Either a gas burner or electric heater may be used, but the latter must be of the low-lag, variable output type to maintain the prescribed rate of heating.

9.6 Record for each ring and ball the temperature indicated by the thermometer at the instant the bitumen surrounding the ball touches the bottom plate. Make no correction for the emergent stem of the thermometer. If the difference between the two temperatures exceeds 1°C (2°F), repeat the test.

10. Calculation

10.1 For a given bitumen specimen, the softening point determined in a water bath will be lower than that determined in a glycerin bath. Since the softening point determination is necessarily arbitrary, this difference matters only for softening points slightly above 80°C (176°F).

10.2 The change from water to glycerin for softening points above 80°C creates a discontinuity. With rounding, the lowest possible asphalt softening point reported in glycerin is 84.5°C (184°F), and the lowest possible coal-tar pitch softening point reported in glycerin is 82.0°C (180°F). Softening points in glycerin lower than these translate to softening points in water of 80°C (176°F) or less, and shall be so reported.

10.2.1 The correction for asphalt is -4.2°C (-7.6°F), and for coal-tar pitch is -1.7°C (-3.0°F). For referee purposes, repeat the test in a water bath.

10.2.2 Under any circumstances, if the mean of the two temperatures determined in glycerin is 80.0°C (176.0°F) or lower for asphalt, or 77.5°C (171.5°F) or lower for coal-tar pitch, repeat the test in a water bath.

10.3 To convert softening points slightly above 80°C (176°F) determined in water to those determined in glycerin, the correction for asphalt is +4.2°C (+7.6°F) and for coal-tar pitch is +1.7°C (+3.0°F). For referee purposes, repeat the test in a glycerin bath.

10.3.1 Under any circumstances, if the mean of the two temperatures determined in water is 85.0°C (185.0°F) or higher, repeat the test in a glycerin bath.

10.4 Results obtained by using an ethylene glycol bath will vary from those using water and glycerin by amounts calculated from the following formulas:

Asphalt:

SP (glycerin) = 1.026583 × SP (ethylene glycol) - 1.334968°C
SP (water) = 0.974118 × SP (ethylene glycol) - 1.44459°C

Coal Tar:

SP (glycerin) = 1.044795 × SP (ethylene glycol) - 5.063574°C
SP (water) = 1.061111 × SP (ethylene glycol) - 8.413488°C

† Editorially corrected.



D 36

11. Report

11.1 When using ASTM Thermometer 15C or 15F, report to the nearest 0.2°C or 0.5°F the mean or corrected mean of the temperatures recorded in 9.6 as the softening point.

11.2 When using ASTM Thermometer 16C or 16F, or ASTM Thermometer 113C or 113F, report to the nearest 0.5°C or 1.0°F the mean or corrected mean of the temperatures recorded in 9.6 as the softening point.

11.3 Report the bath liquid used in the test.

12. Precision

12.1 With distilled water or USP glycerin, the following criteria shall be used for judging the acceptability of results (95 % probability):

12.1.1 *Single-Operator Precision*—The single-operator standard deviation has been found to be 0.41°C (0.73°F). Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on the same sample of bitumen should not

differ by more than 1.2°C (2.0°F).⁶

12.1.2 *Multilaboratory Precision*—The multilaboratory standard deviation has been found to be 0.70°C (1.26°F). Therefore, results of two properly conducted tests on the same sample of bitumen from two laboratories should not differ by more than 2.0°C (3.5°F).⁶

12.2 With ethylene glycol, the following criteria shall be used for judging the acceptability of results:

12.2.1 *Single-Operator Precision*—The single-operator standard deviation has been found to be 0.72°C (1.29°F). Therefore, results of two properly conducted tests by the same operator on the same sample of bitumen should not differ by more than 2.0°C (3.5°F).⁶

12.2.2 *Multilaboratory Precision*—The multilaboratory standard deviation has been found to be 1.08°C (1.95°F). Therefore, results of two properly conducted tests on the same sample of bitumen from two laboratories should not differ by more than 3.0°C (5.5°F).⁶

⁶ These numbers represent, respectively, the (1S) and (D2S) limits as described in Practice C 670.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



6.2 RESULTADOS

Tabla 6 Cálculos para obtener la velocidad angular de un asfalto con el 2% de polímero

VELOCIDAD rad/s	VISCOSIDAD lbf s ft-1	esfuerzo lbf ft	longitud ft	Viscosidad aparente lbf s ft-1	$V\theta/r$	$((1/r^2)-(1/R^2))$
1.047197551	0.0851675	0.000148373	0.0075	178.2531194	54.2126423	1239.341662
1.047197551	0.0820325	0.000148373	0.0075	165.5207538	52.2641442	1239.341662
1.047197551	0.08151	0.000148373	0.0075	169.7648756	53.9478675	1239.341662
1.047197551	0.0799425	0.000148373	0.0075	164.4597233	53.2867416	1239.341662
1.047197551	0.07733	0.000148373	0.0075	160.2156014	53.6653702	1239.341662
2.094395102	0.076285	0.000296746	0.0075	310.8819285	105.55861	1239.341662
2.094395102	0.0749892	0.000296746	0.0075	304.5157457	105.183682	1239.341662
2.094395102	0.0744667	0.000296746	0.0075	305.5767762	106.290775	1239.341662
2.094395102	0.0734217	0.000296746	0.0075	301.3326543	106.306323	1239.341662
2.094395102	0.0736725	0.000296746	0.0075	301.3326543	105.944429	1239.341662
4.188790205	0.072105	0.000593493	0.0075	580.3836686	208.490916	1239.341662
4.188790205	0.0717079	0.000593493	0.0075	585.688821	211.561806	1239.341662
4.188790205	0.0719796	0.000593493	0.0075	586.7498515	211.145045	1239.341662
4.188790205	0.0713108	0.000593493	0.0075	583.56676	211.969108	1239.341662
4.188790205	0.0725021	0.000593493	0.0075	576.1395467	205.832731	1239.341662
6.283185307	0.0706211	0.000890239	0.0075	852.0074697	312.497293	1239.341662
6.283185307	0.0705375	0.000890239	0.0075	857.312622	314.815778	1239.341662
6.283185307	0.0699314	0.000890239	0.0075	850.9464392	315.186304	1239.341662
6.283185307	0.0700986	0.000890239	0.0075	846.7023173	312.866266	1239.341662
6.283185307	0.0694925	0.000890239	0.0075	849.8854087	316.781472	1239.341662
6.806784083	0.0692208	0.000964426	0.0075	909.3031152	340.258827	1239.341662
6.806784083	0.0684057	0.000964426	0.0075	908.2420847	343.911474	1239.341662
6.806784083	0.0683221	0.000964426	0.0075	909.3031152	344.734547	1239.341662
6.806784083	0.0688864	0.000964426	0.0075	898.6928105	337.920947	1239.341662
6.806784083	0.0692835	0.000964426	0.0075	908.2420847	339.554225	1239.341662



Tabla 7 Cálculos de velocidad angular para un asfalto con el 2% de aditivo

VELOCIDAD rad/s	VISCOSIDA D lbf s ft-1	Esfuerzo lbf ft	longitud ft	viscosidad aparente lbf s ft-1	$V_{\theta/r}$	$((1/r^2)-(1/R^2))$
1.047197551	0.122683	0.000148	0.0075	0.001574285	15.90343443	1239.341662
1.047197551	0.10241	0.000148	0.0075	0.001574285	19.05166532	1239.341662
1.047197551	0.0914375	0.000148	0.0075	0.001574285	21.33786516	1239.341662
1.047197551	0.0872575	0.000148	0.0075	0.001574285	22.36003834	1239.341662
1.047197551	0.08151	0.000148	0.0075	0.001574285	23.93670771	1239.341662
1.047197551	0.0788975	0.000148	0.0075	0.001574285	24.72931393	1239.341662
1.047197551	0.072105	0.000148	0.0075	0.001574285	27.05888698	1239.341662
1.047197551	0.072105	0.000148	0.0075	0.001574285	27.05888698	1239.341662
1.047197551	0.0694925	0.000148	0.0075	0.001574285	28.07613837	1239.341662
1.047197551	0.0694925	0.000148	0.0075	0.001574285	28.07613837	1239.341662
2.094395102	0.061655	0.000297	0.0075	0.003148569	63.29027802	1239.341662
2.094395102	0.0425733	0.000297	0.0075	0.003148569	91.65749639	1239.341662
2.094395102	0.0587917	0.000297	0.0075	0.003148569	66.3726698	1239.341662
2.094395102	0.0551342	0.000297	0.0075	0.003148569	70.77570893	1239.341662
2.094395102	0.0567017	0.000297	0.0075	0.003148569	68.81913754	1239.341662
2.094395102	0.055385	0.000297	0.0075	0.003148569	70.45521515	1239.341662
2.094395102	0.0535667	0.000297	0.0075	0.003148569	72.84678898	1239.341662
2.094395102	0.05225	0.000297	0.0075	0.003148569	74.68252806	1239.341662
2.094395102	0.0517275	0.000297	0.0075	0.003148569	75.43689703	1239.341662
2.094395102	0.0548625	0.000297	0.0075	0.003148569	71.1262172	1239.341662
3.141592654	0.0505153	0.000445	0.0075	0.004722854	115.8706993	1239.341662
3.141592654	0.0515603	0.000445	0.0075	0.004722854	113.5222863	1239.341662
3.141592654	0.05016	0.000445	0.0075	0.004722854	116.6914501	1239.341662
3.141592654	0.0505153	0.000445	0.0075	0.004722854	115.8706993	1239.341662
3.141592654	0.0485925	0.000445	0.0075	0.004722854	120.4556904	1239.341662
5.235987756	0.0479655	0.000742	0.0075	0.007871423	203.383791	1239.341662
5.235987756	0.047234	0.000742	0.0075	0.007871423	206.53354	1239.341662
5.235987756	0.0467115	0.000742	0.0075	0.007871423	208.8437586	1239.341662
5.235987756	0.0469205	0.000742	0.0075	0.007871423	207.9134968	1239.341662
5.235987756	0.0458755	0.000742	0.0075	0.007871423	212.6495674	1239.341662
6.283185307	0.04598	0.00089	0.0075	0.009445708	254.5995275	1239.341662
6.283185307	0.0465025	0.00089	0.0075	0.009445708	251.7388586	1239.341662
6.283185307	0.0458128	0.00089	0.0075	0.009445708	255.5287228	1239.341662
6.283185307	0.0469623	0.00089	0.0075	0.009445708	249.2741257	1239.341662



6.283185307	0.0452903	0.00089	0.0075	0.009445708	258.4766776	1239.341662
7.330382858	0.0453112	0.001039	0.0075	0.011019992	301.4170298	1239.341662
7.330382858	0.0452276	0.001039	0.0075	0.011019992	301.9741777	1239.341662
7.330382858	0.0454575	0.001039	0.0075	0.011019992	300.446952	1239.341662
7.330382858	0.0444961	0.001039	0.0075	0.011019992	306.9385254	1239.341662
7.330382858	0.0454575	0.001039	0.0075	0.011019992	300.446952	1239.341662

Tabla 8 Cálculos para velocidad angular de un asfalto sin modificar a 120 y 130 °C

VELOCIDAD rad/s	VISCOSIDAD lbf s ft-1	esfuerzo lbf ft	longitud ft	viscosidad aparente lbf s ft-1	$V_{\theta/r}$	$((1/r^2)-(1/R^2))$
5.23598776	0.027797	0.00074187	0.0075	0.00787144	350.95173	1239.34166
5.23598776	0.0254771	0.00074187	0.0075	0.00787144	382.908778	1239.34166
5.23598776	0.0414865	0.00074187	0.0075	0.00787144	235.146499	1239.34166
5.23598776	0.019019	0.00074187	0.0075	0.00787144	512.929451	1239.34166
5.23598776	0.018183	0.00074187	0.0075	0.00787144	536.512414	1239.34166
5.23598776	0.011286	0.00074187	0.0075	0.00787144	864.381112	1239.34166
5.23598776	0.0107635	0.00074187	0.0075	0.00787144	906.34136	1239.34166
5.23598776	0.0103455	0.00074187	0.0075	0.00787144	942.961213	1239.34166
10.4719755	0.0101365	0.00148373	0.0075	0.01574288	1924.80742	1239.34166
10.4719755	0.0098648	0.00148373	0.0075	0.01574288	1977.82119	1239.34166
10.4719755	0.0097603	0.00148373	0.0075	0.01574288	1998.997	1239.34166
10.4719755	0.0097185	0.00148373	0.0075	0.01574288	2007.59484	1239.34166



BIBLIOGRAFÍA

1. The American Society for Testing and Materials Standard Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements, ASTM D8, 1991.
2. The American Society for Testing and Materials Standard test method for penetration of bituminous materials ASTM D5, 1986.
3. The American Society for Testing and Materials. Standard test method for softening point of bitumen (Ring and Ball Apparatus). ASTM D36, 1986.
4. The American Society for Testing and Materials Standard Practice for Determining the Separation Tendency Polymer from Polymer Modified Asphalt ASTM D7173, 2011.
5. M-MMP-4-05-005 Viscosidad Rotacional Brookfield de cementos asfálticos
6. N-CTM-4-05-003/02 Calidad de mezclas asfálticas para carretera
7. N-CMT-4-05-003-08 Mezclas asfálticas para carreteras
8. N-CMT-4-05-002-06 Materiales asfálticos modificados
9. N-CMT-4-05-001-06 Materiales asfálticos
10. Normas de construcción de la Administración Pública del Distrito Federal, Tomo I, II y III.
11. Bird, Robert, *Fenómenos de transporte*, Editorial Limusa, 2006.
12. Calderas García, Fausto, *Reología del Fundido de la Mezcla PET-SBR funcionalizado con anhídrido maleico*, tesis de licenciatura, Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM, 1999.
13. Carranza Gallardo, Alexa, *Modificación de asfalto con polietilenos funcionalizados con anhídrido maleico*, tesis de licenciatura, Facultad de Química, UNAM, 2012.
14. Coalt Lorenzo, Alejandra, Estudio de propiedades termo mecánicas de mezclas asfalto-hule de llanta, Facultad de Química, UNAM, 2013.



15. Figueroa Infante, Ana Sofía, Fonseca Santillana, Elsa Beatriz, Reyes Lizcano, Fredy Alberto, *Physicochemical and Micromorphological Evaluation of Asphalt Modified with Recycled Materials*, Bogotá, 2008.
16. Francis, Wilfrid, Los combustibles y su tecnología, Editorial Urmo, 2008.
17. García Eiler, Luciana Martina, *Reología de ligantes asfálticos mediante el viscosímetro de Brookfield*, centro de investigaciones viales, 2009
18. González García, Esteban Alberto, tesis de maestría, Facultad de Química, UNAM, 2012.
19. Wulf Rodríguez, Fernando Andrés, *Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero*, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Chile, 2008.
20. <http://www.plantadeasfalto.df.gob.mx/wb/pa/inicio>
Tipos de mezclas asfálticas.
Fecha: 28/09/2014
21. <http://asfaltoenobravicivil.blogspot.mx/2012/07/definicion.html>
Definición de asfalto
Fecha: 01/10/2014
22. <http://www.mopc.gov.py/userfiles/files/asfalto.pdf>
Composición de mezcla asfáltica
Fecha: 01/10/2014
23. http://www.acaceres.addr.com/student_access/Asphalt.pdf
Características del asfalto
Fecha: 11/10/2014
24. <http://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-02-003-04.pdf>
Norma N-CTM-4-02-003-04 Características de calidad
Fecha: 11/10/2014
25. [http://www.ecoportal.net/Eco-Noticias/impacto ambiental de las plantas de asfalto](http://www.ecoportal.net/Eco-Noticias/impacto_ambiental_de_las_plantas_de_asfalto)
Impacto ambiental que causa el asfalto
Fecha: 23/02/2015
26. http://www.e-asphalt.com/orig_asf/historia_del_asfalto.htm
Origen del asfalto
Fecha: 01/02/2015