



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE UN ASFALTO TIPO AC-20 POR MEDIO DEL
MÉTODO UCL® (MÉTODO UNIVERSAL DE
CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES)”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA:
MARIO CABRERA HUANTE**

**ASESOR:
DR. JORGE ALARCÓN IBARRA**

MORELIA, MICHOACÁN, FEBRERO DEL 2008



DEDICATORIAS

A mis Padres:

Dedico especialmente este trabajo a mis padres, Elías Cabrera Navarrete y Leticia Huante Magaña como un homenaje, por el gran sacrificio y sus privaciones que hicieron por llevarme a lograr este gran triunfo que también es de ellos.

A mí Hermanos:

A mis hermanos Erick y Edgar por brindarme su apoyo incondicional y su cariño.

A mis Abuelos:

A mis abuelos por su apoyo y lo más importante su amor.

A mí Familia:

Gracias a toda mi familia por los consejos y apoyo incondicional que siempre me ofrecieron en todo momento.

A mis Amigos:

A mis Amigos con quienes compartí tristezas y alegrías durante la carrera y han sido como una segunda familia para mí. Y a sus familias por abrirme las puertas de su casa y recibirme con todo cariño.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, que en todo momento me ofreciste sabiduría y fuerza para poder lograr este triunfo que es de todas las personas que me apoyaron.

A mis padres, sabiendo que jamás existirá una forma de agradecer una vida de lucha, sacrificio y esfuerzo constante.

A la Facultad de Ingeniería Civil por admitirme y dejarme transitar en la academia del conocimiento para mi formación.

A mi asesor. Dr. Jorge Alarcón Ibarra por brindarme su ayuda y conocimiento para realizar el presente trabajo.

A todos mis amigos que siempre me apoyaron de una forma o de otra, pero que siempre estuvieron al pendiente de mi formación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL	IV
TABLAS Y FIGURAS	VII
TABLAS.....	VII
FIGURAS.....	VII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
CAPÍTULO 1.- ASFALTOS	3
1.1.- RESEÑA HISTÓRICA.....	3
1.2.- DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN.....	4
1.2.1.- Cementos Asfálticos.....	5
1.2.2.- Emulsiones Asfálticas.....	7
1.2.3.- Asfaltos Rebajados.....	9
CAPÍTULO 2.- MEZCLAS ASFÁLTICAS	10
2.1.- DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN.....	10
2.1.1.- Mezclas Asfálticas en Caliente.....	10
2.1.2.- Mezclas Asfálticas en Frío.....	11
2.1.3.- Mezclas Asfálticas por el Sistema de Riegos.....	11
2.2.- CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS.....	12
CAPÍTULO 3.- MÉTODOS TRADICIONALES DE CARACTERIZACIÓN DE ASFALTOS	15
3.1.- MUESTREO DE MATERIALES ASFÁLTICOS.....	15
3.1.1.- Muestreo en un sólo Depósito.....	15
3.1.2.- Muestreo en Varios Depósitos.....	18
3.1.3.- Muestreo Durante las Maniobras de Carga y Descarga o de Aplicación del Material Asfáltico.....	20
3.1.4.- Envase, Identificación, Transporte y Almacenamiento.....	20
3.2.- VISCOSIDAD DINÁMICA DE CEMENTOS Y RESIDUOS ASFÁLTICOS.....	22
3.2.1.- Objetivo de la Prueba.....	22
3.2.2.- Equipo y Materiales.....	22
3.2.4.- Determinación de la Viscosidad Dinámica.....	28
3.2.5.- Procedimiento de la Prueba.....	30
3.2.6.- Cálculos y Resultados.....	31
3.2.7.- Precauciones para Evitar Errores.....	32
3.3.- VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE CEMENTOS ASFÁLTICOS.....	32
3.3.2.- Objetivo de la Prueba.....	32
3.3.3.- Equipo y Materiales.....	33
3.3.4.- Preparación de la Muestra.....	35
3.3.5.- Determinación de la Viscosidad Cinemática.....	35
3.3.6.- Cálculos y Resultados.....	38
3.3.7.- Precauciones para Evitar Errores.....	38
3.4.- VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL EN MATERIALES ASFÁLTICOS.....	39
3.4.1.- Objetivo de la Prueba.....	39
3.4.2.- Equipo y Materiales.....	39
3.4.3.- Preparación de la Muestra.....	43
3.4.4.- Procedimiento de la Prueba.....	44
3.4.5.- Cálculos y Resultados.....	47
3.4.6.- Precauciones para Evitar Errores.....	47

3.5.- VISCOSIDAD ROTACIONAL BROOKFIELD DE CEMENTOS ASFÁLTICOS	48
3.5.1.- <i>Objetivo de la Prueba</i>	48
3.5.2.- <i>Equipo</i>	48
3.5.3.- <i>Preparación del Equipo</i>	48
3.5.4.- <i>Preparación de la Muestra</i>	49
3.5.5.- <i>Procedimiento de la Prueba</i>	50
3.5.6.- <i>Cálculos y Resultados</i>	51
3.5.7.- <i>Precauciones para Evitar Errores</i>	51
3.6.- PENETRACIÓN EN CEMENTOS Y RESIDUOS ASFÁLTICOS	51
3.6.1.- <i>Objetivo de la Prueba</i>	51
3.6.2.- <i>Equipo</i>	52
3.6.3.- <i>Preparación de la Muestra</i>	54
3.6.4.- <i>Procedimiento de la Prueba</i>	55
3.6.5.- <i>Cálculos y Resultados</i>	56
3.6.6.- <i>Precauciones para Evitar Errores</i>	57
3.7.- PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND EN CEMENTOS ASFÁLTICOS	57
3.7.1.- <i>Objetivo de la Prueba</i>	57
3.7.2.- <i>Equipo</i>	58
3.7.3.- <i>Preparación de la Muestra</i>	60
3.7.4.- <i>Procedimiento de la Prueba</i>	60
3.7.5.- <i>Cálculos y Resultados</i>	62
3.7.6.- <i>Precauciones para Evitar Errores</i>	62
3.8.- SOLUBILIDAD DE CEMENTOS Y RESIDUOS ASFÁLTICOS	63
3.8.1.- <i>Objetivo de la Prueba</i>	63
3.8.2.- <i>Equipo y Materiales</i>	63
3.8.3.- <i>Preparación de la Muestra</i>	65
3.8.4.- <i>Procedimiento de la Prueba</i>	65
3.8.5.- <i>Cálculos y Resultados</i>	67
3.8.6.- <i>Precauciones para Evitar Errores</i>	67
3.9.- PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EN CEMENTOS ASFÁLTICOS	68
3.9.1.- <i>Objetivo de la Prueba</i>	68
3.9.2.- <i>Equipo y Materiales</i>	68
3.9.3.- <i>Preparación de la Muestra</i>	71
3.9.4.- <i>Ejecución de la Prueba</i>	72
3.9.5.- <i>Resultados</i>	73
3.9.6.- <i>Recomendaciones para Evitar Errores</i>	73
3.10.- PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA PELÍCULA DELGADA DE CEMENTOS ASFÁLTICOS ..	74
3.10.1.- <i>Objetivo del Prueba</i>	74
3.10.2.- <i>Equipo y Materiales</i>	74
3.10.3.- <i>Preparación de la Muestra</i>	76
3.10.4.- <i>Procedimiento de la Prueba</i>	76
3.10.5.- <i>Cálculos y Resultados</i>	78
3.10.6.- <i>Precauciones para Evitar Errores</i>	80
3.11.- DUCTILIDAD DE CEMENTOS Y RESIDUOS ASFÁLTICOS.....	80
3.11.1.- <i>Objetivo de la Prueba</i>	80
3.11.2.- <i>Equipo y Materiales</i>	80
3.11.3.- <i>Preparación de la Muestra</i>	82
3.11.4.- <i>Procedimiento de la Prueba</i>	83
3.11.5.- <i>Resultados</i>	84
3.11.6.- <i>Precauciones para Evitar Errores</i>	84

CAPÍTULO 4.- MÉTODO UCL® (MÉTODO UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES).....	85
4.1.- ANÁLISIS POR TEMPERATURA	87
4.2.- ANÁLISIS POR EFECTO DEL AGUA	88
4.3.- ANÁLISIS POR ENVEJECIMIENTO.....	89
CAPITULO 5.- FASE EXPERIMENTAL	91
5.1.- MATERIALES	91
5.2.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	92
5.2.1.- Muestreo de materiales.....	92
5.2.2.- Fabricación de probetas.....	93
5.3.- PROCEDIMIENTO DE ENVEJECIMIENTO DE LAS PROBETAS	98
5.4.- PROCEDIMIENTO DE INMERSIÓN EN AGUA	101
5.5.- ENSAYO DE LAS PROBETAS	102
5.5.1.- Descripción de la Prueba de Desgaste.....	102
5.6.- ANÁLISIS DE RESULTADOS	106
5.6.1.- Resultados de las Pruebas en Probetas Preparadas por el Procedimiento de Efecto del Agua	106
5.6.2.- Resultados de las Pruebas en Probetas Preparadas por el Procedimiento de Efecto de Temperatura.....	107
5.6.3.- Resultados de las Pruebas en Probetas Preparadas por el Procedimiento de Envejecimiento	110
CAPÍTULO 6.- CONCLUSIONES.....	112
BIBLIOGRAFÍA	113

TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1. 1.- Clasificación de los materiales asfálticos. (Fuente Norma SCT N-CMT-4-05-001/06)	5
Tabla 1.2.- Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60 °C. (Fuente Norma SCT N-CMT-4-05-001/06)	6
Tabla 1. 3.- Clasificación de las emulsiones asfálticas. (Fuente Norma SCT N-CMT-4-05-001/06)	9
Tabla 1. 4.- Clasificación de los asfaltos rebajados. (Fuente Norma SCT N-CMT-4-05-001/06)	9
Tabla 3. 1.- Número de muestras y nivel de muestreo en función del tirante de asfalto en el depósito. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-001/00)	17
Tabla 3. 2.- Composición de muestras integrales de materiales asfálticos que se almacenen en tanques cilíndricos horizontales. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-001/00)	18
Tabla 3. 3.- Número de depósitos a muestrear. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-001/00).....	19
Tabla 3. 4.- Tamaños de viscosímetros estándar, radio capilar, factores de calibración aproximados (K) y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío del Instituto del Asfalto(AIVV), (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-002/02)	24
Tabla 3. 5.- Tamaños de viscosímetros estándar, radio capilar, factores de calibración aproximados (K), y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío Koppers modificados (MKVV), (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-002/02)	25
Tabla 3. 6.- Viscosidades estándar de aceites utilizados para la calibración de los viscosímetros. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-002/02)	28
Tabla 3. 7.- Tamaños nominales, factores de calibración aproximados (C), rangos de viscosidad y dimensiones para viscosímetros capilares de flujo inverso Zeitfuchs Cross-Arm. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-003/02)	33
Tabla 3. 8.- Viscosidades estándar de aceites utilizados para la calibración de los viscosímetros. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-003/02)	36
Tabla 3. 9.- Diferencias permisibles entre los valores de penetración considerados para el cálculo de resultados. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-006/00)	57
Tabla 5. 2.- Resultados de las probetas que sufrieron efecto del agua	106
Tabla 5. 3.- Resultado de las probetas que sufrieron el efecto de la temperatura	108
Tabla 5. 4.- Resultado de las probetas que sufrieron el efecto de envejecimiento	110

FIGURAS

Figura 1. 1- Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60 °C. (Fuente Norma SCT N-CMT-4-05-001/06)	8
Figura 3. 1.- Muestreadores para materiales asfálticos. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-001/00).....	16
Figura 3. 2.-Viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV). (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-002/02)	23
Figura 3. 3.- Viscosímetro capilar de vacío Koppers modificado (MKVV). (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-002/02)	25
Figura 3. 4.- Sistema de vacío sugerido para viscosímetros capilares de vacío. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-002/02)	27
Figura 3. 5.- Viscosímetro Zeitfuchs Cross-Arm. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-003/02)	34
Figura 3. 6.- Tubo de viscosidad Saybolt y boquilla con orificio Furol. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-004/00)	40
Figura 3. 7.-Matraz aforado. . (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-004/00).....	41

Figura 3. 8.- Embudo para filtrado. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-004/00)	43
Figura 3. 9.- Viscosímetro digital Brookfield. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-005/02)	49
Figura 3. 10.- Penetrómetro para la prueba de penetración. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-006/00)	52
Figura 3. 11.- Aguja para la prueba de penetración. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-006/00)	53
Figura 3. 12.- Copa abierta de Cleveland. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-007/00)	58
Figura 3. 13.- Montaje del equipo. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-007/00).....	59
Figura 3. 14.- Placa circular de apoyo para la copa de Cleveland. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-007/00)	59
Figura 3. 15.- Equipo para filtrado. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-008/00)	64
Figura 3. 16.- Anillo para la prueba de punto de reblandecimiento. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-009/00)	68
Figura 3. 17.- Portanillos para la prueba de punto de reblandecimiento. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-009/00)	69
Figura 3. 18.- Montaje del sistema de soporte. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-009/00).....	70
Figura 3. 19.- Guía para centrar la esfera. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-009/00).....	70
Figura 3. 20.- Ductilómetro. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-011/00)	81
Figura 3. 21.- Molde para elaborar la briqueta. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-011/00)	81
Figura 4. 1.- Máquina de los Ángeles.....	86
Figura 4. 2.- Horno eléctrico	87
Figura 4. 3.-Peso inicial de la probeta antes de ser ensayada	88
Figura 4. 4.- Probeta dentro de la Máquina de los Ángeles para ser probada.....	89
Figura 5. 1.- Material pétreo utilizado en las probetas	93
Figura 5. 2.- Material listo para la fabricación de las probetas	94
Figura 5. 3.- Mezcla homogenizada	95
Figura 5. 4.-Máquina compactadora Marshall.....	96
Figura 5. 5.- Probetas antes de ser desmontadas del molde	97
Figura 5. 6.- Limpieza de los moldes después de la fabricación.	97
Figura 5. 7.- Malla de alambre galvanizado	98
Figura 5. 8.- Malla de mosquitero metálica	99
Figura 5. 9.- Colocación de las mallas.....	99
Figura 5. 10.- Probeta lista para ser envejecida	100
Figura 5. 11.- Baño Marshall.....	101
Figura 5. 12.- Probetas dentro del baño Marshall.....	102
Figura 5. 13.- Probetas en el horno eléctrico calibrado a la temperatura para ser probadas	103
Figura 5. 14.- Congelador del laboratorio de materiales	104
Figura 5. 15.- Gráfica del resultado de las pruebas de efecto del agua en materiales asfálticos.....	107
Figura 5. 16.- Gráfica del resultado de las pruebas de efecto de la temperatura en materiales asfálticos	108
Figura 5. 17.- Gráfica de la comparación del resultado de las pruebas de efecto del agua y temperatura en materiales asfálticos	109
Figura 5. 18.- Gráfica de resultados de las probetas con efecto de envejecimiento.	111

INTRODUCCIÓN

El rápido crecimiento y desarrollo de las vías de comunicación ha provocado que el hombre mejore las técnicas de construcción y de esta manera tratar de mejorar la calidad de los materiales para que estos tengan un alto desempeño.

Para la mejora de las vías de comunicación se han empleado diversos materiales los que van desde materiales granulares para la construcción de simples terracerías, hasta el empleo de concreto hidráulico, pero la mayoría de las carreteras están compuestas por pavimentos flexibles lo que implica que por lo menos una capa de estos pavimentos está compuesta por una mezcla asfáltica, por lo que el asfalto se convierte en un elemento muy importante.

La determinación de las especificaciones para poder utilizar un material asfáltico están relacionadas con la calidad del material, sin considerar casi en ningún caso la afinidad del pétreo y el cemento asfáltico. Así mismo, la caracterización de ligantes se ha venido realizando mediante una serie de ensayos como Penetración, Punto de reblandecimiento, Fragilidad, Ductilidad, etc., la mayor parte de los cuales se utilizan para identificar el producto y comprobar que satisface las especificaciones establecidas, estos valores intentan que el producto cumpla con una serie de propiedades, fijando unos rangos dentro de los que deben encontrarse los resultados de los ensayos, cuyo cumplimiento debería garantizar un buen comportamiento del asfalto en servicio.

Así pues, los procedimientos seguidos se basan en establecer indirectamente el comportamiento mecánico de la mezcla a través de ciertas características físicas y químicas del ligante y del pétreo. El método que se expondrá en este trabajo es mucho más directo y sencillo, y trata de valorar el ligante en función, precisamente, de las propiedades funcionales de la mezcla analizando su cohesión, susceptibilidad térmica, adhesividad y durabilidad.

El método UCL[®] fue desarrollado en la Universidad Politécnica de Cataluña, basado en la aplicación del ensayo cántabro de pérdida por desgaste, constituye un procedimiento de caracterización basado en la medida de la cohesión y en cómo varía esta propiedad con la temperatura, la acción del agua o el envejecimiento.

El Método Universal de Caracterización de Ligantes (Método UCL[®]), tiene un amplio campo de aplicación, ya que permite caracterizar tanto asfaltos convencionales, como asfaltos modificados y comparar sus comportamientos.

En este trabajo de investigación se llevó a cabo la fabricación de probetas utilizando un asfalto convencional tipo AC-20 para después ser ensayadas en la máquina de los Ángeles por medio del procedimiento del método UCL[®] (Método Universal de Caracterización de Ligantes) analizando los parámetros fundamentales que afectan al funcionamiento de los asfaltos y así conocer el comportamiento de un cemento asfáltico tipo AC-20 convencional.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este trabajo de investigación es conocer el comportamiento de un cemento asfáltico convencional, de tipo AC-20, mediante la aplicación del método UCL[®] (Método Universal de Caracterización de Ligantes), estudiando tres factores importantes como los son, el comportamiento del material asfáltico sometiendo a diferentes temperaturas, también consideraremos el efecto que le produce el agua en sus características principales, así como ver el cambio que sufren los pavimentos asfálticos con el tiempo.

Además de analizar el procedimiento del Método UCL[®] (Método Universal de Caracterización de Ligantes), ya que este no es un método tradicional, no es considerado para determinar las especificaciones con las que debe de cumplir el material asfáltico.

CAPÍTULO 1.- ASFALTOS

1.1.- RESEÑA HISTÓRICA

El asfalto es uno de los materiales mas antiguos que se conocen, se han encontrado esqueletos intactos de animales prehistóricos en depósitos superficiales. Tal es el caso del llamado La Brea cerca de Los Ángeles California.

Resientes excavaciones arqueológicas muestran el extenso uso que se dio al asfalto en los valles de Mesopotamia y del Indo entre los años 3200 a 540 a. de C. lo usaban como un cementante para la construcción de mamposterías y de caminos, en otros lugares lo usaban como impermeabilizantes para baños en los templos y en depósitos de agua. Existen dos referencias bíblicas, una cuando Noe la usó para calafatear su arca y la segunda para sellar la canasta en la que Moisés fue depositado en las aguas del Nilo.

Por el año 300 a. de C. los egipcios utilizaban ampliamente el asfalto para los tratamientos de preservación y momificación de sus muertos. Los nativos de América lo emplearon para impermeabilizar sus canoas, esto antes de que el hombre blanco llegara al nuevo continente, en México los Totonacas de la región de Papantla, Veracruz; lo recogían de la superficie de las aguas para utilizarlo como medicina y como incienso para los suscritos; en las costas mexicanas de Oaxaca lo masticaban para limpiar y blanquear su dentadura.

En 1802 en Francia se usó para el terminado superficial de pisos, puentes y banquetas. En 1838 en Filadelfia se usó asfalto de roca importado para la construcción de banquetas.

En 1870 en Nueva Yérsey se colocó el primer pavimento asfáltico utilizando roca asfáltica importada del valle de Ródano en Francia. El diseño lo realizó un químico de origen belga llamado E. J. Desmet.

En 1876 se aplicó la primera capa de mezcla asfáltica con arena en Washington D.C.; utilizando la roca asfáltica mencionada y también asfalto importado del Lago La Trinidad cerca de Venezuela.

Los asfaltos empleados en estos primeros trabajos fueron desde luego asfaltos naturales, es decir en forma de yacimientos los cuales podían explotarse fácilmente y sin requerir complicadas operaciones industriales para su preparación.

Conforme creció la demanda del asfalto para su uso en la construcción, los yacimientos naturales no fueron suficientes para cubrir la demanda de este producto, en la segunda mitad del siglo XIX se empezó a utilizar el asfalto procedente de la destilación del petróleo, los primeros fueron en el año de 1886 en los Estados Unidos de América.

En México el uso generalizado del asfalto derivado del petróleo se inició en el año 1925 al emprenderse la construcción de los primeros caminos pavimentados, como consecuencia del aumento de vehículos automotores fue creciendo la necesidad de caminos pavimentados tales fueron los casos de la carretera México–Pachuca y México-Cuernavaca.

1.2.- DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

El asfalto es un material bituminoso de color negro, constituido principalmente por asfaltenos, resinas y aceites, elementos que le proporcionan las características de consistencia, aglutinación y ductilidad; es sólido o semisólido y tiene propiedades cementantes a temperaturas ambientes normales. Al calentarse se ablanda gradualmente hasta alcanzar una consistencia líquida.

Los materiales asfálticos se emplean en la elaboración de carpetas, mezclas, morteros, riegos y estabilizaciones, ya sea para aglutinar los materiales pétreos utilizados, para ligar o unir diferentes capas del pavimento; o bien para estabilizar bases y subbases.

También se pueden usar para construir, fabricar o impermeabilizar otras estructuras, tales como algunas obras completamente de drenaje, entre otras.

Los materiales asfálticos se clasifican en cementos asfálticos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados, dependiendo del vehículo que se emplee para su incorporación o aplicación, como se indica en la Tabla 1.1 y se detalla a continuación.

Tabla 1. 1.- Clasificación de los materiales asfálticos. (Fuente Norma SCT N-CMT-4-05-001/06)

Material asfáltico	Vehículo para su aplicación	Usos más comunes
Cemento asfáltico	Calor	Se utiliza en la elaboración en caliente de carpetas, mezclas, morteros y estabilizaciones, así como elemento base para la fabricación de emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados.
Emulsión Asfáltica	Agua	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas, mezclas, morteros, riegos y estabilizaciones.
Asfalto rebajado	Solventes	Se utiliza en la elaboración en frío de carpetas y para la impregnación de subbases y bases hidráulicas.

1.2.1.- Cementos Asfálticos

Los cementos asfálticos son los que se obtienen del proceso de destilación del petróleo para eliminar solventes volátiles y parte que sus aceites. Su viscosidad varía con la temperatura y entre sus componentes, las resinas le producen adherencia con los materiales pétreos, siendo excelentes ligantes, pues al ser calentados se licúan, lo que les permite cubrir totalmente las partículas del material pétreo.

Según su viscosidad dinámica a 60 grados Celsius, los cementos asfálticos se clasifican como se indica en la Tabla 1.2, donde se señalan los usos más comunes de cada uno.

Tabla 1. 2.- Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60 °C. (Fuente Norma SCT N-CMT-4-05-001/06)

Clasificación	Viscosidad a 60°C Pa-s (P ⁽¹⁾)	Usos mas comunes
AC-5	50 ± 10 (500 ± 100)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.
AC-10	100 ± 20 (1000 ± 200)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1 • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1.
AC-20	200 ± 40 (2000 ± 400)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros e mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riego, dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1.
AC-30	300 ± 60 (3000 ± 600)	<ul style="list-style-type: none"> • En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 4 en la Figura 1. • En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas pos sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como Zonas 3 y 4 en la Figura 1. • En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.

(1) Poises

1.2.1.1.- Requisitos de calidad de los cementos asfálticos

Los cementos asfálticos cumplirán los requisitos de calidad que se indican en la Tabla 1.3.

Tabla 1. 3.- Requisitos de calidad para cemento asfáltico clasificado por viscosidad dinámica a 60°C

CARACTERÍSTICAS	CLASIFICACIÓN			
	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30
Del cemento asfáltico original:				
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P [1])	50 ± 10 (500 ± 100)	100 ± 20 (1 000 ± 200)	200 ± 40 (2 000 ± 400)	300 ± 60 (3 000 ± 600)
Viscosidad cinemática a 135 °C; mm ² /s, mínimo (1 mm ² /s = 1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135 °C; s, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s; 10-1 mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	232
Solubilidad; %, mínimo	99	99	99	99
Punto de reblandecimiento; °C	37 - 43	45 - 52	48 - 56	50 - 58
Del residuo de la prueba de la película delgada:				
Pérdida por calentamiento; %, máximo	1	0.5	0.5	0.5
Viscosidad dinámica a 60°C; Pa·s (P [1]), máximo	200 (2 000)	400 (4 000)	800 (8 000)	1 200 (12 000)
Ductilidad a 25°C y 5 cm/min; cm, mínimo	100	75	50	40
Penetración retenida a 25 °C; %, mínimo	46	50	54	58

[1] Poises

1.2.2.- Emulsiones Asfálticas

Las emulsiones asfálticas son materiales asfálticos líquidos estables, constituidos por dos fases no miscibles, en los que la fase continua de la emulsión está formada por agua y un agente emulsificante, y la fase discontinua por pequeños glóbulos de cemento asfáltico. Se denominan emulsiones asfálticas *aniónicas*, cuando el agente emulsificante confiere polaridad electronegativa a los glóbulos y emulsiones asfálticas *catiónicas*, cuando les confiere polaridad electropositiva.

Las emulsiones asfálticas pueden ser de los siguientes tipos:

- De rompimiento rápido, que generalmente se utilizan para riegos de liga y carpetas por el sistema de riegos, a excepción de la emulsión ECR-60, que no se utilizará en la elaboración de estas últimas.
- De rompimiento medio, que normalmente se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, especialmente cuando el contenido de finos en la mezcla es igual que dos (2) por ciento o menor, así como en trabajos de conservación tales como bacheos, renivelaciones y sobrecarpetas.
- De rompimiento lento, que comúnmente se utilizan para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta y para estabilizaciones asfálticas.
- Para impregnación, que particularmente se utilizan para impregnaciones de subbases y/o bases hidráulicas.
- Superestables, que principalmente se emplean en estabilizaciones de materiales y en trabajos de recuperación de pavimentos.

Según su contenido de cemento asfáltico en masa, su tipo y polaridad, las emulsiones asfálticas se clasifican como se indica en la Tabla 1.4.



Figura 1. 1- Regiones geográficas para la utilización de asfaltos clasificados según su viscosidad dinámica a 60 °C. (Fuente Norma SCT N-CMT-4-05-001/06)

1.2.3.- Asfaltos Rebajados

Los asfaltos rebajados, que regularmente se utilizan para la elaboración de carpetas de mezcla en frío, así como en impregnaciones de bases y subbases hidráulicas, son los materiales asfálticos líquidos compuestos por cemento asfáltico y un solvente, clasificados según su velocidad de fraguado como se indica en la Tabla 1.5.

Tabla 1. 4- Clasificación de las emulsiones asfálticas. (Fuente Norma SCT N-CMT-4-05-001/06)

Clasificación	Contenido de cemento asfáltico en masa %	Tipo	Polaridad	
EAR-55	55	Rompimiento rápido	Aniónica	
EAR-60	60			
EAM-60	60	Rompimiento medio		
EAM-65	65			
EAL-55	55	Rompimiento lento		
EAL-60	60			
EAI-60	60	Para impregnación		
ECR-60	60	Rompimiento rápido		Catiónica
ECR-65	65			
ECR-70	70			
ECM-65	65	Rompimiento medio		
ECL-65	65	Rompimiento lento		
ECI-60	60	Para impregnación		
ECS-60	60	Sobrestabilizada		

Tabla 1. 5.- Clasificación de los asfaltos rebajados. (Fuente Norma SCT N-CMT-4-05-001/06)

Clasificación	Velocidad de fraguado	Tipo de solvente
FR-3	Rápida	Nafta, Gasolina
FM-1	Media	Queroseno

CAPÍTULO 2.- MEZCLAS ASFÁLTICAS

2.1.- DEFINICIÓN Y CLASIFICACIÓN

Una mezcla asfáltica es el producto obtenido de la incorporación y distribución uniforme de un material asfáltico en uno pétreo.

Las mezclas asfálticas, según el procedimiento de mezclado se clasifican como se muestra a continuación:

2.1.1.- Mezclas Asfálticas en Caliente

Son las elaboradas en caliente, utilizando cemento asfáltico y materiales pétreos, en una planta estacionaria o móvil, provista del equipo necesario para calentar los componentes de la mezcla.

Las mezclas asfálticas en caliente se clasifican a su vez en:

1.- Mezclas asfálticas de granulometría densa.

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal entre 37.5mm (1 ½ in) y 9.5mm (3/8 in).

Normalmente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzo de pavimentos existentes.

2.- Mezcla asfáltica de granulometría abierta.

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme, con tamaño nominal entre 12.5mm (1/2 in) y 6.3mm (1/4 in).

Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa,

con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal. Las mezclas asfálticas de granulometría abierta no deben colocarse en zonas susceptibles al congelamiento ni donde la precipitación sea menor de 600mm por año.

2.1.2.- Mezclas Asfálticas en Frío

Son las elaboradas en frío, en una planta mezcladora móvil, utilizando emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados y materiales pétreos.

Las mezclas asfálticas en frío se clasifican a su vez en:

1.- Mezcla asfáltica de granulometría densa

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado y materiales pétreos, con tamaño nominal entre 37.5mm (1 ½ in) y 9.5mm (3/8 in). Normalmente se utiliza en los casos en la que la intensidad del tránsito (ΣL) es igual a 1 millón de ejes equivalentes o menor, en donde no se requiera de una alta resistencia estructural, para la construcción de carpetas para el refuerzo de pavimentos existentes, así como la reparación de baches.

2.- Mortero asfáltico

Es la mezcla en frío, uniforme y homogénea, elaborada con emulsión asfáltica o asfalto rebajado, agua y arena con tamaño máximo de 2.36mm (Nº 8). Normalmente se coloca sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, como capa de rodadura.

2.1.3.- Mezclas Asfálticas por el Sistema de Riegos.

Son las que se construyen mediante la aplicación de uno o dos riegos de un material asfáltico, intercalados con una, dos o tres capas sucesivas de material pétreo triturado de tamaños decrecientes.

Las carpetas por el sistema de riegos se clasifican en carpetas de uno, dos y tres riegos. Las carpetas de un riego o la última capa de las carpetas de dos o tres riegos, pueden ser premezcladas o no. Normalmente se colocan sobre una base impregnada o una carpeta asfáltica, nueva o ya existente, como capa de rodadura con el objeto de proporcionar resistencia al derrapamiento y al pulimento.

2.2.- CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Las características de las mezclas asfálticas que han hecho de ellas uno de los materiales básicos en la construcción de pavimentos, y que podemos variar y modificar mediante su composición y elaboración, son las siguientes:

Facilidad de fabricación. Las mezclas asfálticas pueden ser muy fácilmente preparadas y elaboradas. Las emulsiones facilitan que la envuelta de los materiales pétreos puedan realizarse en frío empleando mezcladoras y plantas muy sencillas, con las que se consigue una gran calidad de envuelta. Las plantas en caliente son más complejas, pero al mismo tiempo permiten alcanzar una mayor calidad y uniformidad del material elaborado.

Manejabilidad. Las mezclas asfálticas es un material muy manejable que puede ser colocado mediante el empleo de extendedoras en capas de una gran regularidad. Esto permite conseguir superficies de rodadura de una gran lisura sobre la que circulan los vehículos con una gran comodidad. Además, dependiendo de la granulometría y del tipo de mezcla empleado, puede conseguirse también una macrotextura óptima para la circulación segura y silenciosa de los vehículos.

Estabilidad. Tras su extendido y compactación, las capas de mezcla asfáltica se caracterizan por una elevada estabilidad, lo que les permite soportar sin deformarse el paso de los vehículos pesados. El conseguir una mayor o menor estabilidad depende de la composición y materiales empleados en la fabricación de la mezcla. Esta es una de las propiedades más importantes a controlar en la selección y formulación de los materiales a emplear en su fabricación. Siempre es posible conseguir mezclas suficientemente estables,

incluso para las condiciones más extremas de temperatura y carga, aunque haya que acudir a ligantes duros o modificados y a formulaciones especiales.

Flexibilidad. Al mismo tiempo que por su estabilidad, las mezclas asfálticas se caracterizan por su flexibilidad y ductilidad. Esta propiedad hace que se puedan adaptar a las pequeñas deformaciones del pavimento sin fisurarse y que puedan seguir los movimientos de dilatación y retracción térmica sin agrietarse, salvo a temperaturas muy frías. Este comportamiento visco-elástico de las mezclas asfálticas amortigua también las vibraciones de los neumáticos, lo que hace que los pavimentos asfálticos resultan más confortables para los viajeros que los pavimentos rígidos.

El que podamos asignar a las mezclas bituminosas dos propiedades en cierto modo contrapuestas, estabilidad y flexibilidad, se debe a su comportamiento reológico. Su respuesta depende de la temperatura y del tiempo de aplicación de la carga. Con temperaturas bajas y/o tiempos de aplicación de carga muy cortos, la respuesta de la mezcla es visco-elástica, con temperaturas altas y/o tiempos de aplicación de carga larga, la mezcla se comporta como un material visco-plástico. Las cargas producidas por el tráfico son rápidas y por ello en condiciones normales de servicio el comportamiento de la mezcla es visco-elástico, sin que se produzcan deformaciones (estabilidad). Por el contrario, los esfuerzos que se producen por dilatación o retracción térmica, se producen de forma suave y progresiva en el tiempo, lo que permite que la mezcla se adapte a estas deformaciones, lo mismo que a las deformaciones del firme sin romperse ni fisurarse.

El estado de tensiones que las cargas del tráfico producen en las capas asfálticas del firme viene también afectando por el comportamiento reológico de la mezcla. En su cálculo se suele suponer un comportamiento visco-elástico, viniendo caracterizada la mezcla bituminosa por su módulo reológico que depende del tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura del firme.

Tenacidad. Las mezclas asfálticas se caracterizan también por su tenacidad, lo que les permite soportar una gran cantidad de aplicaciones de carga sin romperse ni fisurarse. En

cada aplicación de carga las capas asfálticas del pavimento son sometidas a unas sollicitaciones de flexotracción, produciéndose una deformación a tensión en la parte inferior de la capa, que desaparece al retirar la carga. La tenacidad de la mezcla permite absorber un gran número de estas sollicitaciones hasta que la mezcla se fisura. El fallo de la mezcla bajo este tipo de sollicitación se conoce como fisuración por fatiga. Cuanto mayor sea la tenacidad de la mezcla mayor será su resistencia al fallo por fatiga. La tenacidad de la mezcla depende de las características y porcentaje del ligante empleado. Cuanto mayor sea el porcentaje y tenacidad de éste mayor será la de la mezcla.

Durabilidad. Las mezclas asfálticas son resistentes a la acción del tráfico y de la intemperie. Ambos agentes de deterioro van produciendo el fallo de la mezcla con el tiempo, pero éste no llega a producirse sino tras varios años de servicio. La durabilidad de la mezcla depende de su cohesión, de su resistencia a la acción abrasiva del tráfico, de su resistencia a la acción del agua, del envejecimiento del ligante, etc. Factores todos ellos que tienen que ver con la composición de la mezcla y con las características de los materiales empleados en su elaboración.

Estas características de las mezclas vienen determinadas al mismo tiempo por la naturaleza y propiedades de los materiales que la componen y los porcentajes que entran en su composición. La selección de estos materiales ha de hacerse teniendo en cuenta como pueden afectar la respuesta de la mezcla. Es por ello muy importante conocer las características de estos materiales y establecer una serie de especificaciones y respuestas sobre los mismos, que nos ayudan a su selección en función de las cualidades exigidas a la mezcla.

CAPÍTULO 3.- MÉTODOS TRADICIONALES DE CARACTERIZACIÓN DE ASFALTOS

Los asfaltos deben cumplir con ciertos requisitos de calidad, las cuales están marcadas en las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT).

La caracterización de los asfaltos es realizada en un laboratorio de materiales antes de que el material sea empleado en la construcción de caminos.

A continuación se mencionan las pruebas que se deben aplicar a los materiales asfálticos convencionales para verificar si estos en realidad tienen las características apropiadas para su uso.

3.1.- MUESTREO DE MATERIALES ASFÁLTICOS.

El muestreo consiste en obtener una porción representativa del volumen de material asfáltico en estudio. Se realiza en materiales almacenados en uno o varios depósitos, o durante las maniobras de carga, descarga o aplicación. El muestreo incluye además las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras.

3.1.1.- Muestreo en un sólo Depósito.

El muestreo del material que esta almacenado en un solo depósito, como tanque estacionario, fosa o carro tanque, se hace tomando en cuenta lo siguiente:

3.1.1.1.- Consideraciones previas.

Previamente se consideran las condiciones en que se encuentra el material asfáltico, y en caso de que existan cantidades apreciables de impurezas tales como sedimentos, agua libre o espuma, entre otros, se espuma el volumen de estas y de ser necesario se toman muestras de dichas impurezas para su identificación.

Los materiales asfálticos sólidos o semisólidos se calientan solamente lo indispensable para facilitar su muestreo.

3.1.1.2.- Equipo.

Para la ejecución del muestreo, todo el equipo a emplear ha de estar en condiciones óptimas para su uso, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Consiste fundamentalmente en un muestreador como los que se ilustran en la Figura 3.1, formado por un recipiente metálico o de vidrio, convenientemente lastrado y provisto de un tapón de corcho que pueda retirarse desde el exterior mediante una cadena o cordel. El recipiente ha de estar sujeto al extremo de una varilla metálica o de madera, o bien a otro cordel, de tal forma que estando tapado y con la boca hacia arriba pueda sumergirse hasta la profundidad deseada.

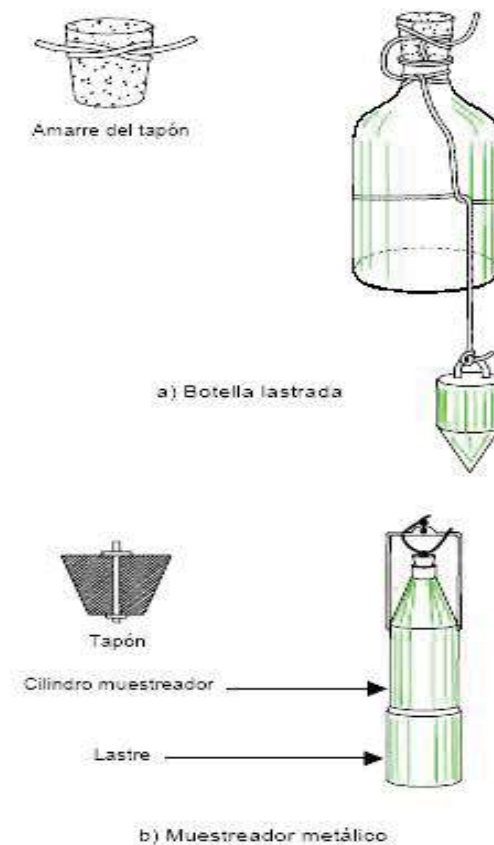


Figura 3. 1.- Muestreadores para materiales asfálticos. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-001/00)

3.1.1.3.- Obtención de la muestra.

Para la obtención de las muestras de material asfáltico de un depósito, se procede como se indica a continuación:

- 1) Para extraer las muestras, se sumerge el muestreador perfectamente seco y limpio, tomándolas, en su caso, de la parte media o de los tercios superior, medio e inferior del contenido del depósito. El número de muestras, así como su nivel de extracción, se determina según lo indicado con la Tabla 3.1
- 2) Cada muestra será aproximadamente de 2 L en el caso de cementos asfálticos y de 4 L si se trata de emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados. Para obtener estos volúmenes es necesario llenar varias veces el muestreador, introduciéndolo a igual profundidad cuando se integre una misma muestra, evitando alterar las condiciones del material que está siendo muestreado.

Tabla 3. 1.- Número de muestras y nivel de muestreo en función del tirante de asfalto en el depósito.
(Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-001/00)

Tirante del material asfáltico en % del tirante máximo(1)	Nivel de muestreo en % del tirante máximo(1)			Numero total de muestras(2)
	Superior	Medio	Inferior	
100	80	50	20	3
90	75	50	20	3
80	70	50	20	3
70	---	50	20	2
60	---	50	20	2
50	---	40	20	2
40	---	---	20	1
30	---	---	15	1
20	---	---	10	1
10(3)	---	---	5	1

(1) El tirante máximo corresponde al diámetro vertical de tanques horizontales o la altura de depósitos verticales

(2) Se debe extraer una muestra por cada nivel señalado

(3) Cuando el tirante sea menor al 10% no se debe de utilizar el material asfáltico

- 3) Las muestras obtenidas a varias profundidades se depositan en diferentes recipientes con objeto de analizar cada una y determinar si existe heterogeneidad en el material; sólo en el caso de que éste vaya a ser homogeneizado para su utilización, se pueden mezclar para formar una muestra integral, como sigue:

- i. Si se trata de depósitos verticales, la muestra integral se forma con partes iguales de las muestras tomadas a diferentes profundidades según lo indicado en la Tabla 3.1
- ii. Si se trata de tanques cilíndricos horizontales, la muestra integral se forma de acuerdo con lo indicado en la Tabla 3.2.

Tabla 3. 2.- Composición de muestras integrales de materiales asfálticos que se almacenen en tanques cilíndricos horizontales. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-001/00)

Tirante del material asfáltico en % del diámetro vertical	Porcentajes en volumen para formar la muestra integral		
	Superior	Medio	Inferior
100	30	40	30
90	30	40	30
80	20	50	30
70	---	60	40
60	---	50	50
50	---	40	60
40	---	---	100
30	---	---	100
20	---	---	100
10	---	---	100

3.1.2.- Muestreo en Varios Depósitos.

El muestreo del material asfáltico que esté envasado en varios recipientes o depósitos, como tambores o cuñetes se hace tomando en cuenta lo siguiente:

3.1.2.1.- Consideraciones previas.

Previamente al muestreo, se evalúa el estado físico en que se encuentra el material asfáltico y se agrupan los recipientes por lotes del mismo producto, origen y fabricación, para fijar el número de muestras parciales que deban de obtenerse.

3.1.2.2.- Equipo.

Para la ejecución del muestreo, todo el equipo a emplear ha de estar en óptimas condiciones para su uso, limpio, completo en todas sus piezas y sin desgaste.

El equipo que se requiere cuando el material asfáltico esté en estado líquido es el que se describe en la Fracción 3.1.1.2 de este trabajo o bien, si está en estado sólido o semisólido, herramientas como hacha, martillo y espátula.

3.1.2.3.- Obtención de la muestra.

Para la obtención de las muestras de material asfáltico envasado en varios recipientes o depósitos, se procede como se indica a continuación:

- 1) Según lo indicado en la Tabla 3.3, se determina el número de recipientes o depósitos a muestrear, seleccionándolos aleatoriamente. Si en un almacenamiento se encuentran depósitos con material asfáltico de dos o más lotes, se aplica lo anterior a cada uno de ellos.
- 2)

Tabla 3. 3.- Número de depósitos a muestrear. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-001/00)

Número de depósitos que forman el lote (L_o)	Número de depósitos que deben muestrearse (n)
2 a 10	2
11 a 30	3
31 a 65	4
66 a 125	5
126 a 215	6
216 a 345	7
346 a 515	8
516 a 735	9
736 a 1000	10
más de 1000	$n \approx (L_o)^{(1/3)}$

- 3) En cada uno de los depósitos seleccionados de materiales asfálticos líquidos, se procede como se indica en la Fracción 3.1.1.3, excepto que el muestreo puede efectuarse en uno o dos niveles, obteniendo las muestras de lugares de que disten más de 10cm de la superficie del material y de las paredes del depósito. Las

muestras tomadas se prueban en forma individual si así se requiere o bien, pueden mezclarse para formar una muestra integral.

- 4) Cuando se trate de materiales asfálticos sólidos o semisólidos, que no resulte práctico fluidificar para el muestreo, se utiliza hacha, cincel o herramienta similar. Una vez que han sido seleccionados los recipientes o depósitos de acuerdo con lo indicado en el inciso 1), se toman muestras de aproximadamente 2Kg, a una profundidad mayor de 10cm de la superficie del material asfáltico, en su parte central.

3.1.3.- Muestreo Durante las Maniobras de Carga y Descarga o de Aplicación del Material Asfáltico.

El muestreo durante las maniobras de carga y descarga o de aplicación del material asfáltico, se hace directamente en el conducto de la descarga, tomando tres porciones, en recipientes de 2L de capacidad y de boca ancha, una al iniciarse la maniobra, otra a la mitad y la última al final. Las porciones tomadas se mezclan en un recipiente limpio, del que se obtiene una muestra integral de 2L si se trata de cementos asfálticos o de 4L en el caso de emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados.

3.1.4.- Envase, Identificación, Transporte y Almacenamiento.

Las muestras obtenidas se envasan, identifican, transportan y almacenan, tomando en cuenta lo siguiente:

3.1.4.1.- Envase.

Las muestras se envasan en recipientes de volumen suficiente, perfectamente limpios y secos antes de ser llenados, que pueden ser de lámina, vidrio o plástico cuando se trate de emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados, y solamente de amina de boca ancha cuando se trate de cementos asfálticos. Durante el envase se han de tener las siguientes precauciones:

- Que las muestras no se contaminen con polvo u otras materias extrañas.
- Que los recipientes queden llenos cuando se trate de materiales asfálticos líquidos y en cualquier caso, perfectamente tapados con objeto de evitar pérdidas en su contenido.
- Que en ningún caso utilicen tapones de hule.

3.1.4.2.- Identificación

Las muestras se identifican mediante etiquetas que se fijan en los envases, en las cuales se anotan los siguientes datos claramente escritos:

- Remitente
- Tipo de material
- Procedencia del material
- Número de lote
- Tamaño del lote (expresado mediante el número de recipientes o depósitos que compone el lote y el volumen o masa promedio del material que contiene cada uno, o cuando se trate de un solo depósito, mediante el volumen del material que contiene)
- Fecha de fabricación o suministro del material
- Uso que se destina
- Obra
- Tipo de muestra (parcial o integral) y su número
- Lugar de muestreo
- Temperatura del producto al momento del muestreo, con una aproximación de más o menos 1° C.
- Nivel a que se tomó la muestra
- Observaciones
- Fecha y hora del muestreo

Los datos indicados también se deben de anotar en una libreta de campo, así como todas las observaciones que se consideren necesarias.

3.1.4.3.- Transporte y almacenamiento

Para transportar las muestras correctamente envasadas, del sitio de su obtención al laboratorio encargado de su análisis, e acomodan en el vehículo de transporte de tal modo que no se golpeen o dañen. Una vez recibidas en el laboratorio, se registran asignándoles un número de identificación para su prueba y se almacenan perfectamente tapadas en lugares frescos que no estén sujetos a cambios bruscos de temperatura. En general no es conveniente conservar las muestras en el laboratorio durante más de un mes antes de ser ensayadas.

3.2.- VISCOSIDAD DINÁMICA DE CEMENTOS Y RESIDUOS ASFÁLTICOS

3.2.1.- Objetivo de la Prueba

Esta prueba permite determinar la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo a una temperatura de 60 °C (140°F). Es aplicable a materiales asfálticos que tengan una viscosidad de 4,2 a 20 000 Pa·s (42 a 200 000 P).

La prueba consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 20 mL del material por probar a través de un tubo capilar al vacío, bajo condiciones de presión y temperatura preestablecidas, corregido por el factor de calibración del viscosímetro.

3.2.2.- Equipo y Materiales

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

3.2.2.1.- Viscosímetro

De tipo capilar, cilíndrico, hecho de vidrio de boro-silicato templado. Puede ser de los siguientes tipos:

- 1) Viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV)

Como el mostrado en la Figura 3.2 y que cumpla con las características establecidas en la Tabla 3.4. Contará con bulbos de medición (B, C y D) localizados en el brazo (M) del viscosímetro, el cual es un capilar de vidrio perforado de precisión. Los bulbos serán segmentos capilares y estarán separados por marcas para cronometraje (F, G, H, I). Además el viscosímetro contará con un soporte que lo mantenga en posición vertical cuando se coloque en el baño. Este soporte se puede conseguir comercialmente; sin embargo, es posible fabricar uno, taladrando dos orificios en un tapón N°11 de hule, de 22 y 8 mm respectivamente, con una distancia de centro a centro de los orificios de 25 mm. Se hace una ranura entre ambos orificios y también entre el orificio de 8 mm y la orilla del tapón. Cuando se coloca en un orificio de 51 mm (2") en la cubierta del baño, el tapón mantiene al viscosímetro en su lugar.

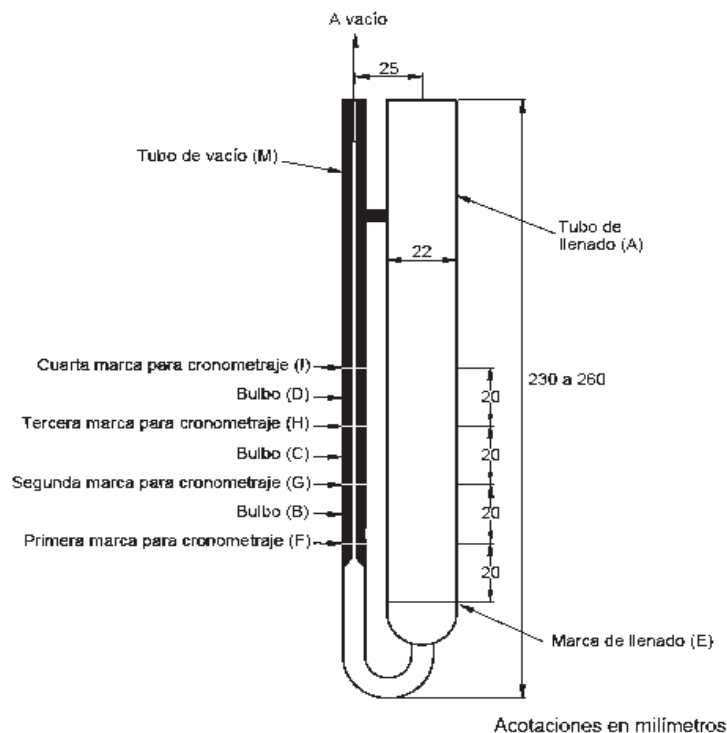


Figura 3. 2.-Viscosímetro capilar de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV). (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-002/02)

Tabla 3. 4.- Tamaños de viscosímetros estándar, radio capilar, factores de calibración aproximados (K) y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío del Instituto del Asfalto (AIVV), (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-002/02)

Tamaño nominal	Radio capilar mm	Factor de calibración aproximado (K) ^[1] vacío de 300 mm Hg Pa (P/s)			Rango de viscosidad ^[2] dinámica, η Pa·s (P)
		<i>Bulbo B</i>	<i>Bulbo C</i>	<i>Bulbo D</i>	
25	0.125	0.2 (2)	0.1 (1)	0.07 (0.7)	4.2 a 80 (42 a 800)
50	0.25	0.8 (8)	0.4 (4)	0.3 (3)	18 a 320 (180 a 3 200)
100	0.50	3.2 (32)	1.6 (16)	1 (10)	60 a 1 280 (600 a 12 800)
200	1.0	12.8 (128)	6.4 (64)	4 (40)	240 a 5 200 (2 400 a 52 000)
400	2.0	50 (500)	25 (250)	16 (160)	960 a 20 000 (9 600 a 200 000)
400R ^[3]	2.0	50 (500)	25 (250)	16 (160)	960 a 14000 (9 600 a 140 000)
800R ^[3]	4.0	200 (2 000)	100 (1 000)	64 (640)	3 800 a 580 000 (38 000 a 5 800 000)

[1] Los factores de calibración exactos se obtendrán con viscosidad estándar.
 [2] Los rangos de viscosidad corresponden a tiempos de llenado de 60 y 400 s. En ocasiones especiales se pueden utilizar tiempos de flujo mayores, incluso superiores a 1 000 s.
 [3] En estos casos se tienen marcas adicionales a 5 y 10 mm arriba de la marca para cronometraje F, para diseños especiales de asfaltos en cubiertas. Así, el rango de viscosidad máxima medible se incrementa respecto a aquel que utiliza al factor de calibración del bulbo B.

2) Viscosímetro de vacío Koppers modificado (MKVV)

Como el mostrado en la Figura 3.3 y que cumpla con las características establecidas en la Tabla 3.5. Consistirá en un tubo de llenado (A) y un tubo de vidrio perforado capilar de vacío de precisión (M), unidos por una junta de boro-silicato (N), con un filo estándar 24/40. Los bulbos de medición (B, C, y D), serán segmentos capilares de 20 mm de longitud, separados por marcas para cronometraje (F, G, H, I).

Además contará con un soporte que lo mantenga en posición vertical cuando se coloque en el baño. Este soporte se puede conseguir comercialmente, sin embargo es posible fabricar uno, taladrando un orificio de 28 mm en el centro de un tapón N°11 de hule y cortando al tapón entre el orificio y la orilla. Cuando se coloca en un orificio de 51 mm (2") en la cubierta del baño, el tapón mantiene al viscosímetro en su lugar.

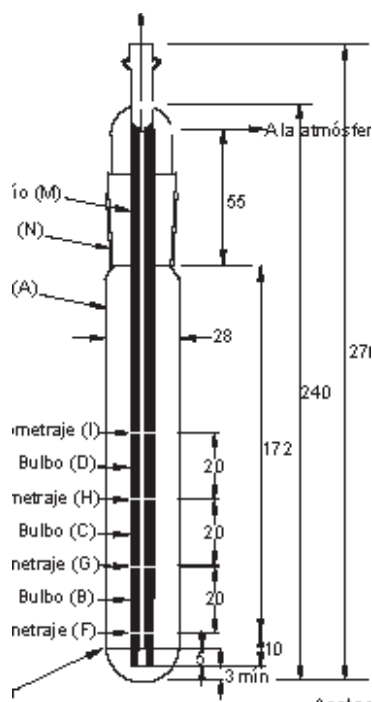


Figura 3. 3.- Viscosímetro capilar de vacío Koppers modificado (MKVV). (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-002/02)

Tabla 3. 5.- Tamaños de viscosímetros estándar, radio capilar, factores de calibración aproximados (K), y rangos de viscosidad para viscosímetros capilares de vacío Koppers modificados (MKVV), (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-002/02)

Tamaño nominal	Radio capilar mm	Factor de calibración aproximado (K). ^[1] vacío de 300 mm Hg Pa (P/s)			Rango de viscosidad dinámica, η ^[2] Pa·s (P)
		Bulbo B	Bulbo C	Bulbo D	
25	0.125	0.2 (2)	0.1 (1)	0.07 (0.7)	4.2 a 80 (42 a 800)
50	0.25	0.8 (8)	0.4 (4)	0.3 (3)	18 a 320 (180 a 3 200)
100	0.50	3.2 (32)	1.6 (16)	1 (10)	60 a 1 280 (600 a 12 800)
200	1.0	12.8 (128)	6.4 (64)	4 (40)	240 a 5 200 (2 400 a 52 000)
400	2.0	50 (500)	25 (250)	16 (160)	960 a 20 000 (9 600 a 200 000)

[1] Los factores de calibración exactos se obtendrán con viscosidad estándar.

[2] Los rangos de viscosidad corresponden a tiempos de llenado de 60 y 400 s. En ocasiones especiales se pueden utilizar tiempos de flujo mayores, incluso superiores a 1 000 s.

3.2.2.2.- Termómetros

De inmersión total, con escala que abarque de 0 a 150 °C y aproximación de 0.2 °C.

3.2.2.3.- Baño

- Con las dimensiones adecuadas para que la marca para cronometraje superior de los viscosímetros, pueda ubicarse por lo menos a 20mm por debajo de la superficie del líquido del baño.
- Que permita observar en todo momento tanto el viscosímetro como el termómetro.
- Que forme parte integral del viscosímetro o que cuente con un soporte firme para este último.

3.2.2.4.- Sistema de Vacío

- Que tenga un sistema general como el que se muestra esquemáticamente en la Figura 3.4.
- Capaz de mantener un nivel de vacío de hasta 300 mm Hg con aproximación de $\pm 0,5$ mm Hg.
- A base de tubos de vidrio con un diámetro interior de 6,35 mm ($\frac{1}{4}$ "), con juntas herméticas entre los tubos que garanticen que no se pierda el vacío.
- Que cuente con un manómetro de mercurio con un extremo abierto, con aproximación de 1 mm Hg y una bomba de vacío.

3.2.2.5.- Cronómetros

Dos cronómetros, con aproximación de 0.1 s y precisión de $\pm 0.05\%$.

3.2.2.6.- Líquido para Llenar el Baño

Agua destilada.

3.2.3.- Preparación de la Muestra

La muestra de prueba, según se trate de cemento asfáltico, del residuo de la prueba de película delgada o del residuo asfáltico obtenido por destilación de una emulsión o de un asfalto rebajado, se prepara como se indica a continuación:

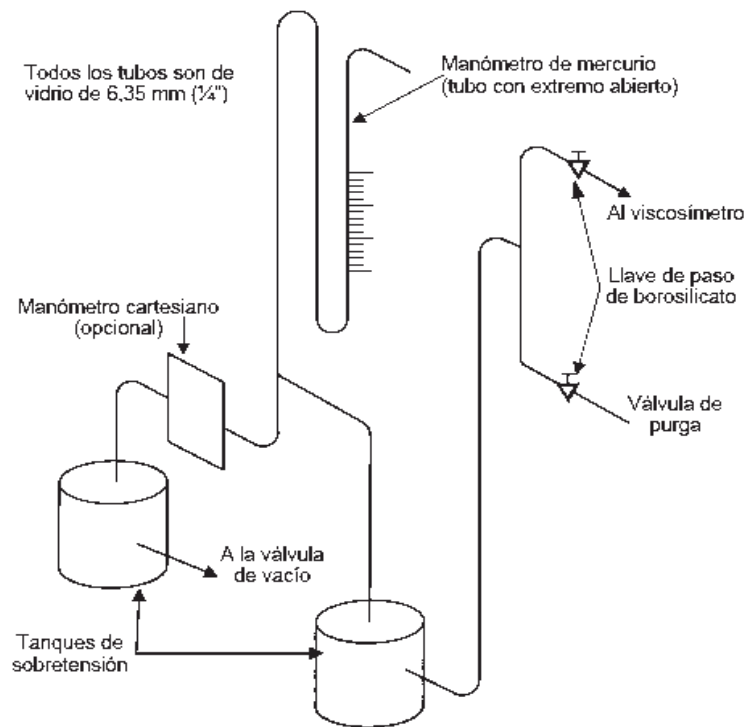


Figura 3. 4.- Sistema de vacío sugerido para viscosímetros capilares de vacío. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-002/02)

3.2.3.1.- Muestra de Cemento Asfáltico

- Se calienta la muestra en un recipiente apropiado, agitándola ocasionalmente para evitar el sobrecalentamiento local y distribuir el calor uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente que facilite su vaciado.
- Se vacían 20mL de la muestra en un contenedor adecuado y se calienta hasta alcanzar una temperatura de $135 \pm 5.5^{\circ}\text{C}$ ($275 \pm 10^{\circ}\text{F}$), agitándola ocasionalmente para evitar el sobrecalentamiento local, distribuir el calor uniformemente y evitar que quede aire atrapado.

3.2.4.- Determinación de la Viscosidad Dinámica

3.2.4.1.- Calibración del Equipo

1) Calibración del viscosímetro de vacío por medio de viscosidad estándar

- a) Se calibrará mediante un aceite de viscosidad estándar cuando en la muestra de prueba se esperen las viscosidades dinámicas aproximadas señaladas en la Tabla 3.6.

Tabla 3. 6.- Viscosidades estándar de aceites utilizados para la calibración de los viscosímetros. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-002/02)

Viscosidad estándar	Viscosidad dinámica aproximada, η Pa·s (P)	
	A 20°C (68°F)	A 38°C (100°F)
N 30 000	150 (1 500)	24 (240)
N 190 000	800 (8000)	160 (1600)
S 30 000	---	24 (240)

- b) Se selecciona de la Tabla 3.6, un aceite de viscosidad estándar que tenga un tiempo mínimo de flujo de 60 s a la temperatura de calibración.
- c) Se carga un viscosímetro limpio y seco con el aceite estándar hasta ± 2 mm de la línea de llenado E.
- d) Se coloca el viscosímetro cargado en el baño, manteniendo la temperatura de calibración con aproximación de $\pm 0.01^\circ\text{C}$ ($\pm 0.02^\circ\text{F}$).
- e) Se establece un vacío de 300 ± 0.5 mm de Hg en el sistema de vacío y se conecta éste al viscosímetro con la llave de paso cerrada en la línea que va a este último.
- f) Después de que el viscosímetro ha estado en el baño por 30 ± 5 min, se

inicia el flujo del aceite estándar abriendo la llave de paso en la línea que va al sistema de vacío.

- g) Se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco, es decir, la parte superior visible del mismo, pase entre las marcas F y G, con aproximación de 0.1 s. Utilizando otro cronómetro, se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco pase entre las marcas para cronometraje G y H, con aproximación de 1 s. Si el instrumento contiene marcas para cronometraje adicionales, se determina de la misma manera el tiempo de flujo para cada bulbo sucesivo.
- h) Se calcula el factor de calibración K, para cada bulbo como sigue:

$$K = \left(\frac{\eta_e}{t} \right)$$

Donde:

K = Factor de calibración del bulbo (a 300 mm Hg), (Pa)

η_e = Viscosidad dinámica del aceite de viscosidad estándar a la temperatura de calibración, (Pa·s)

t = Tiempo de flujo, (s)

- i) Se repite el procedimiento de calibración utilizando la misma viscosidad estándar u otra viscosidad estándar distinta.
- j) Se calcula y registra el promedio del factor de calibración K para cada bulbo. Los resultados obtenidos en las dos determinaciones no deben variar más del 2% respecto a su promedio, en caso contrario se repetirá el procedimiento hasta que esto se cumpla.
- k) Es importante hacer notar que los factores de calibración del bulbo son independientes de la temperatura.

- 2) Calibración del viscosímetro de vacío por medio del viscosímetro de vacío estándar

- a) Se elige cualquier material asfáltico que tenga un tiempo de flujo de al menos 60 s y se selecciona un viscosímetro estándar con factores de calibración de bulbo (K) conocidos.
- b) Se monta el viscosímetro estándar junto con el viscosímetro que va a ser calibrado en el mismo baño a 60°C (140°F) y se determinan los tiempos de flujo del material asfáltico de acuerdo con el procedimiento descrito.
- c) Se calcula el factor de calibración K_1 para cada bulbo, como sigue:

$$K_1 = \left(\frac{K_2 * t_2}{t_1} \right)$$

Donde:

- K_1 = Factor de calibración del bulbo del viscosímetro que se está calibrando, (Pa)
 K_2 = Factor de calibración del bulbo del viscosímetro estándar, (Pa)
 t_1 = Tiempo de flujo del bulbo del viscosímetro que se está calibrando, (s)
 t_2 = Tiempo de flujo del bulbo del viscosímetro estándar, (s)

3.2.5.- Procedimiento de la Prueba

El procedimiento de prueba varía ligeramente según el tipo de viscosímetro que se utilice, por lo que, además de lo indicado a continuación, es necesario considerar las características particulares de los viscosímetros señaladas con anterioridad.

- 1) Se mantiene el baño a $60 \pm 0.01^\circ\text{C}$ ($140 \pm 0.02^\circ\text{F}$), aplicando, en su caso, las correcciones necesarias en todas las lecturas del termómetro.
- 2) Se selecciona un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor de 60 s y se precalienta a $135 \pm 5,5^\circ\text{C}$ ($275 \pm 10^\circ\text{F}$).
- 3) Se carga el viscosímetro vertiendo la muestra preparada a $\pm 2\text{mm}$ de la línea de llenado E.
- 4) Se coloca el viscosímetro cargado en un horno o un baño, mantenidos a $135 \pm 5.5^\circ\text{C}$ ($275 \pm 10^\circ\text{F}$) por un período de $10 \pm 2\text{min}$, para eliminar la mayor parte de las burbujas de aire atrapadas.

- 5) Se retira el viscosímetro del horno o del baño y, en un tiempo no mayor de 5min, se inserta el viscosímetro en un soporte y se coloca verticalmente en el baño, de tal manera que la marca para cronometraje superior, esté al menos 20mm por debajo de la superficie del líquido del baño.
- 6) Se establece un vacío de 300 ± 0.5 mm de Hg en el sistema de vacío y se conecta éste al viscosímetro con la llave de paso cerrada.
- 7) Después de que el viscosímetro ha estado en el baño por 30 ± 5 min, se inicia el flujo del material asfáltico abriendo la llave de paso en la línea que va al sistema de vacío.
- 8) Se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco pase entre dos marcas para cronometraje sucesivas, que es el tiempo de flujo. Se reporta el primer tiempo de flujo que sea mayor de 60 s entre dos marcas para cronometraje sucesivas, registrando la letra de identificación de estas últimas.
- 9) Una vez completada la prueba, se deja drenar el viscosímetro para después limpiarlo perfectamente enjuagándolo varias veces con un solvente apropiado completamente miscible con la muestra, seguido por un solvente totalmente volátil. Posteriormente se seca el viscosímetro pasando por él una corriente lenta de aire seco filtrado durante 2 min, o hasta que la última marca de solvente desaparezca.

3.2.6.- Cálculos y Resultados

- Se selecciona el factor de calibración (K) que corresponda al par de marcas para cronometraje utilizadas para la determinación del tiempo de flujo. Se calcula la viscosidad mediante la siguiente ecuación:

$$\eta = K * t$$

Donde:

- η = Viscosidad dinámica, (Pa·s)
- K = Factor de calibración seleccionado, (Pa)
- t = Tiempo de flujo, (s)

- La viscosidad dinámica se reportará con una aproximación al milésimo, anotando además, la temperatura de prueba y la presión de vacío utilizada.

3.2.7.- Precauciones para Evitar Errores

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

1. Sumergir los termómetros de tal forma que sólo la columna de mercurio este cubierta por el agua y el resto del tallo y la cámara de expansión estén expuestos a la temperatura del laboratorio y a la presión ambiental, ya que en caso contrario podrían obtenerse mediciones inexactas y tendrían que hacerse correcciones.
2. Verificar que el viscosímetro esté calibrado de acuerdo con lo establecido en esta prueba.
3. Limpiar periódicamente el viscosímetro con una solución limpiadora de ácido crómico para remover depósitos orgánicos, enjuagándolo completamente con agua destilada y acetona, y secándolo con aire seco y limpio. Se puede preparar solución limpiadora de ácido crómico, adicionando con las precauciones normales, 800 mL de ácido sulfúrico concentrado a una solución de 92 g de dicromato de sodio en 458 mL de agua. Es aceptable el uso de soluciones limpiadoras de ácido sulfúrico comercial similar. El uso de soluciones limpiadoras alcalinas puede producir un cambio en la calibración del viscosímetro, por lo que no son recomendables.
4. Cuidar que la variación de temperatura en la muestra durante las calibraciones y las pruebas, esté dentro de la tolerancia indicada.

3.3.- VISCOSIDAD CINEMÁTICA DE CEMENTOS ASFÁLTICOS

3.3.2.- Objetivo de la Prueba

Esta prueba permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos mediante sus características de flujo a una temperatura de 135°C (275°F). Es aplicable a cementos asfálticos que tengan una viscosidad de 30 a 100 000 mm²/s (30 a 100 000 cSt).

La prueba consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 20 mL del material por probar a través de un tubo capilar, bajo condiciones de temperatura preestablecidas, y multiplicar dicho tiempo por el factor de calibración del viscosímetro.

3.3.3.- Equipo y Materiales

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

3.3.3.1.- Viscosímetro

De flujo inverso, tipo Zeitfuchs Cross-Arm, capilar, cilíndrico, hecho de vidrio de borosilicato templado, como el mostrado en la Figura 3.5 y que cumpla con las características establecidas en la Tabla 3.7.

Tabla 3. 7.- Tamaños nominales, factores de calibración aproximados (C), rangos de viscosidad y dimensiones para viscosímetros capilares de flujo inverso Zeitfuchs Cross-Arm. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-003/02)

Tamaño nominal	Factor de calibración aproximado (C) mm^2/s	Rango de viscosidad mm^2/s	Diámetro interior del tubo R ^[1] Mm	Longitud del tubo R ^[2] mm	Volumen del bulbo inferior ^[3] mL	Diámetro del tubo horizontal ^[3] mm
1	0.003	0,6 a 3	0.27	210	0.3	3.9
2	0.01	2 a 10	0.35	210	0.3	3.9
3	0.03	6 a 30	0.46	210	0.3	3.9
4	0.1	20 a 100	0.64	210	0.3	3.9
5	0.3	60 a 300	0.84	210	0.3	3.9
6	1.0	200 a 1 000	1.15	210	0.3	4.3
7	3.0	600 a 3 000	1.42	210	0.3	4.3
8	10.0	2 000 a 10 000	1.93	165	0.25	4.3
9	30.0	6 000 a 30 000	2.52	165	0.25	4.3
10	100.0	20 000 a 100 000	3.06	165	0.25	4.3

[1] Ver Figura 1. Tolerancia de $\pm 2\%$.
 [2] Ver Figura 1.
 [3] Tolerancia de $\pm 5\%$.

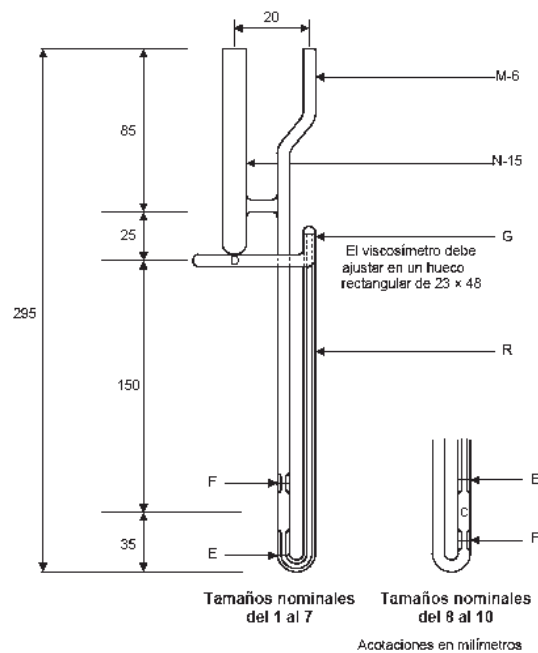


Figura 3. 5.- Viscosímetro Zeifuchs Cross-Arm. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-003/02)

3.3.3.2.- Termómetros

De inmersión total, con escala que abarque de 0 a 150°C y aproximación de 0,2°C.

3.3.3.3.- Baño

- Con las dimensiones adecuadas para que la marca para cronometraje superior del viscosímetro, pueda ubicarse por lo menos a 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño.
- Que permita observar en todo momento tanto el viscosímetro como el termómetro.
- Que forme parte integral del viscosímetro o que cuente con un soporte firme para este último.

3.3.3.4.- Cronómetro

Con aproximación de 0,1 s y precisión de $\pm 0,05\%$.

3.3.3.5.- Líquido para Llenar el Baño

Aceite mineral, para determinaciones de la viscosidad a 135°C. Se puede utilizar agua destilada en el caso de que se deseen realizar determinaciones a 60°C.

3.3.3.6.- Barómetro

Para medir la presión barométrica en el sitio donde se realice la prueba.

3.3.4.- Preparación de la Muestra

La preparación de la muestra de cemento asfáltico obtenida, se hace de la siguiente manera:

- 1) Se calienta la muestra en un recipiente apropiado, agitándola ocasionalmente para evitar el sobrecalentamiento local y distribuir el calor uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente que facilite su vaciado.
- 2) Se vacían 20 mL de la muestra en un contenedor adecuado y se calienta hasta alcanzar una temperatura de $135 \pm 5,5^{\circ}\text{C}$ ($275 \pm 10^{\circ}\text{F}$), agitándola ocasionalmente para evitar el sobrecalentamiento local, distribuir el calor uniformemente y evitar que quede aire atrapado.

3.3.5.- Determinación de la Viscosidad Cinemática

3.3.5.1.- Calibración del Viscosímetro por Medio de Viscosidad Estándar

- 1) Se selecciona de la Tabla 3.8, un aceite de viscosidad estándar que tenga un tiempo mínimo de flujo de 20 s a $37,8^{\circ}\text{C}$ y se mide el tiempo de flujo con aproximación de 0,1 s, de acuerdo con el procedimiento descrito en pasos anteriores.

Tabla 3. 8.- Viscosidades estándar de aceites utilizados para la calibración de los viscosímetros. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-003/02)

Viscosidad estándar	Viscosidad cinemática aproximada, a 38,7°C (100°F) mm ² /s
S 60	60
S 200	200
S 600	600
S 2 000	2 000
S 8 000	8 000
S 30 000	27 000

2) Se calcula el factor de calibración C, como sigue:

$$C = \frac{v}{t}$$

Donde:

C = Factor de calibración, mm²/s

v = Viscosidad cinemática del aceite de viscosidad estándar a 37,8°C, mm²/s

t = Tiempo de flujo, s

3) Si el viscosímetro es usado en un lugar distinto al laboratorio de calibración, el factor de calibración C, será corregido por la diferencia entre la aceleración de la gravedad de los dos lugares, utilizando la expresión que se indica a continuación. Fallas en la corrección de la gravedad pueden provocar errores del 0,2% o mayores.

$$C_2 = \left(\frac{g_2}{g_1} \right) \times C_1$$

Donde:

C₂ = Factor de calibración en el laboratorio de prueba, mm²/s

C₁ = Factor de calibración en el laboratorio de calibración, mm²/s

$$g_2 = \text{Aceleración de la gravedad en el laboratorio de prueba, m/s}^2$$

$$g_1 = \text{Aceleración de la gravedad en el laboratorio de calibración, m/s}^2$$

- 4) Los certificados de calibración de los viscosímetros deben especificar el valor de g_1 .

3.3.5.2.- Procedimiento de la Prueba

- 1) Se mantiene el baño a $135 \pm 0,03^\circ\text{C}$ ($140 \pm 0,02^\circ\text{F}$), aplicando, en su caso, las correcciones necesarias en todas las lecturas del termómetro.
- 2) Se selecciona un viscosímetro limpio y seco, que dé un tiempo de flujo mayor de 60 s y se precalienta a $135 \pm 5,5^\circ\text{C}$ ($275 \pm 10^\circ\text{F}$).
- 3) Se monta el viscosímetro en el baño manteniendo vertical el tubo N y se carga vertiendo la muestra preparada a través de dicho tubo dentro del tubo D, hasta que el nivel de la muestra esté a una distancia no mayor de 0,5 mm de la línea de llenado G en el tubo de sifón, cuidando que no se humedezcan las paredes del tubo N durante el vertido. La muestra debe estar libre de pelusa, partículas sólidas u otras materias ajenas.
- 4) Se deja el viscosímetro en el baño hasta que la muestra haya alcanzado la temperatura de prueba de $135 \pm 0,03^\circ\text{C}$ ($140 \pm 0,02^\circ\text{F}$), pero no más de 30 min.
- 5) Se aplica una ligera succión al tubo N para hacer que el menisco de la muestra de prueba se mueva hacia el tubo de sifón, hasta aproximadamente 30 mm abajo del nivel del tubo D en el tubo capilar R, con lo que se provoca el flujo de la muestra por gravedad.
- 6) Se mide el tiempo requerido para que la orilla principal del menisco pase de la marca E a la F, con aproximación de 0,1 s. Si este tiempo de flujo es menor de 60 s, se selecciona un viscosímetro con un diámetro capilar menor y se repite el procedimiento de prueba indicado en esta Fracción.

3.3.6.- Cálculos y Resultados

- Se calcula la viscosidad cinemática mediante la siguiente ecuación:

$$v = C \times t$$

Donde:

- v = Viscosidad cinemática, mm²/s
 C = Factor de calibración del viscosímetro, mm²/s²
 t = Tiempo de flujo, s

- La viscosidad cinemática se reportará con una aproximación al milésimo, anotando además, la temperatura de prueba.

3.3.7.- Precauciones para Evitar Errores

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

1. Sumergir los termómetros de tal forma que sólo la columna de mercurio este cubierta por el líquido del baño y el resto del tallo y la cámara de expansión estén expuestos a la temperatura del laboratorio y a la presión ambiental, ya que en caso contrario podrían obtenerse mediciones inexactas y tendrían que hacerse correcciones.
2. Verificar que el viscosímetro esté calibrado de acuerdo con lo establecido con anterioridad.
3. Limpiar periódicamente el viscosímetro con una solución limpiadora de ácido crómico para remover depósitos orgánicos, enjuagándolo completamente con agua destilada y acetona, y secándolo con aire seco y limpio. Se puede preparar solución limpiadora de ácido crómico, adicionando con las precauciones normales, 800 mL de ácido sulfúrico concentrado a una solución de 92 g de dicromato de sodio en 458 mL de agua destilada. Es aceptable el uso de

soluciones limpiadoras de ácido sulfúrico comercial similar. El uso de soluciones limpiadoras alcalinas puede producir un cambio en la calibración del viscosímetro, por lo que no son recomendables.

4. Cuidar que la variación de temperatura en la muestra durante las calibraciones y las pruebas, esté dentro de la tolerancia indicada.

3.4.- VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL EN MATERIALES ASFÁLTICOS

3.4.1.- Objetivo de la Prueba

Esta prueba permite conocer la consistencia de los materiales asfálticos mediante sus características de flujo a una temperatura de 135°C para los cementos, de 25 y 50°C para las emulsiones y de 50 y 60°C para los asfaltos rebajados, pudiéndose hacer a otras temperaturas, con el propósito de estudiar la susceptibilidad al calor de los materiales asfálticos y determinar las viscosidades apropiadas para su utilización.

La prueba consiste en determinar el tiempo que tardan en pasar 60 cm³ del material a probar a través de un orificio Furol, instalado en un tubo de viscosidad Saybolt, bajo condiciones de carga y temperatura preestablecidas.

3.4.2.- Equipo y Materiales

El equipo para la ejecución de la prueba ha de estar en condiciones óptimas para su uso, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Todos los materiales a emplear deben ser de primera calidad y de reciente adquisición.

3.4.2.1.- Viscosímetro Saybolt - Furol

Integrado por:

- Un tubo de viscosidad Saybolt y boquilla con orificio Furol, ambos de metal resistente a la corrosión, con la forma y dimensiones indicadas en la Figura 3.6. El tubo estará provisto con una tuerca en su parte inferior para fijarlo en posición vertical en el recipiente del baño y con un tapón de corcho u otro dispositivo similar

que impida el flujo del material asfáltico, que tenga un cordón o cadena para facilitar su remoción.

- Una tapa metálica para el tubo de viscosidad, que consiste en una placa circular biselada, con diámetro inferior de aproximadamente 56 mm y 7 mm de espesor, con un orificio en el centro con diámetro ligeramente mayor que el del termómetro.
- Un baño de aceite, acondicionado para mantener el nivel del líquido en su interior 6 mm arriba del borde de derrame del tubo de viscosidad, y adaptado para sujetar dicho tubo en posición vertical. Estará equipado con un agitador, un sistema de control de temperatura con capacidad hasta de 235°C con aproximación de 0,2°C y una fuente de calor alejada por lo menos 3 cm del tubo de viscosidad.

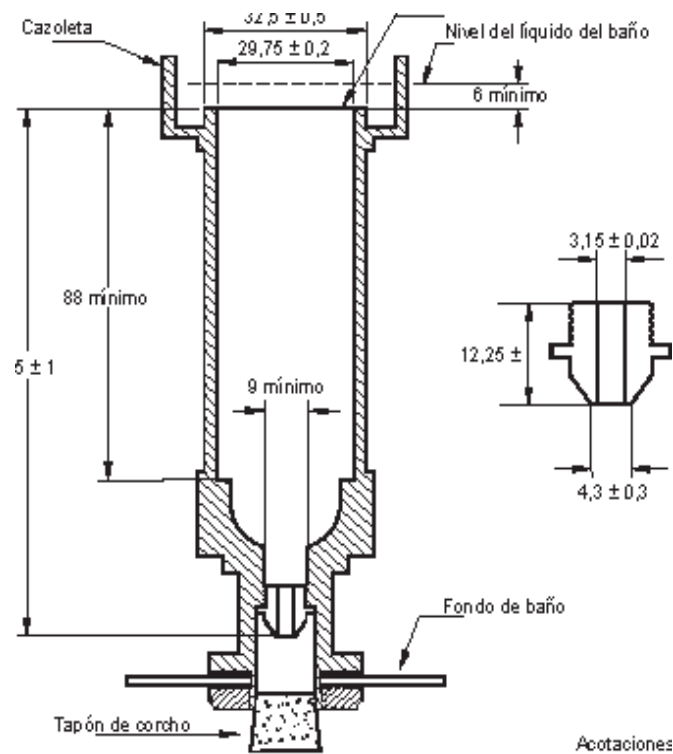
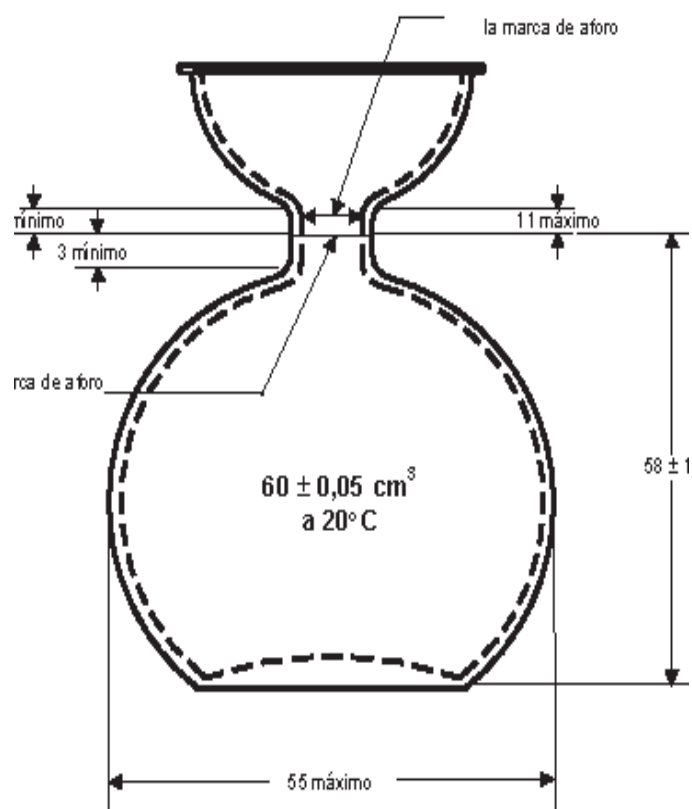


Figura 3. 6.- Tubo de viscosidad Saybolt y boquilla con orificio Furol. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-004/00)

3.4.2.2.- Matraz de Vidrio

De la forma y dimensiones indicadas en la Figura 3.7, con capacidad de $60 \pm 0,05$ cm^3 , aforado a la temperatura de 20°C , con la marca de aforo en el cuello.

Figura 3. 7.-Matraz aforado. . (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-004/00)



3.4.2.3.- Equipo para Filtrado

Se requiere de un embudo de la forma y dimensiones indicadas en la Figura 3.8, de metal resistente a la corrosión y provisto de una malla N° 20 ($850 \mu\text{m}$ de abertura) cuando se prueben cementos asfálticos o N° 100 ($150 \mu\text{m}$ de abertura) para asfaltos rebajados, fijada al embudo mediante un sujetador. Cuando se trate de emulsiones asfálticas, únicamente se requiere una malla N° 20 ($850 \mu\text{m}$ de abertura) o tela de alambre con la misma abertura, montada en un marco.

3.4.2.4.- Termómetros

Según el tipo de material por probar se requieren los siguientes termómetros:

- Cuando se prueben cementos asfálticos, un termómetro de inmersión total, con rango de 95 a 155°C y aproximación de 0,2°C.
- Cuando se prueben emulsiones asfálticas, dos termómetros de inmersión total, uno con rango de 15 a 30°C y otro de 45 a 65°C, ambos con aproximación de 0,1°C.
- Cuando se prueben asfaltos rebajados, un termómetro de inmersión parcial, con rango de -7 a 110°C y aproximación de 0,5°C.

3.4.2.5.- Parrilla Eléctrica

De aproximadamente 20 cm de diámetro, con capacidad de 1 200 W, provista de control termostático.

3.4.2.6.- Cronómetro

Con aproximación de 1 s.

3.4.2.7.- Vaso de Precipitado

Para realizar la prueba en emulsiones asfálticas, además de lo ya mencionado, se requiere de un vaso de precipitado, de vidrio refractario y 400 cm³ de capacidad.

3.4.2.8.- Líquido para Llenar el Baño

Cuando se efectúen pruebas en cementos asfálticos a temperatura entre 120 y 150°C, el líquido para llenar el baño será aceite de grado 40 (SAE) o, si las temperaturas son superiores, aceite con viscosidad Saybolt-Furol de 17,5 a 18,5 s, a 99°C y punto de inflamación en copa abierta de Cleveland 357°C. Cuando se prueben emulsiones asfálticas o asfaltos rebajados, el baño se llenará con agua en lugar de aceite.

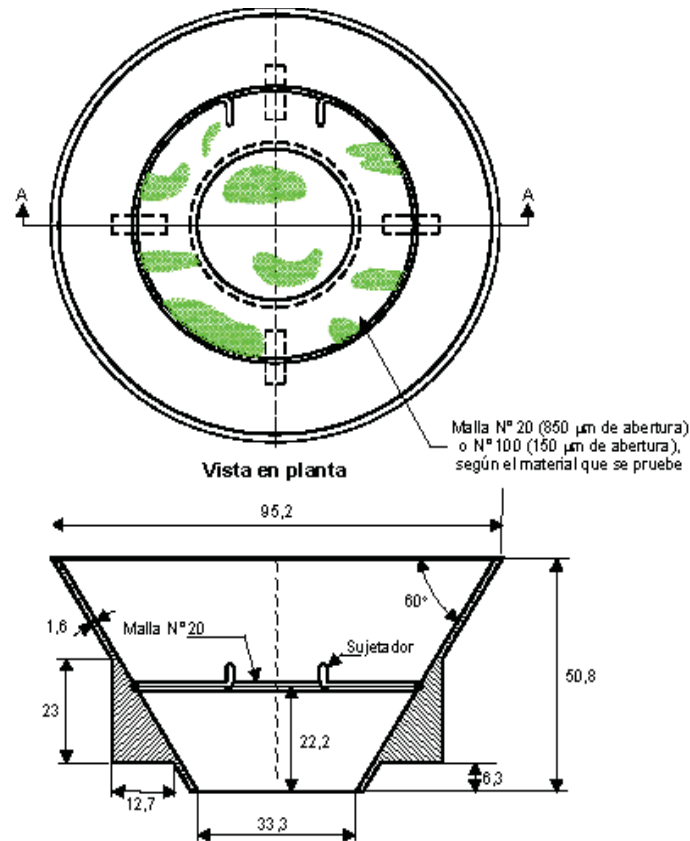


Figura 3. 8.- Embudo para filtrado. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-004/00)

3.4.3.- Preparación de la Muestra

La preparación de la muestra de material asfáltico, se hace de la siguiente manera:

3.4.3.1.- De Cementos Asfálticos

Se colocan 450 g de la muestra de cemento asfáltico en un recipiente y para fluidificarla se calienta hasta alcanzar una temperatura superior en 15°C a la de prueba, agitándola de vez en cuando, excepto durante los últimos 30°C de calentamiento, cuando el agitado será continuo. El tiempo de calentamiento no será mayor de 2 h y la muestra solamente se debe calentar una vez.

3.4.3.2.- De Emulsiones Asfálticas

La muestra de emulsión asfáltica por probar se homogeneiza mediante agitación moderada, evitando la formación de burbujas de aire y se vierten de ella 100 cm^3 en el vaso de precipitado.

3.4.3.3.- De Asfaltos Rebajados

Se colocan 150 g de la muestra de asfalto rebajado en un recipiente y se calienta hasta alcanzar una temperatura superior en 2°C a la de prueba, agitándola continuamente para uniformar la temperatura y evitar sobrecalentamientos locales.

3.4.4.- Procedimiento de la Prueba

3.4.4.1.- En Cementos Asfálticos o Asfaltos Rebajados

Para realizar la prueba en cementos asfálticos o asfaltos rebajados, se procede de la siguiente manera:

- 1) Se llena el baño del viscosímetro con el aceite adecuado para la temperatura a la cual se efectuará la prueba o con agua si se trata de un asfalto rebajado.
- 2) Se limpia el tubo de viscosidad con xilol o petróleo diáfano y se seca perfectamente antes de utilizarlo. Para facilitar esta limpieza, después de cada prueba el tubo de viscosidad se llena con aceite, se vacía y enseguida se limpia con xilol.
- 3) Una vez limpiado el tubo de viscosidad, se le inserta el tapón de corcho en su parte inferior, de manera que penetre de 6 a 9 mm, cuidando que ajuste herméticamente para evitar pérdidas de la muestra de prueba.
- 4) Se ajusta el baño del viscosímetro a una temperatura ligeramente inferior a la seleccionada para la prueba; se entibian y secan el tubo de viscosidad y el embudo con la malla N° 20 cuando se trate de cemento asfáltico o N° 100 para asfalto rebajado. A continuación se vierte en el tubo de viscosidad la muestra preparada, filtrándola a través de la malla, hasta que se derrame en la cazoleta; se coloca la tapa y se inserta el termómetro a través del orificio central de la misma.
- 5) Se agita la muestra continuamente con el termómetro, dándole a éste un movimiento circular y evitando movimientos verticales que pudieran provocar la formación de burbujas, teniendo cuidado de no golpear el fondo del tubo de viscosidad para no

presionar el asfalto a través del orificio de la boquilla; se ajusta la temperatura del baño hasta que la muestra alcance la temperatura de prueba y se establezca el equilibrio térmico.

- 6) Cuando la temperatura de la muestra permanezca constante durante 1 min de agitado continuo, con una discrepancia no mayor de 0.3°C respecto a la temperatura de prueba, se retirara la tapa para verificar que la muestra dentro de la cazoleta no llegue al nivel de derrame y se vuelve a colocar la tapa.
- 7) Inmediatamente después se coloca el matraz debajo del tubo de viscosidad, se retira el tapón de corcho y simultáneamente se pone en marcha el cronómetro, el cual se detiene en el momento en que la muestra alcance la marca de aforo de 60 cm^3 del matraz y se registra el tiempo medido. El tiempo transcurrido desde que se inicia el llenado del tubo de viscosidad hasta que empiece el llenado del matraz no debe ser mayor de 15 min.

3.4.4.2.- En Emulsiones Asfálticas

Para realizar la prueba en emulsiones asfálticas se procede de la siguiente manera:

- 1) Se llena el baño del viscosímetro con agua.
- 2) Se limpia el tubo de viscosidad con xilol o petróleo diáfano y se seca perfectamente antes de utilizarlo. Para facilitar esta limpieza, después de cada prueba el tubo de viscosidad se llena con aceite, se vacía y enseguida se limpia con xilol.
- 3) Una vez limpiado el tubo de viscosidad, se le inserta el tapón de corcho en su parte inferior, de manera que penetre de 6 a 9 mm, cuidando que ajuste herméticamente para evitar pérdidas de la muestra de prueba.
- 4) Dependiendo de la temperatura a la que se realice la prueba, se calienta el baño del viscosímetro y la muestra de la emulsión asfáltica como se indica a continuación:

a) Para prueba a 25°C

Se ajusta el baño a una temperatura de 25°C. A continuación se coloca en éste, durante 30 min, el vaso de precipitado que contiene la muestra de emulsión asfáltica de manera que su fondo quede abajo del nivel del agua aproximadamente 5 cm y se agita periódicamente su contenido, con movimientos circulares del termómetro a razón de aproximadamente 60 revoluciones por minuto, evitando la formación de burbujas. Transcurrido el lapso mencionado se procede como se indica anteriormente.

b) Para prueba a 50°C

Se ajusta el baño a una temperatura de $60 \pm 3^\circ\text{C}$. A continuación se coloca en éste, el vaso de precipitado que contiene la muestra de emulsión asfáltica de manera que su fondo quede abajo del nivel del agua aproximadamente 5 cm y se agita periódicamente su contenido, con movimientos circulares del termómetro a razón de aproximadamente 60 revoluciones por minuto, evitando la formación de burbujas. En las condiciones mencionadas se mantiene la muestra hasta que alcance una temperatura de $51.4 \pm 0,3^\circ\text{C}$ y se procede como se indica en el Inciso siguiente.

- 5) Se vierte en el tubo de viscosidad la muestra de emulsión asfáltica calentada, filtrándola a través de la malla N° 20 o la tela de alambre, previamente entibiada y seca, hasta que la emulsión asfáltica se derrame en la cazoleta; se coloca la tapa y se inserta el termómetro a través del orificio central de la misma.
- 6) Se agita la muestra continuamente con el termómetro, dándole a éste un movimiento circular y evitando movimientos verticales que pudieran provocar la formación de burbujas, teniendo cuidado de no golpear el fondo del tubo de viscosidad para no presionar la emulsión a través del orificio de la boquilla; se ajusta la temperatura del baño hasta que la muestra alcance la temperatura de prueba y se establezca el equilibrio térmico.

- 7) Cuando la temperatura de la muestra permanezca constante durante 1 min de agitado continuo, con una discrepancia no mayor de 0.1°C respecto a la temperatura de prueba, se retira la tapa para verificar que la muestra dentro de la cazoleta no llegue al nivel de derrame y se vuelve a colocar la tapa.
- 8) Inmediatamente después se coloca el matraz debajo del tubo de viscosidad, se retira el tapón de corcho y simultáneamente se pone en marcha el cronómetro, el cual se detiene en el momento en que la muestra alcance la marca de aforo de 60 cm^3 del matraz y se registra el tiempo medido. El lapso desde que se inicia el llenado del tubo de viscosidad hasta que empieza el llenado del matraz no debe ser mayor de 15 min.

3.4.5.- Cálculos y Resultados

Se reporta como viscosidad Saybolt-Furol de la muestra, el tiempo en segundos que tarda en llenarse el matraz con el material asfáltico hasta la marca de aforo, indicando también la temperatura de prueba.

3.4.6.- Precauciones para Evitar Errores

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

1. Realizar la prueba en lugares en que no se produzcan corrientes de aire ni cambios bruscos de temperatura.
2. Que durante el llenado del matraz, el asfalto escurra por la pared de su cuello, para evitar la formación de espuma o burbujas de aire.
3. Que las paredes interiores del baño y del tubo de viscosidad no tengan carbón u otras impurezas, verificándolo periódicamente.

3.5.- VISCOSIDAD ROTACIONAL BROOKFIELD DE CEMENTOS ASFÁLTICOS

3.5.1.- Objetivo de la Prueba

Esta prueba permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos, en un rango de 38 a 260°C, mediante la determinación de la resistencia que ofrece una muestra de prueba a la deformación. La prueba consiste en determinar el par de torsión que es necesario aplicar en un eje rotacional, en el seno de una muestra de prueba colocada dentro de un contenedor, bajo condiciones controladas de temperatura, para que gire a una cierta velocidad.

3.5.2.- Equipo

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes.

El equipo Brookfield Thermosel es como el mostrado en la Figura 3.9 y cuenta con:

- 1) Viscosímetro Brookfield estándar. Dependiendo del rango de viscosidad, puede ser modelo tipo LV, RV, HA o HB, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.
- 2) Sistema de lectura digital.
- 3) Extensión de guía y rotor.
- 4) Sistema Thermosel formado por un contenedor y una cámara de prueba térmica; un controlador de temperatura y un dispositivo graficador.

3.5.3.- Preparación del Equipo

- 1) Previamente a la realización de la prueba, el equipo estará debidamente calibrado, considerando las instrucciones del fabricante.

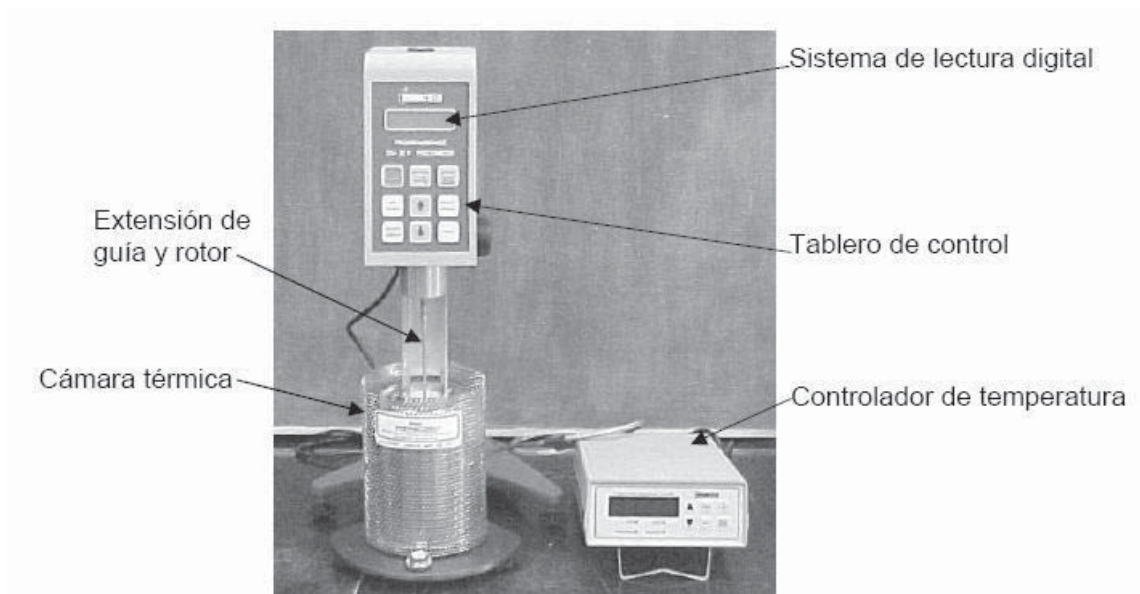


Figura 3. 9.- Viscosímetro digital Brookfield. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-005/02)

- 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 como se indica en la siguiente Cláusula.

3.5.4.- Preparación de la Muestra

La preparación de la muestra de cemento asfáltico, 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 interfase entre el cuerpo cónico del rotor y su brazo.
- 4) Se agita suficientemente la muestra para homogeneizarla.

3.5.5.- Procedimiento de la Prueba

Si la prueba se va a realizar a distintas temperaturas, se inicia con la temperatura menor. Se sigue el procedimiento que se describe a continuación 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 esté sumergido a la profundidad indicada; entonces se mueve la cámara de prueba en un plano horizontal hasta que el rotor esté 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 muestra de prueba aproximadamente 15 min, para permitir que se equilibre su temperatura.
- 4) Si se utilizan modelos tipo RV, HA o HB, se hace funcionar el viscosímetro a 20 rpm; si se trata de modelos tipo LV, se hace rotar a 12 rpm, de acuerdo con lo indicado por el fabricante del equipo. Si la lectura del aparato está entre 2 y 98 unidades, se hacen y registran tres lecturas a intervalos de 60 s.
- 5) Si la lectura es mayor de 98 unidades, se disminuye la velocidad del rotor. Si la lectura sigue siendo mayor de 98, se cambia el rotor por el siguiente 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.

3.5.6.- Cálculos y Resultados

Se reporta como resultado de esta prueba, en Pa·s, el promedio de las lecturas observadas en el viscosímetro para cada temperatura de prueba, indicando el número de rotor utilizado. En caso necesario, se harán las conversiones de unidades necesarias, de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

3.5.7.- Precauciones para Evitar Errores

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

1. Realizar la prueba en un lugar cerrado, con ventilación indirecta, limpio y libre de corrientes de aire, de cambios de temperatura y de partículas que provoquen la contaminación de las muestras de prueba.
2. Verificar que el equipo esté calibrado de acuerdo con las instrucciones del fabricante.
3. Mantener constante la velocidad del rotor durante la lectura de las mediciones.
4. Cuidar que todo el equipo esté perfectamente limpio, para que al hacer la prueba la muestra no se mezcle con agentes extraños y se altere el resultado. Se cuida de manera especial la limpieza del rotor. Después de cada determinación, el equipo se limpia utilizando una estopa impregnada con un disolvente apropiado.

3.6.- PENETRACIÓN EN CEMENTOS Y RESIDUOS ASFÁLTICOS

3.6.1.- Objetivo de la Prueba

Esta prueba permite determinar la consistencia de los cementos asfálticos, así como de los residuos por destilación de las emulsiones y asfaltos rebajados, mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de prueba de dichos materiales bajo condiciones establecidas de masa, tiempo y temperatura.

3.6.2.- Equipo

El equipo para la ejecución de la prueba debe estar en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste.

El equipo necesario es el siguiente:

3.6.2.1.- Aparato de Penetración o Penetrómetro para Asfaltos

Como el mostrado en la Figura 3.10, capaz de sujetar una aguja como las referidas en la Fracción siguiente y provisto de un dispositivo para medir la profundidad de penetración de la aguja, en décimos de milímetro. También contará con un mecanismo que permita aproximar la aguja a la muestra de prueba y con pesas o lastres de 50 y 100 g.



Figura 3. 10.- Penetrómetro para la prueba de penetración. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-006/00)

3.6.2.2.- Agujas

De acero inoxidable, totalmente endurecidas y perfectamente pulidas, con la forma y dimensiones que se muestran en la Figura 3.11, que se acoplen al penetrómetro mediante un casquillo de bronce o de acero inoxidable, sobresaliendo de éste último entre 40 y 45 mm.

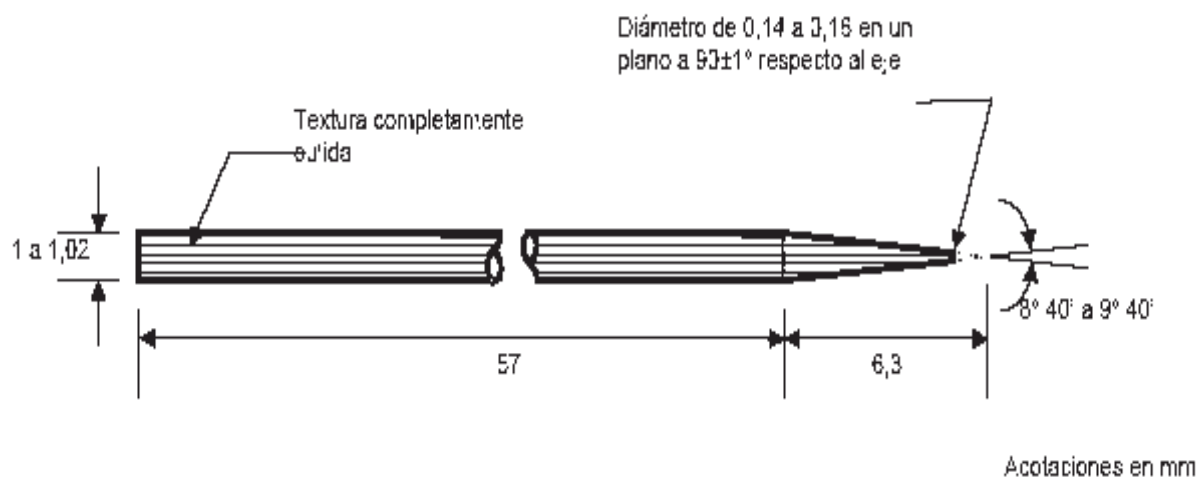


Figura 3. 11.- Aguja para la prueba de penetración. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-006/00)

3.6.2.3.- Cápsula de Penetración

De metal o de vidrio refractario, de forma cilíndrica y con el fondo plano; con diámetro interior de 55mm y altura interior de 35mm, para penetraciones menores de 200×10^{-1} mm; o diámetro interior de 70mm y altura interior de 45mm para penetraciones entre 200 y 350×10^{-1} mm.

3.6.2.4.- Baño de Agua

Con temperatura controlable hasta 50°C y aproximación de $0,1^\circ\text{C}$, con dimensiones y características tales que le permitan una capacidad mínima de 10 L. 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.

3.6.2.5.- Termómetro

Con rango de 0 a 50°C y aproximación de 1°C.

3.6.2.6.- Cronómetro

Con aproximación de 0.2 s.

3.6.2.7.- Recipiente de Manejo

De metal, plástico o vidrio, de forma cilíndrica adecuada para manejar y mantener sumergida la cápsula de penetración que contenga la muestra de prueba; de 350 cm³ de capacidad y con relieves en el fondo para evitar que la muestra que contiene se mueva durante el proceso de ensaye.

3.6.2.8.- Malla N°50

De 300 µm de abertura, cuando se prueben residuos por destilación de emulsiones asfálticas.

3.6.2.9.- Espátula de Níquel

De 20 cm de longitud, cuando se prueben residuos por destilación.

3.6.3.- Preparación de la Muestra

La muestra de prueba, según se trate de cemento asfáltico o del residuo por destilación, se prepara como se indica a continuación:

3.6.3.1.- Muestra de Cemento Asfáltico

De la muestra de cemento asfáltico, se toma una porción de volumen ligeramente mayor al de la cápsula de penetración y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua con el objeto de distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente para facilitar su vaciado en dicha cápsula, cuidando que durante su calentamiento no se formen burbujas de aire, que la temperatura alcanzada no exceda de 130°C y que esta operación se realice en un lapso menor de 30 min. Hecho esto, inmediatamente se llena la cápsula con la muestra de prueba, se cubre adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.

3.6.3.2.- Muestra del Residuo por Destilación de una Emulsión Asfáltica

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica, se destapa el alambique utilizado en esa prueba, se homogeneiza su contenido con la espátula y se llena la cápsula de penetración vertiendo el residuo a través de la malla N° 50, se cubre adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.

3.6.3.3.- Muestra del Residuo por Destilación de un Asfalto Rebajado

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación del asfalto rebajado y tan pronto como deje de vaporizar en la cápsula metálica utilizada en esa prueba, se homogeneiza con la espátula y se llena la cápsula de penetración, se cubre adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente.

3.6.4.- 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 espacio de 2 h, con objeto de que el producto asfáltico adquiera esa temperatura.
- 2) Se coloca el penetrómetro 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 penetrómetro.
- 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 penetrómetro, 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 con la de su imagen reflejada en la superficie de la muestra.

- 4) Se hace coincidir la manecilla del penetrómetro 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 utilizará 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 prueba al hacer las penetraciones.

3.6.5.- Cálculos y Resultados

Se reporta como resultado de la prueba, el promedio de las profundidades a las que haya entrado la aguja en por lo menos tres penetraciones, expresadas en décimos de milímetro y con aproximación a la unidad, valor conocido también como *grado de penetración*. Las penetraciones utilizadas para el cálculo del promedio, deben estar dentro de las diferencias permisibles mostradas en la Tabla 3.9, de lo contrario la prueba se repetirá. En el reporte quedarán asentados la temperatura, la masa y el tiempo de penetración con los que se realice la prueba.

Tabla 3. 9.- Diferencias permisibles entre los valores de penetración considerados para el cálculo de resultados. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-006/00)

Unidades en 1×10^{-1} mm (Grados de penetración)

Valor de la penetración	Diferencias permisibles
0 - 49	2
50 - 149	4
150 – 249	6
250 ó más	8

3.6.6.- Precauciones para Evitar Errores

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

- 1) Tener especial cuidado en realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura, masa y tiempo de penetración que se especifiquen.
- 2) Cuidar que no exista aire atrapado en la muestra de prueba.
- 3) Confirmar que la aguja esté perfectamente limpia en el momento de la penetración.
- 4) Verificar que la aguja esté en contacto con la superficie de la muestra de prueba al iniciar la penetración.
- 5) Cuidar que la aguja no toque el fondo del recipiente antes de finalizar el tiempo especificado.

3.7.- PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND EN CEMENTOS ASFÁLTICOS

3.7.1.- Objetivo de la Prueba

Esta prueba permite determinar la temperatura mínima a la que el asfalto produce flamas instantáneas al estar en contacto con el fuego directo, así como aquella en que inicia su combustión. La prueba consiste en colocar una muestra de asfalto en una copa

abierta de Cleveland, en donde se incrementa paulatinamente su temperatura hasta lograr que al pasar una flama por la superficie de la muestra se produzcan en ella flamas instantáneas, la temperatura correspondiente se denomina *punto de inflamación*. Si se continúa elevando la temperatura de la muestra se llega al punto en que se inicia la combustión del material, la temperatura correspondiente se denomina *punto de combustión*.

3.7.2.- Equipo

El equipo para la ejecución de la prueba debe estar en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste.

El equipo necesario es el siguiente:

3.7.2.1.- Copa Abierta de Cleveland

De latón, bronce o acero inoxidable, con la forma y dimensiones indicadas en la Figura 3.12.

3.7.2.2.- Soporte para la Copa Abierta de Cleveland

Como el mostrado en la Figura 3.13, provisto de una placa de apoyo metálica y otra de asbesto, ambas con las características indicadas en la Figura 3.14.

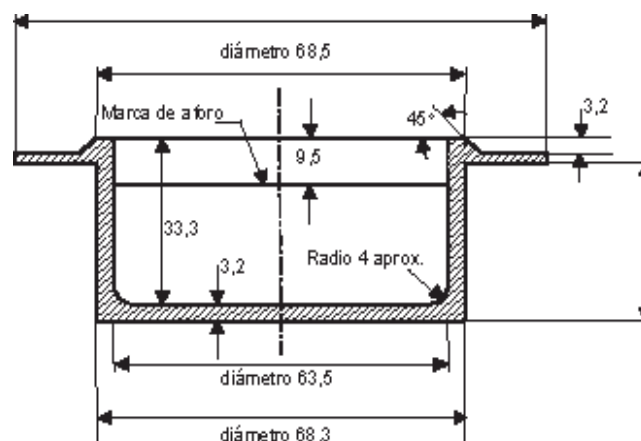


Figura 3. 12.- Copa abierta de Cleveland. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-007/00)

3.7.2.3.- Parrilla Eléctrica o Mechero

Adaptada para controlar en forma uniforme la aplicación de calor. Si se emplea un mechero, se protegerá de las corrientes de aire o de la luz excesiva en el sitio de trabajo, mediante una pantalla que no sobresalga del nivel superior de la placa de apoyo.

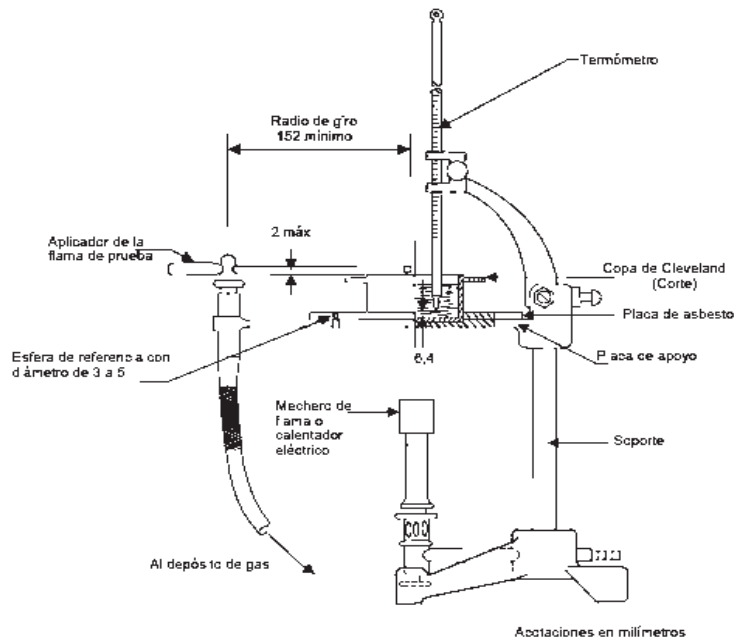
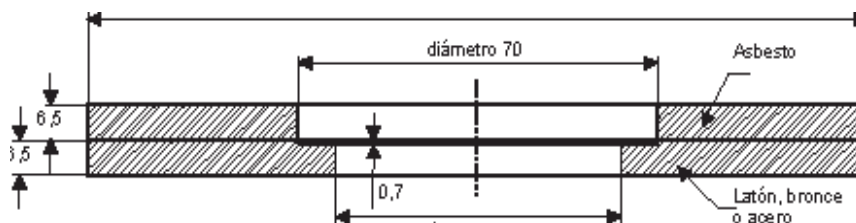


Figura 3. 13.- Montaje del equipo. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-007/00)

Figura 3. 14.- Placa circular de apoyo para la copa de Cleveland. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-007/00)



3.7.2.4.- Termómetro de Inmersión Parcial

Con bulbo de 25 mm de longitud, con rango de -6 a 400°C y aproximación de 2°C.

3.7.2.5.- Aplicador de Flama

Con dimensiones aproximadas de 1.6 mm de diámetro en el extremo de salida y orificio de 0.8 mm de diámetro, acoplado al soporte de tal forma que le permita girar en un plano horizontal que diste 2 mm como máximo del borde superior de la copa de Cleveland, como se muestra en la Figura 3.13.

3.7.2.6.- Barómetro

Para determinar la presión atmosférica en kPa o mm de mercurio.

3.7.3.- Preparación de la Muestra

De la muestra de cemento asfáltico, se toma una porción de volumen ligeramente mayor al de la copa abierta de Cleveland y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua para distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente que facilite su vaciado en la copa, cuidando que la temperatura alcanzada no exceda de 130°C.

3.7.4.- Procedimiento de la Prueba

- 1) Se monta y sujeta el termómetro de manera que el extremo inferior del bulbo quede a 6.4 mm del fondo de la copa abierta de Cleveland, previamente colocada en la placa de apoyo, en un punto situado a la mitad de la distancia entre el centro y la pared de la copa opuesta al aplicador de flama; cuidando que el eje de giro del aplicador de flama, el centro de la copa y el eje del termómetro queden en el mismo plano vertical como se muestra en la Figura 3.13.
- 2) Se vacía lentamente en la copa abierta de Cleveland el material asfáltico preparado, hasta que la parte superior del menisco coincida con la marca de aforo de la copa, destruyendo cualquier burbuja que se forme en la superficie de la muestra de prueba vertida. En el caso de rebasar la marca de aforo se eliminará el exceso de asfalto utilizando cualquier medio apropiado.
- 3) Se enciende el aplicador de flama y se ajusta ésta para que tenga un diámetro aproximado de 3 a 5 mm, lo cual se verificará por comparación con una esfera de referencia, instalada en la placa de apoyo como se muestra en la Figura 3.13,

después de lo cual el aplicador se mantiene alejado de la copa mientras no se le requiera.

- 4) Se aplica calor a la muestra de prueba de manera que su temperatura aumente a razón de 14 a 17°C/min, hasta que alcance una temperatura aproximada de 60°C abajo del punto de inflamación probable. A continuación, se reduce gradualmente el calor aplicado a la copa de manera que al llegar la muestra a 30°C abajo del punto de inflamación probable, el incremento de temperatura sea de 5 a 6°C/min.
- 5) Cuando la temperatura de la muestra de prueba sea de 30°C abajo del punto de inflamación probable, se inicia la aplicación de la flama pasándola de lado a lado de la copa, sobre el centro de la misma y con movimiento circular uniforme de manera que la duración del paso de la flama sobre la copa sea de 1 s aproximadamente y que el aplicador gire lo suficiente hasta formar un ángulo recto con el diámetro de la copa que pasa por el eje del termómetro. El centro de la flama de prueba se debe mover en un plano horizontal situado a no más de 2 mm arriba del borde superior de la copa. La flama se aplicará cada vez que la temperatura de la muestra se eleve 2°C.
- 6) Se registra como punto de inflamación (t_1), en grados Celsius con aproximación de 2°C, la temperatura leída en el termómetro cuando al pasar el aplicador se produzca una pequeña flama instantánea o destello en cualquier punto de la superficie de la muestra, teniendo cuidado de no confundirla con el pequeño halo que suele tener la flama del aplicador.
- 7) Se continúa incrementando la temperatura de la muestra de prueba a razón de 5 a 6°C/min, pasando el aplicador de flama cada incremento de 2°C, hasta que se produzcan flamas que duren por lo menos 5 s, registrando en este momento la temperatura alcanzada (t_2), como el punto de combustión, en °C, con aproximación de 2°C.

3.7.5.- Cálculos y Resultados

Si la presión barométrica del lugar donde se efectúe la prueba, no es de 101.3 kPa (760 mm de mercurio), se corrigen las temperaturas t_1 y t_2 aplicando una de las siguientes formulas:

$$t_n' = t_n + 0,25 (101,3 - P)$$

$$t_n' = t_n + 0,033 (760 - p)$$

Donde:

t_n' = Temperatura t_1 o t_2 , corregida por presión barométrica, (°C)

t_n = Temperatura t_1 o t_2 , registrada durante la prueba, (°C)

P = Presión barométrica del lugar en que se efectúe la prueba, (kPa)

p = Presión barométrica del lugar en que se efectúe la prueba, (mm Hg)

Se reportan como punto de inflamación y punto de combustión del cemento asfáltico las temperaturas t_1 y t_2 , respectivamente, corregidas en su caso por presión barométrica (t_1' y t_2'), con aproximación de 2°C.

3.7.6.- Precauciones para Evitar Errores

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

1. Realizar la prueba en un local libre de corrientes de aire y relativamente oscuro para que se puedan identificar fácilmente las flamas.
2. Evitar agitar los vapores que se desprendan de la copa al aplicar la flama de prueba, no haciendo movimientos bruscos ni respirando cerca de ella.
3. Lavar la copa con un disolvente adecuado para eliminar cualquier residuo de la prueba anterior. Si contiene partículas de carbón removerlas con fibra de acero y lavarla con agua fría, después acercarla a una flama o colocarla sobre una parrilla eléctrica para eliminar el disolvente y el agua.

3.8.- SOLUBILIDAD DE CEMENTOS Y RESIDUOS ASFÁLTICOS

3.8.1.- Objetivo de la Prueba

Esta prueba permite conocer la pureza del material asfáltico en cuanto a su contenido de sustancias sólidas y consiste en disolver en tricloroetileno o tricloroetano, una muestra de cemento asfáltico o del residuo por destilación de una emulsión o de un asfalto rebajado, filtrándola a través de una capa de fibra de asbesto, donde se retiene la fracción insoluble.

3.8.2.- Equipo y Materiales

El equipo para la ejecución de la prueba debe estar en condiciones óptimas para su uso, calibrado, limpio, completo en todas sus partes y sin desgaste. Todos los materiales a emplear serán de primera calidad, considerando la fecha de caducidad, en su caso.

El equipo y los materiales necesarios son los siguientes:

3.8.2.1.- Equipo para Filtrado

Como el mostrado en la Figura 3.15 e integrado por:

- Un crisol Gooch, porcelanizado excepto en su base, con diámetro superior de 44 mm, diámetro de la base de 36 mm y altura de 25 mm (dimensiones aproximadas).
- Un matraz de filtración Kitasato, de 500 cm³ de capacidad, provisto de una conexión para la bomba de succión o de vacío.
- Un adaptador de neopreno, con 41 ± 1 mm de diámetro interior y provisto de un tubo de descarga, que permita acoplar el crisol Gooch al matraz de filtración.
- Una bomba de succión o de vacío.

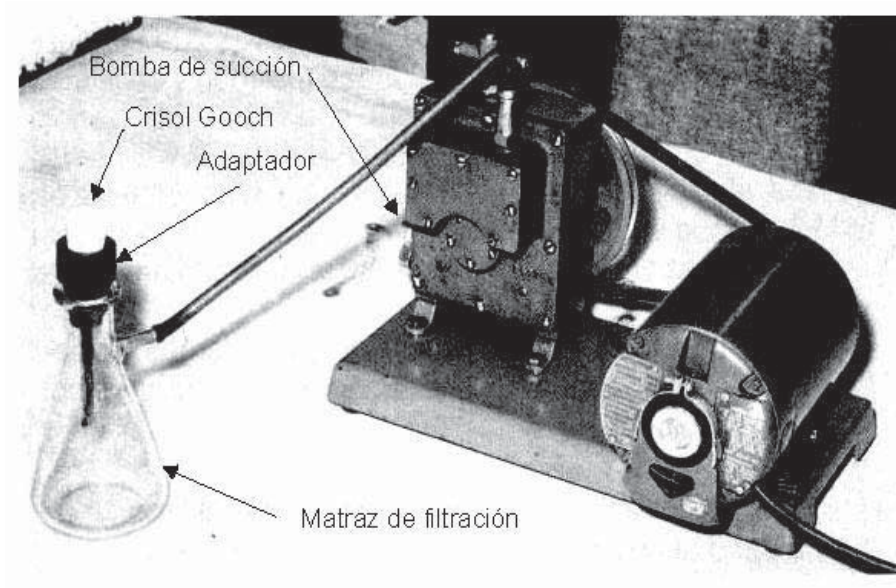


Figura 3. 15.- Equipo para filtrado. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-008/00)

3.8.2.2.- Matraz Erlenmeyer

De 125 cm³ de capacidad.

3.8.2.3.- Horno con Termostato

Capaz de mantener una temperatura constante de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$.

3.8.2.4.- Balanza Analítica

Con aproximación de 0.1 mg.

3.8.2.5.- Desecador

De cristal y de tamaño adecuado, con cloruro de calcio como elemento desecador.

3.8.2.6.- Fuente de Calor

De flama abierta.

3.8.2.7.- Asbesto

Seleccionado de fibras largas, variedad anfíbola, lavado en ácido, para ser empleado en el crisol Gooch.

3.8.2.8.- Agua

Destilada.

3.8.2.9.- Solvente

Tricloroetileno o tricloroetano, para disolver la muestra de material asfáltico.

3.8.2.10.- Malla N° 50

De 300 μm de abertura, cuando se prueben residuos por destilación de emulsiones asfálticas.

3.8.2.11.- ESPÁTULA DE NIQUEL

De 20 cm de longitud, cuando se prueben residuos.

3.8.3.- Preparación de la Muestra

La muestra de prueba, según se trate de cemento asfáltico o del residuo por destilación, se prepara como se indica a continuación:

3.8.3.1.- Muestra de Cemento Asfáltico

De la muestra de cemento asfáltico, se toma en un recipiente adecuado una muestra de prueba de aproximadamente 2 g.

3.8.3.2.- Muestra del Residuo por Destilación de una Emulsión Asfáltica

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica, se destapa el alambique utilizado en esa prueba, se homogeneiza su contenido con la espátula, se toma una muestra de prueba de aproximadamente 2 g en un recipiente apropiado, vertiendo el residuo a través de la malla N° 50 y se introduce en el desecador para protegerla del polvo.

3.8.3.3.- Muestra del Residuo por Destilación de un Asfalto Rebajado

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación del asfalto, se homogeneiza con la espátula, se toma una muestra de prueba de aproximadamente 2 g en un recipiente apropiado y se introduce en el desecador para protegerla del polvo.

3.8.4.- Procedimiento de la Prueba

- 1) Se desmenuzan de 20 a 30 g de asbesto, se ponen en 1 L de agua destilada y se agitan para formar una suspensión dispersa y uniforme.
- 2) Se monta el equipo para filtrado, se coloca en el fondo del crisol Gooch parte

del asbesto en suspensión y se deja en reposo hasta que se asiente. A continuación, se aplica una ligera succión para eliminar el agua y formar una capa firme de asbesto.

- 3) Se desmonta el crisol y se lava la capa de asbesto con agua destilada. Enseguida se seca el crisol en el horno, se calcina el asbesto al rojo vivo, colocando el crisol sobre una flama abierta, hasta que se alcance una masa constante y se deja enfriar en el A continuación se determina la masa de la capa de asbesto y se repite el proceso indicado anteriormente, hasta que dicha masa sea de 0.5 ± 0.1 g, se registra la masa del crisol preparado (W_i), con aproximación de 0.1 mg y se conserva en el desecador hasta su utilización.
- 4) La muestra de prueba, se calienta, agitándola en forma continua con el objeto de distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente para facilitar su vaciado en el matraz Erlenmeyer, cuidando que la temperatura alcanzada no exceda de 130°C y que esta operación se realice en un lapso menor de 30 min.
- 5) Se vierte la muestra de prueba en el matraz Erlenmeyer, se deja enfriar a la temperatura ambiente y se registra la masa de la misma (W_m), con aproximación de 1 mg. A continuación se agregan en pequeñas porciones, 100 cm^3 del solvente seleccionado, agitando en forma continua hasta disolver totalmente la parte soluble del asfalto y cuidando que las partículas insolubles no se adhieran a las paredes del matraz, después de lo cual se tapa éste y se deja en reposo durante 15 min como mínimo.
- 6) El crisol Gooch ya preparado, se instala en el matraz de filtración debidamente acoplado a la bomba de succión y se humedece la capa de asbesto con una pequeña cantidad del solvente seleccionado; se decanta cuidadosamente la solución de asfalto contenida en el matraz Erlenmeyer y se hace pasar por la capa de asbesto, succionando ligeramente si es necesario, para facilitar el paso de la solución. Se lava el interior del matraz con pequeñas cantidades de solvente y se vierte esta solución en el crisol. Se lava el contenido del crisol con el solvente hasta que éste salga incoloro y se succiona hasta eliminarlo

totalmente.

- 7) A continuación se desmonta el crisol y se lava exteriormente con el solvente utilizado, después de lo cual se seca sobre la superficie exterior del horno, hasta que no se perciba olor a solvente, completando su secado dentro del horno a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, durante 20 min como mínimo. Se enfría el crisol en el desecador durante 30 ± 5 min y se determina su masa con aproximación de 1 mg. Se repite la operación de secado en el horno hasta obtener una masa constante, la cual se registra como W_f .

3.8.5.- Cálculos y Resultados

Como resultado de esta prueba se calcula y reporta la fracción soluble del material asfáltico, utilizando la siguiente expresión:

$$S = \frac{W_f - W_f - W_i}{W_m} * 100 = \left[1 - \frac{W_f - W_i}{W_m} \right] * 100$$

Donde:

- S = Solubilidad del cemento asfáltico, (%)
- W_m = Masa de la muestra de prueba, (g)
- W_f = Masa del crisol preparado incluyendo el material insoluble, (g)
- W_i = Masa del crisol preparado, (g)

3.8.6.- Precauciones para Evitar Errores

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

1. Cuidar que la capa de asbesto en el crisol Gooch tenga la masa indicada para la prueba.
2. Asegurarse que la parte soluble del asfalto se disuelva totalmente en el matraz Erlenmeyer y que las partículas insolubles no se adhieran a las paredes del matraz.
3. Cuidar que el lavado del contenido del crisol al término del filtrado se haga hasta que el solvente salga incoloro.

3.9.- PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EN CEMENTOS ASFÁLTICOS

3.9.1.- Objetivo de la Prueba

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.

3.9.2.- 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.

El equipo y los materiales necesarios son los siguientes:

3.9.2.1.- Anillos

Dos anillos de latón, con el diseño y dimensiones señalados en la Figura 3.16.

3.9.2.2.- Vaso de Vidrio Refractario

Con diámetro interior mínimo de 85 mm y altura de 120 mm.

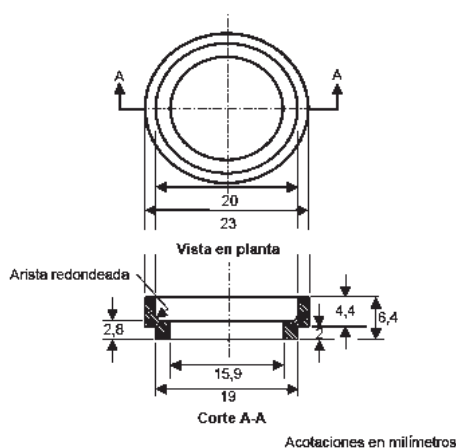


Figura 3. 16.- Anillo para la prueba de punto de reblandecimiento. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-009/00)

3.9.2.3.- Sistema de Soporte

Un portanillos de latón, con la forma y dimensiones señaladas en la Figura 3.17, con un soporte de metal resistente a la corrosión, integrado por dos columnas que sostengan al portanillos y a una placa rectangular inferior, de forma que la distancia entre la parte inferior de aquel y la superior de ésta sea de 25 mm, y sujetas a una placa circular que sirva de tapa para el vaso refractario. El soporte debe estar dispuesto de manera que la parte inferior de la placa rectangular se ubique a 16 ± 0.3 mm del fondo del vaso, como se muestra en la Figura 3.18.

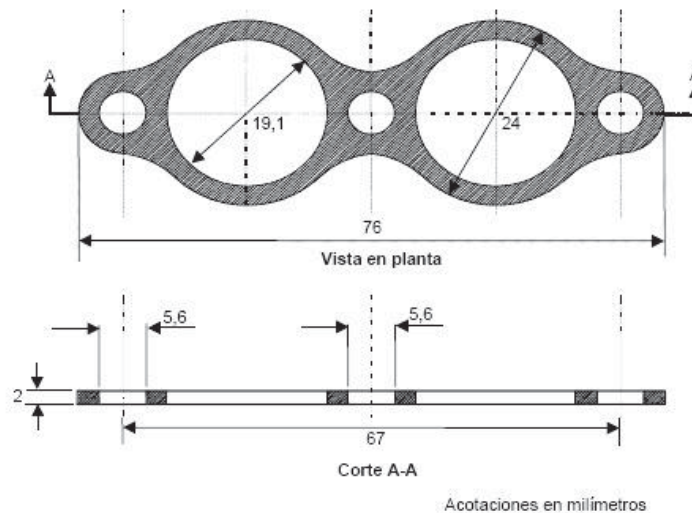


Figura 3. 17.- Portanillos para la prueba de punto de reblandecimiento. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-009/00)

3.9.2.4.- Esferas

Dos esferas de acero, de 9.5 mm de diámetro y de 3.5 ± 0.05 g de masa.

3.9.2.5.- Guías

Dos guías de latón para centrar las esferas, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 3.19.

3.9.2.6.- Placa de Apoyo

Plana, lisa y rígida, de latón o bronce, de 5×10 cm como mínimo.

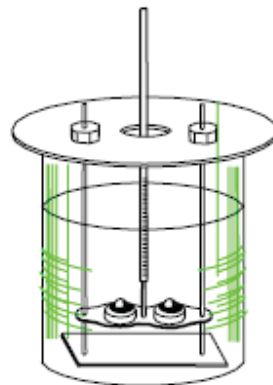


Figura 3. 18.- Montaje del sistema de soporte. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-009/00)

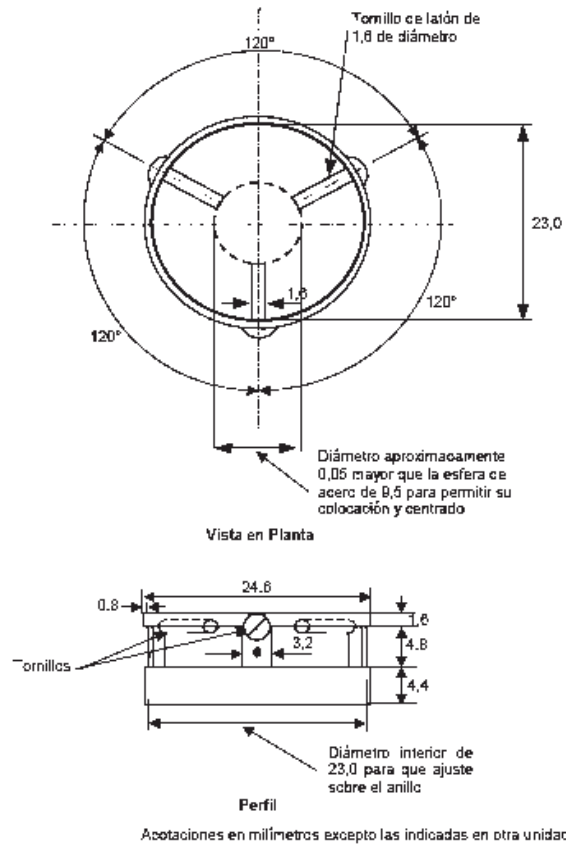


Figura 3. 19.- Guía para centrar la esfera. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-009/00)

3.9.2.7.- Parrilla Eléctrica ó Mechero

Adaptada para controlar la aplicación de calor. Si se emplea un mechero, se debe proteger de las corrientes de aire o de la radiación excesiva, mediante una pantalla que no sobresalga del nivel inferior del vaso.

3.9.2.8.- Termómetro

De inmersión total con rango de -1 a 175°C y aproximación de 0.5°C.

3.9.2.9.- Pinzas

Adecuadas para manejar las esferas.

3.9.2.10.- Espátula ó Cuchillo

De acero flexible, de 15 mm de ancho y 150 mm de largo.

3.9.2.11.- Agua Limpia ó Glicerina

Agua potable cuando se prueben cementos asfálticos con punto de reblandecimiento menor de 80°C o glicerina para temperaturas mayores.

3.9.2.12.- Antiadherente

Aceite o grasa de silicón; una mezcla de glicerina y dextrina; talco o caolín, para recubrir la placa de apoyo y evitar su adherencia con el asfalto.

3.9.2.13.- Paño

Para aplicar el antiadherente en la placa de apoyo.

3.9.3.- Preparación de la Muestra

La muestra de cemento asfáltico, 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°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 el antiadherente seleccionado. A continuación se vierte en los anillos el 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 de 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.

3.9.4.- Ejecución de la Prueba

- 1) Se ensambla el sistema de soporte colocando en su lugar los anillos con la muestra de prueba, las guías y el termómetro de manera que la parte inferior de su bulbo quede al mismo nivel que la parte inferior de los anillos, sin que toque las paredes del orificio central del portanillos. Se llena el vaso de vidrio hasta una altura de 10 cm, con agua potable a $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ si el punto de reblandecimiento esperado es menor de 80°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 como se ilustra en la Figura 3.18.
- 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.

- 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.

3.9.5.- Resultados

Se reporta como punto de reblandecimiento del cemento asfáltico el promedio de las temperaturas registradas como se indica en pasos anteriores, con aproximación de 0.5°C , indicando el líquido utilizado para la prueba.

3.9.6.- Recomendaciones para Evitar Errores

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, deben observarse las siguientes precauciones:

- 1) Cuidar que durante el llenado de los anillos no se formen burbujas de aire en la superficie o en el interior de la muestra de prueba.
- 2) Realizar la prueba en un local libre de corrientes de aire.
- 3) Cuidar que la temperatura con la que se inicie la prueba corresponda a la establecida para el líquido con el que se llene el vaso.
- 4) Evitar durante la prueba que la temperatura se eleve en incrementos diferentes al especificado.
- 5) Lavar los anillos con un disolvente adecuado para eliminar cualquier residuo de la prueba anterior. Si contienen partículas de carbón, removerlas con fibra de acero, lavarlos con agua fría y después acercarlos a una flama o colocarlos sobre la parrilla eléctrica para eliminar el disolvente y el agua.

3.10.- PRUEBAS EN EL RESIDUO DE LA PELÍCULA DELGADA DE CEMENTOS ASFÁLTICOS

3.10.1.- Objetivo del Prueba

Esta prueba permite estimar el endurecimiento que sufren los cementos asfálticos que en películas de pequeño espesor se someten a los efectos del calor y el aire. La prueba consiste en someter una muestra de cemento asfáltico a un proceso de calentamiento para producir un residuo al cual, dependiendo del tipo de cemento asfáltico que se esté probando, se le realizan diversas pruebas. En el caso de cementos asfálticos normales, al residuo se le efectúan pruebas para determinar la pérdida de masa que experimentó, su viscosidad dinámica, la penetración que conserva respecto a la del cemento asfáltico original, así como su ductilidad; si se trata de cementos asfálticos modificados, al residuo se le efectúan pruebas para determinar la pérdida de masa que experimentó, la penetración del residuo y la penetración que conserva respecto a la del cemento asfáltico modificado original, su ductilidad, recuperación elástica en ductilómetro, incremento en temperatura anillo y esfera (punto de reblandecimiento), módulo reológico de corte dinámico, así como su ángulo fase.

3.10.2.- Equipo y Materiales

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes. Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

3.10.2.1.- Horno Eléctrico

Con interior de forma cúbica de 31 cm por lado como mínimo, de doble pared, con control termostático que permita mantener una temperatura máxima 180°C, con aproximación de 1°C, provisto de una puerta con cierre hermético que permita descubrir todo el espacio interior; dicha puerta tendrá una ventana de doble pared de vidrio, con dimensiones mínimas de 10 cm por lado, a través de la cual se pueda leer un termómetro situado verticalmente en el interior, o bien, estará provisto de una puerta interior adicional de vidrio para el mismo fin. El horno tendrá aberturas para ventilación en el fondo y en la cubierta o en la parte superior e inferior de las paredes laterales. Estará provisto de una plataforma metálica circular de aproximadamente 25 cm de diámetro, como mínimo,

suspendida en posición horizontal en el centro del horno y con un dispositivo que le permita girar a razón de 5 a 6 rpm; la plataforma proporcionará una superficie plana de soporte para las charolas, pero sin bloquear la circulación del aire cuando dichas charolas estén colocadas en su lugar dentro del horno.

3.10.2.2.- Charolas

De aluminio o acero inoxidable, redondas, de fondo plano, de 0.76 mm de espesor, 140 mm de diámetro interior y 9.6 mm de altura, de tal manera que al colocar en ellas una muestra de prueba de aproximadamente 50 cm³, se forme una película de 3 mm de espesor.

3.10.2.3.- Termómetro

De inmersión total, con escala que abarque de 155 a 170°C y aproximación de 1°C.

3.10.2.4.- Balanza

Con capacidad mínima de 150 g y aproximación de 1 mg.

3.10.2.5.- Placas de Asbesto-Cemento

Con tamaño suficiente que abarque toda la superficie de las charolas colocadas dentro del horno.

3.10.2.6.- Equipo y Material para la Prueba de Viscosidad Dinámica

Todo el que se indica en la prueba de Viscosidad Dinámica de Cementos y Residuos Asfálticos.

3.10.2.7.- Equipo y Material para la Prueba de Penetración

Todo el que se indica en la prueba de Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos.

3.10.2.8.- Equipo y Material para la Prueba de Punto de Reblandecimiento

Todo el que se indica en la prueba de Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos, en el caso de que se prueben cementos asfálticos modificados.

3.10.2.9.- Equipo y Material para la Prueba de Ductilidad

Todo el que se indica en la prueba de Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos.

3.10.2.10.- Equipo y Material para la Prueba de Módulo Reológico de Corte Dinámico y Obtención del Ángulo Fase

Todo el que se indica en la prueba de Módulo Reológico de Corte Dinámico, en el caso de que se prueben cementos asfálticos modificados.

3.10.2.11.- Equipo y Material para la Prueba de Recuperación Elástica en Ductilómetro

Todo el que se indica en la prueba de Recuperación Elástica en Ductilómetro, en el caso de que se prueben cementos asfálticos modificados.

3.10.3.- Preparación de la Muestra

La preparación de la muestra de cemento asfáltico, se hace de la siguiente manera:

- 1) De la muestra se toma una porción ligeramente mayor de 150 g y se le aplica el calor indispensable para fluidificarla, agitándola continuamente para homogeneizar su temperatura y evitar sobrecalentamientos locales, cuidando que la temperatura alcanzada no sea mayor de 130°C y que no se formen burbujas de aire. En tres charolas previamente taradas, se vierten 50 ± 0.5 g de la muestra.
- 2) En caso de que no se cuente previamente con el valor de la penetración en el asfalto original (P_i), se preparará la muestra de prueba correspondiente y se obtendrá dicho valor.

3.10.4.- Procedimiento de la Prueba

- 1) Se dejan enfriar las muestras colocadas en las charolas hasta la temperatura ambiente, posteriormente se obtienen sus masas por separado con aproximación de ± 1 mg, anotado cada una de estas masas como W_{i1} , W_{i2} ,... W_{in} , respectivamente.
- 2) Se nivela el horno con objeto de que la plataforma gire en un plano sensiblemente horizontal. El termómetro se sujeta paralelamente al eje vertical de la plataforma, colocándolo a la mitad del radio de la misma y cuidando que el bulbo quede 6 mm arriba de la plataforma aproximadamente.

- 3) En el momento en que el horno alcance la temperatura de 163°C , se colocan sobre la plataforma las charolas que contienen las muestras de prueba, se cierra el horno y se hace girar dicha plataforma a una velocidad 5 a 6 rpm. La temperatura dentro del horno se mantiene a $163 \pm 1^{\circ}\text{C}$, durante un periodo de 5 h, contadas a partir de que la temperatura, que debe haber descendido al introducir las charolas, alcance nuevamente 163°C . En ningún caso el tiempo total que permanezcan las muestras de prueba en el horno será mayor de 5,25 h.
- 4) Al finalizar el periodo de calentamiento, se sacan las muestras del horno, se enfrían hasta alcanzar la temperatura ambiente, se obtienen sus masas por separado con aproximación de ± 1 mg y se registra cada una de estas masas como W_{f1} , W_{f2} , ... W_{fn} , respectivamente.
- 5) Se prepara el residuo para efectuar las pruebas restantes, ya sean para cemento asfáltico normal o modificado, colocando las charolas sobre las placas de asbesto-cemento; después se acomoda el conjunto sobre la plataforma circular, se introduce en el horno, que estará a una temperatura de 163°C y se hace girar la plataforma a una velocidad de 5 a 6 rpm durante 15 min. Hecho esto, se sacan las charolas del horno y se vierte su contenido en una sola de ellas con ayuda de una espátula, agitándolo para homogeneizarlo.
- 6) Una vez homogeneizado el residuo, se vierte en los moldes apropiados para luego realizar las pruebas aplicables dependiendo del tipo de cemento asfáltico, pudiendo ser éstas:
 - a) Viscosidad dinámica a 60°C , tanto en cementos asfálticos normales como modificados.
 - b) Penetración (P_f) a 25°C , 100 g y 5 s cuando se trate de cementos asfálticos normales o a 4°C , 200g y 60 s en el caso de cementos asfálticos modificados
 - c) Punto de reblandecimiento cuando se trate de cementos asfálticos modificados, para conocer el incremento en temperatura anillo y esfera.

- d) Ductilidad a 25°C y 5 cm/min cuando se trate de cementos asfálticos normales ó a 4°C y 5 cm/min en el caso de cementos asfálticos modificados.
- e) Módulo reológico de corte dinámico y ángulo fase, a 76°C, en cemento asfáltico modificado.
- f) Recuperación elástica en ductilómetro a 25°C en cemento asfáltico.

3.10.5.- Cálculos y Resultados

1. Para determinar la pérdida de masa por calentamiento del cemento asfáltico, se sigue el siguiente procedimiento:

- a) Se calcula la pérdida de masa por calentamiento en cada una de las muestras de prueba, determinadas con la siguiente fórmula:

$$W_{C_n} = \frac{W_{i_n} - W_{f_n}}{W_{i_n}} * 100$$

Donde:

W_{cn} = Pérdida de masa por calentamiento en la muestra de prueba n, (%)

W_{in} = Masa inicial de la muestra de prueba n, (g)

W_{fn} = Masa final de la muestra de prueba n, (g)

Se reporta como la pérdida de masa por calentamiento del cemento asfáltico (W_c), el promedio de la pérdida en cada una de las muestras de prueba, con la siguiente fórmula:

$$W_c = \frac{\sum_{n=1}^n W_{C_n}}{n}$$

Donde:

W_c = Pérdida de masa por calentamiento en el cemento asfáltico, (%)

W_{cn} = Pérdida de masa por calentamiento en la muestra de prueba n, (%)

n = Número de muestras de prueba (charolas)

- b) Se calcula y reporta el valor de la viscosidad dinámica en el residuo
- c) La penetración retenida en el residuo, se expresa como por ciento de la penetración en el cemento asfáltico original, mediante la siguiente formula:

$$P_r = \frac{P_f}{P_i} * 100$$

Donde:

- P_r = Penetración retenida por el residuo de cemento asfáltico, (%)
- P_i = Penetración en el cemento asfáltico original, (1×10^{-1} mm)
- P_f = Penetración en el residuo de cemento asfáltico, (1×10^{-1} mm)

2. En el reporte se incluirá la temperatura, masa de la muestra de prueba y tiempo, utilizados en la ejecución la prueba.
3. En el caso en que se trate de cementos asfálticos modificados, se calcula y reporta el valor del incremento de la temperatura de la prueba de punto de reblandecimiento, utilizando la siguiente fórmula:

$$I_T = T_2 - T_1$$

Donde:

- I_T = Incremento en temperatura anillo y esfera, (°C)
- T_1 = Punto de reblandecimiento del cemento asfáltico modificado original, (°C)
- T_2 = Punto de reblandecimiento del residuo de cemento asfáltico modificado, (°C)

5. Se calcula y reporta el valor de la ductilidad en el residuo, incluyendo en el reporte la temperatura a la que se efectuó la prueba.
6. En el caso en que se trate de cementos asfálticos modificados, se calcula y reporta el valor del módulo reológico de corte dinámico y el ángulo fase.

7. En el caso en que se trate de cementos asfálticos modificados, se calcula y reporta el valor de la recuperación elástica en ductilómetro.

3.10.6.- Precauciones para Evitar Errores

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observan las siguientes precauciones:

- 1) Realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura y tiempo que se indican.

3.11.- DUCTILIDAD DE CEMENTOS Y RESIDUOS ASFÁLTICOS

3.11.1.- Objetivo de la Prueba

Esta prueba permite determinar la capacidad para deformarse sin romperse, de los cementos asfálticos, del residuo de la prueba de película delgada y de los residuos asfálticos obtenidos por destilación de emulsiones. La prueba consiste en medir la máxima distancia a la cual una briqueta de dichos materiales, de geometría y bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformación específicas, puede ser estirada sin romperse.

3.11.2.- 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.

El equipo y los materiales necesarios son:

3.11.2.1.- Ductilómetro

Como el mostrado en la Figura 3.20, constituido fundamentalmente por un dispositivo para estirar la briqueta de cemento asfáltico a una velocidad uniforme y sin vibraciones perjudiciales, de tal manera que durante la prueba la muestra permanezca sumergida en el agua de un tanque de material resistente a la corrosión, ubicada a no menos de 2,5 cm del nivel del agua y del fondo del tanque.

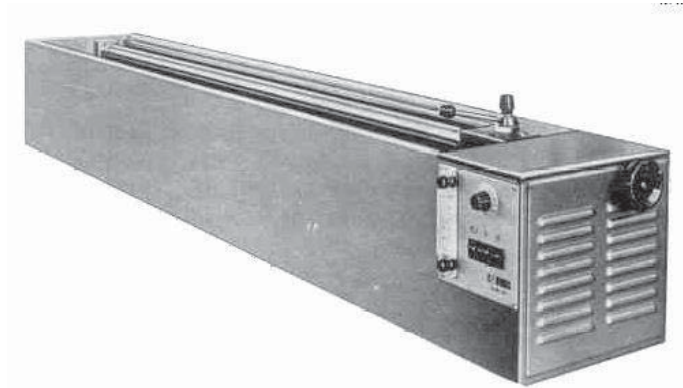


Figura 3. 20.- Ductilómetro. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-011/00)

3.11.2.2.- Molde

Para elaborar la briqueta, de latón, compuesto de dos mordazas y dos elementos laterales, con la forma y dimensiones mostradas en la Figura 3.21.

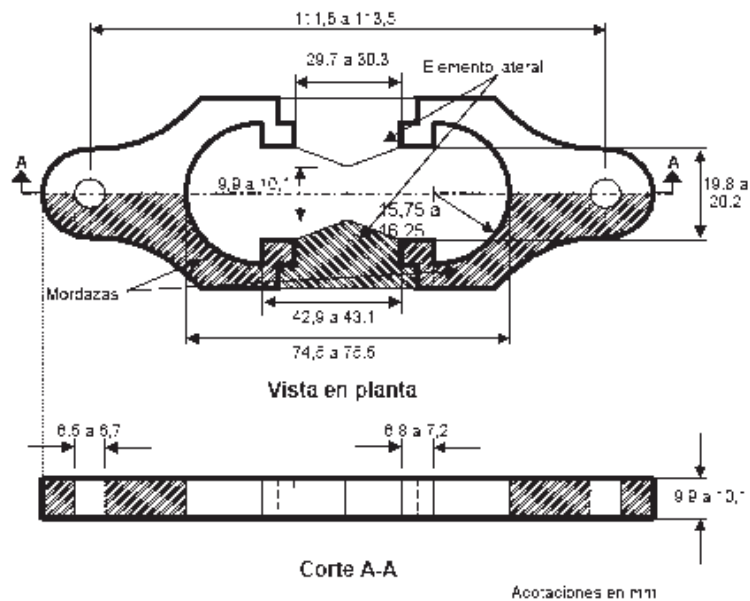


Figura 3. 21.- Molde para elaborar la briqueta. (Fuente Norma SCT M-MMP-4-05-011/00)

3.11.2.3.- Placa de Apoyo

Plana, lisa y rígida, de latón o bronce, con superficie de 15×5 cm como mínimo y espesor de 2 mm aproximadamente.

3.11.2.4.- Baño de Agua

Que permita mantener la temperatura a $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, con una capacidad mínima de 10 L. Debe estar provisto de un entrepaño con perforaciones para colocar la muestra sumergida, ubicado a no menos de 5 cm del fondo del baño y 10 cm de la superficie libre del líquido.

3.11.2.5.- Termómetro

Con rango de -8 a 32°C y aproximación de 0.1°C .

3.11.2.6.- Malla N° 50

De $300\ \mu\text{m}$ de abertura.

3.11.2.7.- Espátula de Níquel

De borde recto y 20 cm de longitud.

3.11.2.8.- Cloruro de Sodio

De uso comercial.

3.11.2.9.- Antiadherente

Aceite o grasa de silicón; una mezcla de glicerina y dextrina; talco o caolín, para recubrir la placa de apoyo y evitar su adherencia con el asfalto.

3.11.2.10.- Paño

Para aplicar el antiadherente en la placa de apoyo.

3.11.3.- Preparación de la Muestra

Previamente a la preparación de la muestra, se aplica con el paño el antiadherente seleccionado en los dos elementos laterales del molde de la briqueta y en la superficie de la placa de apoyo, para evitar que se les adhiera el asfalto. Hecho lo anterior se coloca el molde sobre la placa de apoyo y se ajusta dejándolo en posición horizontal.

La muestra de prueba, según se trate de cemento asfáltico, del residuo de la prueba de película delgada o del residuo asfáltico obtenido por destilación de una emulsión, se prepara como se indica a continuación:

3.11.3.1.- Muestra de Cemento Asfáltico ó del Residuo de la Prueba de Película Delgada

De la muestra de cemento asfáltico, se toma un volumen ligeramente mayor al necesario para llenar el molde de la briqueta y se calienta en un recipiente apropiado, agitándola en forma continua con el objeto de distribuir la temperatura uniformemente, hasta que adquiera la fluidez suficiente para facilitar su vaciado en el molde, cuidando que durante su calentamiento la temperatura no exceda de 130°C y que la operación se realice en un lapso menor de 30 min. Hecho esto, inmediatamente se llena el molde previamente preparado, para hacer la briqueta, pasando la muestra de prueba por la malla N°50, agitándola perfectamente y vertiéndola cuidadosamente, mediante un chorro delgado que se mueve a lo largo del molde, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase y evitando la formación de burbujas de aire. Finalmente se cubre adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar durante 30 a 40 min hasta que alcance la temperatura ambiente.

3.11.3.2.- Muestra del Residuo por Destilación de una Emulsión Asfáltica

Inmediatamente después de obtener el residuo por destilación de la emulsión asfáltica, se destapa el alambique utilizado en esa prueba, se homogeneiza su contenido con la espátula y se elabora una briqueta llenando el molde previamente preparado, haciendo pasar la muestra de prueba por la malla N° 50, agitándola perfectamente y vertiéndola cuidadosamente mediante un chorro delgado que se mueve a lo largo del molde, hasta rebasar ligeramente el nivel de enrase y evitando la formación de burbujas de aire. Finalmente se cubre adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar durante 30 a 40 min hasta que alcance la temperatura ambiente.

3.11.4.- Procedimiento de la Prueba

La prueba se realiza en la forma siguiente:

- 1) El molde con la placa de apoyo, conteniendo la briqueta, se coloca dentro del baño de agua, a una temperatura de $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$, durante 30 min; se saca del baño y se enrasa la briqueta cortando el exceso de material con una espátula de borde recto previamente calentada para facilitar el corte. Se vuelve a introducir en el baño a la misma temperatura durante 90 ± 5 min.

- 2) A continuación se retira la briqueta de la placa quitando los elementos laterales del molde y de inmediato se instala con sus mordazas en el ductilómetro previamente preparado con agua a $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, sujetando los extremos de éstas en los postes o ganchos del aparato, debiendo quedar la cara superior de la briqueta a no menos de 2.5 cm de la superficie. Durante la prueba se debe mantener el agua a la temperatura indicada.
- 3) Se pone en marcha el mecanismo de prueba a una velocidad de 5 cm/min, con una variación de $\pm 5\%$, hasta producir la ruptura de la briqueta; en este momento se lee el desplazamiento de la mordaza y se registra en centímetros.

3.11.5.- Resultados

Se reporta como resultado de la prueba la longitud que se desplazó la mordaza para lograr la ruptura de la briqueta, en centímetros con aproximación a la unidad.

3.11.6.- Precauciones para Evitar Errores

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, deben observarse las siguientes precauciones:

1. Tener especial cuidado en realizar la prueba bajo las condiciones de temperatura que se indican.
2. Cuidar que durante el llenado del molde de la briqueta no se generen burbujas de aire en la superficie o en el interior de la muestra de prueba.
3. Procurar que al estirarse la briqueta ésta no toque el fondo del tanque del ductilómetro o la superficie de agua, de lo contrario, se debe repetir la prueba agregándole cloruro de sodio al agua del tanque para aumentar su densidad y lograr que la briqueta al ser estirada se mantenga en posición sensiblemente horizontal.

CAPÍTULO 4.- MÉTODO UCL[®] (MÉTODO UNIVERSAL DE CARACTERIZACIÓN DE LIGANTES)

Debido a los buenos resultados que ha generado y a la sencillez para llevarlo a cabo, se ha decidido utilizar el método UCL[®] para valorar la adhesividad del pétreo con un asfalto convencional tipo AC-20.

El método UCL[®] fue desarrollado en la Universidad Politécnica de Cataluña, por el Dr. Félix Edmundo Pérez Jiménez y su grupo de trabajo, basado en la aplicación del ensayo Cántabro de pérdida por desgaste, constituye un procedimiento de caracterización basado en la medida de la cohesión y en como varía esta propiedad con la temperatura, la acción del agua o el envejecimiento, esto es, permite valorar el ligante funcionalmente de acuerdo con su comportamiento. En este estudio se pretende mostrar la sensibilidad del método para diferenciar y valorar el comportamiento del ligante en asfáltico, y mostrar las diferencias en cuanto a comportamiento.

En el método UCL[®] se valora la adhesividad y la cohesión a partir de la resistencia a la abrasión de una mezcla de referencia con características definidas, variando la temperatura de ensayo de las probetas.

El ensayo consiste en introducir en la Máquina de Los Ángeles, una probeta tipo Marshall fabricada con una granulometría especial (sin finos), será necesario utilizar una misma granulometría para la realización de todas las probetas, con un 80% de material pétreo comprendido entre la malla N° 4 y la malla N° 10, y un 20% de material pétreo comprendido entre la malla N° 10 y la malla N° 30, y un contenido de asfalto definido (4.5%) y someterla al ensayo sin colocar en el molino ninguna carga abrasiva (esferas).

Durante el ensayo se van desprendiendo por impacto y abrasión los agregados pétreos más superficiales de la probeta, determinándose, tras cumplirse 300 revoluciones, la

pérdida de peso de la probeta referida, en tanto por ciento del peso inicial, de acuerdo con la ecuación:

$$P_d = \left[\frac{P_i - P_f}{P_i} \right] * 100$$

Dónde: P_d = Pérdidas por Desgaste (%)
 P_i = Peso inicial (gr.)
 P_f = Peso final (gr.).

Las vueltas en la Máquina de Los Ángeles dan lugar a un proceso de deterioro en las probetas, similar al que hacen las cargas del tráfico en los pavimentos, en la figura 4.1, se observa la Máquina para el ensayo de la prueba de Los Ángeles y diferentes probetas ensayadas con el método UCL[®].



Figura 4. 1.- Máquina de los Ángeles.

Una parte de la energía que se genera en cada impacto es absorbida por la deformación elástica del material, otra parte se elimina con las deformaciones plásticas y el resto que no pueden eliminar las probetas es la que causa la fisuración, rotura o disgregación.

Este ensayo nos da una idea clara sobre la capacidad de las características de adhesividad y cohesión en las mezclas dado que, si las uniones son dúctiles y tenaces, las

pérdidas por desgaste y abrasión en las probetas son bajas, y cuando resultan frágiles o poco consistentes, las pérdidas se incrementan.

En este trabajo se analizarán tres factores que influyen directamente en el comportamiento de las mezclas asfálticas, la temperatura, el efecto del agua y el efecto de envejecimiento.

Las probetas serán probadas en cinco condiciones diferentes de temperatura las cuales van desde $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-10, 5, 20, 40$ y $60\text{ }^{\circ}\text{C}$) de la siguiente manera:

4.1.- ANÁLISIS POR TEMPERATURA

1. Las probetas son introducidas en un horno eléctrico como el mostrado en la Figura 4.2, durante un tiempo de 2hr. Para que estas alcancen la temperatura deseada para su ensayo ($20, 40$ y $60\text{ }^{\circ}\text{C}$), así mismo se introducen otras probetas en un congelador, también por un tiempo de 2 horas para que obtengan la temperatura de la prueba (-10 y $5\text{ }^{\circ}\text{C}$).



Figura 4. 2.- a) Horno eléctrico y b) congelador

2. Ya que las probetas tienen la temperatura deseada se pesan en una báscula analítica y así obtener el peso inicial (P_i). Figura 4.3.



Figura 4. 3.-Peso inicial de la probeta antes de ser ensayada

3. A continuación se introduce en la Máquina de los Ángeles mostrada en la figura 4.1, y se ensaya ahí hasta cumplir 300 revoluciones.
4. Después se saca de la Máquina de los Ángeles la fracción que quedó de la probeta debido al desgaste producido por la prueba, se pesa en la báscula analítica y se obtiene el peso final.

4.2.- ANÁLISIS POR EFECTO DEL AGUA

Para realizar el análisis por efecto del agua, se deben de introducir las probetas en un baño marshall, como el mostrado en la Figura 4.4, durante un tiempo de 24 hr, a una temperatura de $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2$, ya que están preparadas las muestras se realiza el mismo procedimiento descrito a continuación:



Figura 4. 4.- Baño Marshall

- 1) Las probetas son introducidas en un horno eléctrico como el mostrado en la Figura 4.2, durante un tiempo de 2hr. Para que estas alcancen la temperatura deseada para su ensayo.
- 2) Ya que las probetas tienen la temperatura deseada se pesan en una báscula analítica y así obtener el peso inicial (P_i) como se ilustra en la Figura 4.3.
- 3) A continuación se introduce en la Máquina de los Ángeles mostrada en la Figura 4.1, pero sin introducir las esferas metálicas y se ensaya ahí hasta cumplir 300 revoluciones. Figura 4.5.



Figura 4. 5.- Probeta dentro de la Máquina de los Ángeles para ser probada

- 4) Después se saca de la Máquina de los Ángeles la fracción que quedó de la probeta debido al desgaste producido por la prueba, se pesa en la báscula analítica y se obtiene el peso final.

4.3.- ANÁLISIS POR ENVEJECIMIENTO

El procedimiento de envejecimiento de las probetas se llevará a cabo en un tiempo de 32 hrs. teniendo probetas envejecidas a las 2, 4, 8, 16 y 32 hr, por lo que se envejecerán 15 probetas, tres para cada uno de los rangos de tiempo de envejecimiento.

1. Las probetas deben de cubrir con una malla rígida de acero para evitar la deformación de las probetas, porque estas serán introducidas a temperaturas muy altas en un horno eléctrico.
2. Ya cubiertas las probetas, se introducen en el horno eléctrico a una temperatura de $163\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$.
3. Las probetas se irán sacando de acuerdo al nivel de envejecimiento requerido, se sacarán tres probetas cada que se llegue el tiempo de envejecimiento deseado (2, 4, 8, 16 y 32 hrs.).
4. Se recomienda estar volteando las probetas cada 2 hr, ya que se encuentra a una temperatura muy alta y el asfalto se vuelve líquido, y así evitar la pérdida del asfalto.
5. Después de que las probetas sean sacadas del horno eléctrico se desmontan de las malla.
6. Ya que las probetas se encuentran envejecidas, se prueban a temperatura ambiente en la Máquina de los Ángeles, obteniendo los pesos respectivos para obtener los resultados del análisis.

CAPITULO 5.- FASE EXPERIMENTAL

5.1.- MATERIALES

1. MATERIAL PÉTREO.

Para el presente trabajo de investigación se utilizó un material pétreo procedente del banco de materiales ubicado en Cuto del Porvenir, municipio de Tarímbaro, Mich. Figura 5.1



Figura 5. 1.- Localización del banco de material usado en esta investigación

2. MATERIAL ASFÁLTICO.

Para la realización de las probetas se usó un cemento asfáltico del tipo AC-20 convencional, procedente de la refinería ubicada en la ciudad de Salamanca, Gto. Y certificado por el laboratorio SURFAX S.A. DE C.V. de Zapopan Jalisco.

5.2.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

5.2.1.- Muestreo de materiales

Debido a que el Método UCL[®] (Método Universal de Caracterización de Ligantes), requiere de una granulometría especial, el material pétreo fue cribado, haciéndolo pasar por la malla N° 4, la malla N° 10 y la malla N° 30; Y aprovechando todo el material que fue retenido en la malla N° 10 y la malla N° 30, a continuación el material fue lavado y secado, como se muestra en la figura 5.2, dejándolo libre de todo contaminante para que los resultados no se vieran afectados.

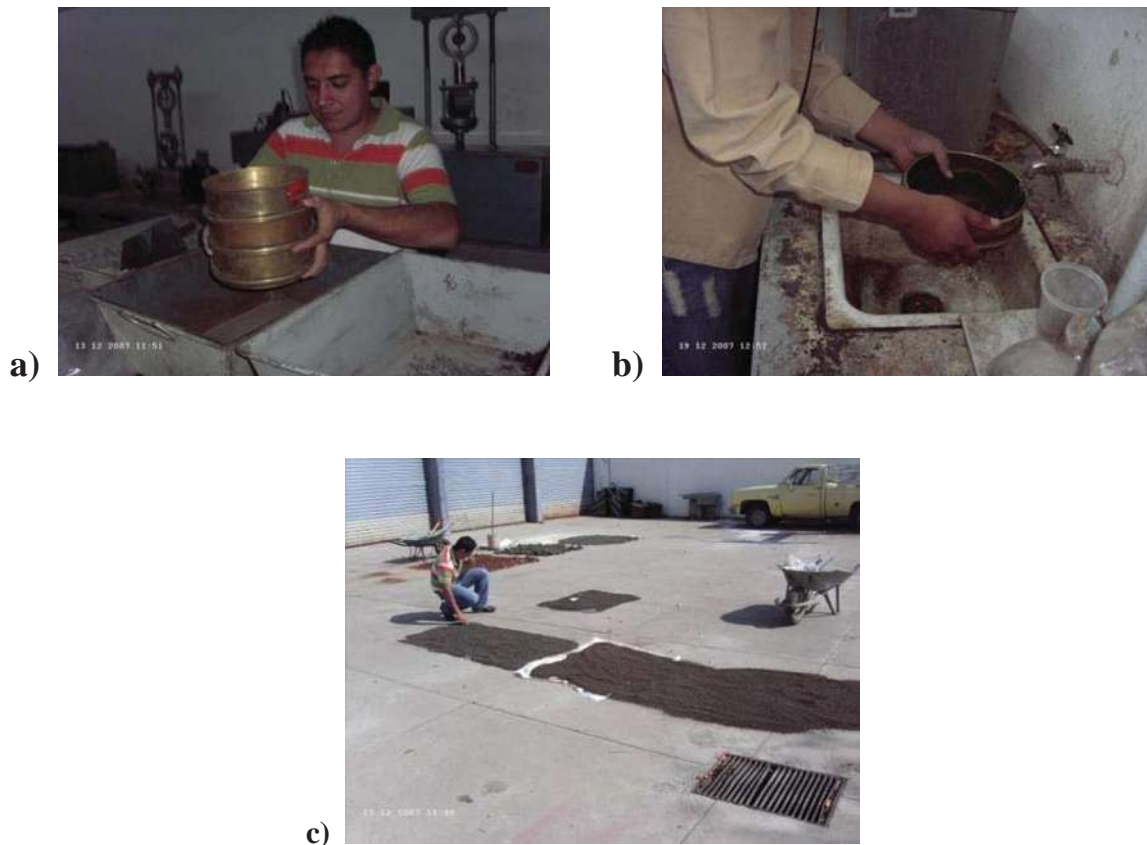


Figura 5. 2.- a) Cribado, b) Lavado y c) Tendido para el secado del material pétreo

Ya obtenida la granulometría requerida se procedió a preparar las muestras de material pétreo para después fabricar las probetas de ensayo, para esta investigación se utilizaron muestras que pesan 1 Kg., y como se indica en la descripción del Método UCL[®]

(Método Universal de Caracterización de Ligantes), se utilizó un 80% (800g) de material retenido en la malla N° 10 y un 20% (200g) del material retenido en la malla N° 30.



Figura 5. 3.- Material pétreo utilizado en las probetas

5.2.2.- Fabricación de probetas

Para este trabajo de investigación se fabricarán 45 probetas, de las cuales se utilizarán 15 probetas para cada uno de los parámetros que se van a analizar (temperatura, efecto del agua y envejecimiento).

Método de análisis	Parámetro de análisis	Número de probetas	Número Total de probetas
Efecto temperatura	-10 °C	3	15
	5 °C	3	
	20 °C	3	
	40 °C	3	
	60 °C	3	
Efecto del agua	-10 °C	3	15
	5 °C	3	
	20 °C	3	
	40 °C	3	
	60 °C	3	
Efecto de envejecimiento	2 hrs.	3	15
	4 hrs.	3	
	8 hrs.	3	
	16 hrs.	3	
	32 hrs.	3	

Tabla 5. 1.- Tabla de parámetros de análisis y número de probetas a ensayar.

El procedimiento para la fabricación de las probetas fue el siguiente:

1. Se colocaron el material pétreo en charolas junto con los moldes para la fabricación de las probetas (bases, moldes y collarines), como se muestra en la Figura 5.4, se introdujeron al horno eléctrico a una temperatura de 140 °C durante 24 hrs. para que el material quede completamente seco y los moldes se encuentren calientes para que no se adhiera la mezcla asfáltica a la hora de la fabricación.



Figura 5. 4.- Material listo para la fabricación de las probetas

2. Se preparó todo el equipo que se utilizó en la fabricación:
 - a. Se colocaron la báscula electrónica y se pone en ceros.
 - b. Se prende la parrilla.
 - c. Se instaló el contador en la Máquina compactadora Marshall, se programa a 50 golpes y se enciende.
 - d. Se hacen bases de papel del diámetro interior del molde (2 por probeta).
3. Se saca una muestra de asfalto, para nuestra investigación un asfalto tipo AC-20 convencional, y se coloca en el horno eléctrico junto con el material pétreo, 2 hrs. antes de que se comience a fabricar, para que el asfalto adquiriera el estado líquido y así facilitar la incorporación del asfalto con el material pétreo a la hora de realizar la mezcla asfáltica.

4. Después con la ayuda de una báscula electrónica, se colocó la charola con la muestra de material pétreo y se taró para agregar el material asfáltico (45g de asfalto AC-20).
5. Ya colocado el material asfáltico se procedió a mezclarlo, utilizando la parrilla para conservar calientes los materiales y facilitar el mezclado de estos. No se dejó de mezclar hasta que las partículas del material pétreo cubierto totalmente por asfalto como se muestra en la figura 5.5.



Figura 5. 5.- Mezcla homogenizada

6. Cuando se tuvo completa la mezcla se procedió a preparar el molde en el cual iba a ser vertida la mezcla de la siguiente manera:
 - a. Se sacó del horno el molde (base, molde y collarín).
 - b. Se armó el molde colocando la base, enseguida el molde y por último el collarín.
 - c. Se le colocaron bases de papel para que no se adhiriera la mezcla asfáltica con la base del molde.
7. Teniendo el molde se vertió la mezcla asfáltica, teniendo la precaución de no vaciarla fuera del molde. Y ya con la mezcla en el molde se le colocó otra base de papel en la parte superior, esta para que no se pegara la mezcla asfáltica a la base del pizón de la Máquina compactadora.

8. Se trasladó con cuidado el molde con la mezcla asfáltica a la máquina compactadora Marshall, que se muestra en la Figura 5.6, y se colocó en la base de esta, teniendo la precaución de que el molde se encontrara bien centrado.
9. Se colocó el pizón de la máquina colocándole el seguro y el contrapeso en la parte superior.
10. Se compactó la mezcla:
 - a. Se le dieron 50 golpes
 - b. Después se le dio la vuelta al molde procurando que no se saliera la mezcla del molde.
 - c. Se le dieron otros 50 golpes por el otro lado de la probeta.



Figura 5. 6.-Máquina compactadora Marshall

11. Se retiró de la máquina el contrapeso, seguro y el pizón, para poder quitar el molde con la probeta de la máquina compactadora.
12. Se desarmó el molde, y se regresó el collarín y la base al horno.
13. Se retiraron las bases de papel de la probeta y se deja enfriar el molde. (Figura 5.7).



Figura 5. 7.- Probetas antes de ser desmontadas del molde

14. Por último se desmontó la probeta del molde con la ayuda de un pizón y un collarín, colocando el collarín debajo del molde y con el pizón, se golpeó ligeramente la probeta hasta que esta saliera del molde.

15. Se repitieron los pasos del 3 al 14 para la fabricación de cada probeta.

16. Después de la fabricación de todas las probetas se procedió a limpiar el equipo utilizando gasolina para remover el material adherido a ellos. (Figura 5.8).



Figura 5. 8.- Limpieza de los moldes después de la fabricación.

5.3.- PROCEDIMIENTO DE ENVEJECIMIENTO DE LAS PROBETAS.

Una vez fabricadas las probetas se procedió a la preparación de 15 probetas para la prueba de envejecimiento (que en este caso tuvo una duración de 32 horas) de la siguiente manera:

1. Se preparó el equipo para la realización de esta parte de la prueba:
 - a. Se cortaron las mallas y alambres a la medida de la probeta.
 - i. Dos bases de 12 x 12 cms de malla (de alambre galvanizado de 3/8 x 3/8 de pulgada) por cada probeta en este caso son 15 probetas por lo que se recortaron 30 bases. Figura 5.9

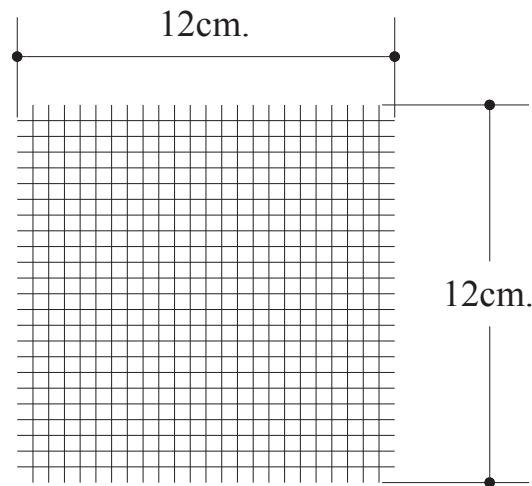


Figura 5. 9.- Malla de alambre galvanizado

- ii. Una sección rectangular de malla de mosquitero de 7 x 32 cms (de alambre galvanizado) por cada probeta 15 en total. Figura 5.10

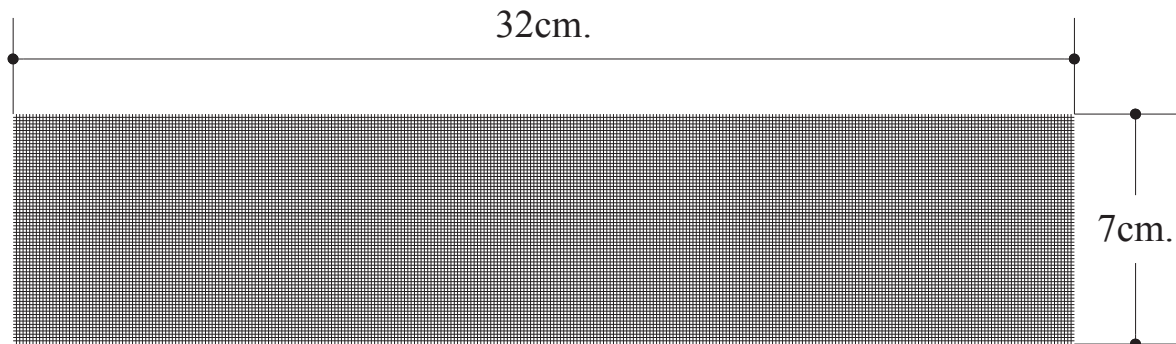


Figura 5. 10.- Malla de mosquitero metálica

- iii. Quince tramos de aproximadamente 80 cm. de longitud de alambre galvanizado del #16.
 - iv. Treinta tramos de aproximadamente 35 cm. de longitud de alambre galvanizado del #16.
- b. Se traslado el horno eléctrico al edificio de posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil, para tener fácil acceso a él, ya que se harán visitas periódicas cada cuatro horas desde el inicio hasta el final de este procedimiento.
2. Se cubren las probetas con las mallas cortadas, como se muestra en las Figuras 5.11 y 5.12.

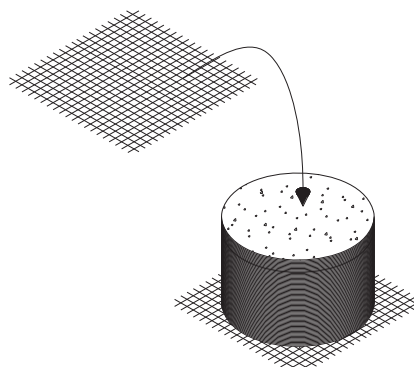


Figura 5. 11.- Colocación de las mallas

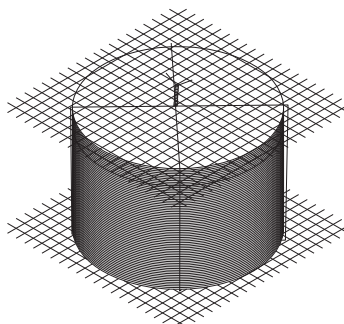


Figura 5. 12.- Probeta lista para ser envejecida

3. Se calibró el horno eléctrico a 163 ± 1 °C.
4. Se colocaron las 15 probetas ya cubiertas con las mallas a las 16:00 hrs.
5. Se sacaron las primeras tres probetas a las dos horas de estar en el horno (18:00 hrs.) y se les dio vuelta a las demás.
6. Después de 4 horas desde que se inició el envejecimiento (20:00 hrs.), se sacaron tres probetas más, de nuevo se voltearon las probetas restantes.
7. A las 8 hrs. de envejecimiento se sacaron otras tres probetas (00:00 hrs.) y se volvió a dar vuelta a las pastillas que quedaron dentro del horno.
8. Pasadas 4 horas más (04:00 hrs. del día siguiente) solo se dio vuelta a las probetas.
9. Cuando se cumplieron 16 horas de envejecimiento (08:00 hrs. del día siguiente) se sacaron de nuevo otras tres probetas y se les dio vuelta al resto de las probetas.
10. Después solo se le dio vuelta a las probetas cada 4 horas (12:00 hrs., 16:00 hrs., 20:00 hrs., del día siguiente), hasta que las últimas probetas cumplieron las 32 horas de envejecimiento (00:00 hrs. del día siguiente) y se retiraron del horno.

11. Ya que se terminaron de envejecer las probetas se retiraron las mallas y se marcaron según el tiempo de envejecimiento.
12. Se regresó el horno eléctrico al laboratorio de materiales de la U.M.S.N.H., junto con las probetas para ser probadas.

5.4.- PROCEDIMIENTO DE INMERSIÓN EN AGUA

Para la preparación de las probetas que fueron sometidas a la inmersión en agua para conocer cual es el efecto que esta produce a los materiales se procedió de la siguiente manera:

1. Se preparó el equipo necesario para este procedimiento:
 - a. Se lavó el baño Marshall (Figura 5.13) con el que dispone el Laboratorio de Materiales de la U.M.S.N.H. y se le colocó agua limpia.



Figura 5. 13.- Baño Marshall

- b. Se calibró el baño Marshall a $60 \pm 2^{\circ}\text{C}$.
2. Se introdujeron las probetas en el baño maría ya que el agua tenía la temperatura deseada.



Figura 5. 14.- Probetas dentro del baño Marshall

3. Después de cumplidas 24 horas exactas se sacaron las probetas del baño maría y se procede a probarlas.

5.5.- ENSAYO DE LAS PROBETAS

Ya que se tienen las probetas fabricadas y preparadas se procede a los ensayos de estas, considerando los diferentes parámetros de temperatura (-10, 5 ,20 ,40 y 60°C.) para las probetas preparadas para conocer el efecto del agua y las que serán probadas por efecto de la temperatura. Las probetas que se envejecieron se deben de probar a temperatura ambiente.

Los ensayos se realizaron en la máquina de los Ángeles que se encuentra en el Laboratorio de Materiales de la U.M.S.N.H.

5.5.1.- Descripción de la Prueba de Desgaste.

1. Se preparó el equipo:
 - a. Se calibró el horno a la temperatura deseada (40 y 60°C, calibrando primero la temperatura menor).
 - b. Debido a que en la máquina de los Ángeles el contador de revoluciones no funciona, se determinó el tiempo en el que tarda en ejecutar las 300 vueltas que son las que requiere esta prueba, para este caso el tiempo fue de siete minutos y dieciocho segundos. (7 min y 18 seg.).

- c. Se instaló la báscula electrónica para conocer los pesos de las probetas.
 - d. Se calibró el congelador a la temperatura deseada (-10 y 5°C).
2. Ya calibrado el horno a los 40°C se introdujeron las probetas, tres probetas por cada uno de los factores de análisis, en este experimento solo se introdujeron tres probetas para el estudio del efecto de temperatura y tres probetas preparadas en inmersión de agua, debido a que las probetas de envejecimiento se prueban a temperatura ambiente, estas no se colocaron en el horno.



Figura 5. 15.- Probetas en el horno eléctrico calibrado a la temperatura para ser probadas

Las probetas estuvieron dentro del horno por un tiempo de 2 horas para que estas adquirieran la temperatura deseada.

3. Después de las 2 horas en el horno se sacó una probeta.
4. Se pesó rápidamente en la báscula electrónica, para obtener el peso inicial (P_i) que tiene la probeta.
5. Se colocó la probeta dentro de la máquina de los Ángeles, se le colocó la tapa y se inició la prueba.
6. La prueba se terminó cuando se cumplieron las 300 revoluciones (siete minutos y dieciocho segundos).

7. Se sacó la probeta de la máquina de los Ángeles y se pesó en la báscula electrónica para así obtener el peso final (Pf).
8. Se limpió la máquina de los Ángeles ya que a la hora de la ejecución de la prueba, partículas de la probeta fueron desprendidas y desechadas en el interior de la máquina.
9. Una vez que se terminó de probar las 6 probetas designadas para ser probadas a los 40°C, se volvió a calibrar el horno pero ahora a los 60°C.
10. Ya calibrado el horno a los 60°C se repitieron los pasos del 3 al 8 hasta terminar con las 6 probetas siguientes.
11. Después se procedió a calibrar el congelador a lo 5°C y se introdujeron tres probetas que fueron probadas por efecto de temperatura y tres probetas de inmersión en agua.
12. Se dejaron en el congelador durante 2 horas para que las probetas adquirieran la temperatura deseada.



Figura 5. 16.- Congelador del laboratorio de materiales

13. Después de pasadas las 2 horas en el congelador se sacó una probeta y se pesó en la báscula electrónica para obtener su peso inicial (Pi).

14. Se repitió el procedimiento de los pasos 3 al 8, esto hasta culminar con las 6 probetas.
15. Nuevamente se calibró el congelador, pero ahora a los -10°C y se metieron 6 probetas más (tres probetas por efecto de temperatura y tres probetas de inmersión en agua).
16. Se pesaron y probaron una a una con el mismo procedimiento (pasos del 3 al 8).

Debido a que el horno eléctrico no pudo ser calibrado a 20°C , ya que el termostato no es eficiente para una temperatura tan baja; y el congelador tampoco pudo ser calibrado a esta temperatura se procedió a buscar una zona en el laboratorio de materiales en donde se encontrara una temperatura de 20°C y que esta se mantuviera constante, por lo cual las probetas fueron colocadas sobre la mesa de trabajo, ya que estaban en la mesa se dejaron ahí durante 2 horas para que adquirieran la temperatura deseada.

Después de que las probetas alcanzaron la temperatura se procedió a realizar la prueba con el mismo procedimiento ya descrito con anterioridad (pasos del 3 al 8). Así mismo, para las probetas que fueron preparadas para analizar el efecto del envejecimiento, se realizó el mismo procedimiento de los pasos 3 al 8 del procedimiento ya descrito.

5.6.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.6.1.- Resultados de las Pruebas en Probetas Preparadas por el Procedimiento de Efecto del Agua

Los resultados de las pruebas en las probetas que fueron preparadas para analizar el efecto del agua se muestran en la Tabla 5.2.

TEMPERATURA	PASTILLA N°	PESO INICIAL (Kg)	PESO FINAL (Kg)	PERDIDAS POR DESGASTE (%)	PROMEDIO
-10°C	4	1.043	0.234	77.56	77.28
	14	1.027	0.281	72.64	
	9	0.996	0.183	81.63	
5°C	8	1.038	0.426	58.96	62.18
	13	1.032	0.384	62.79	
	3	1.037	0.365	64.80	
20°C	1	1.032	0.856	17.05	20.22
	6	1.024	0.812	20.70	
	11	1.017	0.784	22.91	
40°C	12	1.037	0.952	8.20	7.49
	7	1.04	0.995	4.33	
	2	1.027	0.925	9.93	
60°C	5	1.05	0.481	54.19	51.52
	10	1.036	0.529	48.94	
	15	1.023	0.497	51.42	

Tabla 5. 2.- Resultados de las probetas que sufrieron efecto del agua

En la gráfica que se muestra a continuación se puede ver como fue el efecto que sufrieron las probetas, observando que el desgaste varía también de acuerdo con la temperatura a la que fue probada.

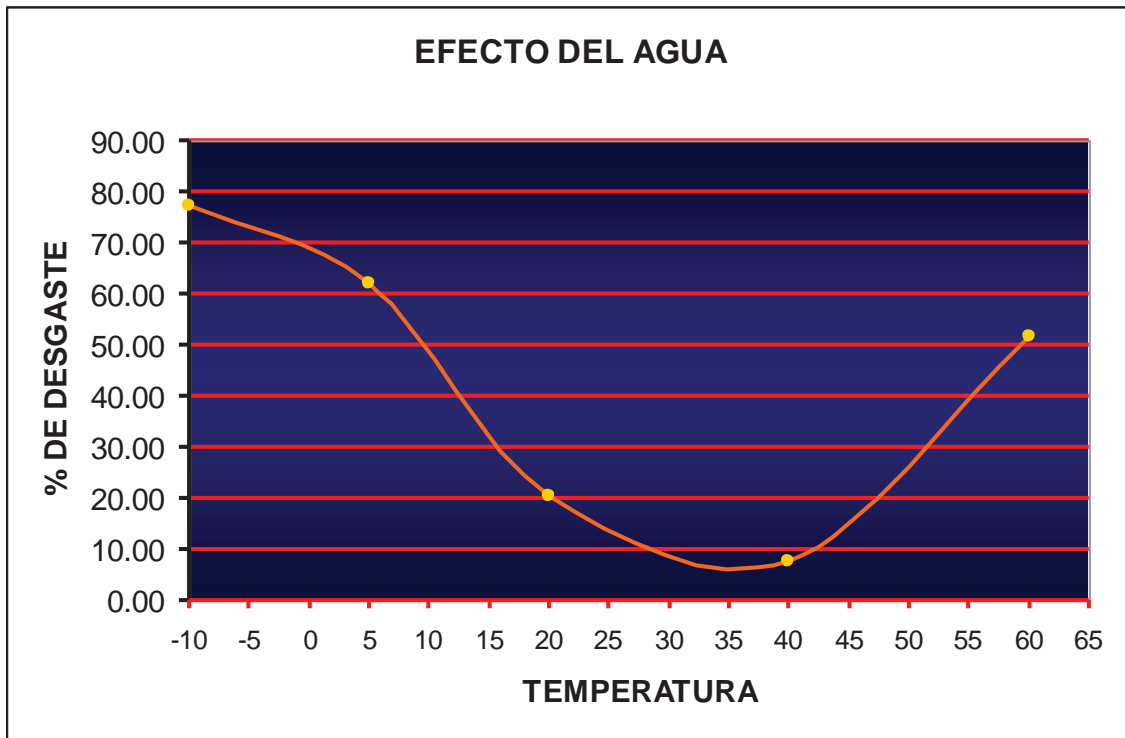


Figura 5. 17.- Gráfica del resultado de las pruebas de efecto del agua en materiales asfálticos

5.6.2.- Resultados de las Pruebas en Probetas Preparadas por el Procedimiento de Efecto de Temperatura.

Después de realizar las pruebas en el laboratorio de materiales de la U.M.S.N.H., se hicieron los cálculos correspondientes los cuales nos arrojaron los resultados que se muestran en la tabla 5.2 que se muestra a continuación:

TEMPERATURA	PASTILLA N°	PESO INICIAL (Kg)	PESO FINAL (Kg)	PERDIDAS POR DESGASTE (%)	PROMEDIO
-10°C	27	1.027	0.273	73.42	75.20
	12	1.057	0.202	80.89	
	42	1.024	0.294	71.29	
5°C	26	1.027	0.462	55.01	54.94
	41	1.015	0.576	43.25	
	11	0.957	0.32	66.56	
20°C	28	1.027	0.863	15.97	16.13
	43	1.016	0.84	17.32	
	13	1.027	0.872	15.09	
40°C	29	1.021	0.958	6.17	5.90
	44	1.032	0.989	4.17	
	14	1.017	0.942	7.37	
60°C	30	1.024	0.519	49.32	49.47
	45	1.000	0.543	45.70	
	15	1.028	0.479	53.40	

Tabla 5. 3.- Resultado de las probetas que sufrieron el efecto de la temperatura

Graficando los resultados obtenidos podemos identificar el comportamiento que tienen los materiales asfálticos de acuerdo a las diferentes temperaturas como se observa en la siguiente gráfica.

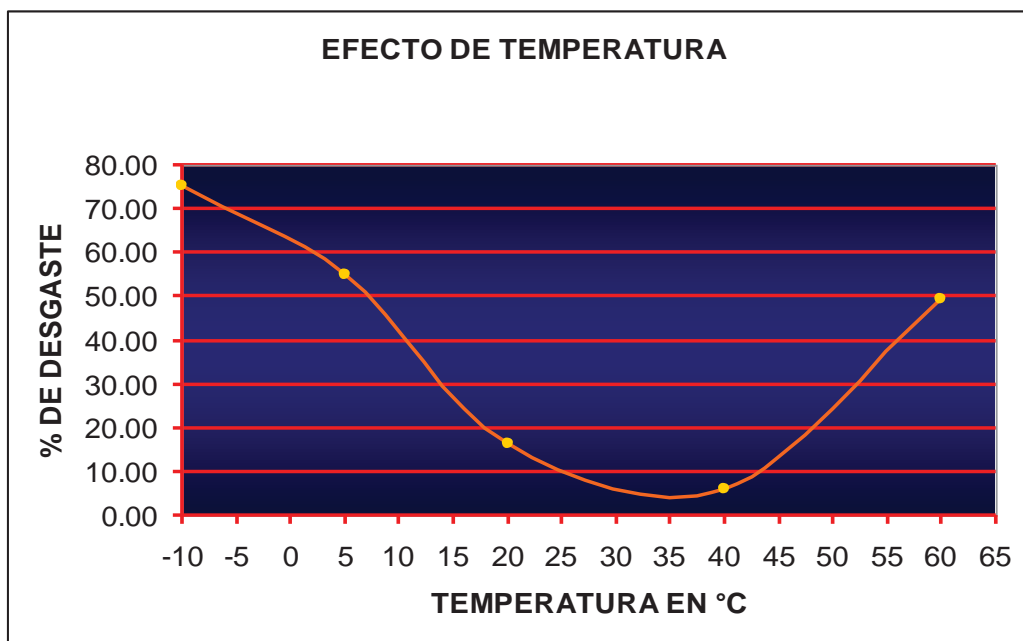


Figura 5. 18.- Gráfica del resultado de las pruebas de efecto de la temperatura en materiales asfálticos

Comparando estas dos primeras etapas de resultados se define que el agua provoca que los materiales sufran un desgaste mayor a los materiales que solo fueron sometidos al efecto de la temperatura.

Juntando los dos resultados en una sola gráfica podemos identificar con mayor facilidad como es que hay una diferencia en los resultados que dieron de las probetas sumergidas en agua y las probetas que solo sufrieron el efecto del agua, ya que la curva de las pruebas con probetas sumergidas en agua queda ligeramente por arriba de la gráfica de las probetas sometidas al efecto de la temperatura, lo que nos dice que existe un mayor desgaste cuando los materiales se ven afectados.

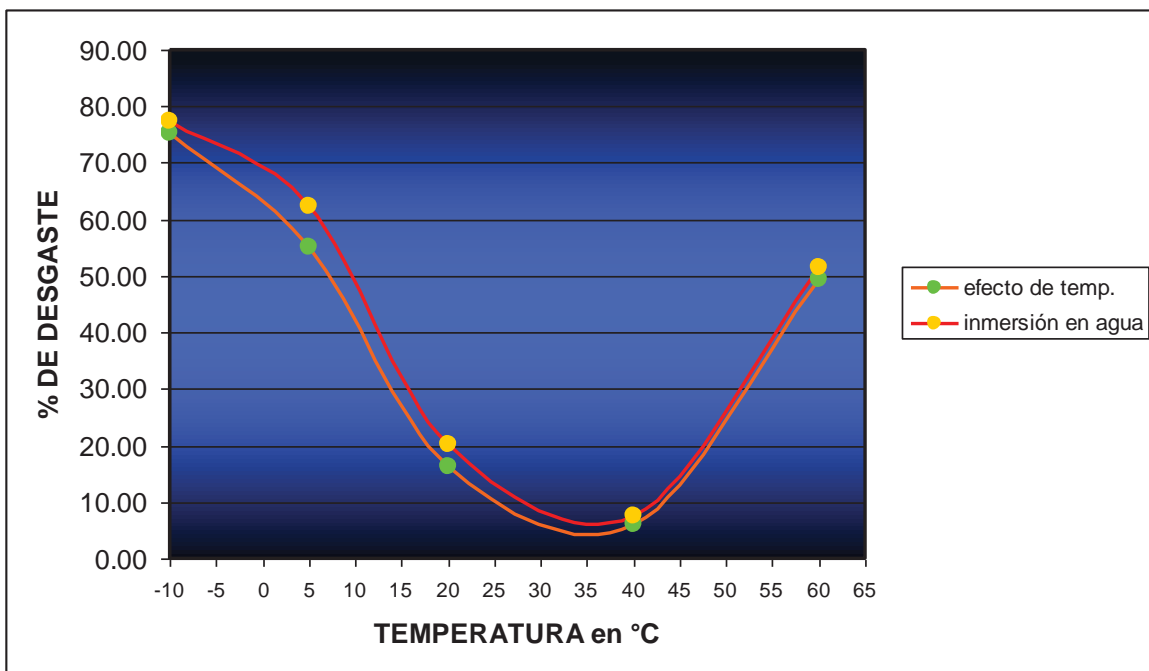


Figura 5. 19.- Gráfica de la comparación del resultado de las pruebas de efecto del agua y temperatura en materiales asfálticos

5.6.3.- Resultados de las Pruebas en Probetas Preparadas por el Procedimiento de Envejecimiento

En la Tabla 5.4 se presentan los resultados obtenidos de las pruebas realizadas a probetas preparadas por el procedimiento de envejecimiento y fueron probadas por el método UCL[®] (Método Universal de Caracterización de ligantes).

TIEMPO DE ENVEJECIMIENTO	PESO INICIAL (Kg.)	PESO FINAL (Kg.)	PERDIDAS POR DESGASTE (%)	PROMEDIO
0 HRS	1.027	0.863	15.97	16.13
	1.016	0.84	17.32	
	1.027	0.872	15.09	
2 HRS	0.995	0.801	19.50	17.94
	1.029	0.836	18.76	
	1.009	0.852	15.56	
4 HRS	1.014	0.637	37.18	35.27
	1.018	0.633	37.82	
	1.006	0.696	30.82	
8 HRS	1.002	0.47	53.09	60.96
	1.005	0.313	68.86	
	1.026	0.401	60.92	
16 HRS	1.026	0.359	65.01	78.42
	1.012	0.113	88.83	
	1.012	0.188	81.42	
32 HRS	1.017	0.159	84.37	85.64
	1.035	0.284	72.56	
	1.015	0.000	100.00	

Tabla 5. 4.- Resultado de las probetas que sufrieron el efecto de envejecimiento

Como aclaración de los resultados, podemos observar que la probeta N° 3, con un tiempo de envejecimiento de 32 horas, tiene un peso final de 0 (cero), esto es debido a que durante la prueba de desgaste la probeta fue desintegrada en su totalidad lo que nos indica que el efecto del envejecimiento si afecta a los materiales que se utilizan para realizar mezclas asfálticas.

A continuación se muestra en la Figura 5.20 la gráfica de los resultados de los promedios que fueron resultado de los cálculos correspondientes a las pruebas del laboratorio en esta parte de la investigación.

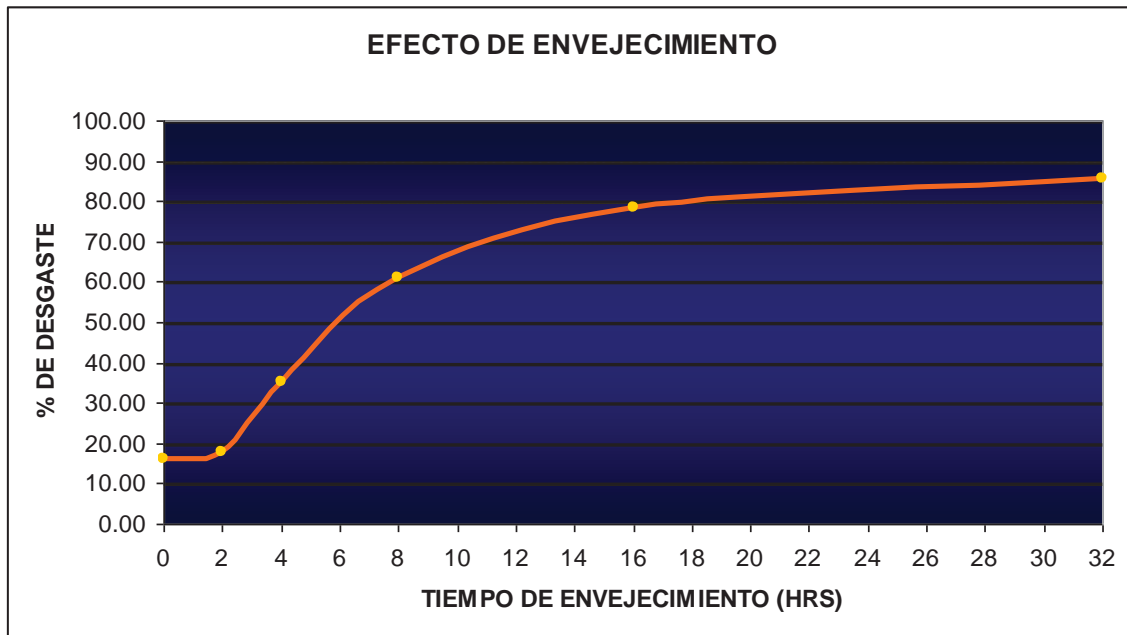


Figura 5. 20.- Gráfica de resultados de las probetas con efecto de envejecimiento.

CAPÍTULO 6.- CONCLUSIONES

El procedimiento del método UCL[®] (Método Universal de Caracterización de Ligantes), fue realizado de una manera muy sencilla, y se pudo observar de forma directa el comportamiento del material asfáltico, y verificar que nos arroja resultados claros y concisos de la afinidad que tiene con un material pétreo.

En este trabajo de investigación pudimos observar que el comportamiento de los asfaltos puede variar de acuerdo con los cambios de temperatura como se demuestra en las gráficas proyectadas por los resultados obtenidos en la fase experimental.

Los asfaltos en este caso el AC-20 convencional, el utilizado en nuestra investigación, tiene un desgaste mucho mayor a temperaturas extremas que en temperaturas ambientales, lo que nos indica que a temperaturas mínimas y máximas se ven afectadas las propiedades de cohesión y por lo tanto se ve afectada la durabilidad y desempeño de la mezcla asfáltica.

La mezcla asfáltica se vio afectada en la presencia del agua ya que el desgaste es un poco mayor en el transcurso de todo el procedimiento como se observa en la gráfica, los resultados obtenidos de las probetas afectadas con agua se ven por encima de los resultados de las probetas solo afectadas por las temperaturas.

Cada vez que el tiempo de envejecimiento es mayor, las propiedades del asfalto se van perdiendo debido a que la gráfica nos indica un aumento de desgaste y pérdida de afinidad con el material pétreo.

BIBLIOGRAFÍA

- Artículo: “Afinidad de un agregado pétreo basáltico del municipio de Tarímbaro con asfaltos modificados con polímeros SBS mediante el método UCL” Dr. Jorge Alarcón Ibarra, Ing. Leonel Quintero Ávila.
- Curso: “Mezclas bituminosas: Estudio y diseño”; Dr. Félix Edmundo Pérez Jiménez, Rodrigo Miró Recasens; Universidad Politécnica de Cataluña; Barcelona, España; 1999
- Norma SCT **M-MMP-4-05-001/00** (Año de actualización 2000).
- Norma SCT **M-MMP-4-05-002/02** (Año de actualización 2002).
- Norma SCT **M-MMP-4-05-003/02** (Año de actualización 2002).
- Norma SCT **M-MMP-4-05-004/00** (Año de actualización 2000).
- Norma SCT **M-MMP-4-05-005/02** (Año de actualización 2002).
- Norma SCT **M-MMP-4-05-006/00** (Año de actualización 2000).
- Norma SCT **M-MMP-4-05-007/00** (Año de actualización 2000).
- Norma SCT **M-MMP-4-05-008/00** (Año de actualización 2000).
- Norma SCT **M-MMP-4-05-009/00** (Año de actualización 2000).
- Norma SCT **M-MMP-4-05-010/02** (Año de actualización 2002).
- Norma SCT **M-MMP-4-05-011/07** (Año de actualización 2007).
- Norma SCT **N-CMT-4-05-001/06** (Año de actualización 2006).
- Norma SCT **N-CMT-4-05-003/02** (Año de actualización 2002).