

21143
2



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"

VERIFICACION DE LA CALIDAD DE CEMENTOS
ASFALTICOS AC-20 CON LA NORMA
SCT N-CMT-4-05-001/00.

T E S I S A
PARA OBTENER EL TITULO DE
ESPECIALISTA EN CONTROL DE CALIDAD
P R E S E N T A :
ABEL GUILLERMO LEON PARDO

ASESOR: M. EN I. NELLY KARINA JIMENEZ GENCHI



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SEPTIEMBRE, 2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1 PROPIEDADES DE LOS ASFALTOS	1
1.1 ASFALTO	2
1.2 REFINACIÓN DEL ASFALTO	2
1.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CEMENTO ASFALTO	5
1.3.1. ASFALTENOS	5
1.3.2. MALTENOS	5
1.4 PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO ASFALTICO	6
1.4.1. GRAVEDAD ESPECÍFICA	6
1.4.2. DURABILIDAD	6
1.4.3. ADHESIÓN Y COHESIÓN	7
1.4.4. SUSCEPTIBILIDAD A LA TEMPERATURA	7
1.4.5. ENDURECIMIENTO Y ENVEJECIMIENTO	8
1.5 REFINERÍAS DE ASFALTO EN MÉXICO	9
1.6 ESTADO ACTUAL DE LAS NORMAS DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS	10
1.7 CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO	14
CAPITULO 2 PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS PARA CALIDAD EN ASFALTOS	15
2.1.2 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	17
2.2 VISCOSIDAD CINEMÁTICA	18
2.2.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	19
2.3 VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL	20
2.3.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	20
2.4 PENETRACIÓN	23
2.4.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	23
2.5 SOLUBILIDAD	25
2.5.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	26
2.6 PUNTO DE INFLAMACIÓN	27
2.6.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	27
2.7 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO – ESFERA	28
2.7.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	29
2.8 PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO	30
2.8.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS	30
2.9 DUCTILIDAD	32
2.9.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA	32
CAPÍTULO 3 VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD	34
3.1 SALINA CRUZ, OAXACA	35
3.1.1. OBSERVACIONES DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20 DE LA PLANTA SALINA CRUZ 36	36
3.2 CADEREYTA, NUEVO LEÓN	37
3.2.1. OBSERVACIONES DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20 DE LA PLANTA CADEREYTA, NUEVO LEÓN	38
3.3 SALAMANCA, GUANAJUATO	39
3.3.1. OBSERVACIONES DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20 DE LA PLANTA SALAMANCA, GUANAJUATO	40
3.4 TULA, HIDALGO	41
3.4.1. OBSERVACIONES DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20 DE LA PLANTA TULA, HIDALGO	42
3.7 GRÁFICOS DE CONTROL	43
3.7.1 GRÁFICA DE VISCOSIDAD A 60°C CEMENTO ASFALTICO ORIGINAL	43
3.7.2 GRÁFICA DE PENETRACIÓN A 25°C CEMENTO ASFÁLTICO ORIGINAL	44

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES	46
ANEXO A	51
GLOSARIO	65
BIBLIOGRAFÍA	70

TESIS CON
FOLIO DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN

En la historia del asfalto en la construcción una regla que no ha cambiado, es la siguiente: un pavimento es tan bueno como los materiales y la calidad del proceso constructivo.

Si el proceso constructivo no se realizó adecuadamente, la vida útil será menor a la del proyecto. Si el cemento asfáltico es no conforme puede presentar menor adherencia en los agregados pétreos y una menor estabilidad, en consecuencia la vida útil del pavimento es menor, por lo que existe una necesidad de corregir las condiciones de los pavimentos asfálticos, mejorando las tecnologías y la calidad de proyecto, así como la construcción y mantenimiento; utilizando asfaltos apropiados y de buena calidad junto con materiales pétreos y procedimientos constructivos idóneos.

México cuenta con una red carretera de longitud mayor a 330,000 km, de éstos 108,000 km son de pavimento asfáltico.

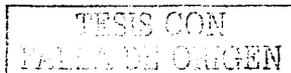
La red carretera nacional se divide en:

- Red Federal: cuya longitud es de 43,000 km, por la cual transitan diariamente 6,000 vehículos; en el 30% de su extensión viajan automotores con un peso máximo de 66 ton. Fue construida hace 35 años aproximadamente .
- Red de Autopistas: su longitud es mayor de 6,000 km; diariamente transitan hasta 50,000 vehículos, de los cuales el 45% es tránsito pesado.

Respecto a la superficie pavimentada en áreas urbanas y suburbanas ésta no está inventariada, sin embargo, se estima que entre un 85% y 90% cuenta con pavimento flexible. Como ejemplo de la magnitud de una red urbana, consideremos a la Ciudad de México que posee una red vial primaria de 19 millones de m², y una secundaria de 100 millones de m² aproximadamente.

En la medida en que se incrementa la economía y la población de los países, se tiene la necesidad de contar con sistemas de infraestructura de transporte de mayor cobertura y con mejores relaciones beneficio-costos, de manera que se obtenga el mayor rendimiento de las inversiones, en virtud de que éstas últimas son escasas con relación a la demanda de dichos servicios. De esta manera cobra especial interés la aplicación de métodos modernos de diseño de pavimentos, de especificaciones adecuadas, de nuevas tecnologías de construcción y materiales, así como mejores técnicas de evaluación de pavimentos, aplicándolas durante el proceso y al término de la construcción. Con el objeto de verificar el cumplimiento del proyecto, las condiciones estructurales y funcionales de los pavimentos antes de ser entregados al usuario y cubrir los "vacíos" (mala calidad de materiales y proceso constructivo de bajo nivel) que se detectan entre los procesos de diseño, construcción y control de calidad.

El Objetivo de esta tesis es verificar la calidad del cemento asfáltico AC-20 procedente de 4 diferentes plantas de producción en México que son Salina Cruz, Cadereyta, Salamanca y Tula; de acuerdo a su comportamiento compararlo con la norma SCT N-CMT-4-05-001/00, que clasifica a los cementos asfálticos por su viscosidad dinámica a 60°C teniendo que cumplir ciertos requisitos en diferentes pruebas, estos procedimientos de prueba a su vez se describen en las normas de la SCT.



Esto se logra a través de la inspección (el término se usa para indicar la acción), es una labor vital en cualquier proyecto de construcción de carreteras. El propósito de la inspección de construcciones asfálticas es el de asegurar la calidad del trabajo, para verificar que el pavimento terminado cumpla con las especificaciones.

El muestreo y las pruebas son los métodos usados para evaluar la calidad del trabajo. El inspector debe saber qué tipo de muestreo se debe hacer en la planta y en la obra, la manera y posición en que se deben tomar y el número requerido.

Dicho muestreo se realiza en las plantas de mezcla asfáltica en caliente donde se producen las mismas; teniendo la rastreabilidad¹ del cemento asfáltico es como se conoce la procedencia del cemento asfáltico que se empleará.

Para llevar a cabo el estudio mencionado se recopilaron los resultados de muestras, conforme a la norma SCT M-MMP-4-05-001, de cada planta donde se va a mezclar con el material pétreo². Hasta el año 2000, las normas vigentes de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes duraban más de 40 años y durante ese período la actualización se venía realizando mediante especificaciones particulares, propuestas por el proyectista para cada obra en específico.

Esta tesina supone que en México la calidad de cemento asfáltico en las plantas productoras de PEMEX es distinta una de otra.

En el primer capítulo se expondrán las propiedades del asfalto, su producción y uso en la República Mexicana. El segundo capítulo parte de la verificación de calidad del cemento asfáltico con las normas de SCT y la verificación de la calidad del cemento asfáltico AC-20 con respecto a la norma N-CMT-4-05-001/00 de SCT; en el tercer capítulo, se presentarán los resultados obtenidos con los procedimientos de prueba.

PEMEX, es el único productor, que elabora el AC-20³, el de mayor consumo, y en forma limitada fabrica el AC-5. El esquema No. 2 presenta la verificación de la calidad de cementos asfálticos, desde el proceso de producción hasta su uso. En el caso de México, el gobierno federal es el responsable de la construcción de la mayor parte de las carreteras, por lo que es el que decide las especificaciones del concurso de obra y el tipo de cemento asfáltico a usar.

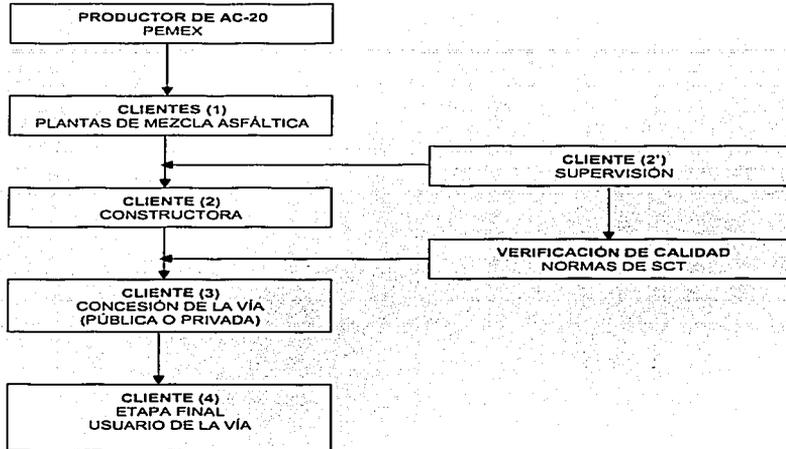
¹ Rastreabilidad es la posibilidad de rastrear un lote para conocer su procedencia. ISO 9000:2000

² pétreo.- ver glosario (agregado)

³ AC-20 es Cemento Asfáltico (Asphalt Cement) con Viscosidad dinámica a 60°C con 2000 ± 400 Poises ASTM D-3381

TESIS CON
FALSA DE ORIGEN

Diagrama 1 Cemento Asfáltico desde su producción hasta la etapa de uso



Este diagrama nos muestra en forma general como se lleva el proceso del cemento asfáltico desde su producción hasta su uso. Tenemos como único productor a PEMEX de cemento asfáltico AC-20. Este es transportado a las plantas de mezclas asfálticas (cliente 1), que es donde la constructora (cliente 2) y la supervisión (cliente 2') piden a la empresa exactamente la cantidad y tipo de mezcla que se ha diseñado para la construcción de la vía terrestre que es concesionada ya sea pública o privada (cliente 3) para la etapa final que es el usuario de la misma (Cliente 4).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 1

PROPIEDADES DE LOS ASFALTOS

IMPRESO CON
FONTO DE ORIGEN

CAPÍTULO 1. PROPIEDADES DE LOS ASFALTOS

1.1 ASFALTO

El asfalto es una mezcla de hidrocarburos de alto peso molecular. Es un material negro cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales.

Este es usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Cuando se calienta lo suficiente se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de mezcla en caliente.

El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales; esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico.

Cambian sus propiedades cuando este es calentado y/o envejecido, tiende a volverse duro y frágil y también a perder parte de su capacidad de adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados comprendiendo las propiedades del asfalto, y tomando medidas durante el proceso de mezclado en la planta y construcción, para garantizar que el producto final pueda retardar el efecto de envejecimiento.

1.2 REFINACIÓN DEL ASFALTO

Existe confusión respecto al origen del asfalto, de cómo es refinado, y cómo se clasifica en sus diferentes grados. Esto se debe a que el asfalto es utilizado para diferentes propósitos (pavimentos, impermeabilizantes y revestimientos).

El crudo del petróleo es refinado por destilación, éste es un proceso por el cual, las diferentes fracciones (productos) son separadas fuera del crudo por medio de un aumento, por etapas de la temperatura, ver figura 1.2.1.

Las fracciones livianas se separan por destilación simple. Los destilados más pesados, usualmente llamados gasóleos, son separados mediante una combinación de calor y vacío, como se indica en la figura 1.2.1, el asfalto se produce usando la destilación al vacío a una temperatura aproximada de 480°C, ésta temperatura varía dependiendo del crudo del petróleo que se está refinando, o del grado de asfalto que se esté produciendo. La figura 1.2.2 es una ilustración esquemática de una refinería típica.

El petróleo tiene diferentes derivados y propiedades; por lo que existen distintos tipos de asfalto. Los refinadores del crudo deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que producen, para que estos cumplan ciertos requisitos. El agregado de control por los equipos modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales. Esto se logra mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos.

HECHO CON
LA LEY DE ORIGEN

El hecho de poder mezclar permite al refinador combinar crudos que contienen asfaltos de características variables, para que el producto final posea exactamente las características solicitadas por el usuario.

Existen dos procesos por los cuales puede producirse un asfalto, después de que se han combinado los crudos de petróleo: el primero, destilación al vacío que consiste en separar el asfalto del crudo mediante la aplicación de calor y vacío. El segundo, mediante un proceso de extracción con solvente, se remueven más gasóleos del crudo, dejando así un asfalto residual.

Una vez que los asfaltos han sido procesados, estos pueden ser mezclados entre sí en ciertas proporciones, para producir grados intermedios de asfalto. Es así como un asfalto muy viscoso y uno menos viscoso pueden ser combinados para generar un asfalto de viscosidad intermedia.

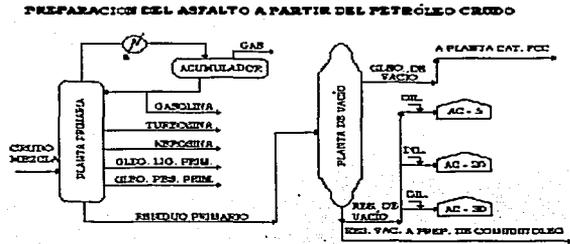


Figura 1.2.1. Flujo de petróleo durante el proceso de refinación.

TESIS CON
PALA DE ORIGEN

1.3. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CEMENTO ASFALTO

El asfalto tiene propiedades químicas únicas que lo hacen muy versátil como material de construcción de carreteras.

La composición química es ciertamente uno de los medios más usados y precisos, para identificar las propiedades de cualquier sustancia. Sin embargo, existen varias razones por las cuales la química no ha llegado a ser parte de los sistemas de clasificación:

- En la actualidad no hay una prueba normal para la composición química de asfaltos que sea aceptada por los vendedores, los compradores y los usuarios del material en su conjunto.
- Los ensayos existentes para analizar la composición química requieren de equipos sofisticados y pericia técnica que no está disponible en la mayoría de los laboratorios donde se hacen pruebas de asfaltos.
- La relación entre la composición química del cemento asfáltico y su comportamiento en la estructura del pavimento es todavía incierta.

Básicamente el asfalto está compuesto de varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunas trazas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos. De acuerdo a la teoría micelar⁴ del asfalto se compone de:

1.3.1. ASFALTENOS

Los asfaltenos no se disuelven en el heptano. Los asfaltenos, una vez separados de los maltenos, son usualmente de color café oscuro-negro o pardo oscuro y se parecen a polvo grueso de grafito, son sólidos a temperatura ambiente, su peso molecular oscila entre 4000 a 7000⁵. Contribuyen en el asfalto con propiedades como dureza o solidez, plasticidad, fragilidad y le dan al asfalto el color negro.

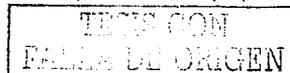
1.3.2. MALTENOS

Los maltenos se disuelven en el heptano, son la fracción ligera, con pesos moleculares de 700 a 4000. La parte malténica se puede subdividir en dos fracciones principales, siendo éstas las siguientes:

- a) Resinas: Las resinas tienen pesos moleculares entre 2000 y 4000 y son solubles en disolventes clorados y sulfurados, que actúan como agentes peptizantes de los asfaltenos, las resinas son por lo general líquidas pesadas de color café pálido-café oscuro, o ámbar o pardo oscuro, de naturaleza altamente adhesiva (pegajosidad en el asfalto), buena ductilidad en frío, bajo punto de fusión y quebradizas a muy bajas temperaturas.
- b) Aceites: productos con peso molecular entre 700 y 2000 los aceites pueden ser del tipo:

⁴ Es el modelo adoptado para configurar la estructura del asfalto se denomina modelo micelar.

⁵ El peso molecular se da en g/mol, el compuesto varía o se manejan un rango por la pureza del compuesto generalmente se pueden tener los mismos elementos pero en distinta proporción.



- **Aromático – Nafténico:** productos solubles en tolueno/metanol, con menor peso molecular que oscila entre los 1000 y 2000 con naturaleza química de hidrocarburos aromáticos no polares, es por ello que también es conocida esta fracción como aceites aromáticos no polares o simplemente como **Aceites Nafténicos**.
- **Saturado o Parafínico:** Por último la fracción de aceites de menor peso molecular que oscila entre los 600 a 1000; son los aceites saturados o **aceites parafínicos**; sustancias solubles en n-heptano y están constituidas principalmente por hidrocarburos del tipo alifático.

La proporción de asfaltenos y maltenos en el asfalto puede variar debido a muchos factores, incluyendo altas temperaturas, exposición a la luz y al oxígeno, tipo de agregado usado en la mezcla asfáltica, y espesor de la película de asfalto en las partículas de agregado. Las reacciones y los cambios que pueden ocurrir incluyen: evaporación de los compuestos más volátiles, oxidación (combinación de moléculas de hidrocarburo con moléculas de oxígeno), polimerización (combinación de dos o más moléculas para formar una sola molécula más pesada), y otros cambios químicos que pueden afectar considerablemente las propiedades del asfalto. Las resinas se transforman gradualmente en asfaltenos, durante estas reacciones, y los aceites se convierten en resinas, ocasionando así un aumento en la viscosidad del asfalto.

1.4 PROPIEDADES FÍSICAS DEL CEMENTO ASFALTICO

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son: gravedad específica, durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento..

1.4.1. GRAVEDAD ESPECÍFICA

Es la manera de determinar la gravedad específica o densidad de los asfaltos que consiste en determinar la relación que existe entre el peso de un volumen determinado a 25°C y el de un volumen igual de agua a la misma temperatura. Las razones de estimar esta propiedad son: (1) el asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando es enfriado. Este dato es necesario cuando se adquiere, ya que debe ser suministrado por peso y no por volumen. (2) La gravedad específica es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado. Para la prueba se utiliza el método del picnómetro. Los resultados se expresan normalmente en términos de gravedad específica a una temperatura dada.

1.4.2. DURABILIDAD⁶

Es la medida que la cantidad que tiene un asfalto de mantener sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto.

Esto se debe a que el comportamiento del pavimento esta afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto. Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para evaluar la durabilidad del asfalto. Estas son la Prueba de

⁶ Alberto García Martínez, Tesis Profesional, "Asfaltos Superpave. Grado de comportamiento en servicio de un ligante asfáltico", I.P.N., México 1999



Película Delgada en Horno (TFO) y la Prueba de Película Delgada en Horno Rotatorio (RTFO). Ambas incluyen el calentamiento de películas delgadas de asfalto, y serán analizadas más adelante.

1.4.3. ADHESIÓN Y COHESIÓN.

La Adhesión es la capacidad del asfalto para fijarse en el agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su lugar, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo de Ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; examina una propiedad del asfalto considerada por algunos como una relación de la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo "califica - no califica", y sólo puede indicarse si la muestra es ó no lo suficientemente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos, también esta prueba se presentará más adelante.

1.4.4. SUSCEPTIBILIDAD A LA TEMPERATURA.

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) si se incrementa su temperatura. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura, y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto.

La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia (Ver figura: 1.4.1).

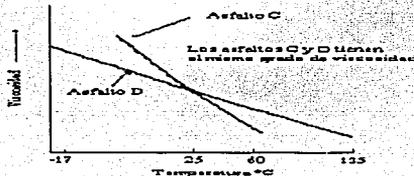


Fig. 1.4.1. Variación de la viscosidad con temperatura de dos asfaltos graduado por Penetración.

La figura muestra la susceptibilidad a la temperatura de dos asfaltos (Asfalto A y Asfalto B) que tienen el mismo grado de penetración pero que provienen de crudos de diferente origen. Obsérvese que a 25°C la viscosidad de los dos asfaltos es la misma. Sin embargo, a cualquier otra temperatura las viscosidades son diferentes. Esto se debe a que ambos asfaltos tienen diferente susceptibilidad a la temperatura.

Lo mismo puede ocurrir en el caso de dos asfaltos con el mismo grado de viscosidad, pero provenientes de crudos de diferente origen. La figura 1.4.2, por ejemplo muestra que el Asfalto C y el Asfalto D tienen la misma viscosidad a una temperatura de 25°C.

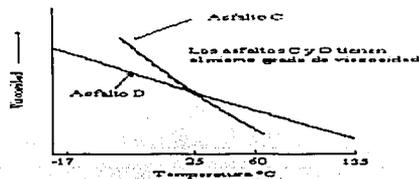


Fig. 1.4.2. Variación de la viscosidad con temperatura de dos Asfaltos Graduados por viscosidad.

Sin embargo, a cualquier otra temperatura las viscosidades son diferentes. La conclusión es que, sin importar el sistema de clasificación utilizado, puede haber asfaltos derivados de crudos diferentes con susceptibilidad a la temperatura.

Es fundamental conocer la susceptibilidad a la temperatura del asfalto que va a ser utilizado pues ella indica la temperatura adecuada para mezclar el asfalto con el agregado, y la temperatura a que se debe compactar la mezcla sobre la base de la carretera. Puede observarse, con referencia a la figura 1.5.1, que a temperaturas mayores de 25°C, que abarcan todas las temperaturas de construcción, el Asfalto A es menos viscoso (más fluido) que el Asfalto B. Como resultado, la temperatura necesaria para que el Asfalto A sea lo suficientemente fluido y pueda cubrir apropiadamente las partículas de agregado en la mezcla sea menor que la temperatura necesaria para obtener los mismos resultados con el Asfalto B. Igual ocurre con las temperaturas de compactación; puede ser necesario compactar una mezcla con el asfalto A usando una temperatura menor que la requerida por una mezcla que contiene el asfalto B.

Es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que éstas se desplacen unas respecto a otras en la compactación. Deberá volverse lo suficientemente viscoso a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

1.4.5. ENDURECIMIENTO Y ENVEJECIMIENTO.

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente en altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado).

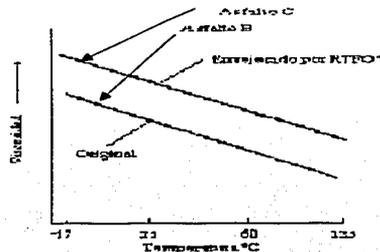


Figura 1.4.3. Endurecimiento de asfalto después de haber sido expuesto a temperaturas altas.

El asfalto se encuentra en altas temperaturas y en películas delgadas mientras esta revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa de mezclado. La figura 1.5.3 muestra el aumento en viscosidad debido al calentamiento de una película delgada de asfalto. El margen de viscosidad del material original (antes de la prueba de película delgada en Horno Rotatorio - RTFO) es mucho menor que el margen obtenido después del calentamiento.

No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento, y así poder ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El asfalto se sigue endureciendo en el pavimento después de la construcción, principalmente por la oxidación y la polimerización.

1.5 REFINERÍAS DE ASFALTO EN MÉXICO

En la República Mexicana se tienen cinco refinerías en producción de cemento asfáltico con una capacidad superior a los 60,000 barriles diarios, produciendo diferentes tipos de asfalto acorde a las necesidades del país y cumpliendo las normas M-CMP-4-05-001 (ASTM D-3381), que los clasifica de acuerdo a la viscosidad absoluta a 60°C.

Los asfaltos que produce PEMEX de acuerdo a sus refinerías son las siguientes:

- Refinería de Cd. Madero Tamaulipas, produce asfaltos AC-20 y AC-30 con los cuales cubre su área de influencia y exporta ambos asfaltos.
- Refinería de Salamanca, Guanajuato, produce AC-20 y AC-5 para consumo nacional en la zona centro del país.
- Refinería de Salina Cruz, Oaxaca, produce asfalto AC-20 para consumo nacional en el sureste del país.

- Refinería de Cadereyta, Nuevo León, produce asfalto AC-20 y AC-30 para consumo en el norte de México y exportación al sur de los Estados Unidos.
- Refinería de Tula, Hidalgo, produce asfalto AC-20 para consumo del centro y norte de México.

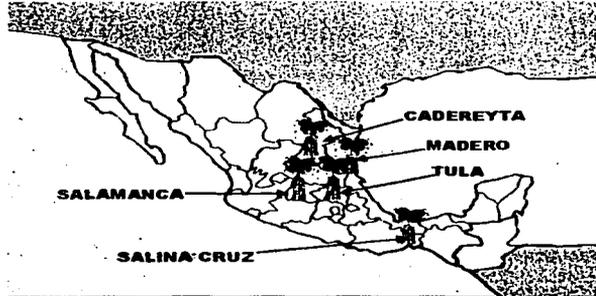


Figura 1.5.1 Refinerías en la República Mexicana

Petróleos Mexicanos por conducto del Instituto Mexicano del Petróleo está tratando que sus crudos sean más homogéneos; por lo que está realizando mezclas con diferentes fuentes de abastecimiento: Pánuco, Reforma, Samaria sonda de Campeche etc., en sus diferentes tipos de pesados y ligeros; estudiando la incorporación de aditivo y polímeros primarios con el objeto de hacerlos más adecuados y de mayor durabilidad, y más resistentes para diferentes condiciones climáticas, de carga y de tránsito de los pavimentos de altas especificaciones de la República Mexicana.

1.6 ESTADO ACTUAL DE LAS NORMAS DE PRODUCTOS ASFÁLTICOS

Caracterización por Penetración: Se utilizó esta caracterización hasta el año 2000, incluyendo las pruebas de viscosidad cinemática y de película delgada

Caracterización por Viscosidad: Acción que se oficializó en las normas emitidas el año 2000 y que prácticamente residen en aplicar la Norma ASTM para caracterizar los asfaltos con viscosidad absoluta a 60 °C, que los clasifica entre 250 y 4,000 Poises, que corresponde a los cementos AC-2.5 a AC-40 (Véase tabla 2 y 5 de la N-CMT-4-05-001/00) para su clasificación y requisitos de calidad.



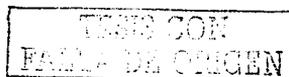
**TABLA No. 1 CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS
SEGÚN SU VISCOSIDAD DINÁMICA A 60°C
NORMA SCT M-CMT-4-05-001/00**

Clasificación	Viscosidad a 60° C Pa·s (P [1])	Usos más comunes
AC-5	50 ± 10 (500 ± 100)	<p>A. En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 1 en la Figura 1.6.1.</p> <p>B. En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen para riegos de impregnación, de liga y poreo con arena, así como en estabilizaciones.</p>
AC-10	100 ± 20 (1 000 ± 200)	<p>C. En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 2 en la Figura 1.6.1.</p> <p>D. 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 1.6.1.</p>
AC-20	200 ± 40 (2 000 ± 400)	<p>E. En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 3 en la Figura 1.6.1.</p> <p>F. 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 2 en la Figura 1.6.1.</p> <p>G. En la elaboración de carpetas de mezcla en caliente dentro de las regiones indicadas como Zona 4 en la Figura 1.6.1.</p>
AC-30	300 ± 60 (3 000 ± 600)	<p>H. 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 Zonas 3 y 4 en la Figura 1.6.1.</p> <p>I. En la elaboración de asfaltos rebajados en general, para utilizarse en carpetas de mezcla en frío, así como en riegos de impregnación.</p>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**TABLA No. 2 REQUISITOS DE CALIDAD PARA CEMENTO
ASFÁLTICO NORMA SCT M-CMT-4-05-001/00
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 (10P)	50±10 (500±100)	100±20 (1000±200)	200±40 (2000±400)	300±60 (3000±600)
Viscosidad cinemática a 135°C ;mm ² /s mínimo (1mm ² /s=1 centistoke)	175	250	300	350
Viscosidad Saybolt-Furol a 135°C, mínimo	80	110	120	150
Penetración a 25°C, 100g, 5s; 10 ⁻¹ mm, mínimo	140	80	60	50
Punto de inflamación Cleveland; °C, mínimo	177	219	232	323
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; N·s/m (10P)	200 (2000+400)	400 (4000+800)	800 (8000+1600)	1200 (12000+3200)
Ductibilidad a 25 °C y 5 cm/min;cm, mínimos	100	75	50	40
Penetración retenida a 25°C; %, mínimo	46	50	54	58



**CLASIFICACIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO
NORMA SCT N-CMT-4-05-001/00**

La distribución anterior se basa principalmente en condiciones climáticas, y no incluye otras variables muy importantes como son los tipos de agregados pétreos, intensidad de tránsito, etc.

Los cementos AC-5, AC-10, AC-20 y AC-30, (solos o modificados) que recomiendan en forma general para concretos asfálticos en las regiones antes señaladas y para carreteras de alta circulación (en intensidad de tránsito y carga por eje).

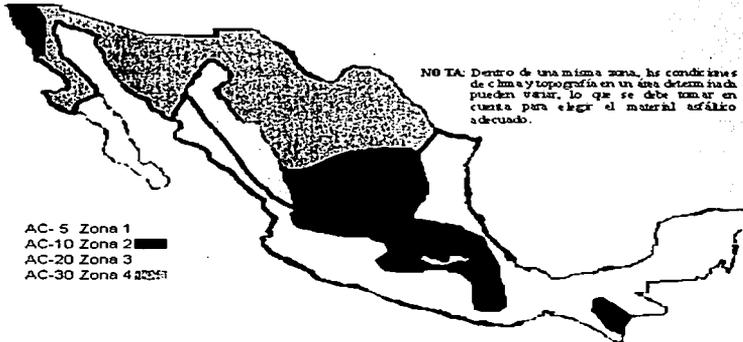


Figura 1.6.1 Distribución de Cemento Asfáltico (Clasificación) por zonas en la República Mexicana.

TABLA No. 3 DISTRIBUCIÓN DE ASFALTOS EN MÉXICO, BASE VISCOSIDAD

ASFALTO	Región que se recomienda para uso tentativo
AC - 5	Para la elaboración de emulsiones asfálticas en general y para concretos asfálticos que se utilicen en algunas partes de la Sierra Madre Occidental comprendidas en los estados de Durango y Chihuahua.
AC - 10	Para la región central y Altiplano de la República.
AC - 20	Para el sureste de la República y las regiones costeras del Golfo y del Pacífico, hasta el estado de Sinaloa, incluyendo también Baja California Sur.
AC - 30	Para la región Norte y Noreste del País, excluido el estado de Tamaulipas.

1.7 CRITERIOS PARA ACEPTACIÓN O RECHAZO

Para que un material asfáltico sea aceptado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, antes de su utilización, el contratista de obra, o el proveedor cuando se trate de obras por administración directa, entregará a la SCT un certificado de calidad por cada lote o suministro, que garantice el cumplimiento de todos los requisitos establecidos en esta norma, según el tipo de material asfáltico establecido en el proyecto autorizado por la SCT, expedido por su propio laboratorio o por un laboratorio externo. Además, con objeto de controlar la calidad del material asfáltico durante la ejecución de la obra, el contratista de obra realizará las pruebas necesarias, en muestras obtenidas como se establece en el manual M-MMP-4-05-001 *Muestreo de Materiales Asfálticos* y mediante los procedimientos de prueba contenidos en los manuales que se señalan en la cláusula C. de esta norma, en el número y con la periodicidad que se establezca en el proyecto autorizado por la SCT, que verifiquen que las características indicadas en la tabla cumplan con los valores establecidos en esta norma, entregando a la SCT los resultados de dichas pruebas.

Características de calidad que se deben revisar en los materiales asfálticos durante la ejecución de la obra

CEMENTOS ASFÁLTICOS	
En el cemento asfáltico original:	
•	Viscosidad dinámica a 60°C
•	Punto de inflamación Cleveland
En el residuo de la película delgada:	
•	Viscosidad dinámica a 60°C
•	Pérdida por calentamiento
•	Ductilidad a 25°C y 5 cm/min
•	Penetración a 25°C, 100 g, 5 s

TRABAJA CON
PALETA DE CEMENTO

CAPÍTULO 2

PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS PARA CALIDAD EN ASFALTOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTOS DE PRUEBAS PARA CALIDAD EN ASFALTOS

2.1 VISCOSIDAD DINÁMICA (ABSOLUTA)

NORMA SCT M-MMP-4-05-002

Esta prueba es para determinar la viscosidad de los asfaltos mediante el procedimiento de hacerlo pasar hacia arriba a través de un tubo capilar bajo condiciones controladas de vacío y temperatura, de tal manera que la viscosidad se calcula de acuerdo al tiempo que tarda en pasar el asfalto a través de 2 marcas del tubo, multiplicado por un factor de calibración del viscosímetro.

Esta viscosidad se considera adecuada como prueba preferentemente en condiciones fluidas y normalmente a la temperatura de ensaye a 60°C, que es la temperatura de trabajo de las mezclas asfálticas en la época de calor; lo cual posteriormente se comprobó que es variable.

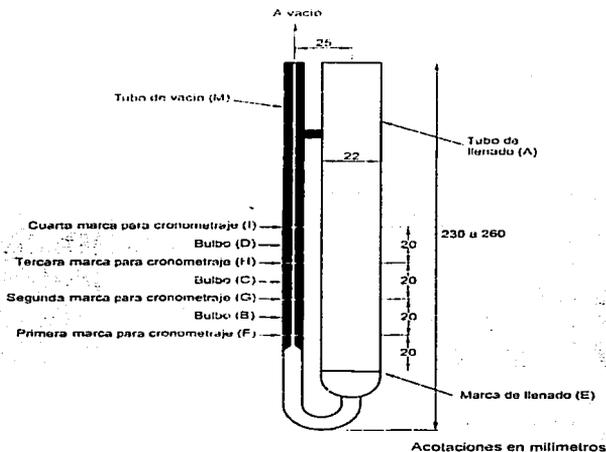
El resultado de esta viscosidad sirve para clasificar los asfaltos (norma SCT M-MMP-4-05-002) y su unidad de clasificación es el Hecto - Poise, así para un AC-10 se tiene una viscosidad de 1,000 Poises \pm 20% etc.

La unidad CGS de viscosidad es 1 g/cm-s y es llamado un Poise (P). La unidad del SI de viscosidad es 1 Pa-s ($1\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$) y es equivalente a 10 P.

Por otra parte, puede efectuarse esta prueba después del ensaye de la película delgada y se puede determinar la pérdida de viscosidad absoluta equivalente a lo que sucedería durante el proceso de elaboración y tendido de la mezcla asfáltica (incremento en Poises o pérdida por calentamiento en película delgada de la viscosidad).

Aún cuando se pueden obtener valores de la viscosidad a una o varias temperaturas, este método de ensaye no predice el comportamiento en el pavimento, ni puede predecir los efectos de carga, clima o fatiga en el asfalto de la mezcla.

TESIS CON
FALLA EN ORIGEN



Viscosímetro capilar

2.1.2 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se calienta una muestra de cemento asfáltico agitándola ocasionalmente para prevenir sobrecalentamiento y se asegura la temperatura uniforme de la muestra.

Se pasa la cantidad de 20 ml de la muestra y se calienta a 135°C, agitándolo, cuidando que no quede aire atrapado.

Mantener el baño a la temperatura a 60°C.

Se coloca el viscosímetro cargado a un horno a 135°C durante 10 minutos \pm 2 minutos; para permitir que escapen las burbujas de aire.

Se precalienta el viscosímetro a 135°C, se carga el viscosímetro con la muestra precalentada hasta \pm 2 mm de la línea de llenado.

Se saca el viscosímetro del horno y en un lapso no mayor de 5 minutos, se inserta en su soporte y se coloca en la posición vertical en el baño de manera que la marca superior para lectura del tiempo de flujo esté por lo menos 20 mm por debajo de la superficie del líquido del baño.

Se ajusta la presión de vacío para obtener un valor de 300 \pm 5 mm Hg debajo de la presión atmosférica en el sistema de vacío y se conecta al viscosímetro con la llave de paso o válvula cerrada.

Después de 30 minutos en el baño se inicia el flujo de muestra en el viscosímetro abriendo la llave de paso de la línea de entrada de vacío.

Se mide con precisión de 0.1 s el tiempo requerido por el borde superior del menisco de la muestra para pasar por las 2 líneas marcadas.

Se reportar el primer tiempo de flujo registrado (debe ser mayor de 60 segundos).

Una vez terminada la prueba se limpia perfectamente el viscosímetro con varios enjuagues de solvente, puede ser gasolina o tricloroetileno, que sea completamente miscible con la muestra y continuando el lavado con solvente volátil.

Se seca haciendo pasar una corriente de aire seco y filtrado.

Para calcular la viscosidad dinámica se consideran 3 cifras significativas mediante la ecuación:

$$\text{Viscosidad dinámica, (Poises)} = Kt$$

donde:

K = constante de calibración del viscosímetro P/s

t = Tiempo de flujo (seg).

La temperatura de prueba y con el resultado de prueba de viscosidad, por ejemplo, viscosidad a 60°C y 300 mm Hg vacío en Poises.

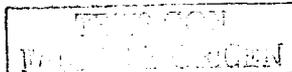
2.2 VISCOSIDAD CINEMÁTICA

NORMA SCT M-MMP-4-05-002

Esta prueba sirve para determinar la viscosidad de los cementos asfálticos a 135°C., sin embargo puede efectuarse a otras temperaturas; obteniendo viscosidades en un rango de 30 a 6000 centistokes y en medir el tiempo en que un volumen determinado de asfalto fluye a través de un viscosímetro capilar de un orificio determinado a una temperatura controlada mediante presión de carga, y su valor consiste en multiplicar, el tiempo utilizado en segundos por el factor de calibración del viscosímetro.

La unidad de esta viscosidad es el centistoke y se basa en la relación de la densidad de un líquido a la temperatura de prueba representada en 1 gr-cm²/seg., y el centistoke es 1 mm²/seg (1 cSt = 10⁻² St) que es la unidad comúnmente utilizada y se basa en el comportamiento del fluido "resistencia" al pasar por un orificio determinado.

En el caso de los cementos asfálticos es una prueba para determinar a que temperatura puede ser utilizado en la elaboración de mezcla asfáltica y una comparación con la viscosidad de la prueba de la película delgada, daría el incremento de viscosidad en por ciento de la misma durante el proceso de fabricación y colocación de la mezcla asfáltica. Igual que la viscosidad absoluta o Saybolt con los valores obtenidos no se tiene correlación con su comportamiento en la mezcla asfáltica.



2.2.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se calienta cuidadosamente la muestra hasta que tenga la fluidez suficiente para escurrir. Se agita en varias ocasiones para mantener homogénea la temperatura.

Se ponen 20 ml mínimo en un recipiente adecuado y se calienta a $135 \pm 5^\circ\text{C}$ agitando ocasionalmente para evitar sobrecalentamiento y la entrada de aire a la muestra.

Se mantiene el baño a la temperatura de prueba con $\pm 0.01^\circ\text{C}$ para 135°C .

Se vierte el cemento asfáltico de prueba al viscosímetro.

Se deja el viscosímetro en el baño el tiempo suficiente para alcanzar la temperatura de prueba.

Se inicia el flujo de la muestra a través del capilar y se mide con precisión de 0.1 seg el tiempo que requiere la muestra observando cuidadosamente la parte más alta del menisco, para pasar de la primera marca a la segunda.

Si este tiempo es menor de 60 s, se cambia el viscosímetro por otro con capilar de menor diámetro.

Una vez terminada la prueba, se limpia perfectamente el viscosímetro con un solvente adecuado y se seca pasando una corriente de aire seco.

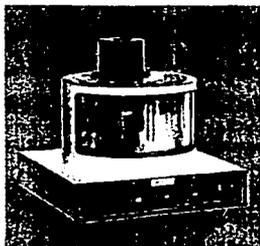
Se calcula la viscosidad cinemática considerando 3 cifras significativas mediante la ecuación siguiente.

Viscosidad cinemática, $\text{cSt} = KT$

Donde:

K = constante de calibración del viscosímetro

T = tiempo de flujo (segundos).



Viscosímetro Cinemático

RECIBIDO
EN EL ORIGEN

2.3 VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL

NORMA SCT M-MMP-4-05-004

La viscosidad Saybolt Furol en los cementos asfálticos, permite medir el flujo a la temperatura de 135°C, pudiéndose realizar a otras temperaturas comprendidas entre 120°C y 235°C, con objeto de conocer la susceptibilidad al calor de los cementos asfálticos y determinar las viscosidades apropiadas para su utilización.

La prueba fundamentalmente consiste en determinar el tiempo que tarda en pasar 60cm³ de cemento asfáltico a través de un orificio furol. Esta prueba en su origen era para obtener una temperatura de fácil manejo del asfalto durante su aplicación y manejo. En la normatividad se fijaron valores mínimos de la viscosidad, no así valores máximos.

La relación viscosidad – temperatura, es el parámetro que condiciona la aplicación de un cemento asfáltico en caliente y lo importante resulta en determinar una temperatura que reduzca la viscosidad, al valor requerido para una aplicación dada; para un asfalto de mayor viscosidad requerirá una temperatura mayor y viceversa. Por lo anteriormente expuesto, se considera que es una prueba de control de temperatura de trabajo en la aplicación.

Esta prueba no se relaciona con el comportamiento en el campo del material asfáltico ni con el envejecimiento.

2.3.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se coloca en un recipiente 450 gramos de cemento asfáltico y se calienta a una temperatura mayor de 15°C a la temperatura de prueba para fluidificarlo agitándolo de vez en cuando, excepto durante los últimos 30°C agitándola constantemente. El tiempo de calentamiento no será mayor de 2 horas y la muestra se calentará una sola vez.

Se llena el baño del viscosímetro con el aceite adecuado para la temperatura a la cual se efectuará la prueba.

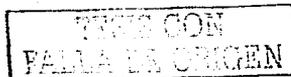
Se vierte en el tubo de viscosidad la muestra de asfalto preparada, filtrándola a través de la malla 0.850 Núm. 20 previamente entibiada y se seca hasta que el asfalto se derrame en la cazoleta; se coloca la tapa y se inserta el termómetro a través de orificio central de la misma.

Se agita la muestra continuamente con el termómetro, con movimientos circulares, se ajusta la temperatura del baño hasta que la muestra alcance la temperatura de prueba.

Se observa que la temperatura de la muestra permanezca constante por un minuto respecto a la temperatura de prueba.

Se colocar el matraz debajo del tubo de viscosidad, se retira el tapón de corcho y simultáneamente se pone en marcha el cronómetro, el cual deberá detenerse en el momento que la muestra alcance la marca de aforo de 60 cm³ del matraz y se registra el tiempo medido en el cronómetro.

El tiempo transcurrido desde que inicia el llenado del tubo de viscosidad hasta que empiece el llenado del matraz no será mayor a 15 minutos.



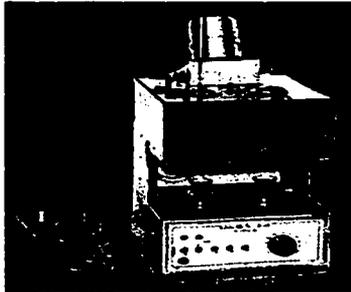
El resultado se reporta en segundos.

Al efectuar esta prueba se deberán tener las siguientes precauciones:

- Llevar a cabo la prueba en lugares que no tengan corrientes de aire ni cambios bruscos de temperatura.
- Evitar la formación de espuma o burbujas de aire, para lo cual el asfalto debe escurrir por la pared del cuello del matraz.
- Limpiar el equipo de prueba antes y después de utilizarlo, empleando xilol o petróleo diáfano, siendo aconsejable aplicar una capa de aceite ligero en el tubo de viscosidad, cada vez que se termine una prueba.
- Verificar periódicamente que las paredes interiores del baño y del tubo de viscosidad no tengan impurezas.

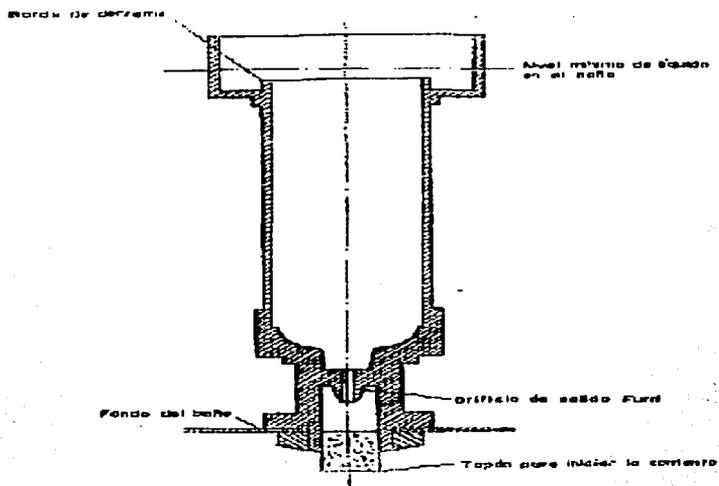
Dimensiones del Tubo de Viscosidad Saybolt-Furol.

Dimensiones en mm	Mínimo	Normal	Máximo
Diámetro interno del orificio	3.13	3.15	3.17
Diámetro externo del orificio en su extremo inferior	4.0	4.3	4.6
Largo del orificio	12.15	12.25	12.35
Altura del borde de demasías a la parte superior del orificio	124.0	125.0	126.0
Diámetro externo del borde de demasías en la parte superior.	--	--	--
Diámetro del recipiente	29.55	29.75	29.95
Largo de la parte cilíndrica del recipiente	88	--	--
Diámetro inferior del recipiente	9	--	--

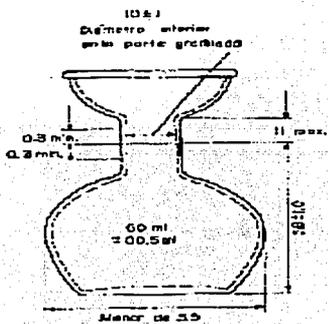


Viscosímetro Saybolt furol





Tubo furoal



Matraz aforado

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4 PENETRACIÓN

NORMA SCT M – MMP – 4 – 05 – 006

El ensayo de penetración determina la dureza o consistencia relativa de un cemento asfáltico. La prueba está incluida en las especificaciones basadas en viscosidad para impedir que sean usados los cementos asfálticos que tengan valores inapropiados de penetración a 25°C.

Indica la resistencia de un material asfáltico a la deformación, bajo condiciones controladas de temperatura, carga y tiempo, valores bajos indican gran resistencia.

La prueba normal de penetración consiste, en estabilizar una muestra de cemento asfáltico a una temperatura de 25°C en un baño de agua con temperatura controlada. Seguidamente, una aguja de dimensiones prescritas.

Colocar la aguja sobre la superficie de la muestra bajo una carga de 100 gramos y por un tiempo exacto de 5 seg.

La distancia que la aguja penetra en el cemento asfáltico es registrada en unidades de 0.1 mm. La cantidad de estas unidades es llamada la "penetración" de la muestra, en cuanto más blando sea el cemento asfáltico mayor será la cifra que indique la penetración.

2.4.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se prepara la muestra calentándola hasta que adquiera la fluidez suficiente para su vaciado en la cápsula de prueba, la temperatura no debe exceder 130°C ; el tiempo de calentamiento es entre 1 hora ± 15 minutos.

Se llena la cápsula con el asfalto y se deja enfriar 24 horas aproximadamente.

Se sumerge la muestra en un baño de agua que deberá estar a 25 °C por espacio de 2 horas, con el objeto de que el producto asfáltico adquiera dicha temperatura.

Se coloca el penetrómetro y se monta la aguja de carga con un peso de 100 g ± 0.1 g y se nivela perfectamente.

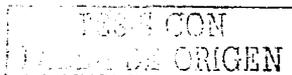
Se saca del baño el recipiente conteniendo la cápsula de cemento asfáltico cuidando que lleve agua suficiente para mantener la temperatura de la cápsula.

Se ajustar la punta de la aguja hasta que haga contacto con la superficie de la muestra.

Se colocan las manecillas del penetrómetro en cero y oprimir el botón del mecanismo para liberar la aguja únicamente y activar la carga de 100 g, durante 5 segundos.

Se toma la lectura y se registra en décimos de milímetro.

Se realizar por lo menos 3 penetraciones sobre puntos de la superficie de la muestra separados entre sí a no menos de 10 mm, limpiar la aguja después de cada penetración utilizando ya sea tricloroetileno, thinner y después con un paño seco se limpia la aguja para no dejar residuos del solvente.



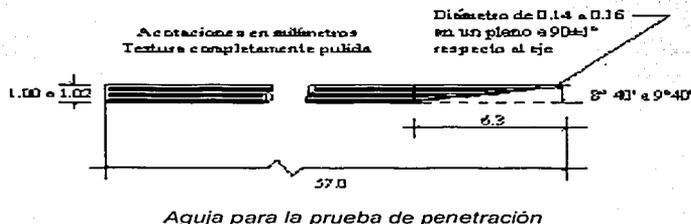
Se reporta como resultado de la prueba el promedio calculado con aproximación a la unidad con 3 penetraciones por lo menos y los valores no diferirán de la siguiente tabla:

Penetración décimos de mm	Diferencia de penetraciones
0 - 49	2
50 - 149	4
150 - 249	6
250 - o más	8

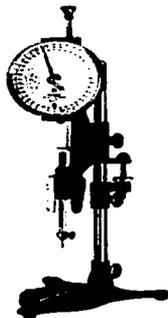


Las causas más frecuentes de error son las siguientes:

- Que no cumplan con los requisitos en cuanto a temperatura y tiempo de penetración.
- Que exista aire atrapado en la muestra de prueba.
- Que no se limpie correctamente la aguja, en el momento de la penetración.
- Que la aguja no esté en contacto con la superficie de la muestra al iniciar la penetración.
- Que la aguja toque el fondo de la superficie del recipiente antes de finalizar el tiempo especificado.
- Que contenga agua la superficie de la muestra al hacer la penetración.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Penetrometro

2.5 SOLUBILIDAD

NORMA SCT M – MMP – 4 – 05 – 008

La prueba de Solubilidad en Tricloroetileno es un método para detectar impurezas o alguna materia que no sea soluble en el solvente.

El ensayo de Solubilidad es un procedimiento para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente Tricloroetileno en donde se disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas como las sales, el carbono libre, y los contaminantes orgánicos, no se disuelven sino que se depositan en forma de partícula. Estas impurezas insolubles son luego filtradas fuera de la solución y medidas con una proporción de la muestra original.



Solubilidad en Tricloroetileno



2.5.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se desmenuzan de 20 a 30 gramos de asbesto; se ponen en un litro de agua destilada y agitar para formar una suspensión dispersa y uniforme.

Se monta el equipo de filtración; se coloca en el fondo del crisol 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 en el fondo del crisol. Se agrega nuevamente asbesto en suspensión y se succiona hasta formar una capa de 0.5 ± 0.1 gramos, después de someterse al proceso de calcinación.

Se desmonta el crisol y se lava con agua la capa de asbesto, se secar dicho crisol en el horno y se calcina al rojo hasta obtener su peso constante, se colocar sobre una flama abierta, se deja enfriar en el desecador, se pesa y se registra su peso como W_i y conservar en el desecador en tanto se utiliza.

Se calienta una muestra de asfalto para homogeneizarla, cuidando que la temperatura no exceda los 130°C .

Se vierte en un matraz Elenmeyer dos gramos de la muestra y registrar su peso como W_m , agregar en porciones de 100 cm^3 de Tricloroetileno, se agita en forma continua hasta disolver la parte soluble del asfalto, cuidando que las partículas solubles no se adhieran a las paredes del matraz, después se tapa y se deja en reposo durante 15 minutos como mínimo.

Se instala en el crisol Gooch en el matraz de filtración debidamente acoplado a la bomba de succión y se humedece la capa de asbesto en crisol, vaciar una pequeña cantidad de solvente; separar cuidadosamente la solución del asfalto contenida en el matraz Elenmeyer y se pasa por la capa de asbesto del crisol succionando ligeramente, si es necesario, para facilitar el paso de la solución.

Se lava el interior del matraz con pequeñas cantidades del solvente y se vierte esta solución sobre la capa de asbesto, a continuación se lava el contenido del crisol con el solvente hasta que éste salga incoloro.

Se succiona para eliminar lo del crisol.

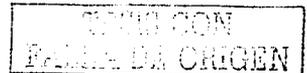
Se desmonta el crisol y se lava exteriormente con el disolvente utilizado, después se seca en el horno a $105 \pm 5^\circ\text{C}$ durante 20 minutos hasta que no se perciba el olor a solvente, se deja enfriar durante 30 ± 5 minutos y se determina su peso; se repete la operación de secar en el horno hasta obtener peso constante, el cual se registra como W_f .

En esta prueba se reporta la fracción soluble del cemento asfáltico:

donde:

$$S = \frac{W_m - (W_f - W_i)}{W_m} 100 = \left(1 - \frac{W_f - W_i}{W_m} \right) 100$$

- S = es la solubilidad del cemento asfáltico, en por ciento.
 W_m = es el peso de la muestra de cemento asfáltico, en gramos.
 W_f = es el peso del crisol preparado conteniendo el material insoluble, en gramos.
 W_i = es el peso del crisol preparado, en gramos.



2.6 PUNTO DE INFLAMACIÓN

NORMA SCT M – MMP – 4 – 05 – 007

El punto de inflamación de un cemento asfáltico consiste, tan solo, en la combustión instantánea de las fracciones volátiles que se están separando del asfalto, es la temperatura mínima a la cual se separan materiales volátiles de la muestra, y crean un "destello" (flamas instantáneas) al estar en contacto en presencia de una llama abierta (fuego directo), la temperatura a la cual presentan estos destellos se denomina punto de inflamación. Si se continúa elevando la temperatura de la muestra de cemento asfáltico se llega al punto en que se inicia la combustión del material, y la temperatura correspondiente se denomina punto de combustión.

Sirve de criterio de riesgo de fuego, identifica la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame, considerándose adecuado emplear como máximo una temperatura de 10°C menor a la temperatura de inflamación en el manejo, mezcla o tratamiento. Esta información es muy importante debido a que el cemento asfáltico es generalmente calentado en su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficiente baja para que el material pueda ser bombeado.

2.6.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se aplica calor a una muestra de cemento asfáltico, el calor indispensable para fluidificarla, se cuida que la temperatura alcanzada no sea mayor a 150°C y se agita continuamente para evitar sobrecalentamiento hasta darle la consistencia adecuada par vaciarla en la Copa de Cleveland.

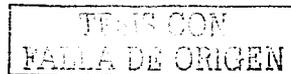
Se vacía lentamente en la copa el material asfáltico preparado hasta coincidir con la marca de aforo de la copa.

Se monta un termómetro de un rango de 0°C hasta 300°C en el soporte para la copa abierta de Cleveland, de manera que el extremo inferior del bulbo quede a 6.4 milímetros del fondo de la copa.

Se aplica calor al espécimen de manera que su temperatura aumente a razón de 14 a 17°C por minuto, hasta que el material alcance una temperatura aproximada de 60°C abajo del punto de inflamación probable y se reduce gradualmente el calor aplicado a la copa de manera que el incremento de temperatura sea de 5 a 6 °C por minuto.

Cuando la temperatura del espécimen este a 30°C abajo del punto de inflamación probable, se aplicara una flama con un aplicador, se pasa de lado a lado en la copa, sobre el centro de la misma y con una duración de 1 segundo aproximadamente y esta se aplica cada 2°C. Cuando al pasar el aplicador se produzca una pequeña flama instantánea en cualquier punto de la superficie de la muestra y se registrará la temperatura como punto de inflamación de la muestra.

Se continúa incrementando la temperatura de la muestra de 5 a 6°C por minuto pasando el aplicador de la flama hasta que se produzcan flamas que duren por lo menos 5 segundos y se registra la temperatura que indique el termómetro como punto de combustión.



Al efectuar la prueba se deberán tener las siguientes precauciones:

- Realizar la prueba en un local libre de corrientes de aire.
- Al aplicar la flama de prueba se evitara agitar los vapores que se desprendan de la copa
- Lavar la copa con un disolvente para eliminar los residuos de la prueba anterior.

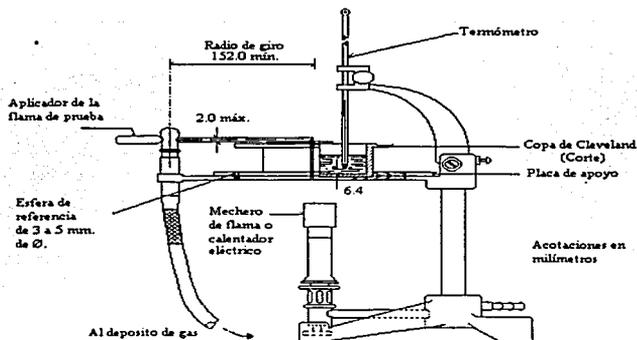


Figura: montaje de equipo para la prueba de Punto de Inflamación, con Copa abierta de Cleveland

2.7 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO – ESFERA

NORMA SCT M – MMP – 4 – 05 – 007

Proporciona una medida de la resistencia de un material al cambio en sus propiedades debido a la temperatura. El ablandamiento de los materiales asfálticos no se efectúa en un momento o a una temperatura definidos, a medida que aumenta la temperatura del baño en el cual se encuentra la muestra de asfalto, en forma gradual cambia de consistencia de un estado excesivamente espeso o de flujo lento, a un estado líquido más blando y menos viscoso.

El punto de reblandecimiento de los cementos asfálticos por el método del anillo y la esfera, consiste en determinar la temperatura a la cual una muestra de asfalto, sostenida por un anillo horizontal bajo la acción del peso de una esfera de acero, alcanza una deformación de 25.4 mm cuando es calentada gradualmente, sumergida en un baño de agua o glicerina. La temperatura esta comprendida entre los 30 y 200°C. Los resultados de esta prueba permiten estimar la consistencia de los cementos asfálticos.

TRABAJOS CON
FALLA DE ORIGEN

2.7.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se calienta una muestra de cemento asfáltico cuidadosamente hasta que se vuelva fluida, la temperatura a la cual se verterá el asfalto no será mayor a 130°C y el tiempo a emplear para fluidificarla no será mayor a 1 hora.

Se calientan los anillos a una temperatura aproximadamente igual a la de la muestra y colocar sobre una placa base de apoyo y preparar previamente para que no se les adhiera el asfalto, se puede utilizar una mezcla de Ácido de Zinc, Ácido bórico, estearato mezclados con glicerina.

Se vierte en los anillos el material asfáltico y se deja enfriar durante un periodo de 30 minutos para que recobre su consistencia sólida, enseguida se corta el exceso de material con una espátula.

Se sumergen los anillos, así como las esferas de acero en un recipiente con agua hasta alcanzar una temperatura de 5°C durante 15 minutos.

Se Llena con agua, o en su caso glicerina (la glicerina se utiliza para los asfaltos donde el punto de reblandecimiento sea mayor a 70°C), el vaso de vidrio refractario a 10 cm de altura y se introduce el termómetro así como la guía de latón de modo que la superficie inferior del anillo quede a 2.54 cm del fondo del vaso.

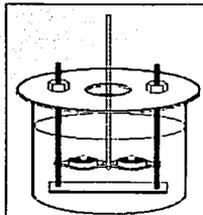
Una vez transcurridos los 15 minutos se colocan los anillos con el material asfáltico en el vaso refractario y sobre la muestra, colocar una esfera de acero.

Al llegar a los primeros 30 °C, se controla la temperatura del agua en razón de 5°C por minuto con un cronómetro, se registra la temperatura en el momento que la muestra toque el fondo del vaso, con aproximación de 0.5°C. Cuando la muestra se efectúa por duplicado, las temperaturas correspondientes no diferirán en más de 1°C, de no ser así se repetirá la prueba.

Se reporta como punto de reblandecimiento la temperatura a la cual la muestra de cemento asfáltico toque el fondo del vaso, en el caso de pruebas por duplicado se reporta el promedio de lecturas registradas con aproximación de 0.5°C.

Las causas más frecuentes de error son las siguientes:

- La presencia de burbujas de aire en la superficie de la muestra o en el interior de la muestra de asfalto.
- No controlar correctamente la temperatura de 5°C por minuto



Punto de Reblandecimiento

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.8 PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO

NORMA SCT M – MMP – 4 – 05 – 010

Esta prueba sirve para estimar el endurecimiento que sufren los cementos asfálticos que en películas de pequeño espesor se someten a los efectos de calor y el aire, en el equipo TFOT (Thin Film Oven Test) Prueba en Horno de Película Delgada, evaluando dicho endurecimiento mediante la penetración que conserva el cemento asfáltico y la pérdida de peso que experimenta después de someterse a un proceso de calentamiento.

Este ensaye originalmente se pensó con la idea de determinar la presencia de solventes o de aceites ligeros mediante un porcentaje determinado como máximo, así como la pérdida de penetración de acuerdo a un porcentaje resultante del cociente de dividir la penetración después de esta prueba entre el valor inicial de la penetración.

Una correlación aproximada de esta prueba es que se determinan los cambios que sufre el asfalto durante los procesos de transporte, almacenaje, calentamiento, elaboración, transportación y tendido de la mezcla asfáltica, comparando ensayes antes y después de la misma. Esta prueba también es normada para utilizar el asfalto después del ensaye, para determinar los valores de reología (G^* y ángulo fase δ) y después hacer la prueba de P.A.V. y determinar su reología posterior, así como los ensayes de BBR y DTT.

2.8.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS

Se prepara la muestra calentándola hasta que adquiera la fluidez suficiente para su vaciado en la cápsula de prueba, la temperatura no debe exceder 130°C.

Se Toma como base el peso específico relativo del material asfáltico determinado a 25°C, se calcula el peso del material equivalente a 50 cm³ que será la cantidad vaciada a dos charolas previamente taradas.

Se deja enfriar las dos charolas con la muestra hasta la temperatura ambiente y se pesan por separado con aproximación de un miligramo, anotando cada uno de estos pesos como W_1 .

Se introduce las dos charolas en el horno en el momento que alcance una temperatura de 163°C, se hace girar a una velocidad de 5 a 6 revoluciones por minuto durante un periodo de 5 horas, contadas a partir del momento en que los especímenes alcancen nuevamente los 163°C. El tiempo que permanezcan las muestras en el horno no será mayor de 5 hrs 15 minutos.

Al finalizar este periodo, sacar las dos muestras y se enfrían hasta la temperatura ambiente y se pesan por separado con aproximación de un miligramo y se registra cada uno de estos pesos como W_2 .

Se determina la pérdida por calentamiento mediante la siguiente fórmula:

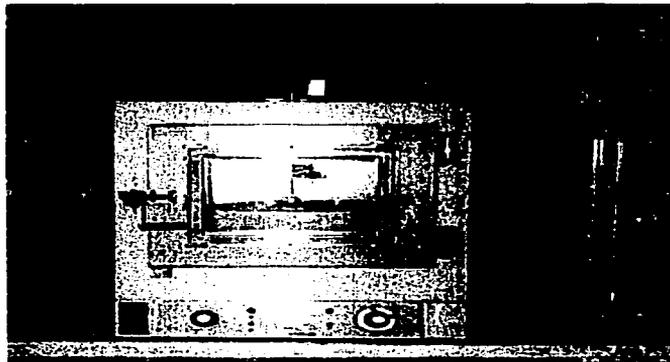
$$W_c = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

Donde :

Wc= es la pérdida por calentamiento del C.A. en %.

Wi= es el peso inicial de la muestra en gramos.

Wf= es el peso final de la muestra en gramos.



Fotografía del equipo de pérdida por calentamiento

PRISIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.9 DUCTILIDAD

NORMA SCT M – MMP – 4 – 05 – 011

La prueba para determinar la ductilidad de los cementos asfálticos medida por la máxima distancia a la cual una briqueta de características especificadas puede ser estirada sin romperse, bajo condiciones de temperatura y velocidad de deformación establecidas. La longitud del hilo del material en el momento del corte se mide en cm y se denomina ductilidad de la muestra.

Permite conocer la adaptabilidad del material para su aplicación en pavimentación, impermeabilización y revestimientos. Valores mayores de 100 indican buena capacidad de adherencia, de 50 a 100 regular y menor de 50 mala.

2.9.1 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA

Se prepararán los moldes de las briquetas con el material adecuado para evitar que se les adhiera el asfalto, este puede ser: mezcla de ácido nítrico o clorhídrico y mercurio o bien talco o caolín, existe una mezcla de ácido bórico, ácido de Zinc y estearato, estos tres mezclados con glicerina. Cuando el cemento asfáltico se encuentre fluido, verter en el contenido en los moldes (briquetas).

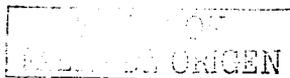
Se deja enfriar la briqueta a la temperatura ambiente durante 30 a 40 minutos, después se coloca en un baño de agua a $25^{\circ} \pm 0.5^{\circ} \text{C}$ con cloruro de sodio (Sai) para elevar la densidad o alcohol metílico para disminuirla, durante 90 minutos a 5 cm de la base del ductilómetro.

Se retiran los elementos laterales de la briqueta, instalándose esta con sus mordazas en el ductilómetro, la superficie del agua a la cara superior de la briqueta debe ser no menos de 2.5 cm.

Se pone en marcha el mecanismo de prueba a la velocidad de 5 centímetros/minuto hasta producir la ruptura de la briqueta. En ese momento se lee el desplazamiento de la mordaza y se registra en cm.



Ductilometro





Prueba de ductilidad⁷

Las causas frecuentes de error:

- Que existan burbujas de aire dentro de la briqueta.
- Que al estirarse la briqueta esta toque el fondo del tanque del ductilómetro o la superficie del agua. Debido a que no existe la densidad adecuada, la cual se corrige con sal o alcohol metílico.

⁷ En esta imagen se puede observar el equipo de ductilidad, sin embargo esta prueba se llama recuperación elástica por medio del ductilómetro, ya que se ven como las probetas fueron cortadas a cierta distancia y se mide en % su recuperación elástica del asfalto.

CAPÍTULO 3

VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD

TECNIC CON
FALLA DE ORIGEN

CAPÍTULO 3. VERIFICACIÓN DE LA CALIDAD

Con base en el diagrama No. 2 que trata sobre el proceso de producción del Cemento Asfáltico, citado en la introducción. Se puede observar que la parte fundamental consiste en verificar la calidad de los cementos asfálticos, que son una mezcla no homogénea; por lo que la forma de verificarlos es de acuerdo a las normas de SCT, los procedimientos de prueba. En el presente capítulo se presentan los resultados obtenidos en los estudios.

3.1 SALINA CRUZ, OAXACA

SALINA CRUZ, OAXACA A C - 2 0										
NUMERO DE MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cemento Asfáltico Original										
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	2450.52	1751.78	2868.03	2644.13	2943.77	2362.61	2393.87	2874.89	2828.01	2540.34
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 135°C (Centistokes)	429.63	348.15	466.67	454.86	481.48	411.11	400.00	466.67	466.67	400.00
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 135°C (s)	196	157	209	205	215	231	181	209	210	181
PENETRACION A 25°C. 100 g. 5 s (0.1 mm)	56.4	72	51	57	53.3	65	56.7	50.7	52.8	50.3
PUNTO DE INFLAMACION (°C)	262	260	280	274	278	270	266	272	202	255
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	-----	-----	99.8	99.7	-----	-----	-----	-----	99.7	-----
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y ESFERA (°C)	46	46	47	46	47	46	46	48	46	46
Residuo de la Prueba de la Pelicula Delgada										
PERDIDA POR CALENTAMIENTO TFO (%)	0.07	0.74	0.16	0.34	0.17	0.11	0.33	0.3	0.22	0.05
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	5001.4	4822.2	7637.5	6971.9	4547.1	4569.8	5997.8	6605	6433.2	3842.9
DUCTILIDAD A 25°C. 5 cm/m (cm)	67	119	99	98.7	138.5	140	150	87.3	87	150
PENETRACION RETENIDA EN % DEL ORIGINAL A 25°C	63.70	75.00	59.67	57.76	69.04	79.37	62.96	62.60	61.62	78.13

SALINA CRUZ, OAXACA A C - 2 0		
TIPO DE ENSAYE	PROCEDIMIENTO	EVALUACION DEL MATERIAL
Cemento Asfáltico Original		
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	M-MMP-4-05-002	AC - 20 Y AC - 30
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 135°C (Centistokes)	M-MMP-4-05-003	AC - 30
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 135°C (s)	M-MMP-4-05-004	AC - 30
PENETRACION A 25°C. 100 g. 5 s (0.1 mm)	M-MMP-4-05-006	AC - 20
PUNTO DE INFLAMACION (°C)	M-MMP-4-05-007	AC - 20
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	M-MMP-4-05-008	AC - 20
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y ESFERA (°C)	M-MMP-4-05-009	AC - 20
Residuo de Pelicula Delgada		
PERDIDA POR CALENTAMIENTO TFO (%)	M-MMP-4-05-010	AC - 20
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	M-MMP-4-05-001	AC - 20
DUCTILIDAD A 25°C. 5 cm/m. (cm)	M-MMP-4-05-006	AC - 20
PENETRACION RETENIDA EN % DEL ORIGINAL A 25°C	M-MMP-4-05-011	AC - 20 Y AC - 30

NO SE
PUEDE
DAR
FALLA DE ORIGEN

3.1.1. OBSERVACIONES DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20 DE LA PLANTA SALINA CRUZ

ANÁLISIS AC-20 SALINA CRUZ OAXACA	Promedio	Rango	Desviación estándar
Cemento Asfáltico Original			
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	2565.80	1752 – 2944	357.78
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 135°C (Centistokes)	432.52	348 – 482	42.29
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 135 °C. (s)	199.40	157 – 231	21.23
PENETRACIÓN A 25°C, 100 g, 5 s (0.1 mm)	56.32	50.3 – 72	6.74
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	270.00	282 – 256	8.84
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	99.73	99.7 – 99.8	0.06
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y ESFERA (°C)	46.40	46 – 48	0.70
Residuo de la Prueba de la Pelicula Delgada			
PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO TFO (%)	0.25	0.07 – 0.74	0.20
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	5642.88	3842 – 7637	1251.59
DUCTILIDAD A 25°C, 5 cm/m. (cm)	113.65	67 – 150	29.82
PENETRACIÓN RETENIDA EN % DEL ORIGINAL A 25°C	66.99	57.76–79.37	7.89

Como se puede observar en la prueba de viscosidad absoluta con la cual el material se comporta como un cemento asfáltico AC 30, si podemos observar, 5 resultados nos da como cemento asfáltico no conforme como un AC-20, pero si como un AC-30, esto hace que varíe el promedio, por lo que el promedio de la prueba de viscosidad se encuentra en la parte inferior de un cemento asfáltico AC-30.

La viscosidad cinemática y la viscosidad Saybolt-Furol da la clasificación de un cemento asfáltico AC-30 debido a que es un cemento que requiere más temperatura para ser utilizado.

En la prueba de penetración se observa que es un material duro por que marca una penetración por debajo de la clasificación AC-20.

La prueba de punto de inflamación y perdida por calentamiento (TFO) cumple, dado que indica que no contiene muchos solventes y que por lo tanto la temperatura de almacenaje no debe pasar la barrera de los 230°C.

No contiene impurezas, pues lo vemos reflejado en la prueba de solubilidad de tricloroetileno.

En el punto de reblandecimiento se observa que su resistencia a la temperatura es de un cemento asfáltico AC-20.

Su viscosidad absoluta después de haberle provocado un envejecimiento a corto plazo se comporta como un cemento asfáltico AC-20.

La adaptabilidad en el material (prueba de ductilidad a 25°C) muestra que es un material manejable, que si tiene un envejecimiento a corto plazo puede ser adaptado fácilmente a su aplicación en la mezcla debido a que no es un material frágil.

En la prueba de penetración retenida se observar que el asfalto tiene un porcentaje alto de consistencia que permite el fácil rompimiento con la aguja, por lo que el asfalto es manejable.

3.2 CADEREYTA, NUEVO LEÓN

En la siguiente tabla podemos observar la verificación de la calidad con respecto a las pruebas de SCT para Cementos Asfálticos sin modificar, de la refinera de Cadereyta en el Estado de Nuevo León.

C A D E R E Y T A , N U E V O L E O N										
A C - 2 0										
NUMERO DE MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cemento Asfáltico Original										
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poisés)	2776.72	2411.70	3159.81	3087.95	3306.99	3371.44	3234.79	3627.01	3514.06	3754.80
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 135°C (Centistokes)	448.15	411.11	540.70	500.00	548.15	517.04	517.06	574.07	562.96	585.19
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 135°C (s)	198	232	244	222	230	230	231	261	257	266
PENETRACION A 25°C, 100 g, 5 s (0.1 mm)	58	60.4	57	54	52.8	58.8	54.1	48.7	49.3	47.6
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	288	268	276	264	264	266	273	270	269	272
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	-----	99.6	99.6	99.7	99.7	99.7	99.5	99.6	99.5	99.7
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y ESFERA (°C)	46	46	50	47	46	44	46	46	46	46
Residuo de la Prueba de la Película Delgada										
PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO TFO (%)	0.19	0.24	0.44	0.07	0.16	0.23	0.2	0.14	0.1	0.07
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poisés)	5771.9	9365.4	5707.1	6372.3	4781.5	9043.3	8667.3	9198.1	8758.9	10845
DUCTILIDAD A 25°C, 5 cm/m (cm)	81	132	70.5	150	100	140	118	135	150	138
PENETRACIÓN RETENIDA EN % DEL ORIGINAL A 25°C	61.38	47.68	55.45	56.72	60.44	50.00	41.19	64.05	64.94	63.61

C A D E R E Y T A , N U E V O L E O N		
A C - 2 0		
TIPO DE ENSAYE	PROCEDIMIENTO	EVALUACIÓN DEL MATERIAL
Cemento Original		
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poisés)	M-MMP-4-05-002	AC - 30
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 135°C (Centistokes)	M-MMP-4-05-003	AC - 30
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 135 °C. (s)	M-MMP-4-05-004	AC - 30
PENETRACIÓN A 25°C, 100 g, 5 s (0.1 mm)	M-MMP-4-05-006	AC - 20
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	M-MMP-4-05-007	AC - 20
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	M-MMP-4-05-008	AC - 20
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y ESFERA (°C)	M-MMP-4-05-009	AC - 20
Residuo de Película Delgada		
PERDIDA POR CALENTAMIENTO TFO (%)	M-MMP-4-05-010	AC - 20
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poisés)	M-MMP-4-05-001	AC - 20 Y AC - 30
DUCTILIDAD A 25°C, 5 cm/m. (cm)	M-MMP-4-05-006	AC - 20
PENETRACION RETENIDA EN % DEL ORIGINAL A 25°C	M-MMP-4-05-011	AC - 20 Y AC - 30

FALLA EN ORIGEN

3.2.1. OBSERVACIONES DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20 DE LA PLANTA CADEREYTA, NUEVO LEÓN

ANALISIS AC-20 CADEREYTA, NUEVO LEÓN	Promedio	Rango	Desviación estándar
Cemento Asfáltico Original			
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poisés)	3224.53	2412 – 3755	399.94
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 135°C (Centistokes)	520.44	411 – 585	55.45
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 135 °C. (s)	237.10	198 – 266	20.47
PENETRACION A 25°C, 100 g, 5 s (0.1 mm)	54.07	47.6 – 60.4	4.49
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	271.00	264 – 288	7.12
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	99.62	99.7 – 99.5	0.08
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y ESFERA (°C)	46.30	46 – 50	1.49
Residuo de la Prueba de la Película Delgada			
PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO TFO (%)	0.18	0.07 – 0.44	0.11
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	7851.08	4782–10845	2014.16
DUCTILIDAD A 25°C, 5 cm/m. (cm)	121.45	70.5 – 150	28.38
PENETRACIÓN RETENIDA EN % DEL ORIGINAL A 25°C	56.55	41.19–64.05	7.98

Tiene un grado de dureza muy alto, como se puede observar se, se comporta como un cemento asfáltico AC 30, en la prueba de viscosidad absoluta, cinemática y Saybolt-Furoi; esto queda demostrado en la penetración del cemento asfáltico original y la penetración retenida en el residuo de película delgada, debido a que no permitió fácilmente la entrada de la aguja por lo que al compararlo con el Cemento Asfáltico AC-20 de Salina Cruz se encuentra que es un material más duro.

La prueba de punto de inflamación y pérdida por calentamiento (TFO) cumple que por ser mayor de 230°C su inflamación.

No contiene impurezas.

En el punto de reblandecimiento, su resistencia a la temperatura lo clasifica un cemento asfáltico AC-20.

Después del haberle provocado un envejecimiento a corto plazo su viscosidad absoluta se encuentra en el límite superior de un cemento asfáltico AC-20.

La prueba de ductilidad a 25°C indica que no es un material frágil, si tiene un envejecimiento a corto plazo.

Por lo que comparado con la norma de SCT N-CMT-4-05-001/00 su comportamiento es AC-30 y no como un AC-20.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

3.3 SALAMANCA, GUANAJUATO

En la siguiente tabla podemos observar la verificación de la calidad con respecto a las pruebas de SCT para Cementos Asfálticos sin modificar, de la refinería de Salamanca en el Estado de Guanajuato.

SALAMANCA, GUANAJUATO										
AC - 20										
NUMERO DE MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cemento Asfáltico Original										
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	2453.62	2220.11	2472.50	2471.35	2459.55	2456.30	2089.26	2334.94	2248.25	2025.15
VISCOSIDAD CINEMATICA 135°C (Centistokes)	417.14	403.83	444.44	414.92	417.14	444.44	396.30	437.11	419.36	352.80
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 135°C (s)	325	212	320	306	302	245	291	339	289	248
PENETRACION A 25°C, 100 g, 5 s (0.1 mm)	50.2	43	41	39.8	39.2	45	48	40	41.3	48.7
PUNTO DE INFLAMACION (°C)	296	280	276	264	266	274	280	276	276	278
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	99.4	99.4	99.5	99.3	99.5	99.4	99.4	99.4	99.5	99.5
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y ESFERA (°C)	61	47	46	46	45	48	46	41	45	46
Residuo de la Prueba de la Pelicula Delgada										
PERDIDA POR CALENTAMIENTO TFO (%)	0.12	0.12	0.35	0.24	0.19	0.16	0.2	0.18	0.18	0.08
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	6457.3	3938.5	6317.4	5967.4	5903.1	3708	6140.8	7915.6	6213.6	4519.5
DUCTILIDAD A 25°C, 5 cm/m (cm)	115	150	62	82.5	86.2	146	150	150	150	150
PENETRACION RETENIDA EN % DEL ORIGINAL A 25°C	66.12	48.53	56.94	67.46	64.79	75.34	45.21	38.81	42.30	69.48

SALAMANCA, GUANAJUATO		
AC - 20		
TIPO DE ENSAYE	PROCEDIMIENTO	EVALUCIÓN DEL MATERIAL
Cemento Original		
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	M-MMP-4-05-002	AC - 20
VISCOSIDAD CINEMATICA 135°C (Centistokes)	M-MMP-4-05-003	AC - 20 y AC-30
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 135°C (s)	M-MMP-4-05-004	AC - 20 y AC - 30
PENETRACION A 25°C, 100 g, 5 s (0.1 mm)	M-MMP-4-05-006	AC - 40
PUNTO DE INFLAMACION (°C)	M-MMP-4-05-007	AC - 20
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	M-MMP-4-05-008	AC - 20
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y ESFERA (°C)	M-MMP-4-05-009	AC - 20
Residuo de Pelicula Delgada		
PERDIDA POR CALENTAMIENTO TFO (%)	M-MMP-4-05-010	AC - 20
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	M-MMP-4-05-001	AC - 20 Y AC - 30
DUCTILIDAD A 25°C, 5 cm/m. (cm)	M-MMP-4-05-006	AC - 20
PENETRACION RETENIDA EN % DEL ORIGINAL A 25°C	M-MMP-4-05-011	AC - 20 Y AC - 30

TEMP. CUM.
FALLA DE ORIGEN

3.3.1. OBSERVACIONES DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20 DE LA PLANTA SALAMANCA, GUANAJUATO

ANÁLISIS AC-20 SALAMANCA, GUANAJUATO	Promedio	Rango	Desviación estándar
Cemento Asfáltico Original			
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	2323.10	2025 – 2473	169.15
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 135°C (Centistokes)	414.75	353 – 444	27.07
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 135 °C. (s)	287.70	212 – 339	40.48
PENETRACION A 25°C, 100 g, 5 s (0.1 mm ²)	43.62	39.2 – 50.2	4.08
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	276.60	264 – 296	8.69
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	99.43	99.3 – 99.5	0.07
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y ESFERA (°C)	47.10	41 – 61	5.22
Residuo de la Prueba de la Película Delgada			
PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO TFO (%)	0.18	0.12 – 0.35	0.07
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	5708.12	3708 – 7916	1286.61
DUCTILIDAD A 25°C, 5 cm/m. (cm)	124.17	62 – 150	34.86
PENETRACIÓN RETENIDA EN % DEL ORIGINAL A 25°C	57.50	38.81–75.34	12.91

Es un cemento asfáltico con una viscosidad absoluta a 60°C en el rango de un AC-20.

La viscosidad cinemática y Saybolt-Furol da la clasificación de un cemento asfáltico AC-20 y AC-30 por que es un cemento que requiere temperatura normal para ser utilizado.

Es un material muy duro ya que su penetración es mayor aun que la del AC-30.

No contiene muchos solventes, por lo que la prueba de punto de inflamación y pérdida por calentamiento (TFO) cumple.

No contiene impurezas.

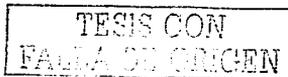
En el punto de reblandecimiento se puede observar que su resistencia a la temperatura está por debajo de un cemento asfáltico AC-20, por lo que no tiene resistencia a la temperatura.

La viscosidad absoluta a 60°C es de un AC-20 después del haberle provocado un envejecimiento a corto plazo.

La adaptabilidad en el material (prueba de ductilidad a 25°C) muestra que es un material manejable, que si tiene un envejecimiento a corto plazo, puede ser adaptado fácilmente a su aplicación en la mezcla debido a que no es un material frágil.

En la penetración retenida el asfalto tiene un porcentaje medio (entre AC-20 y AC-30), por lo que el asfalto es manejable.

El Asfalto AC-20 de Salamanca es viscoso con el incremento de temperatura, pero a temperatura ambiente es duro.



3.4 TULA, HIDALGO

En la siguiente tabla podemos observar la verificación de la calidad con respecto a las pruebas de SCT para Cementos Asfálticos sin modificar, de la refinera de Tula, Estado de Hidalgo.

T U L A , H I D A L G O										
A C - 2 0										
NUMERO DE MUESTRAS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Cemento Asfáltico Original										
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	2412.77	2062.43	2746.64	2818.45	2773.31	2910.81	2852.50	2707.58	2586.48	2608.15
VISCOSIDAD CINEMATICA 135°C (Centistokes)	444.44	385.19	425.93	425.92	466.67	455.55	481.48	488.88	411.11	448.15
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 135°C (s)	197	175	193	192	210	205	215	221	232	200
PENETRACION A 25°C, 100 g, 5 s (0.1 mm)	55.8	79	58.3	48.7	55.4	45.2	47.6	49	62.4	56
PUNTO DE INFLAMACION (°C)	292	292	274	260	274	274	264	268	268	268
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	99.8	99.9	---	---	---	---	---	99.5	99.2	---
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y ESFERA (°C)	45	46	48	46	47	47	45	46	48	49
Residuo de la Prueba de la Pelicula Delgada										
PERDIDA POR CALENTAMIENTO TFO (%)	0.26	0.26	0.18	0.23	0.15	0.18	0.04	0.38	0.08	0.18
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	4834.8	3812	4333.2	7637.5	4547.1	9338.9	6187.9	5624	6761.3	4492.8
DUCTILIDAD A 25°C, 5 cm/m (cm)	43	122	75	100	82	87.5	70.2	150	97	143.5
PENETRACION RETENIDA EN % DEL ORIGINAL A 25°C	54.35	55.40	52.77	76.21	70.00	68.78	61.91	62.95	69.84	59.80

T U L A , H I D A L G O		
A C - 2 0		
TIPO DE ENSAYE	PROCEDIMIENTO	EVALUACION DEL MATERIAL
Cemento Original		
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	M-MMP-4-05-002	AC - 30
VISCOSIDAD CINEMATICA 135°C (Centistokes)	M-MMP-4-05-003	AC - 20 y AC - 30
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 135 °C. (s)	M-MMP-4-05-004	AC - 20
PENETRACION A 25°C, 100 g, 5 s (0.1 mm)	M-MMP-4-05-006	AC - 20
PUNTO DE INFLAMACION (°C)	M-MMP-4-05-007	AC - 20
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	M-MMP-4-05-008	AC - 20
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y ESFERA (°C)	M-MMP-4-05-009	AC - 20
Residuo de Pelicula Delgada		
PERDIDA POR CALENTAMIENTO TFO (%)	M-MMP-4-05-010	AC - 20
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	M-MMP-4-05-001	AC - 20
DUCTILIDAD A 25°C, 5 cm/m. (cm)	M-MMP-4-05-006	AC - 20
PENETRACION RETENIDA EN % DEL ORIGINAL A 25°C	M-MMP-4-05-011	AC - 20 Y AC - 30



3.4.1. OBSERVACIONES DEL CEMENTO ASFÁLTICO AC-20 DE LA PLANTA TULA, HIDALGO

ANÁLISIS AC-20 TULA, HIDALGO	Promedio	Rango	Desviación estándar
Cemento Asfáltico Original			
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	2647.91	2062 – 2911	252.22
VISCOSIDAD CINEMÁTICA 135°C (Centistokes)	443.33	385 – 489	32.10
VISCOSIDAD SAYBOLT-FUROL 135 °C. (s)	204.00	175 – 232	16.34
PENETRACION A 25°C, 100 g, 5 s (0.1 mm)	55.74	45.2 – 79	9.80
PUNTO DE INFLAMACIÓN (°C)	273.40	260 – 292	10.79
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO (%)	99.60	99.2 – 99.9	0.32
PUNTO DE REBLANDECIMIENTO ANILLO Y ESFERA (°C)	46.70	45 – 49	1.34
Residuo de la Prueba de la Película Delgada			
PÉRDIDA POR CALENTAMIENTO TFO (%)	0.19	0.04 – 0.38	0.10
VISCOSIDAD ABSOLUTA 60°C (Poises)	5756.95	3812 – 9339	1741.68
DUCTILIDAD A 25°C, 5 cm/m. (cm)	97.02	43 – 150	33.40
PENETRACION RETENIDA EN % DEL ORIGINAL A 25°C	63.20	52.77–76.21	7.83

El cemento asfáltico esta fuera del rango superior del Asfalto AC-20 de acuerdo con la viscosidad absoluta a 60°C.

La viscosidad cinemática y Saybolt-Furol indica que el material es manejable a temperaturas altas.

La penetración es la del cemento asfáltico AC-20.

No contiene muchos solventes, por lo que la prueba de punto de inflamación y perdida por calentamiento (TFO) cumple.

No contiene impurezas.

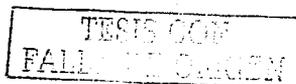
Se encuentra ligeramente debajo de la especificación del AC-20 para el punto de reblandecimiento.

Después del envejecimiento (TFO) la viscosidad absoluta a 60°C es de un AC-20.

El material (prueba de ductilidad a 25°C) muestra que es manejable, que si tiene un envejecimiento a corto plazo se adapta fácilmente a su aplicación en la mezcla, por su elasticidad.

En la penetración retenida el asfalto tiene un porcentaje medio (entre AC-20 y AC-30), por lo que el asfalto es manejable.

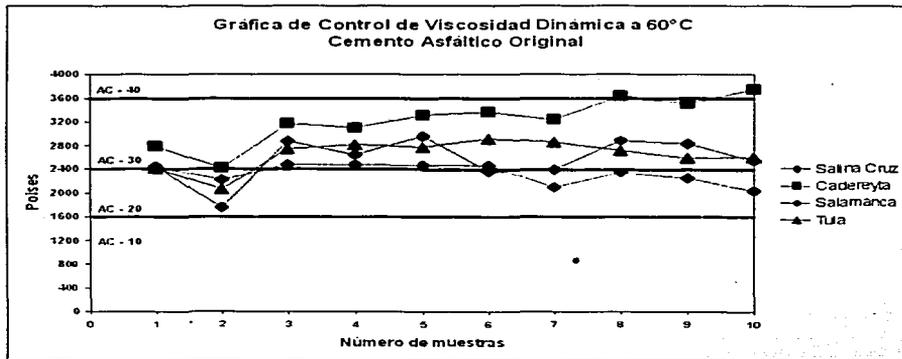
El Asfalto de Tula Hidalgo es el que cumple con todas las especificaciones de un AC-20.



3.7 GRÁFICOS DE CONTROL

En esta parte conoceremos el comportamiento de las 4 plantas en forma gráfica de sus dos propiedades físicas más importantes que es la viscosidad dinámica a 60°C que es con la cual se clasifica un material asfáltico por la norma de SCT y la penetración a 25°C que es la que nos indica la dureza del material a temperatura ambiente (25°C).

3.7.1 GRÁFICA DE VISCOSIDAD A 60°C CEMENTO ASFÁLTICO ORIGINAL



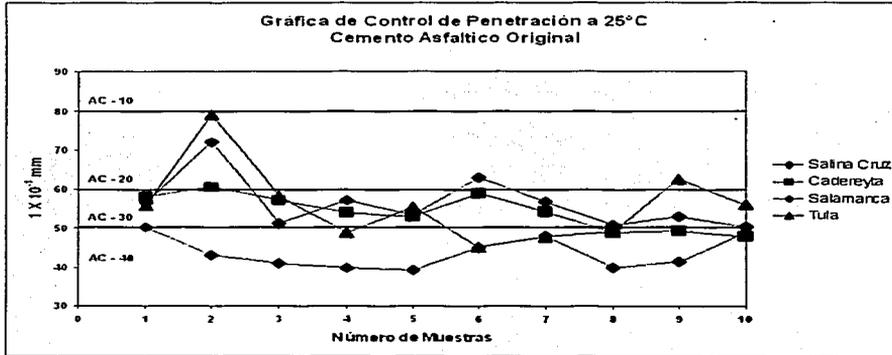
En esta gráfica se observa la clasificación del material según su viscosidad dinámica a 60°C.

Esta nos indica que el material con mayor viscosidad es el de Cadereyta (AC-30), siguiendo el de Tula (AC-30), Salina Cruz (AC-30) y por último el de Salamanca (AC-20).

Esto indica que ninguno de los 4 cementos asfálticos cumple como tal como AC-20 dado que el rango de su viscosidad se encuentra como un cemento Asfáltico AC-30, el que más se asemeja es el cemento asfáltico que se produce en Salamanca (se encuentra en el límite superior de un AC-20 y en el inferior de un AC-30).

TEMA CON
FALLA DE OMCEN

3.7.2 GRÁFICA DE PENETRACIÓN A 25°C CEMENTO ASFÁLTICO ORIGINAL



En esta gráfica tenemos que el material más duro es el de Salamanca (AC-40), seguido de Tula (AC-20, AC-30 y AC-40), Cadereyta (AC-30) y Salina Cruz (AC-20 y AC-30).

Tomando estos factores, el cemento asfáltico más frágil a temperatura ambiente es el de Salamanca.

Haciendo un análisis de las dos gráficas podemos observar que:

- 1) El cemento asfáltico AC-20 producido en Cadereyta se comporta más como un cemento asfáltico AC-30.
- 2) El cemento asfáltico AC-20 producido en Tula tenemos una gran variación dependiendo de sus muestras, se comporta como dos cementos asfálticos (AC-20 y AC-30) aunque la prueba de penetración nos marca los tres tipos diferentes.
- 3) El cemento asfáltico AC-20 producido en Salina Cruz se comporta más como un AC-30 pero en realidad el material es el más blando de todas las anteriores.
- 4) El cemento asfáltico AC-20 producido en Salamanca es el que menos coincide, dado que en la prueba de viscosidad se comporta como un material blando, pero a temperatura ambiente se comporta como un material duro.

TESIS CON
FALLA DE CROCIEN

CONCLUSIONES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONCLUSIONES

Después de verificar la calidad del cemento asfáltico procedente de 4 plantas de producción al comparar su comportamiento con la norma SCT-N-CMT-4-05-001/00, se concluye que la calidad de los cementos asfálticos son distintos, por lo que se cumple el objetivo de la presente tesina.

Esto se debe a que en México se tienen diferentes mezclas de crudo con el cual se producen los cementos asfálticos.

De las 4 plantas analizadas, el cemento asfáltico procedente de la Planta de Tula, Hidalgo es el que mejor se comporta como un AC - 20; pero esto no significa que el cemento producido por las otras plantas no cumpla con las especificaciones.

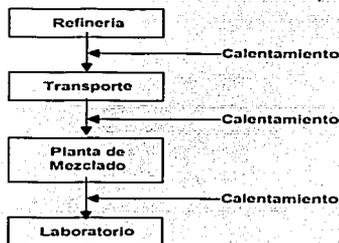
La producción de PEMEX, cumple con las especificaciones de la norma ASTM D - 3381 (Estandar Specification for Viscosity - Graded Asphalt Cement for use in Pavement Construction), para la calidad de los cementos asfálticos, sin embargo, la producción de las plantas es distinta.

Como se demostró a lo largo de la presente investigación, algunos materiales se encuentran fuera de rango, esto se debe principalmente a dos situaciones:

1. El calentamiento del materiales
2. La contaminación del material

1. CALENTAMIENTO DEL MATERIAL

Los materiales llevan varios calentamientos desde el proceso hasta el ensaye en laboratorio.



Como se puede observar en las tablas de clasificación del cemento asfáltico por su viscosidad dinámica a 60°C sólo son cumplidas por las plantas de Salamanca y Salina Cruz; debido a que la calidad de cemento asfáltico cumple con la norma SCT N - CMT - 4 - 05 - 001/00, por que su viscosidad es más baja de la especificada y al

momento de llevar los tres calentamientos el material se hace duro, su viscosidad incrementa y se comporta como AC-20.

En las plantas de Cadereyta y Tula se puede observar que el comportamiento de la viscosidad dinámica a 60°C es de un AC-30 como lo marca la norma SCT N – CMT – 4 – 05 – 001/00, aunque los demás resultados los clasifican como un AC – 20.

Cuando se calienta continuamente el material éste va perdiendo sus propiedades, de ahí que su comportamiento físico vaya cambiando, volviéndose un material más duro, como se demuestra en la prueba de penetración y en la prueba de viscosidad dinámica. Cuando se tiene un incremento considerable en la viscosidad dinámica a 60°C la penetración tiende a ser más baja, de lo contrario cuando tenemos una penetración alta es por que su viscosidad es baja y el material es blando.

2. CONTAMINACIÓN DEL MATERIAL

La contaminación del material asfáltico hace que el material tenga un comportamiento duro o más blando; en este caso el material se comporta duro. El material si es mezclado con solventes tiende a ser más blando. Si el material llega a tener contaminación como polvo tiende a ser más duro.

En ocasiones cuando el material es transportado, no se tiene el control adecuado, ya que las empresas productoras de mezcla requieren de transportación externa, contratando los servicios de un transportista, éste a su vez, no tiene la limpieza necesaria debido a que transportan todo tipo de material, no sólo asfalto.

En cuanto a los contenedores en la planta de mezclado, se puede mezclar el asfalto almacenado con el nuevo. Desconociendo la contaminación que contiene el asfalto almacenado en el contenedor.

Durante el proceso de muestreo se puede tener contaminación debido a los recipientes en los cuales se va tomar la muestra.

EL PROCESO

Debe insistirse en la conveniencia de efectuar acciones de evaluación durante la fase de construcción, antes de que las mezclas y el cemento asfálticos sean puestos en operación, para valorar la calidad alcanzada, el grado de cumplimiento del proyecto y la forma en que el usuario los recibirá como producto terminado, destacando los aspectos de seguridad y comodidad, así como los relativos a la capacidad estructural del pavimento.

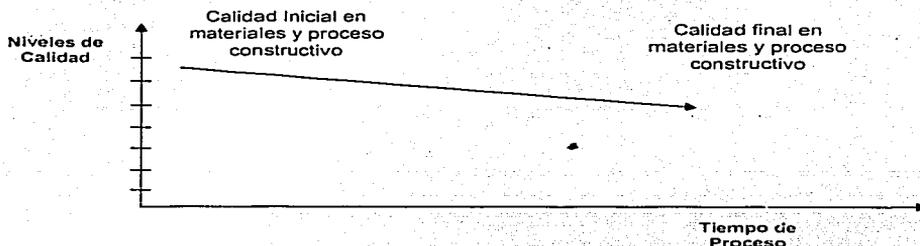
Con respecto a las especificaciones se encuentran situaciones inconsistentes, tales como el que existan 30 a 35 pruebas de calidad para el cemento asfáltico, con o sin modificador, y sin embargo para el producto terminado, esto es, la carpeta asfáltica, las especificaciones más frecuentes se refieren a espesor, grado de compactación, permeabilidad e irregularidades medidas con regla de 3 metros en carreteras y 6 metros en aeropuertos, pasando generalmente por alto el coeficiente de fricción, el índice de rugosidad internacional, la textura, ruido, drenabilidad y el módulo elástico de la carpeta o algún otro índice que sea un indicador de la resistencia de la carpeta en el lugar. Sería además muy conveniente que las pruebas de resistencia in situ se especificaran en las capas subyacentes a la carpeta, principalmente en la base hidráulica, antes de construir la carpeta asfáltica, con el objeto de poder efectuar ajustes al proyecto.



Las especificaciones que se establezcan para un proyecto de pavimentación o de rehabilitación, deben tener como objetivo asegurar la obtención de los atributos esenciales de los pavimentos íntimamente relacionados con el usuario; seguridad, comodidad y economía, es decir, propiamente garantizar el comportamiento deseado, tanto en los aspectos funcionales como estructurales.

En las especificaciones y las acciones ejercidas por la supervisión y control de calidad debe involucrarse al constructor, para cubrir no solamente los aspectos de materiales y construcción, sino también al producto terminado, por ser éste el que se entrega al usuario. Todas las acciones que se ejerzan deben tender hacia este objetivo, y no se deberá entregar al usuario hasta no tener la seguridad de que se ha cumplido con el proyecto.

El nivel de calidad inicial debe ser el más alejado del nivel terminal, puesto que la diferencia entre ambos define propiamente el ciclo de vida en función de cada factor (materiales y proceso de constructivo). El nivel inicial obtenido constituye una calificación de la actuación del grupo de trabajo, constructor, supervisión y control de calidad.



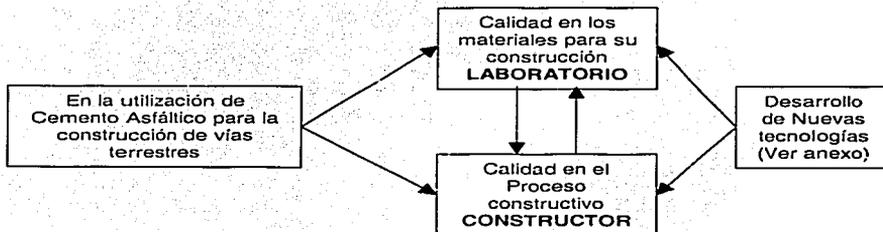
El ciclo de vida definitivo debe ser determinado ponderando la evolución con el tiempo de cada uno de los factores, definiendo aquel que sea crítico en cuanto al nivel de servicio ofrecido al usuario. Para ello es necesaria una evaluación sistemática de los pavimentos. De esta manera se estará en condiciones de programar las acciones y los fondos necesarios para asegurar el buen comportamiento de un pavimento.

Para tener una mejora continua en este tipo de proyectos realizados con carpeta asfáltica podremos decir que para tener una mejora en el proceso de construcción y calidad de materiales utilizados tenemos que hacer un paréntesis y comenzar a buscar nuevas tecnologías para construcción y control de calidad.

TRABAJO CON
FALTA DE ORIGEN

Concluimos que:

En la utilización de cemento asfáltico para la construcción de vías terrestres debemos de tomar como primer punto el diseño del proyecto incluyendo la calidad de todos los materiales a utilizar en la construcción, los materiales pétreos y la calidad del cemento asfáltico, el laboratorio es el que nos guiará antes de comenzar la construcción de la vía terrestre y durante su proceso constructivo. A estas dos partes se les debe de complementar con el uso de nuevas tecnologías para que tengamos una vía terrestre de calidad.



Como podemos observar en el esquema se debe llegar a una propuesta de mejora tecnológica para tener un mejor control y calidad en nuestros cementos asfálticos, por lo que la propuesta de estos procedimientos se hace en siguiente capítulo.

ANEXO A

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO A**COMPORTAMIENTO DE UN CEMENTO ASFÁLTICO**

El cemento asfáltico es un material de construcción, su más importante característica es su susceptibilidad térmica que muchas veces es una ventaja y a veces una desventaja. Sus propiedades dependen de la temperatura. Por esta razón, casi todos los ensayos de caracterización de cementos asfálticos y mezclas asfálticas deben especificar la temperatura. Si no es especificado una temperatura, el resultado de prueba no puede ser interpretado.

El comportamiento del cemento asfáltico depende también del tiempo de aplicación de carga. Para diferentes tiempos de aplicación de carga y el mismo asfalto, implicarán propiedades diferentes. Por ello, los ensayos sobre los cementos asfálticos deben también especificar la velocidad de carga. Como el comportamiento del cemento asfáltico es dependiente de la temperatura y de la duración del tiempo de aplicación de la carga, estos dos factores pueden intercambiarse, es decir, una baja velocidad de carga puede simularse con bajas temperaturas.

El cemento asfáltico es a veces llamado material visco-elástico por que exhibe simultáneamente características viscosas y elásticas. A altas temperaturas, el cemento asfáltico actúa casi como un fluido viscoso. En otras palabras, calentando a temperaturas elevadas mayor o igual a 100°C, muestra la consistencia de un lubricante utilizado como aceite para motores. A muy baja, temperatura menor de 0°C, el cemento asfáltico se comporta como un sólido es decir, actúa como una goma. Cuando es cargado se estira o comprime adoptando diferentes formas. Cuando es descargado, retorna fácilmente a su forma original. A una temperatura intermedia, que es la condición prevista en el pavimento, el cemento asfáltico tiene características de ambos estados, un fluido viscoso y un sólido elástico.

Otra característica importante del cemento asfáltico a tener en cuenta, cómo está compuesto de moléculas orgánicas reacciona con el oxígeno del medio ambiente. Esta reacción se denomina "oxidación" y cambia la estructura y composición de las moléculas del asfalto. Al reaccionar con el oxígeno, la estructura del asfalto se hace más dura y frágil y da origen al término "endurecimiento por oxidación" o "endurecimiento por envejecimiento".

La oxidación se produce más rápidamente a altas temperaturas. Es por ello que parte del endurecimiento ocurre durante el proceso la oxidación que se produce más rápidamente a altas temperaturas. Es por ello que parte del endurecimiento ocurre durante el proceso de producción, cuando es necesario calentar el cemento asfáltico para permitir el mezclado y compactación. Este es también el motivo por el cual la oxidación es más crítica en cementos asfálticos utilizados pavimentos en climas cálidos y desérticos.

Los cementos asfálticos modificados son productos concebidos para superar las propiedades del asfalto original, mejorando así el comportamiento del pavimento a largo plazo. Si bien los modificadores pueden afectar muchas propiedades, la mayoría de ellos intenta reducir la dependencia de la temperatura, el endurecimiento por oxidación del cemento y la susceptibilidad a la humedad de la mezcla asfáltica.



MÉTODOS ESTÁNDAR PARA ESPECIFICAR LA CALIDAD EN CEMENTOS ASFÁLTICOS

El método para caracterizar la consistencia de los cementos asfálticos es el ensayo de penetración o el ensayo de viscosidad. Ambos ensayos han sido empleados para medir el efecto de la temperatura sobre el comportamiento del asfalto. Esto se hace midiendo la viscosidad o la penetración a dos temperaturas y registrando los resultados como muestra en la figura I.

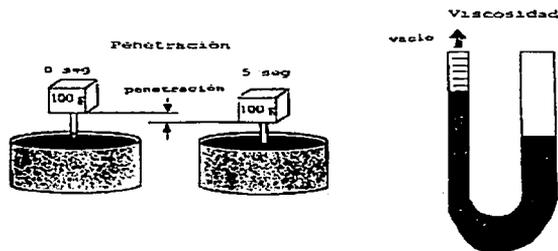


Figura I Ensayos de penetración y viscosidad

Por ejemplo, tenemos tres asfaltos con el mismo grado de viscosidad por que ellos están dentro del límite especificado a 60 °C. Si bien los asfaltos A y B muestran la misma dependencia con la temperatura, tienen muy diferente consistencia para todas las temperaturas. Los asfaltos A y C tienen la misma consistencia a bajas temperaturas, pero marcadas diferencias de consistencia a altas temperaturas. El asfalto B tiene la misma consistencia a 60 °C, pero no tiene otras semejanzas con el asfalto C. Como estos asfaltos tienen el mismo grado, podría esperarse erróneamente el mismo comportamiento durante la construcción y la vida útil durante tiempos cálidos y fríos (figura II).

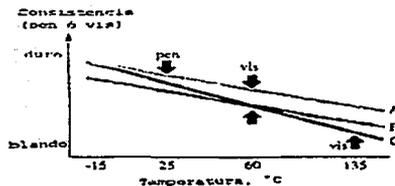


Figura II Susceptibilidad térmica de tres asfaltos con distinto grado de viscosidad y penetración

A pesar de que la viscosidad es una medida fundamental de la fluencia, sólo provee información sobre el comportamiento viscoso a altas temperaturas, y no sobre el comportamiento elástico a las temperaturas bajas e intermedias, datos necesarios estos para predecir completamente su desempeño.

La penetración describe sólo la consistencia a una temperatura intermedia a 25°C, las propiedades a bajas temperaturas no son directamente medidas en el sistema de clasificación vigente. Con frecuencia, los ensayos de viscosidad y penetración no identifican cabalmente las ventajas o posibles desventajas de algunos asfaltos modificados o sin modificar.

Debido a estas deficiencias, muchas agencias viales en Estados Unidos han enmendado los procedimientos de ensayos estándar y especificaciones para ajustarse mejor a las condiciones locales. En algunos sitios, esta proliferación de ensayos y especificaciones ha provocado serios problemas a los proveedores de asfaltos deseosos de vender el mismo grado de asfalto en distintos estados. Con frecuencia, estados con condiciones de desempeño y especificaciones especificarán asfaltos notablemente diferentes. En el sistema actual de especificaciones de asfalto, los ensayos se ejecutan sobre asfaltos nuevos que se encuentran en los tanques de asfalto y sobre asfaltos envejecidos en laboratorio, donde se simula el envejecimiento durante la construcción. No obstante, no se ejecutan ensayos sobre asfaltos en los que se ha simulado el envejecimiento en servicio.

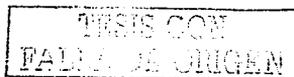
El diseño llamado superpave, es una nueva especificación sobre cementos asfálticos con un nuevo conjunto de ensayos. El documento se denomina especificación para cementos pues pretende ser aplicado tanto para asfaltos modificados como para asfaltos sin modificar.

La singularidad del nuevo sistema para cementos asfálticos reside en que es una especificación basada en el desempeño (performance). Especifica cementos en base al clima y en la temperatura prevista en el pavimento. Las propiedades físicas exigidas se mantienen sin cambios, pero cambia la temperatura para la cual el cemento asfáltico debe cumplir esas propiedades.

La evaluación de cementos con el sistema Superpave, por ejemplo, sus propiedades físicas son medidas sobre cementos que han sido envejecidos en laboratorio para simular las condiciones de envejecimiento de un pavimento real. Algunas mediciones de las propiedades físicas de los cementos son ejecutadas sobre cementos sin envejecer. Las propiedades físicas son también medidas sobre cementos que han sido envejecidos en el horno de película delgada rotativa (RTFO = rolling thin film oven) para simular el endurecimiento por oxidación que ocurre durante el mezclado en caliente y la colocación. Un equipo de envejecimiento a presión (PAV= pressure aging vessel) se usa en el laboratorio para simular el severo envejecimiento que sufre el cemento asfáltico después de varios años de servicio en un pavimento.

Por ejemplo, para una temperatura alta dada para el módulo de rigidez de un cemento sin envejecer ($G^*/\sin\delta$) debe ser al mayor de 1.00 kPa. Pero este requerimiento debe cumplirse a mayores temperaturas si el cemento se usa en climas cálidos.

El grado de comportamiento (PG) de un cemento asfáltico es, por ejemplo, PG 64-22.



El primer número, 64 es normalmente llamado "grado de alta temperatura" (high temperature grade). Esto significa que el cemento asfáltico poseería propiedades físicas adecuadas al menos hasta los 64° C (alta temperatura correspondiente al clima en el que el cemento asfáltico estará en servicio). Así mismo, el segundo número (-22) es llamado frecuentemente "grado de baja temperatura" (low temperature grade) y significa que el cemento asfáltico poseerá propiedades físicas adecuadas hasta al menos los -22 °C. Consideraciones adicionales se dan sobre el tiempo de carga (carreteras, calles urbanas, intersecciones, etc.) y la magnitud de la carga (camiones pesados).

Las propiedades físicas de los cementos asfálticos son medidas con 4 dispositivos:

- Reómetro de corte dinámico (DSR= dynamic shear rheometer)
- Viscosímetro rotacional (RV= rotational viscometer)
- Reómetro de flexión (BBR= bending beam rheometer)
- Ensayo de tracción directa (DTT= direct tension test)

El reómetro de corte dinámico (DSR) se emplea para caracterizar las propiedades visco-elásticas del cemento asfáltico. Mide el módulo complejo en corte (G^*) y el ángulo de fase (δ), sometiendo a una muestra pequeña de cemento asfáltico a tensiones de corte oscilante. La muestra está colocada entre 2 platos paralelos, como en un sándwich (figura III).

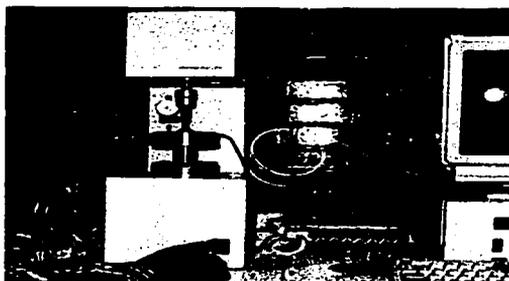
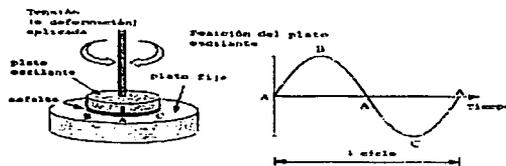


Figura III Reómetro de corte dinámico

TESIS CON
FALLA EN LA CARGA

El DSR calcula G^* y δ midiendo la respuesta de la deformación específica de corte del espécimen sometido a un torque (Figura II). En esta figura, la respuesta de la deformación específica de corte de una muestra de cemento asfáltico está desfasada un cierto intervalo de tiempo Δt con relación a la tensión aplicada. Este intervalo de tiempo representa un retraso de tiempo en la respuesta de la deformación. El retraso de la fase es normalmente dado en medidas angulares, simplemente multiplicando el retraso de tiempo Δt por la frecuencia angular (ω) para arribar al ángulo de fase (δ).

Para los materiales totalmente elásticos no hay retraso entre la tensión de corte aplicada y la respuesta de la deformación específica de corte, y δ es igual a cero. En materiales totalmente viscosos, la respuesta de la deformación específica está completamente desfasada de la tensión aplicada y δ es igual a 90° . Los materiales viscoelásticos como los cementos asfálticos tienen un ángulo de fase entre 0 y 90° , dependiendo de la temperatura de ensayo. A altas temperaturas, δ se aproxima a 90° ; a bajas temperaturas, δ se acerca a 0° . La especificación de cementos asfálticos se emplea como un medio para controlar el módulo de rigidez de el asfalto, tanto la relación $G^*/\text{sen } \delta$ a altas temperaturas ($>46^\circ\text{C}$) como (G^*) $\text{sen } \delta$ a temperaturas intermedias (entre 7° y 34°C).

Controlando el módulo de rigidez a altas temperaturas, la especificación del cemento asfáltico garantiza que el asfalto provea su mayor aporte a la resistencia global al corte de la mezcla en términos de la elasticidad a altas temperaturas. Así mismo, la especificación asegura que el cemento asfáltico no contribuya a la figuración por fatiga al limitar su módulo de rigidez a temperaturas intermedias.

El viscosímetro rotacional (RTV) caracteriza el módulo de rigidez del asfalto a 135°C , temperatura a la cual actúa casi enteramente como un fluido. Consiste en un cilindro rotacional coaxial, que mide la viscosidad por medio del torque requerido para rotar un eje (spindle), sumergido en una muestra de asfalto caliente (ver figura IV), a una velocidad constante. La especificación del cemento asfáltico requiere una viscosidad menor de $3\text{ Pa}\cdot\text{s}$, esto garantiza un asfalto bombeable y manejable durante la elaboración de Mezcla Asfáltica en Caliente.

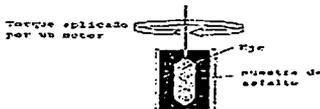
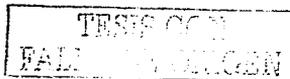


Figura VI Viscosímetro rotacional

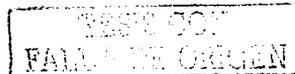
El reómetro de flexión (BBR) se usa para caracterizar las propiedades de rigidez de los cementos asfálticos a bajas temperaturas. Mide el módulo de rigidez en la ruptura (S) y el logaritmo de la velocidad de deformación en ruptura (creep stiffness).



Estas propiedades se determinan midiendo la respuesta de una probeta de cemento asfáltico, en forma de pequeña viga, sometida a un ensayo de deformación a bajas temperaturas. Conociendo la carga aplicada a la viga y la deflexión durante todo el ensayo, el módulo de rigidez en la deformación puede ser calculado usando conceptos de ingeniería de materiales. La especificación fija límites al módulo de rigidez en la deformación y al valor de rigidez dependiendo del clima en el cual el cemento asfáltico estará en servicio. Los cementos asfálticos con un bajo módulo de rigidez en deformación hace que no el cemento asfáltico no se fisure en tiempos fríos. Igualmente, cementos con altos valores de rigidez son más efectivos en la relación de tensiones que se desarrollan en la estructura de pavimentos asfálticos cuando la temperatura desciende, asegurando un mínimo fisuramiento por baja temperatura.

Algunos cementos asfálticos, particularmente los modificados con polímeros, podrían a bajas temperaturas, tener un módulo de rigidez en la deformación más alto que el deseado. No obstante, podrían no fisurarse, ya que ellos conservan su capacidad para estirar sin fractura a bajas temperaturas. Consecuentemente, la especificación de cementos asfálticos tolera un módulo de rigidez alto si puede verificarse la ruptura, por medio del ensayo de tensión directa (Direct Tensile Test), que los cementos asfálticos son suficientemente dúctiles a bajas temperaturas. El DDT provee la deformación específica de falla (ruptura) en tracción, medida sobre una muestra pequeña de forma de hueso de perro que es estirada a bajas temperaturas hasta que se corta. Al igual que el BBR, el DDT asegura, para una dada baja temperatura será la máxima resistencia de un cemento asfáltico a la fisuración.

El sistema Superpave utiliza un sistema completamente nuevo de ensayos, especificaciones, selección de cementos asfálticos. Si bien esta no se desarrollaron nuevos ensayos para agregados, los métodos de selección y especificaciones para agregados fueron refinados e incorporados en el sistema de diseño de mezclas superpave. Los requerimientos para mezclas asfálticas del superpave fueron establecidos a partir de criterios actualmente en uso.



SELECCIÓN DE LIGANTES ASFÁLTICOS

Hay una nueva especificación SHRP para cementos asfálticos tienen un rasgo único: tienen como base el comportamiento vial y los cementos asfálticos se seleccionan en función del clima. Las propiedades físicas requeridas (el rigidez a la deformación, $G^*/\text{sen } \delta$, etc) son las mismas para todos los grados de cementos asfálticos.

La temperatura para la cual los requerimientos deben cumplirse es lo que diferencia a los variados grados de cemento asfáltico. Por ejemplo, un cemento asfáltico clasificado como PG 64-22 debe satisfacer los requerimientos de las propiedades físicas a altas temperaturas hasta los 64°C y a bajas temperaturas hasta -22°C

Alta Temperatura	Baja Temperatura
PG 46 -	34, 40, 46
PG 52 -	10, 16, 22, 28, 34, 40, 46
PG 58 -	16, 22, 28, 34, 40
PG 64 -	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG 70 -	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG 76 -	10, 16, 22, 28, 34
PG 82 -	10, 16, 22, 28, 34

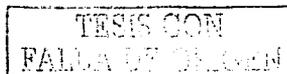
La Tabla I, muestra los grados de cementos asfálticos estándares en la especificación SHRP de cementos asfálticos. En esta tabla, los grados 76 y 82 son usados sólo para incluir cargas a bajas velocidades (show transient) o cargas estacionadas (standing loads) o excesivo tránsito de camiones.

Un módulo del software Superpave auxilia a los usuarios en la sección de los grados del ligante. Superpave dispone de tres métodos con los que el usuario puede seleccionar el grado del cemento asfáltico.

- Por áreas geográficas: el caso de una agencia que desarrolla un mapa - basado en el clima y/o en decisiones políticas - con los grados de cementos asfálticos a ser usados por el diseñador.
- Por temperatura del pavimento: el diseñador necesita conocer la temperatura del diseño de pavimento.
- Por temperatura del aire: el diseñador determina la temperatura del aire para el diseño, la cual es convertida a temperaturas de diseño del pavimento.

BASE DE DATOS

Para cada año del que se disponen datos, se determina el periodo de los 7 días más calidos y se calcula el promedio de la temperatura del aire para esos 7 días consecutivos. Para todos los años registrados las estaciones con menos de 20 años de registro se descartan, se calcula un valor medio y la desviación estándar.



CONFIABILIDAD

En superpave la confianza (reliability) es el porcentaje de probabilidad en un año singular de que la temperatura real no excederá la temperatura de diseño. La selección del ligante asfáltico en SHRP es muy flexible, ya que diferentes niveles de confiabilidad pueden ser asignados a los grados de alta y baja temperatura.

EJEMPLO

Consideraremos las temperaturas del aire en verano en Topeka, Kansas; se tiene un valor medio de 36°C para los siete días de máximas temperaturas y una desviación estándar de 2°C. la figura V muestra la distribución de frecuencias para este registro. En un año promedio de un 50% de probabilidades de que el valor correspondiente a los 7 días de máxima temperatura del aire excederá los 36°C. No obstante, sólo hay un 2% de oportunidad de que la temperatura exceda los 40°C, por lo tanto, una temperatura de diseño del aire de 40°C nos dará un 98% de confianza.

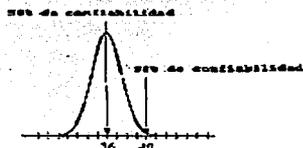


Figura V Temperatura

La lógica del método de elección de un cemento asfáltico. Supongamos primeramente que la mezcla asfáltica se diseña para Topeka. La figura VI muestra la frecuencia de distribución de altas y bajas temperaturas del aire para el diseño. En un verano normal, el promedio de los 7 días sucesivos de máxima temperatura del aire es de 36°C, con una desviación estándar de 2°C. en un invierno normal, el promedio de las temperaturas más frías es de -23°C. Para un invierno muy frío es de -31°C. con una desviación estándar de 4°C.

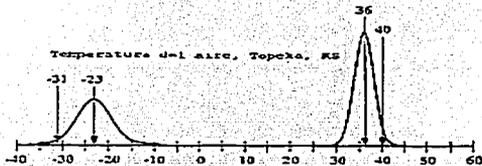


Figura VI Diseño de altas y bajas temperaturas del aire para diseño. Topeka, KS

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

El software superpave calcula la alta temperatura del pavimento a 20 mm por debajo de la superficie, para una capa de rodamiento (esto es, parte superior de la sección de un pavimento), las temperaturas del pavimento en Topeka son 56°C y -23°C para un 50% de confiabilidad y 60°C (56°C + 2 veces la desviación estándar) y -31 (-23°C - 2 veces la desviación estándar) para el 98% de confiabilidad (figura III-3).

En superpave, el alta temperatura de diseño del pavimento a una profundidad de 20 mm se calcula con la siguiente fórmula:

$$T_{20mm} = (T_{aire} - 0.00618 * lat^2 + 0.2289 * lat + 42.2) * (0.9545) - 17.78$$

donde

T_{20mm} = temperatura del pavimento a una profundidad de 20 mm, en °C

T_{aire} = promedio de la temperatura del aire para el más caluroso periodo de 7 días, en °C

lat = latitud del proyecto, en grados.

En el Superpave hay dos caminos posibles para la determinación de la baja temperatura de diseño de pavimento.

Primero, puede adoptarse como baja temperatura de diseño del pavimento la misma baja temperatura del aire. Este método fue originalmente recomendado por los investigadores de SHRP. Es una hipótesis muy prudente pues la temperatura del pavimento, en climas fríos, es casi siempre mayor que la temperatura del aire. El ejemplo de Topeka, Kansas, se vale de este enfoque.

El segundo método utiliza la siguiente fórmula, desarrollada por los investigadores SHRP de Canadá:

$$T_{min} = 0.859 * T_{aire} + 1.7°C$$

Donde:

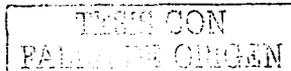
T_{min} = Temperatura mínima de diseño del pavimento, en °C

T_{aire} = Temperatura mínima del aire en un año promedio, en °C

Usando esta fórmula para el ejemplo de Topeka, la temperatura mínima de diseño del pavimento sería: $0.859 * (-23°C) + 1.7°C$ ó $-18°C$. Este método para calcular la temperatura mínima del diseño del pavimento está ganando adeptos entre los técnicos del asfalto en Norte América. No obstante, el primer método es aún usado por superpave.

SELECCIÓN DEL GRADO DEL CEMENTO ASFÁLTICO

Para la confiabilidad de al menos 50%, el grado de alta temperatura, para Topeka, debe ser PG 58. la elección de un PG 58 implica, de hecho un más alto nivel de confiabilidad, alrededor del 85%, debido al "redondeo hacia arriba" al próximo grado estándar. El grado inmediato inferior es 52°C, menos del 50% de próximo grado estándar. El grado de baja temperatura debe ser un PG XX-28. al igual que con el grado de alta temperatura, el redondeo a un grado estándar de baja temperatura resulta en casi 90% de confiabilidad. Para el 98% de confiabilidad, el grado de alta temperatura necesario es PG 64; y el grado de baja temperatura es PG XX-34.



ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Ambos grados de baja temperatura utilizan la aproximación de Superpave que adopta como temperatura del pavimento la temperatura baja del aire. Si el procedimiento alternativo es usado, el grado seleccionado del cemento asfáltico sería PG 58-22 para un mínimo del 98% de confiabilidad. El método de conversión de la temperatura baja del aire a temperatura baja del pavimento tiene un profundo efecto sobre el proceso de selección del cemento asfáltico.

Operar con la distribución de la frecuencia de temperatura no es una tarea que atañe al diseñador. El Software del Superpave se encarga del cálculo. Para cada lugar, los usuarios pueden adoptar una confiabilidad mínima y el Superpave calculará el grado requerido para el cemento asfáltico. Alternativamente, el usuario puede especificar el grado de cemento asfáltico deseado y el Superpave calculará la confiabilidad.

Efecto de la velocidad de carga en la selección del cemento asfáltico

La selección del cemento asfáltico en SHRP en base al clima sólo supone que el cemento asfáltico se empleará en mezclas sometido a las cargas rápidas. La velocidad de carga aplicada por el Reómetro dinámico de corte es de 10 radianes/segundo, correspondiendo a una velocidad de tránsito de 90 km/s. velocidades mucho más bajas se producen en pavimentos cercanos a las intersecciones, casetas de peaje, etc: En algunas ocasiones, las cargas son estacionarias. En esos casos, el cemento asfáltico debería tener una rigidez alta para soportar cargas más lentas.

Para adaptarse a esas situaciones, Superpave requiere que el grado de alta temperatura sea incrementado al menos uno, y hasta dos grados. Por ejemplo, si una temperatura basada en la selección resulta en un grado de cemento asfáltico deseado PG 64-22, el diseñador, para tener en cuenta cuántas cargas bajas de tránsito, seleccionará un grado de elegante más alto, PG 70-22. Si se prevé la existencia de cargas estáticas, el diseñador seleccionará PG 76-22.

La velocidad de carga no tiene efecto sobre la selección del grado de baja temperatura.

Las temperaturas de diseño de pavimento de 76 u 82°C no corresponden a ninguna zona climática en América del Norte. La especificación de este grado es un medio simple de asegurar que el cemento asfáltico tendrá un módulo de rigidez alto a 64°C, la real temperatura de diseño del pavimento. Debido a que la más alta temperatura del pavimento en Norte América es de alrededor de 70°C, 2 grados adicionales de alta temperatura, PG 76 y PG 82, fueron necesarios para considerar las velocidades bajas de carga.

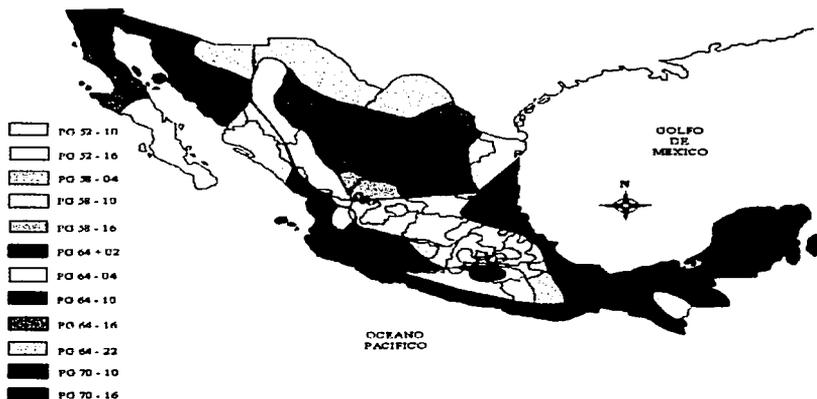
Efecto del nivel del tránsito en la selección del cemento asfáltico.

Superpave recomienda que el nivel de tránsito detenido en cuenta, al seleccionar los cementos asfálticos. Cuando el nivel de tránsito de diseño supera los 10 millones de ejes simples equivalentes (EALS), se recomienda al diseñador "considerar" un incremento de un grado de altas temperaturas. Cuando el nivel de tránsito de diseño supera los 30 millones de ESALs, el diseñador debe incrementar en un grado el grado de altas temperaturas. Al igual que con la velocidad de carga, el nivel de tránsito no tiene efecto sobre el grado de temperaturas bajas. Para el ejemplo de Topeka - para el cual la selección basada en la temperatura demanda un PG 58-28- un proyecto con un muy elevado número de ESALs requerirá un PG 64-28.

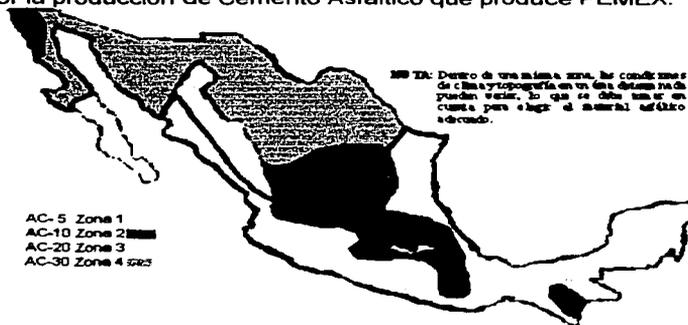
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

APLICADO A MÉXICO

Este es un esquema de la Republica Mexicana en donde se puede observar el tipo de cementos asfálticos a utilizar hecha por Grupo PACCSA de acuerdo a estudios realizados y 30 años de experiencia en vías terrestres.



Haciendo comparación con el mapa de la norma de SCT "CLASIFICACIÓN DE CEMENTO ASFÁLTICO NORMA SCT N-CMT-4-05-001/00" podemos observar que se basan solo por la producción de Cemento Asfáltico que produce PEMEX.



Nota.- Se tienen que llevar estudios más a fondo para poder clasificar bien a la República Mexicana.

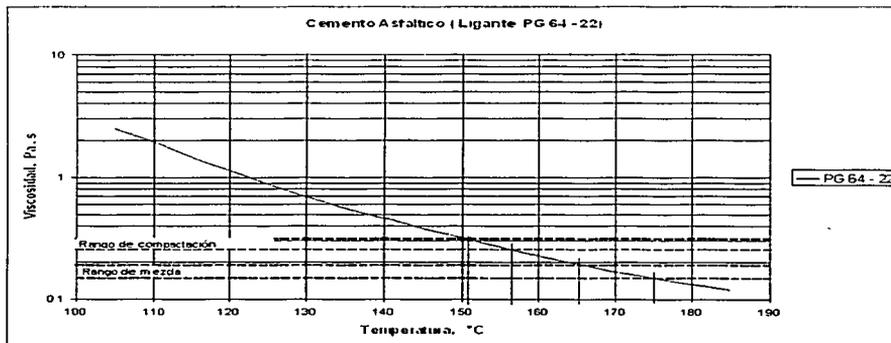


Ejemplo de un estudio de Cemento Asfáltico PG 64-22

Propiedades

Tipo de ensaye	Resultado	Temperatura de ensaye	Especificaciones AASHTO MP1
Cemento Asfáltico Original			
Punto de Inflamación, °C T48	325		230°C min
Viscosidad Brookfield a 135°C, Pa.s ASTM 4402	0.42		3.0 Pa.s max
Corte dinámico, 10 rad/s G*/sin δ at 64°C TP-5	1.23	65.7	1.00 kPa min
Residuo de Película Delgada en Horno Rotatorio			
Pérdida por calentamiento, % T240	0.08		1.00 wt% max
Corte Dinámico, 10 rad/s G*/sin δ 64°C TP-5	2.84	65.9	2.20 kPa min
Residuo PAV 100°C			
Corte Dinámico, 10 rad/s G*/sin δ a 25°C TP-5	3544	22	5000 kPa max
Modulo de rigidez y ruptura, 60 sec S at -12°C m at -12°C TP-1	170 0.328	-14.6	300 MPa max 0.300 min
PERFORMANCE GRADE	64-22		

TESIS CON
 FALSA CRICEN



Esta Gráfica de viscosidad Brookfield a diferentes temperaturas, nos muestra como se comporta el asfalto a diferentes temperaturas; una vez trazada la gráfica se buscan los rangos de temperatura de Compactación y mezclado.

El rango de compactación en la obra de este cemento asfáltico PG 64 - 22 es a una temperatura de 151°C a 156°C.

El rango de mezclado en la planta para este cemento asfáltico PG 64 - 22 es a una temperatura de 166°C a 175°C.

Si no cumple con estas especificaciones el material puede tener problemas en su colocación en la obra.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

GLOSARIO

TESIS CON
ORIGEN

GLOSARIO

Adherencia (adherence).- Resistencia a la separación del asfalto en contacto con los agregados bajo el efecto de acciones exteriores, por ejemplo, presencia de agua.

Adherencia activa (active adherence).- es la que se desarrolla de forma inmediata entre el asfalto y el agregado, o sea, la propiedad del asfalto y el agregado de envolver adecuadamente al material pétreo (envuelta).

Adherencia Pasiva (passive adherence).- es la capacidad del asfalto de mantener adherido bajo la presencia de agua.

Adhesión (adhesion).- estado en el cual dos superficies se mantienen unidas por fuerzas interfaciales.

Afinidad (affinity).- tendencia de la película asfáltica a fijarse sobre la superficie del agregado pétreo.

Aglutinante (glanuar cemented material).- cementante que une partículas granulares para formar una mezcla.

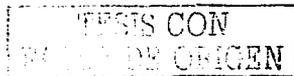
Agregado bien graduado (well-graded aggregate).- mezclas de agregado pétreo en la cuál están presentes todos los tamaños de manera uniforme, constituyendo una mezcla gruesa.

Agregado pétreo (aggregate).- material granular duro, sano y resistente clasificado por su tamaño como la grava, arena y finos, obtenido por yacimientos naturales, por trituración de fragmentos de roca o como subproducto industrial.

Alquitrán (tar).- Material butiminoso líquido o semisólido, café o negro de buena consistencia y con predominante constitución de bitumen en obtenido de condensación en la destructiva destilación de carbón, petróleo, aceite-arcilla, materiales orgánicos y con suficientes cantidades de brea cuando se destilan.

Asfaltenos (asphaltenes).- la fracción de hidrocarburo de alto peso molecular, en el asfalto, que es precipitada por medio de un solvente parafínico de nafta, usando una proporción especificada de solvente-asfalto. Componente de estructura físico-química del asfalto, que son los núcleos de hidrocarburos más pesados. A los asfatenos los rodean las resinas, que constituyen la fase intermedia de dicha estructura y finalmente, ocupando el espacio restante, se encuentran los aceites, proporcionando al asfalto su color y dureza.

Asfalto (asphalt).- material de color café o negro, conteniendo materiales en que el cementante tienen una constitución predominante de bitúmenes que se encuentran en la naturaleza o son obtenidos del proceso de destilado del petróleo. Sustancia cementante natural o manufacturada, de color negro o gris oscuro (sólido, semisólido o viscoso), compuesto principalmente por hidrocarburos de alto peso molecular o con asfaltos, asfaltitas, alquitrán, hulla, etc. El asfalto es constituyente, en proporciones variables, de la mayoría de los petróleos crudos.



Betún (asphalt).- asfalto

Bitumen (bitumen).- sustancia cementante de color negro u oscuro (sólida, semi-sólida o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos de asfaltos, las brechas (o alquitranes), los betunes y las asfaltitas.

Carpeta (surface, course).- capa superior de la estructura del pavimento que soporta directamente el tránsito con características adecuadas para el rodamiento e impermeable.

Cemento asfáltico (asphalt cement).- un asfalto fluxuado o no, especialmente preparado de una calidad y consistencia para uso directo en la construcción de pavimento asfáltico y teniendo una penetración a 25°C entre 5 y 300 décimas de milímetros bajo carga de 100 gramos, aplicando en 5 segundos y una viscosidad de 200 a 10,000 poises a 60°C. Asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto calidad y consistencia para ser usado directamente en la producción de pavimentos asfálticos.

Centipoise (centipoise).- unidad de medida de viscosidad Brookfield o absoluta.

Centistoke (centistoke).- unidad de medida de viscosidad cinemática.

Cohesividad (cohesion).- capacidad de adherirse dos materiales entre sí. Capacidad aglomerante de la mezcla que le permite resistir los esfuerzos y efectos abrasivos y de succión originados por el tráfico.

Concreto asfáltico (asphalt concrete).- Mezcla asfáltica en caliente, muy bien controlada de cemento asfáltico de alta calidad y agregado bien graduado, también de alta calidad compactada adecuadamente para formar una masa densa, uniforme y resistente.

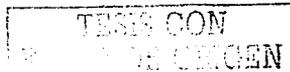
Conservación (maintenance).- conjunto de acciones, medios materiales y humanos encaminados a mantener o mejorar el nivel de servicio de una carretera bajo condiciones normales de tránsito, corrigiendo el deterioro de la misma mejorando la seguridad y comodidad de los usuarios.

Consistencia (consistency).- grado de fluidez o dureza de un cemento asfáltico a determinada temperatura. La consistencia del cemento asfáltico varía con la temperatura, por lo tanto, es necesario usar una temperatura patrón cuando se está comparando la consistencia de un cemento asfáltico con la de otro.

Curado (curing).- conjunto de operaciones que tienen por objeto lograr que el solvente o líquidos de la mezcla asfáltica se eliminen, hasta un límite previamente fijado. Acondicionamiento especificado de los especímenes, previo al ensaye.

Deformación (distortion).- Cambio que presenta el pavimento con respecto a su forma original.

Densidad (density).- grado de solidez que puede alcanzarse en una mezcla dada y que solo esta limitado por la eliminación total de vacíos que se encuentran entre las partículas de la masa.



Densificación (densification).- acción que consiste en aumentar la densidad de una mezcla durante el proceso de compactación o posteriormente por efecto del tránsito.

Desintegración (raving).- separación progresiva de partículas de agregado en el pavimento, desde la superficie hacia abajo o desde los bordes hacia el interior. La desintegración puede ser causada por falta de compactación, construcción de una capa muy delgada en periodos fríos, agregado sucio o desintegrable, muy poco asfalto en la mezcla, o sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.

Diseño de mezclas Superpave (Superpave mix desing).- sistema de diseño de mezclas que comprende la selección de materiales (asfalto, agregado) y el proporcionamiento volumétrico en función del clima y tráfico de diseño. El diseño de mezclas Superpave y su análisis, depende del nivel del tránsito o de la clasificación funcional del pavimento para el cual se hace el diseño.

Ductilidad (ductility).- habilidad de una sustancia de ser estirada o estrechada en forma delgada.

Ductilidad retenida, prueba de la.- valor que se determina a los asfaltos normales y modificados, siendo el resultado de dividir el valor de la prueba después del ensaye de película delgada entre el valor de la prueba antes del ensaye de película delgada. El cálculo se efectúa tanto a pruebas realizadas a temperatura de 4°C como a 25°C.

Ductilidad prueba de.- longitud la cual puede estirarse sin romperse, una probeta asfáltica de forma y dimensiones normalizadas, según la temperatura y velocidad de estiramiento especificadas.

Ductilómetro (ductilometer).- aparato para medir la ductilidad.

Durabilidad (durability).- propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación que describe su habilidad para resistir a la desintegración por efectos ambientales o de tránsito.

Envejecimiento (aging).- se le llama envejecimiento cuando un asfalto pierde sus propiedades, esto sucede cuando éste está expuesto a agentes ambientales como calor y oxígeno.

Grado de Comportamiento (PG) (performance grade).- grado de comportamiento. Sistema de clasificación de los ligantes asfálticos; la norma AASHTO MP1 califica al ligante asfáltico.

Grado de Penetración (penetration grading).- Sistema de clasificación para los cementos asfálticos basado en la penetración a una temperatura de 25°C. Existen cinco grados patrones de clasificación: 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300.

Grados de viscosidad (viscosity grading) - sistema de clasificación de cementos asfálticos basados en rangos de viscosidad a una temperatura de 60°C (140°F). También se especifica una viscosidad mínima a 135°C (275°F).

Grietas (cracks).- roturas en la superficie del pavimento asfáltico. Los tipos más comunes son. Piel de cocodrilo, juntas de borde, juntas de carril, de reflexión, de contracción y de destlazamiento.

Oxidación (oxidation).- proceso fisicoquímico en el cual está involucrada la asimilación de una sustancia de iones oxígeno. Transformación de un material por la acción del oxígeno u oxidante.

Prueba de ductilidad (ductility test).- longitud a la cual puede estirarse sin romperse, una probeta asfáltica de forma y dimensiones normalizadas, según la temperatura y velocidad de estiramiento especificadas.

Prueba de gravedad específica (specific gravity test).-prueba para determinar la gravedad específica o densidad de los asfaltos. Los resultados se expresan normalmente en términos de gravedad específica a una temperatura dada.

Prueba de Ductilidad Retenida.- Valor que se determina a los asfaltos normales y modificados, siendo el resultado de dividir el valor de la prueba después del ensaye de película delgada entre el valor de la prueba antes del ensaye de película delgada. El cálculo se efectúa tanto a pruebas realizadas a temperatura de 4°C como a 25°C.

Prueba de la Película Delgada (thin film oven test).-prueba que consiste en simular las condiciones que ocurren en el asfalto durante las operaciones de mezclado en caliente y puede emplearse para efectuar pruebas en asfaltos envejecidos.

Prueba de penetración (penetration test).- ensaye para determinar la consistencia de los cementos asfálticos.

Prueba de penetración retenida.- valor que se determina a los asfaltos, siendo el resultado de dividir el valor de la prueba después del ensaye de película delgada entre el valor de prueba antes del ensaye de película delgada.

Prueba de viscosidad absoluta (absolute viscosity test).- Método usado para medir viscosidad usando el poise como unidad de medida a la temperatura de prueba de 60°C (140°F). Este método hace uso de un vacío parcial para inducir el flujo en el viscosímetro, debido a que a esta temperatura el asfalto es muy viscoso.

Prueba de Viscosidad cinemática (kinematic viscosity test).- Método usado para medir viscosidad usando el stock como unidad de medida a una temperatura de prueba de 135°C (275°C).

Prueba de viscosidad Saybolt Furol (Saybolt furol viscosity test).- Prueba de viscosidad mediante el viscosímetro Saybolt-Furol, el cual mide la resistencia al flujo que presenta el asfalto a una temperatura cercana a la aplicación, pudiéndose realizar esta prueba a otras temperaturas, con el objeto de conocer la susceptibilidad al calor de los cementos asfálticos y determinar las viscosidades apropiadas para su utilización.

Prueba del ángulo de fase.- Valor obtenido mediante el Reómetro de Corte dinámico, el cual es un indicador de las proporciones de las deformaciones recuperables y no recuperables para un material perfectamente elástico.

Prueba del módulo reológico de corte dinámico D.S.R. (Dynamic Shear Rheometer test).-prueba utilizada en el sistema superpave que mide el módulo de corte complejo (G^*) en kPa y el ángulo de fase δ en grados, del ligante asfáltico mediante el reómetro de Corte Dinámico (DSR), el cual es usado para caracterizar el comportamiento viscoso y elástico de dichos asfaltos. El ensaye mide las características de comportamiento de ligantes recién producidos, como si éstos hubieran sido expuestos a los procesos de mezclado en caliente y de envejecimiento en servicio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Prueba del punto de inflamación en copa Cleveland (flash point, Cleveland open cup test).- mediante este ensaye se determina la temperatura mínima a la que el asfalto produce llamas instantáneas al estar en contacto con el fuego directo.

Prueba Superpave a ligantes asfálticos (Superpave asphalt test).- Conjunto de ensayes Superpave que determinan las propiedades físicas de los ligantes asfálticos, los cuales predicen el comportamiento de ellos en campo, en términos de roderas, grietas por contracción y manejabilidad. Los ensayes propuestos por el programa de ligantes asfálticos son: envejecimiento (RTFOT o TFO, PAV), reómetro de corte dinámico (Dinamic Shear Rheometer, DSR), viscosímetro rotatorio (Brookfield Viscometer, RV); reómetro de viga flexión (Bending Beam Rheometer, BBR); probador de tensión directa (Direct tension Tester, DTT).

Reología (rheology).- Rama de la mecánica que estudia el comportamiento de la materia a través del tiempo de aplicación de una carga e inclusive propiedades de flujo y deformación, como viscosidad, ductilidad, fragilidad, etc. Interviene también la temperatura.

Reómetro (rheometer).- Equipo que se utiliza para determinar las propiedades reológicas del asfalto.

Reómetro de corte dinámico (dynamic shear rheometer).-Equipo especificado el cual es usado para caracterizar el comportamiento viscoso y elástico de los ligantes asfálticos.

Resistencia a la fatiga (fatigue resistance).- Habilidad de un pavimento asfáltico para resistir la flexión repetida, causada por el paso de las cargas de las ruedas.

RTFO (Rolling Thin Film Oven).- Procedimiento que expone una muestra de asfalto a unas condiciones aproximadas a las que ocurre durante las operaciones de plantas de mezclado en caliente.

Tricloroetileno.- Solvente orgánico con tres átomos de cloro, usado para disolver el asfalto.

SHRP (Estrategic Highway Research Program).- Iniciales en inglés del programa estratégico de investigación de carreteras, operado por la Administración Federal de Carreteras (Federal Highway Administration, FHWA) de los Estados Unidos de Norteamérica.

Superpave.- Acrónimo de Superior Performing Asphalt Pavement (Pavimento Asfáltico de Comportamiento Superior). Producto final del programa SHRP, el cual nace en 1987 con la necesidad de racionalizar el gasto y la inversión en la construcción y mantenimiento de las autopistas en los Estados Unidos de Norteamérica.

Susceptibilidad Térmica (temperatura susceptibility).- Propiedad del asfalto de que le sea modificado su consistencia por causas relacionadas a la variación de su temperatura.

Viscosidad (viscosity).- Medida de resistencia de un líquido a fluir. Método usado para medir la consistencia del asfalto

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INSTITUTO VENEZOLANO DE INVESTIGACIONES
DE LA CONSTRUCCION

BIBLIOGRAFÍA

Instituto del Asfalto, Departamento de Transporte de los Estados Unidos,
Administración de Carreteras
Antecedentes del Diseño y Análisis de Mezclas Asfálticas de Superpave
Superpave™ Lexington. KY

Fernando Olivera Bustamante
Estructuras de Vías terrestres
CECSA, México 2001

Alberto García Martínez,
Tesis Profesional, "Asfaltos Superpave. Grado de comportamiento en servicio de un
ligante asfáltico",
I.P.N., México 1999.

Ing. Fidel Zapata Gómez,
Tesis Profesional, "Diseño de Mezclas Asfálticas Superpave Nivel 1",
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México 2000.

SCT N – CMT – 4 – 05 – 001/00
Libro: CMT CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES
Parte: 4 MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN
Título: 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas
Capítulo 001 Calidad de los Materiales

SCT N – MMP – 4 – 05 – 001/00
Libro: MMP MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES
Parte: 4 MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN
Título: 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas
Capítulo: 001 Muestreo de Materiales Asfálticos

SCT N – MMP – 4 – 05 – 002/00
Libro: MMP MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES
Parte: 4 MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN
Título: 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas
Capítulo: 002 Viscosidad Dinámica en Cementos y Residuos Asfálticos

SCT N – MMP – 4 – 05 – 003/00
Libro: MMP MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES
Parte: 4 MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN
Título: 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas
Capítulo: 003 Viscosidad Cinemática en Cementos Asfálticos

SCT N – MMP – 4 – 05 – 004/00
Libro: MMP MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES
Parte: 4 MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN
Título: 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas
Capítulo: 004 Viscosidad Saybolt-Furol en Materiales Asfálticos

SCT N – MMP – 4 – 05 – 006/00
Libro: MMP MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES
Parte: 4 MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN
Título: 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas
Capítulo: 006 Penetración en Cementos y Residuos Asfálticos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SCT N – MMP – 4 – 05 – 007/00

Libro: MMP MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES

Parte: 4 MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN

Título: 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

Capítulo: 007 Punto de Inflamación Cleveland en Cementos Asfálticos

SCT N – MMP – 4 – 05 – 008/00

Libro: MMP MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES

Parte: 4 MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN

Título: 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

Capítulo: 008 Solubilidad de Cementos y Residuos Asfálticos

SCT N – MMP – 4 – 05 – 009/00

Libro: MMP MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES

Parte: 4 MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN

Título: 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

Capítulo: 009 Punto de Reblandecimiento en Cementos Asfálticos

SCT N – MMP – 4 – 05 – 010/00

Libro: MMP MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES

Parte: 4 MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN

Título: 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

Capítulo: 010 Prueba en el Residuo de la Película Delgada de Cementos Asfálticos

SCT N – MMP – 4 – 05 – 011/00

Libro: MMP MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES

Parte: 4 MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN

Título: 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

Capítulo: 011 Ductilidad de Cementos y Residuos Asfálticos

SCT N – MMP – 4 – 05 – 011/00

Libro: MMP MÉTODOS DE MUESTREO Y PRUEBAS DE MATERIALES

Parte: 4 MATERIALES PARA PAVIMENTACIÓN

Título: 05 Materiales Asfálticos, Aditivos y Mezclas

Capítulo: 025 Módulo Reológico de Corte Dinámico

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN