

CAPITULO 4:

MATERIALES ASFÁLTICOS

4.1 Antecedentes

El asfalto es uno de los materiales más antiguos utilizados como aglutinante o impermeabilizante. Las primeras carreteras pavimentadas en los EE.UU. fueron en la Av. Pennsylvania, frente a la Casa Blanca. El asfalto usado fue natural proveniente de la Isla Trinidad en las costas de Venezuela. La otra fuente de asfalto natural se encuentra en Bermudez-Venezuela.

Los asfaltos naturales se encuentran en depresiones de la corteza terrestre formando los *lagos de asfalto* o aparecen impregnados en calizas, formaciones de areniscas o similares, formando las llamadas *rocas asfálticas*, también se encuentran mezclados por impurezas minerales.

Durante 1800 y 1900 la demanda de las carreteras pavimentadas se incremento tan rápido que la extracción y transporte desde los lagos de asfalto hasta la obra, fue limitando la construcción de estos pavimentos. Se tuvo que considerar otra fuente para producir asfalto, es así que la mayoría de los asfaltos utilizados en la actualidad son provenientes del refino del petróleo.

4.2 Definiciones

Asfalto

ASTM lo define como un material cementante, de color oscuro y de consistencia variable, cuya rigidez depende de la temperatura en que se encuentre. A temperatura ambiente el asfalto es sólido a semisólido, y cuando su temperatura se eleva se vuelve líquido, esta condición permite que los agregados sean cubiertos completamente, durante la mezcla.

El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, a altas temperaturas (135°C) es poco rígido, condición que permite que se adhiere fácilmente a las partículas del agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento que une los agregados en mezclas en caliente.

El cemento asfáltico también es usado como impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los alcális (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico¹.

¹ Principios de la Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente. Serie de Manuales No.22 (MS-22), Asphalt Institute

El asfalto al entrar en contacto con el oxígeno del medio ambiente reacciona, perdiendo sus propiedades elásticas y volviéndose duro y frágil. Esta es una de las características del asfalto que trata de retardarse, pero que se desarrolla con el tiempo.

En una mezcla convencional (asfalto + agregado de granulometría completa) el porcentaje de asfalto es de 6.5% y del agregado de 93.5% en peso de la mezcla, aprox.; sin embargo, es importante resaltar como un material cuya participación es mínima puede tener tanto efecto en el comportamiento de la mezcla. Foto 4.1.

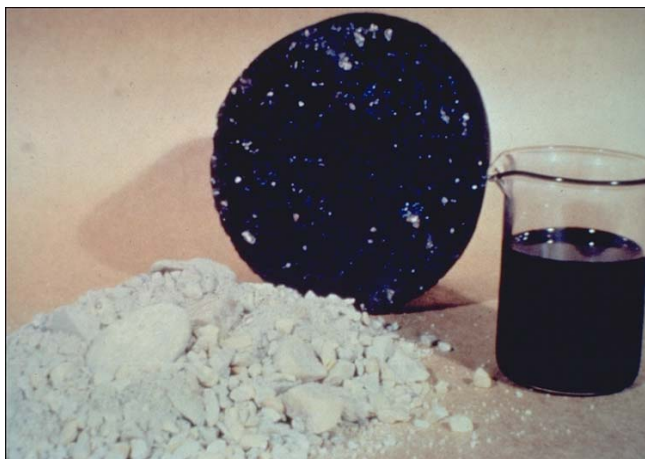


Foto 4.1: Cemento asfáltico a temperatura ambiente y de briqueta preparada con una mezcla cemento asfáltico-agregado.

4.3 Refinamiento del petróleo

Si se tuviese en un depósito alcohol y agua y éste se llevase a calentar, a 72°C aprox. el alcohol comenzaría a evaporarse. Cuando la temperatura alcance los 100°C el agua se evaporaría. De manera similar se refina el petróleo.

Mediante el incremento paulatino de temperatura el crudo del petróleo se descompone liberando los solventes más livianos, como la gasolina, el kerosene y el diesel. Para separar los destilados mas pesados, no solo es necesario incrementar la temperatura sino someterlo a vacío. Luego de un periodo de tiempo se obtendrá el cemento asfáltico.

En la figura 4.1 se muestra la temperatura a la cual los solventes se van separando del crudo del petróleo. En la figura 4.2 hay un esquema del proceso de refine del petróleo.

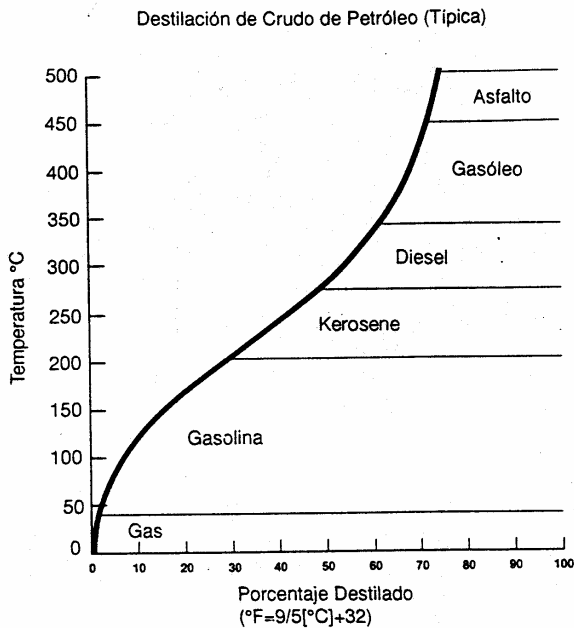


Figura 4.1: Productos y Temperaturas Típicas de Destilación
Principios de la Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente. MS-22, Asphalt Institute

Si el cemento asfáltico se combina con algún solvente se obtienen los asfaltos diluidos o **cutbacks**. Así, si el asfalto se combina con gasolina será asfalto de curado rápido (**Rapid Cured, RC**), si se combina con kerosene será de curado medio (**Medium Cured, MC**) y con diesel del curado lento (**Slow Cured, SC**).

Si el cemento asfáltico se combina con agua y un agente emulsificante se obtienen los **asfaltos emulsificados**.

Tanto en el caso de asfaltos diluidos como de asfaltos emulsificados, el objetivo es darle trabajabilidad al cemento asfáltico. Puesto que en esta condición los asfaltos pueden trabajarse a temperaturas que van de 60° a 20°C, respectivamente. Luego de la colocación de la mezcla el solvente o el agua se evaporará y quedará el asfalto solo. Por lo tanto es importante conocer el comportamiento mecánico del cemento asfáltico.

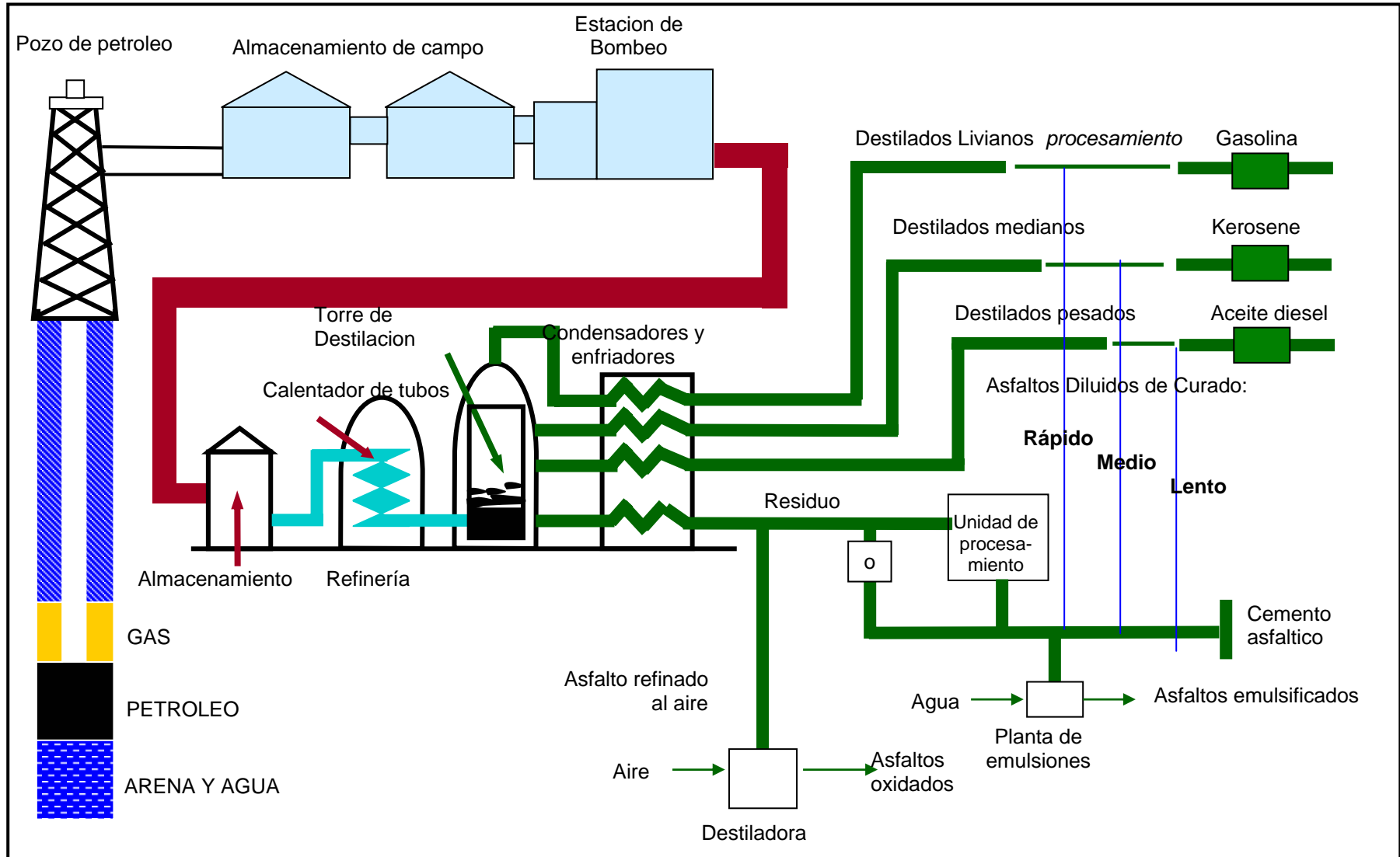


Figura 4.2: Refinamiento del Petróleo

4.4 Comportamiento mecánico del Cemento Asfáltico

La naturaleza del asfalto es viscoelástica, esto quiere decir que su comportamiento depende de la temperatura y el tiempo de aplicación de la carga. El asfalto a altas temperaturas tiene menor rigidez, típico durante la temperatura de mezcla (135°C). A medida que la temperatura desciende el asfalto se vuelve más rígido. A temperaturas muy bajas el asfalto puede agrietarse porque se vuelve frágil y quebradizo.

COMPORTAMIENTO REAL

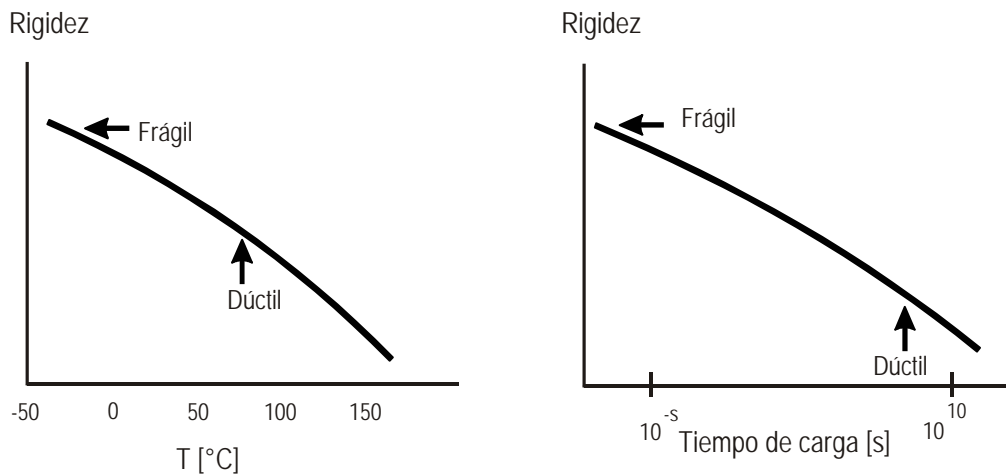


Figura 4.3 Comportamiento del Asfalto

Un comportamiento análogo se observa cuando se grafica el tiempo de aplicación de la carga (velocidad) y la rigidez. Cuando las cargas aplicadas son rápidas el asfalto tiene mayor rigidez y cuando las cargas son lentas hay menor rigidez y mayor deformación.

4.4.1 Comportamiento a altas temperaturas

En climas cálidos (el oriente del Perú, épocas de verano) o sometido a cargas de tráfico lentas (intersecciones, tramos en pendiente), el cemento asfáltico se comporta como un líquido viscoso, dejando que el agregado soporte las cargas cíclicas. Con esta condición la estructura granular de la mezcla asfáltica cumple un papel muy importante. El asfalto solo es el aglutinante.

Por definición, la viscosidad es la característica física del material que describe la resistencia de los líquidos a fluir. Si el flujo del cemento asfáltico en caliente es lento puede ser observado microscópicamente como capas adyacentes de moléculas deslizándose unas sobre otras. La resistencia o fricción entre capas se relaciona a la velocidad relativa de deslizamiento.

La viscosidad es una característica que ayuda a diferenciar a los líquidos y se define como el esfuerzo de corte entre la velocidad de deformación por corte. La figura 4.4 muestra un juego de cartas que tienen una línea vertical marcada a un lado. Cuando se aplica el corte en el punto superior, las cartas tratan de deslizarse una sobre la otra y los puntos marcados en las cartas empiezan a separarse. La velocidad al corte es la velocidad a la cual estos puntos se separan.

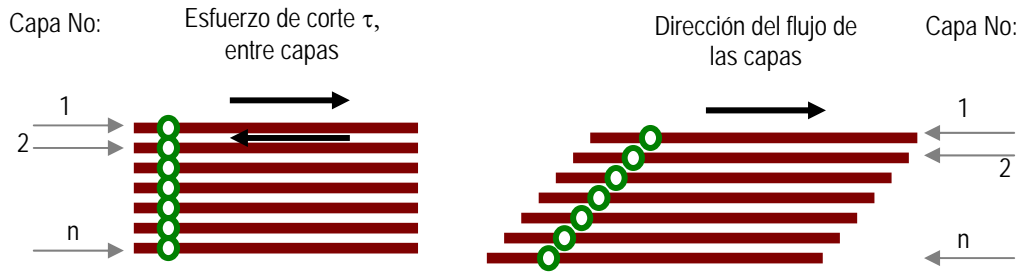


Figura 4.4: Características del Flujo de Líquidos

Los fluidos Newtonianos tienen una relación lineal entre el esfuerzo de corte y la velocidad relativa. El aire, agua y asfalto caliente (a temperaturas mayores que 60°C) son comúnmente fluidos Newtonianos. A temperaturas moderadas, la viscosidad del asfalto decrece cuando la velocidad relativa se incrementa.

Los líquidos viscosos como el asfalto caliente algunas veces son llamados plásticos porque una vez que empiezan a fluir no retornan a su posición original. El *rutting* o ahuellamiento es la acumulación de deformaciones plásticas no recuperables.



Foto 4.2: Ahuellamiento o deformación permanente o rutting

4.4.2 Comportamiento a bajas temperaturas

En climas fríos o bajo aplicaciones de carga rápida, el cemento asfáltico se comporta como un sólido elástico. Los sólidos elásticos son como ligas porque cuando cesa la carga que los deforma, regresan a su posición original.

Si el material se esfuerza más allá de su capacidad, el sólido elástico puede romperse. El agrietamiento por bajas temperaturas algunas veces ocurre en los pavimentos cuando están sometidos a climas fríos (Conococha, Ticllo). En estos casos, las cargas aplicadas producen esfuerzos internos que se acumulan en el pavimento asfáltico que tenderá a contraerse mientras su movimiento es restringido por las capas inferiores.



Foto 4.3: Agrietamiento por bajas temperaturas o low temperatura cracking

4.4.3 Comportamiento a temperaturas intermedias

En estos climas el asfalto muestra características de líquido viscoso y sólido elástico. A estas temperaturas, el asfalto es un excelente material adhesivo usado en pavimentación. Cuando se calienta el asfalto actúa como un lubricante, permitiendo mezclarse con el agregado, cubrirlo y compactarse formando una superficie lisa y densa. Tan pronto como se enfría, el asfalto actúa manteniendo juntos los agregados en la matriz sólida. En esta etapa el comportamiento del asfalto es viscoelástico, es decir, tiene características elásticas y viscosas, dependiendo de la temperatura y velocidad de aplicación de carga.

4.4.4 Comportamiento del ligante envejecido

Como el cemento asfáltico está compuesto por hidrocarburos (combinación de hidrógeno y carbono) y nitrógeno, oxígeno y otros elementos. El asfalto cuando se disuelve en heptano se descompone en asfaltenos y maltenos.

Los asfaltenos le proporcionan al asfalto el color y rigidez. Los maltenos son líquidos viscosos compuestos de resinas y aceites. Las resinas son, por lo general, líquidos pesados de color ámbar y pardo oscuro, mientras que los aceites son de color más claro. Las resinas le otorgan las cualidades adhesivas al asfalto, mientras que los aceites son el medio de transporte de asfaltenos y resinas.

Durante la reacción con el oxígeno del medio ambiente, esto ocurre principalmente cuando el asfalto tiene elevadas temperaturas o cuando una película delgada de asfalto recubre la partícula, Las resinas se convierten gradualmente en asfaltenos y los aceites en resinas, ocasionando así un incremento en la rigidez del asfalto. Esta reacción se denomina oxidación. La oxidación cambia la estructura y composición de las moléculas de asfalto haciéndolo más frágil o quebradizo.

La inapropiada compactación puede generar oxidación o endurecimiento prematuro. En estos casos, los inadecuados niveles de compactación tienen altos porcentajes de vacíos de aire interconectados, que permiten que más aire o el agua penetre en la mezcla acelerando la oxidación.

4.5 Esfuerzos y Deformaciones en ensayos dinámicos

Las cargas aplicadas al pavimento son móviles, cuando la carga se acerca al punto de análisis ubicado en la carpeta asfáltica, ésta se deforma debido a que la presión se incrementa, existe entonces incremento tanto de la carga como la deformación. Cuando la carga se aleja, la presión en el punto de análisis disminuye y deformación en la carpeta cesa, esta condición no se da de manera simultánea, existe un *tiempo de retardo*, δ , como se puede ver en la figura 4.5.

4.6 Especificaciones y ensayos para cementos asfálticos

Como la química del asfalto es muy compleja, **la experiencia ha demostrado que las especificaciones deben estar relacionadas** con las propiedades físicas o de manera más precisa, con su **comportamiento mecánico**. Las especificaciones actuales en el Perú utilizan todavía los ensayos de penetración, viscosidad y ductilidad para evaluar el asfalto. Muchos de los ensayos actuales son empíricos, significando que la experiencia es todavía necesaria para que los resultados de los ensayos se puedan interpretar adecuadamente. Sin embargo, tal práctica ha demostrado que tiene importantes limitaciones.

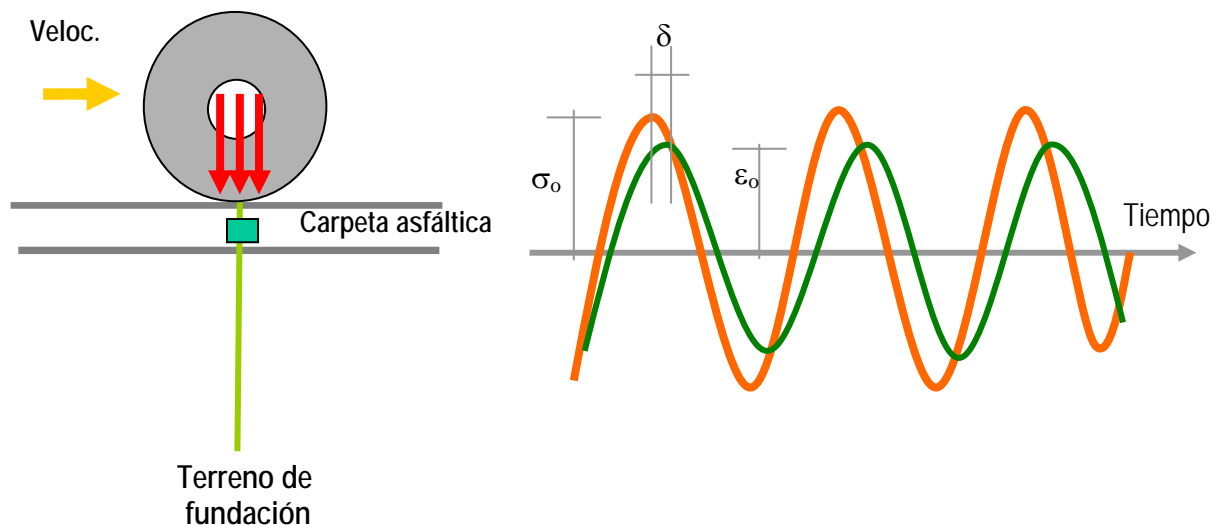


Figura 4.5: comportamiento esfuerzo-deformación en mezclas asfálticas

Reconociendo las deficiencias de tal sistema, las agencias estatales de carreteras de los Estados Unidos tuvieron que implementar un programa de investigación para adoptar un nuevo sistema para especificar el pavimento asfáltico. En 1987, la SHRP inició estudios para desarrollar nuevos ensayos que permitan medir las propiedades físicas del asfalto. La inversión de \$50 millones de dólares se plasmó en las *especificaciones del Ligante Superpave*, que requiere de un nuevo paquete de equipos para ensayos y procedimientos. Se llamó especificaciones del "ligante" porque se engloba a los asfaltos modificados y no modificados.

El avance más significativo fue probablemente cambiar ensayos empíricos por ensayos donde el ligante puede ser caracterizado a variaciones de temperaturas controladas obtenidas de campo.

Los ensayos de Reómetro de Corte Dinámico (DSR), Reómetro de Viga de Flexión (BBR) y Ensayo de Tensión Directa (DTT) reemplazaron a los ensayos de viscosidad, penetración y ductilidad, respectivamente. Junto con el envejecimiento en planta (RTFO) se adoptó el envejecimiento durante la vida de servicio (PAV).

4.6.1 Ensayos de Penetración y Viscosidad

Ensayo de Penetración

Entre los años 40 y 50 el sistema de clasificación por penetración fue usado en los EE.UU. y Canadá. El ensayo de penetración realizado a 25°C (temperatura elegida como el promedio de la temperatura de servicio del pavimento), indica la rigidez del asfalto, que solo puede ser relacionado con su comportamiento en campo mediante la experiencia.

Como el valor de la penetración no es una medida fundamental dicho valor no puede ser racionalmente incluida en modelos mecanísticos.

El ensayo consiste en aplicar una carga patrón en la superficie de una muestra de cemento asfáltico a 25°C. Se debe medir la penetración de la aguja en la muestra, luego de 5 segundos. Si el asfalto es duro la penetración será menor que cuando el asfalto es blando. Se recomendó siempre la utilización de asfaltos duros para carreteras en la selva mientras que los blandos eran recomendados para carreteras en la sierra o zonas con bajas temperaturas.

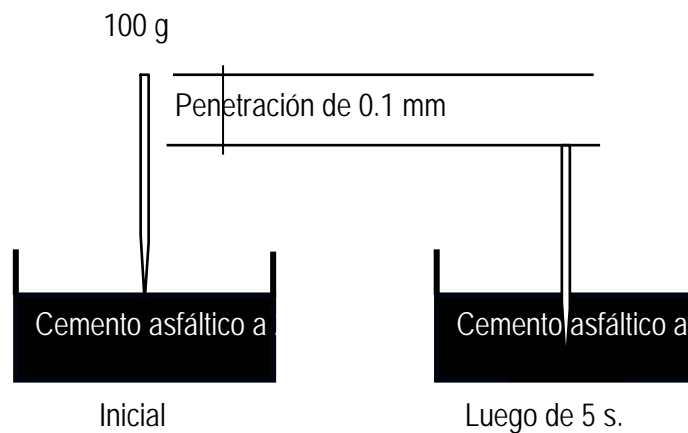


Figura 4.6: Esquema del Ensayo de Penetración

La figura 4.7 muestra uno de los mayores problemas de clasificar el asfalto por penetración, como se muestra se pueden tener tres tipos de asfalto de diferentes fuentes con la misma clasificación por penetración (25°C), pero con diferentes propiedades a temperaturas diferentes.

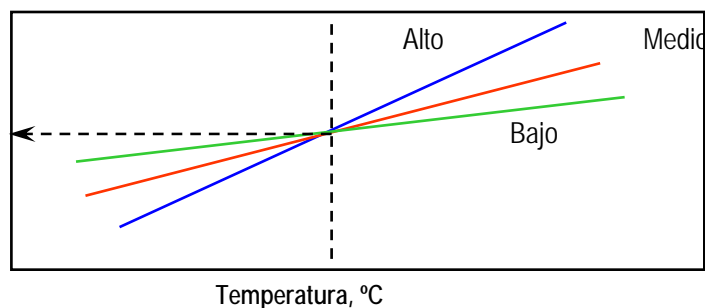


Figura 4.7: Comportamiento de asfaltos de diferentes fuentes, clasificados con el mismo grado de penetración

Las normas EG-2000 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones recomienda cementos asfálticos clasificados por penetración según la temperatura media anual.

Temperatura Media Anual			
24°C ó (+)	24°-15°C	15°-5°C	(-) de 5°C
PEN 40-50 60-70 modificado	PEN 60-70	PEN 85-100 120-150	Asfalto Modificado

Ensayo de Viscosidad

El sistema de gradación por viscosidad se basó en los ensayos de viscosidad del ligante. La viscosidad es una medida fundamental del flujo, que proporciona información acerca del comportamiento viscoso a mayores temperaturas. Las temperaturas de ensayo son de 60°C y 135°C. Sin embargo, este ensayo no es adecuado para controlar el comportamiento mecánico del ligante no newtonianos (y viscoelásticos), requiriendo de ensayos adicionales al de la viscosidad.

Las especificaciones generalmente se refieren a la viscosidad del asfalto a dos temperaturas diferentes, 60°C (viscosidad absoluta) y 135°C (viscosidad cinemática). La primera es para clasificar el cemento asfalto y representa la viscosidad del cemento asfáltico a la temperatura más alta de servicio; la segunda corresponde aproximadamente a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y colocación.

La *viscosidad absoluta* mide el tiempo que requiere el asfalto para fluir a través de un tubo capilar calibrado a 60°C, como el asfalto a esa temperatura es muy rígido, se requiere someter al vacío a la muestra para que el asfalto se mueva a través del tubo en un tiempo razonable. Figura 4.8.

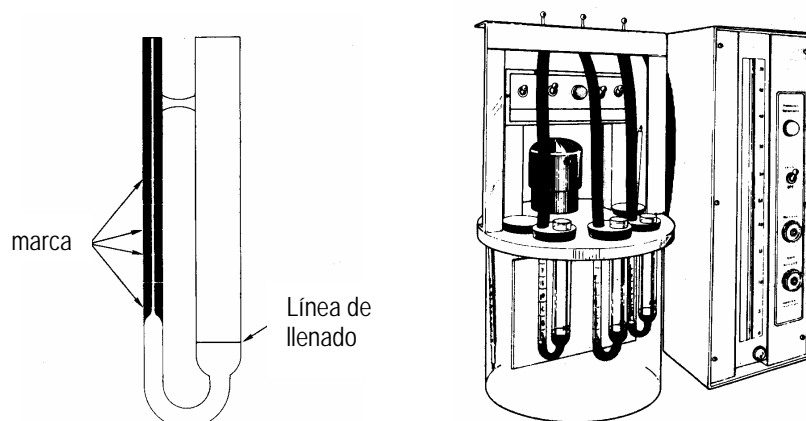


Figura 4.8:
Viscosidad Absoluta

La *viscosidad cinemática* se ensaya a 135°C y mide el tiempo requerido para que un volumen fijo de líquido fluya, por capilaridad, a través de un viscosímetro, a esa temperatura solo se requiere de la gravedad para que el asfalto fluya. Figura 4.9.

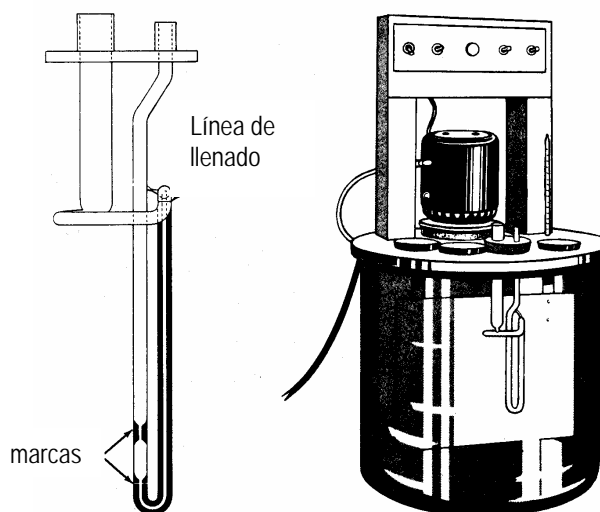


Figura 4.9: Viscosidad Cinemática

4.6.2 Ensayos del asfalto según metodología Superpave

Entre los años 80 y 90 la *Pacific Coast User Producer Conference* adoptó un nuevo sistema de especificación propuesto por J. Goodrich y R. Reese², llamado *Especificaciones de Asfalto basado en su Performance* (PBA) que intentó incluir las variaciones regionales de climas y el envejecimiento o deterioro del asfalto durante su vida de servicio.

Las especificaciones del ligante Superpave consisten en someter a las muestras a ensayos que representen las tres etapas críticas durante la vida del ligante.

Los ensayos realizados en el ligante original representan la **primera etapa** crítica de la vida del ligante que corresponde al transporte, almacenamiento y manipuleo.

La **segunda etapa** representa el asfalto durante la producción de las mezclas y construcción y es simulado por un proceso de envejecimiento en el *Horno Rotatorio de Película Delgada*. Este procedimiento expone la película delgada del ligante a calentamiento y aire aproximándolo al envejecimiento del asfalto durante la mezcla y construcción.

² *The Future of Performance-Related Binder Specifications*. L. Zanzotto y otros. 2000.

La **tercera etapa** ocurre cuando el ligante se envejece durante la operación o vida de servicio. Esta etapa se simula con el ensayo de *Envejecimiento en la Cámara de Presión Vessel*. Este procedimiento expone la muestra de ligante a calentamiento y presión para simular el envejecimiento durante la vida de servicio.

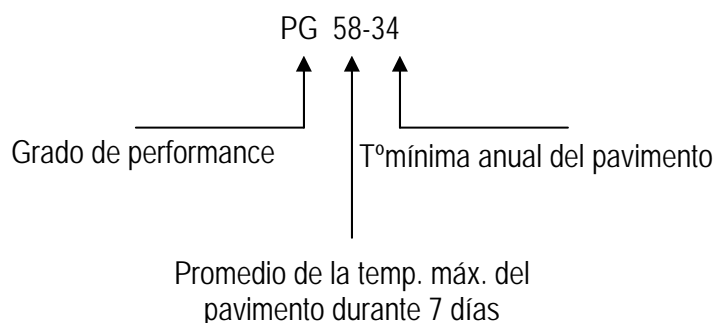
Las especificaciones del ligante Superpave y los métodos de ensayo usados para caracterizar el asfalto están siendo actualmente evaluados por la AASHTO y ASTM. En este texto se incorporan los últimos procedimientos y especificaciones, sin embargo, estos pueden ser modificados.

Los ensayos Superpave miden las propiedades físicas que se pueden relacionar directamente con el comportamiento en campo por principios ingenieriles. Los ensayos se realizan a la temperatura de servicio del pavimento. La Figura 4.10 describe como cada ensayo está relacionado al comportamiento del ligante en campo.

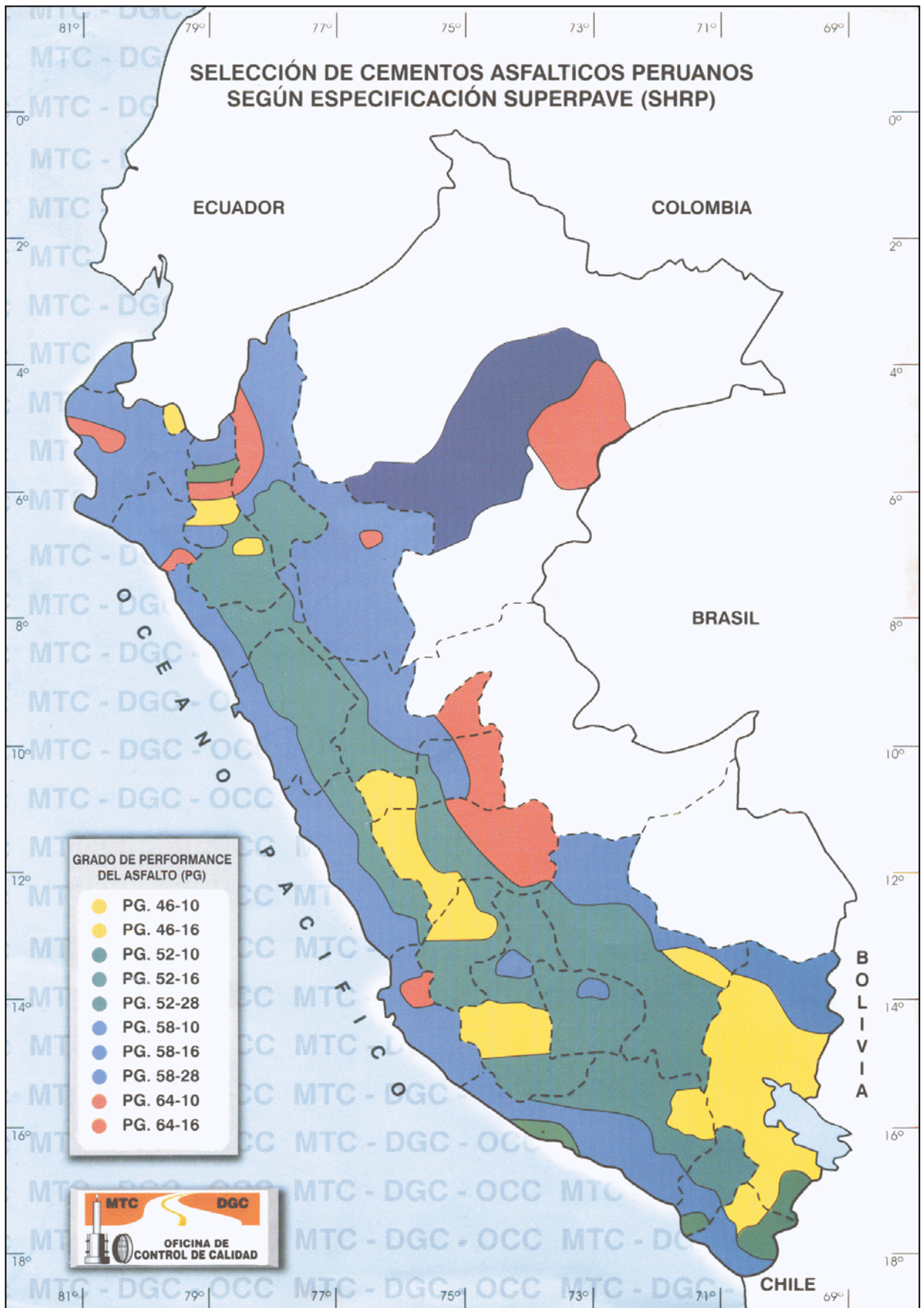
Grado de Performance

A diferencia de las especificaciones anteriores, la especificación del ligante Superpave se basa directamente en las propiedades físicas básicas del ligante y su comportamiento observado. El grado de comportamiento del ligante o *performance graded* (PG) se selecciona basado en las temperaturas extremas de servicio del ligante.

La diferencia entre los diferentes tipos de PG o grados del ligante vienen a ser las temperaturas mínima y máxima de servicio. Por ejemplo, un ligante clasificado como PG 58-34 se le evaluará físicamente a 58°C y -34°C.



El Ministerio de Transportes y Comunicaciones dividió el Perú en regiones según Especificaciones SHRP.



Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Perú

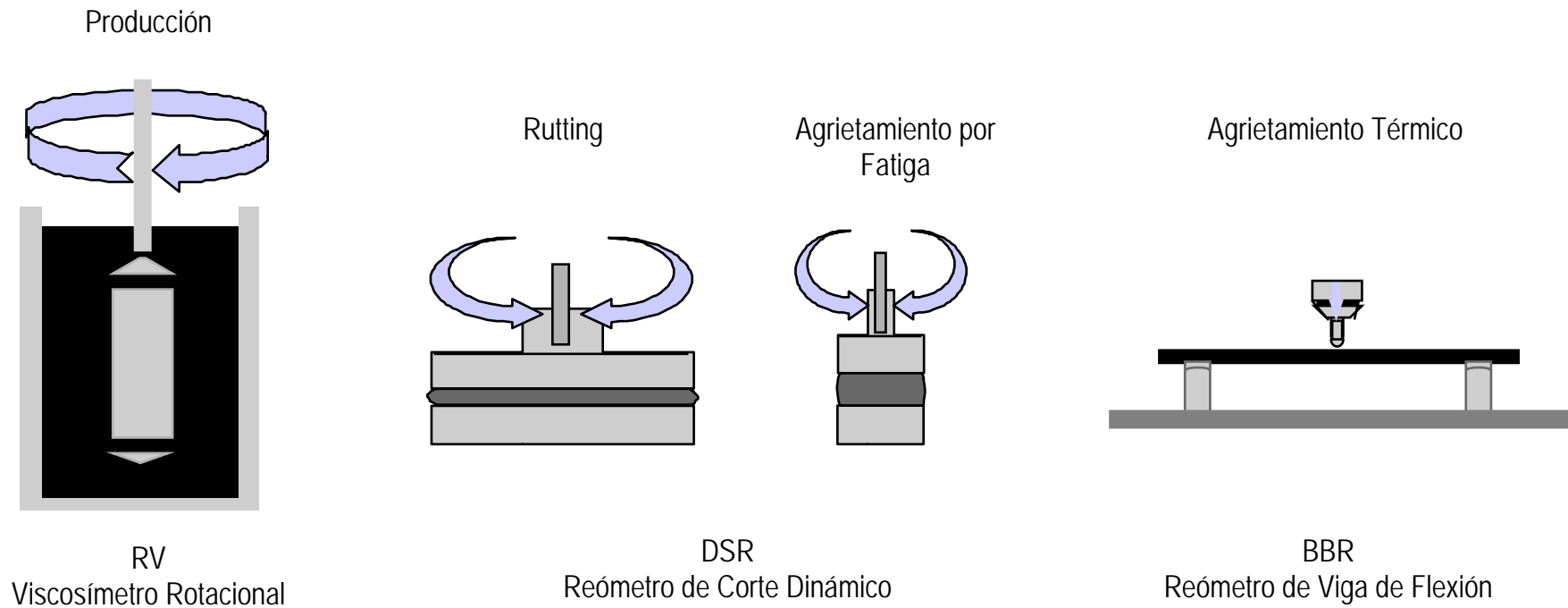


Figura 4.10: Ensayos del Ligante Superpave relacionados con su comportamiento en Campo

Envejecimiento del Asfalto

Ensayo de Película Fina en Horno Rotatorio, RTFO AASHTO T240 ó ASTM D 2872

El ensayo de Película Fina en Horno Rotatorio, RTFO simula el envejecimiento corto del ligante, producido durante el transporte, manipuleo y producción. En la prueba, el ligante en forma de película fina es sometido a calentamiento y un flujo de aire.

El procedimiento de ensayo requiere de un horno eléctrico con base circular giratoria (Foto 4.4). La base circular sujeta envases de muestra que rotan alrededor de su centro. Se aplicará flujo de aire dentro de cada envase de muestra con una boquilla ubicada en la parte inferior de la base rotatoria. El horno RTFO debe ser precalentado a la temperatura de envejecimiento de 163°C, por un período mínimo de 16 horas antes de ser usado.

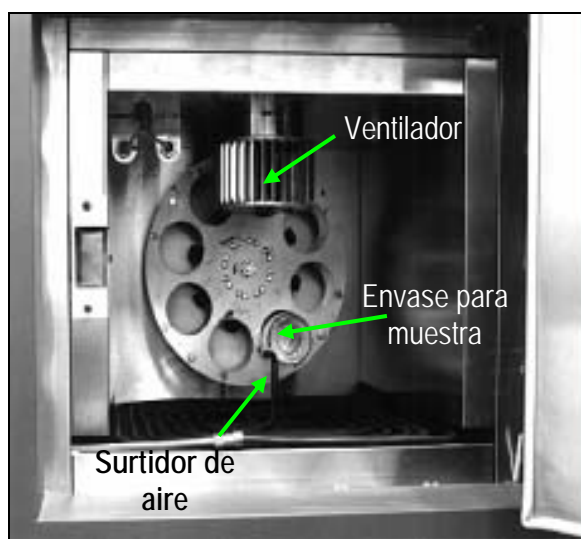


Foto 4.4 Ensayo de Película Fina en Horno Rotatorio

Presión de Envejecimiento Vessel, PAV. AASHTO PP1

El ensayo de Presión Vessel, PAV simula el envejecimiento largo del ligante, para un período de servicio entre 7 a 10 años. Como el ligante es sometido a un envejecimiento largo (durante vida de servicio) debe haber sufrido envejecimiento corto (durante la mezcla y construcción), por lo que la muestra que se envejece en el PAV será aquella que fue previamente envejecida en el RTFO.

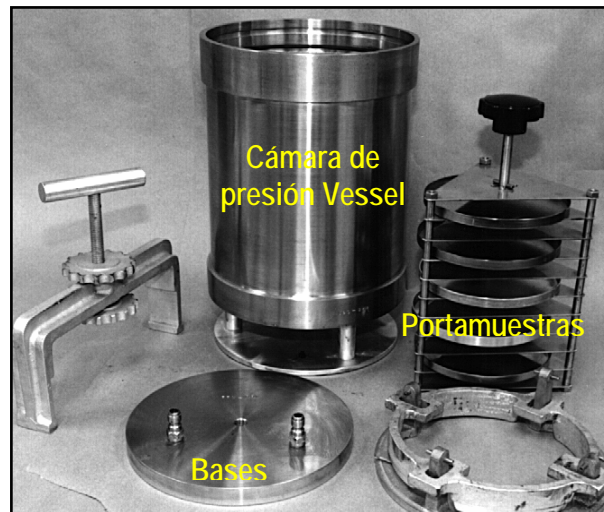


Foto 4.5: Equipo para ensayo de Presión de Envejecimiento Vessel

El envejecimiento se realiza a diferentes temperaturas dependiendo del clima de diseño. Cuando la temperatura del Vessel está dentro de 2°C de la temperatura requerida, se aplica la presión. Luego de 20 horas, la presión se disminuye paulatinamente y el portamuestras se retira del PAV y guardan cuidadosamente.

Ensayos Reológicos

Viscosímetro Rotacional, RV. ASTM D4402

El ensayo en el viscosímetro rotacional o de Brookfield es usado para determinar las características de flujo del ligante asfáltico asegurando que puede ser bombeado y manipulado para la mezcla en caliente. Como se muestra en la Foto 4.6, el viscosímetro rotacional está compuesto por un contenedor térmico, un controlador de temperatura, eje de extensión, llaves de control y lector digital. El viscosímetro automáticamente calcula la viscosidad a la temperatura de ensayo.

Reómetro de Corte Dinámico, DSR. AASHTO TP5

El Reómetro de Corte Dinámico, DSR determina el comportamiento elástico-viscoso del ligante a través del Módulo de Corte Complejo, G^* y el ángulo de fase, δ para temperaturas altas e intermedias.

El ensayo consiste en colocar la muestra de asfalto entre dos platos paralelos, uno que es fijo y el otro oscilante. Todos los ensayos en ligante Superpave se hacen a una frecuencia de 10 rad/s que es aproximadamente igual a 1.59 Hz (ciclos por segundo).

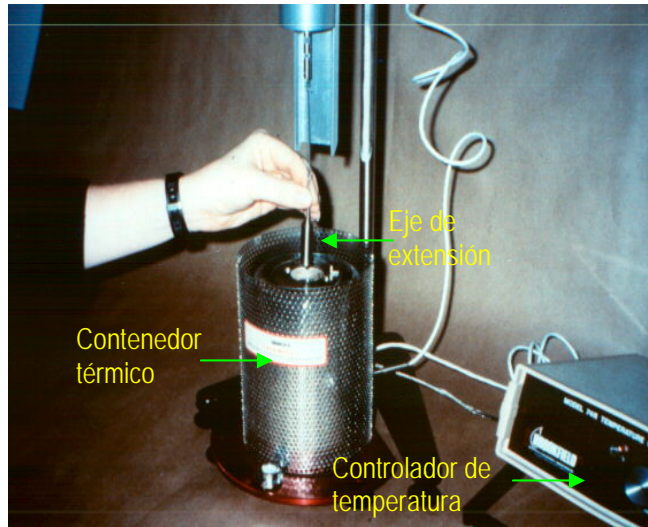


Foto 4.6: Viscosímetro Rotacional

El Módulo de Corte Complejo, G^* es la resistencia del material a deformarse cuando se expone a pulsos repetidos de esfuerzos cortante, tiene 02 componentes: elástico (recuperable) y viscoso (no recuperable). A temperaturas altas, el asfalto se comporta como un líquido viscoso, sin capacidad de recuperación con $\delta = 90^\circ$ (componente solamente viscoso) en la Figura 4.11.

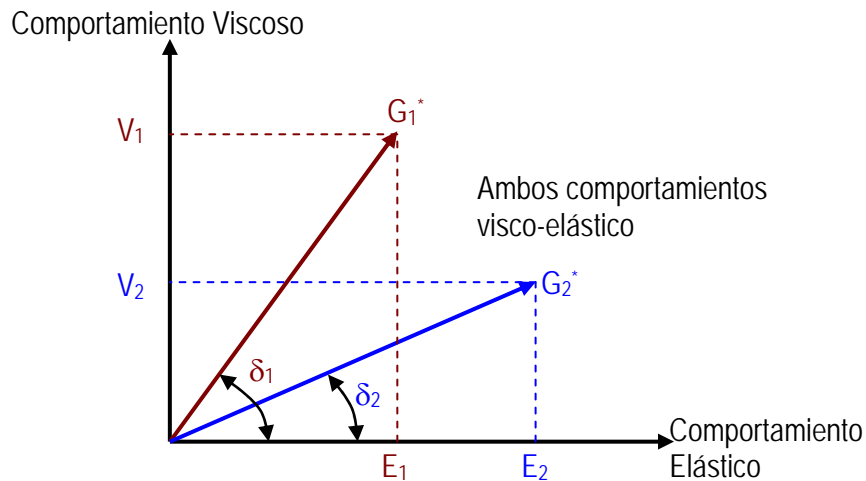


Figura 4.11: Comportamiento Visco-elástico

A bajas temperaturas, el asfalto se comporta como un sólido elástico. Esta condición se representa en el eje horizontal (solamente componente elástica) en la figura 4.11. En este caso, $\delta = 0^\circ$.

Bajo temperaturas normales de pavimento y cargas de tráfico, el asfalto actúa con características de sólido elástico y líquido viscoso. En la Figura 4.11 G_1^* y G_2^* representan los módulos complejos de los asfaltos 1 y 2. El asfalto 2 es más elástico que el asfalto 1, porque su δ es menor.

Reómetro de Viga de Flexión, BBR. AASHTO TP1

El Reómetro de Viga de Flexión, BBR determina la propiedad del ligante a bajas temperaturas. El BBR se usa para medir cómo el ligante se deflecta o fluye bajo carga y temperatura constante. Las temperaturas de ensayo en el BBR se relacionan a las temperaturas de servicio mínimas del pavimento, cuando el asfalto actúa mas como un sólido elástico. De esa manera, el ensayo se realiza sobre ligante doblemente envejecido en RTFO y PAV.

Sobre una viga de asfalto se aplica manualmente una carga y se mide la deflexión con el transductor de deformaciones, Figura 4.12. Durante el ensayo se grafica la carga y deflexión versus el tiempo. Luego de 240 segundos, la carga de ensayo es automáticamente retirada y el software del reómetro calcula la rigidez al flujo y razón de flujo.

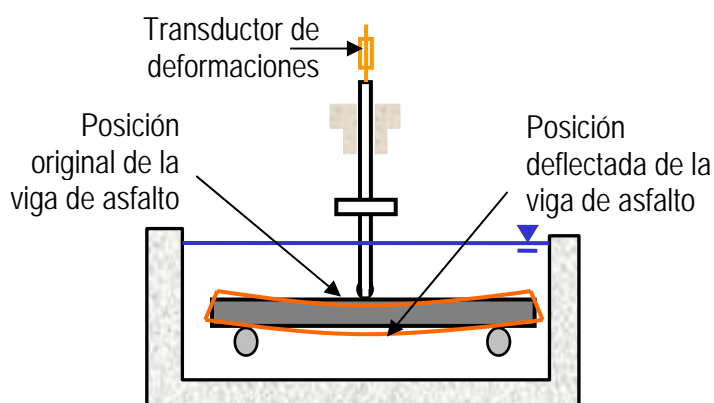


Figura 4.12: Ensayo de Viga de Flexión, BBR

Superpave especifica que la rigidez del ligante sea menor a 300 MPa. En caso de que la rigidez se ubique entre 300 y 600 MPa, comportamiento poco dúctil del ligante a baja temperatura, deberá realizarse el ensayo de Tensión Directa, DTT a la temperatura mínima incrementado en 10°C con el ligante envejecido, PAV.

Ensayo de Tensión Directa, DTT. AASHTO TP3

El equipo que mide la cantidad de deformación del ligante antes de la falla a temperaturas muy bajas es el ensayo de tensión directa, DTT. El ensayo se realiza a un rango de

temperatura entre -0°C a -36°C. El ligante debe ser doblemente envejecido por RTFO y PAV.

El ensayo DTT consiste en jalar un espécimen de asfalto hasta que falle. La elongación a la que falla, se usa para calcular la deformación de falla, que es un índice que despeja la duda de cómo se comportaría el ligante (frágil o dúctil) a bajas temperaturas de ensayo. La Fig. 4.13 ilustra el procedimiento de ensayo.

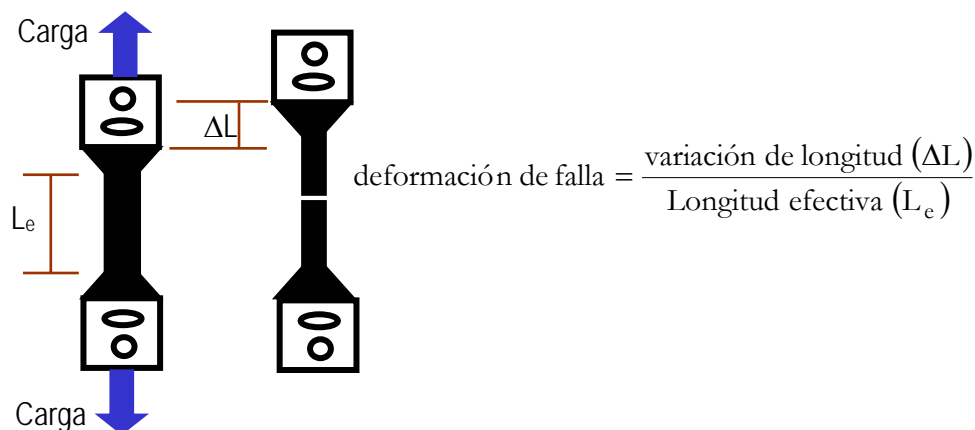


Figura 4.13: Ensayo de Tensión Directa, DTT

4.7 Asfaltos diluidos y Emulsiones Asfálticas

El uso de emulsiones asfálticas se ha ido incrementando por una serie de razones, entre ellas por salud, seguridad, medio ambiente, costos y técnicas. La emulsión asfáltica consiste de tres ingredientes básicos: asfalto, agua y agente emulsivo.

Mezclar agua y asfalto es una tarea tan similar a la del mecánico que intenta lavar, solo con agua, sus manos engrasadas. Sólo con detergente o con un agente jabonoso la grasa puede ser exitosamente removida. Las partículas de jabón rodean los glóbulos de grasa, rompen la tensión superficial que los mantiene unidos, y permiten que sean eliminados³.

Análogamente el agente emulsivo rompe la tensión superficial del asfalto separándolo en diminutos glóbulos dispersos en un medio acuoso. Cuando el asfalto *rompa*, las moléculas de asfalto dispersas se volverán a reunir. Al *curar* el agua se evapora y el residuo asfáltico conserva toda la capacidad adhesiva, y resistencia al agua propia del cemento asfáltico con el cual fue elaborado.

Las emulsiones asfálticas pueden clasificarse en aniónicas y catiónicas, que se refieren a las cargas eléctricas que rodean las partículas de asfalto.

³ Emulsiones asfálticas, MS-19, Asphalt Institute.

La segunda clasificación de las emulsiones se basa en la velocidad con que las gotas de asfalto coalescen, esto es, se juntan restaurando el volumen de cemento asfáltico.

4.8 Asfaltos Modificados

Como material viscoelástico, el asfalto tiene una gran importancia en la determinación de muchos aspectos del comportamiento de la carretera. Por ejemplo, una mezcla bituminosa necesita ser lo suficientemente flexible a temperaturas bajas de servicio, para prevenir los agrietamientos térmicos, y lo suficientemente resistente para soportar las deformaciones permanentes. Esas propiedades son necesarias para que el pavimento sea capaz de soportar el crecimiento de tráfico con variaciones climáticas. Lamentablemente las mezclas bituminosas con asfalto convencional, no siempre tienen el comportamiento deseado. Para tal sentido se han desarrollado algunos modificadores.

Los polímeros se clasifican de innumerables maneras, de acuerdo con la necesidad; sin embargo, la clasificación más usada es:

- a) *Termorígidos*, son aquellos que por acción del calor se endurecen de forma irreversible
- b) *Termoplásticos*, son aquellos que por acción del calor se ablanda de forma reversible, endureciéndose cuando se enfrían. Ejemplo: EVA, polietileno, etc.
- c) *Elastómeros*, son aquellos que cuando calentados se descomponen antes de ablandarse y presentan propiedades elásticas que recuerdan al caucho.
- d) *Elastómero-termoplástico*, son aquellos que al ser calentados se comportan como termoplásticos, y a temperatura bajas presentan propiedades elásticas, como por ejemplo el SBS.

Asfaltos Modificados con SBS

El principal propósito de utilizar modificadores de caucho en mezclas asfálticas en caliente es incrementar la rigidez de la mezcla a altas temperaturas, volverlo más elástico y resistente al agrietamiento por fatiga a temperaturas intermedias de servicio y no modificar su rigidez a bajas temperaturas de servicio para resistir el agrietamiento térmico.

Los dominios poliestirénicos se funden encima de los 90°C y el dominio polibutadiénico se torna rígido próximo a -90°C, por esa razón el SBS es usado como modificador del cemento asfáltico tanto en zonas de muy alta temperatura como en zonas con muy bajas temperaturas.

En zonas donde las temperaturas son mucho más altas que el punto de ablandamiento del cemento original, cuando se presenta un flujo prácticamente viscoso, el SBS forma una malla que envuelve el ligante fluido, manteniendo alta consistencia en el sistema debido al estado sólido del dominio del estireno.

En zonas donde las temperaturas son muy bajas el cemento asfáltico tiene un comportamiento más rígido. El SBS disminuye bastante el punto de ruptura Fraass de la mezcla, confiriendo confiriéndole elasticidad a bajas temperaturas.

Con la elevación del punto de ablandamiento y al mismo tiempo la disminución del punto de ruptura Fraass del cemento asfáltico, la presencia del elastómero termoplástico SBS en el cemento asfáltico incrementa considerablemente el rango de plasticidad, lo que significa una considerable reducción de su susceptibilidad térmica, que es la cualidad mas buscada entre los modificadores del cemento asfáltico.

4.9 VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL

La viscosidad del asfalto original (no envejecido) a 25°C puede calcularse conociendo la penetración del asfalto, el modelo desarrollado por Mirza y otros (AAPT 1995) de la Universidad de Maryland⁴ es:

$$\log \eta = 10.5012 - 2.2601 \log(\text{Pen}) + 0.00389 \log(\text{Pen})^2 \quad (4.1)$$

El valor de la viscosidad η se expresa en poises. Esta ecuación es aplicable a valores de penetración en un rango de 3 a 300 dmm. Sin embargo, cuando no se tenga como dato exacto la penetración del asfalto, su viscosidad puede calcularse con la ecuación propuesta por la Guía de Diseño Empírica-Mecanística AASHTO 2002:

$$\log \log \eta = A + VTS \log T_R \quad (4.2)$$

donde la viscosidad η se expresa en centipoises (cP), T_R es la temperatura en Rankine; y A y VTS son parámetros de regresión que están en función de la gradación del ligante. Los parámetros de regresión A y VTS son:

Tabla 4.1: Parámetros de Regresión A y VTS

PEN	A	VTS
40-50	10.5254	-3.5047
60-70	10.6508	-3.5537
85-100	11.8232	-3.6210
120-150	11.0897	-3.7252
200-300	11.8107	-4.0068

⁴ Appendix EE-1 de la Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. NCHRP August 2003.

La Guía AASHTO 2002 indica que *se debe tener especial cuidado cuando se usa la ecuación 4.2 a bajas temperaturas*, pues la viscosidad del ligante asfáltico se aproxima a 2.7×10^{10} Poise, por lo tanto, la viscosidad a bajas temperaturas es igual al menor valor entre el calculado por la ecuación 2 y 2.7×10^{10} Poise. La Tabla 4.2 muestra la viscosidad del ligante no envejecido para diferentes temperaturas de pavimentos y penetraciones. Otra alternativa es medir la viscosidad del asfalto a la temperatura de interés, empleando el reómetro de corte dinámico de la metodología Superpave, tal como lo propone AASHTO 2002.

Tabla 4.2: Viscosidad de Ligante No Envejecido, Mpoise

T°C	Viscosidad η del ligante no envejecido, Mpoise				
	PEN 40-50	PEN 60-70	PEN 85-100	PEN 120-150	PEN 200-300
-10	1,115,628.43	731,029.32	417,758.92	173,811.03	19,295.57
0	21,249.81	13,933.23	7,967.08	3,339.57	381.226
10	739.15	487.84	281.40	120.22	14.533
20	42.136	28.105	16.444	7.214	0.941
40	0.435	0.298	0.181	0.085	0.013
60	0.014	0.010	0.006	0.003	0.001