

---

NUEVOS CRITERIOS SOBRE ESPECIFICACIONES DE  
ASFALTOS PARA USO VIAL

---

Dr. Alfredo Pinilla

---

Serie II, nº 143

Nota.- Trabajo presentado al I Simposio sobre Pesquisas Rodoviarias, Rio de Janeiro, 16/21 de agosto de 1965. Ha sido publicado anteriormente por el Instituto de Pesquisas Rodoviarias (Conselho Nacional de Pesquisas, Brasil).

---

## INTRODUCCION

---

El comportamiento en servicio de una mezcla asfáltica está vinculado a gran número de factores que dependen del tipo de superficie de rodamiento, es decir, del sistema agregado pétreo-asfalto y para un sistema dado, de las condiciones locales de tránsito, acciones climáticas, etc., y de la durabilidad del medio ligante, es decir, del betún en sí.

Entenderemos por durabilidad del betún, la característica del mismo de conservar por largos períodos sus propiedades ligantes, impermeables y cohesivas, de modo que la permanencia de las mismas, asegure un buen comportamiento útil de la mezcla en condiciones normales de servicio (1, 2, 3).

En consecuencia, el problema de encarar el estudio de la calidad de un betún para una mezcla asfáltica debe vincularse a dos aspectos:

- 1ª) Que el betún sea adecuado a la mezcla que se proyecta o construye en lo referente a sus propiedades reológicas.
- 2ª) Que el betún conserve sus propiedades específicas durante la preparación, colocación y compactación de la mezcla y posteriormente en las condiciones de servicio.

La diversa variedad de mezclas asfálticas empleadas en la actualidad hace que el tipo de betún y sobre todo su consistencia, sea muy variable, así por ejemplo, en una mezcla tipo mastic asfáltico, se emplea un betún de penetración 20/30, en ciertas bases y carpetas de penetración 40/50 y en los concretos asfálticos convencionales 70/85 o 85/100. En otras mezclas como los macadams se emplea asfalto de penetración 150, similar a la utilizada en las mezclas Damman.

Uno de los problemas planteados al técnico del Laboratorio vial, es la selección de los ensayos y especifica-

ciones más convenientes que garanticen la durabilidad del betón en servicio.

Para una mezcla de composición definida, el betón se seleccionará entre los disponibles en el mercado y dentro de las especificaciones vigentes; para ello dicha especificación y las normas de ensayos deberán calificar un material garantizando su comportamiento en las condiciones de uso. Al establecer las especificaciones, éstas deberán reunir las siguientes condiciones básicas:

- 1a) será útil a los propósitos buscados y completa en si
- 2a) los ensayos o técnicas serán adecuados y de fácil realización
- 3a) será suficientemente amplia contemplando ciertas tolerancias

Examinando estos requisitos, diremos que el primero parecería obvio comentarlo, pero frecuentemente se observa en ciertas especificaciones la inclusión y repetición de ensayos que no tienen un propósito definido y que con frecuencia confunden o dificultan la interpretación del análisis. Por otra parte, deberán estar incluidas todas aquellas determinaciones de real importancia; pero no incluirá ensayos sin significado ni excluirá otros necesarios.

La incorporación en las especificaciones de técnicas de ensayos sencillas, permitirá obtener los valores más rápidamente, sin equipo costoso y que se encuentre disponible en la mayoría de los laboratorios. Ello no significa que se propugne el empleo de métodos o técnicas rutinarias sin un significado físico o químico claro, pero sí aquellas que permitan eliminar materiales de comportamiento anormal.

La tercera condición referente a la amplitud en la especificación, se vincula al ámbito permisible de variación de las características del material; evitando caer en una limitación exagerada en los valores que puedan alterar los procesos de elaboración, a veces dificultar las técnicas de ensayo y, en ciertos casos, aumentar los costos de producción.

Si se estudia a través del tiempo, el origen y desa-

rollo de las especificaciones y métodos de ensayo de los materiales asfálticos para uso vial, se encuentra que hace 50 años el número de ensayos propuestos era comparativamente pequeño y seguramente dicho número y tipo de ensayo bastó para el contralor en esa época. En efecto, el número de asfaltos naturales y de residuos de petróleo disponibles en esa época era reducido y el buen comportamiento de los mismos no exigió otros requisitos que los especificados entonces exigibles. La expansión de la construcción bituminosa a través de los últimos 35 años, determinó la aparición en el mercado mundial de nuevos tipos de asfaltos derivados de petróleos, cuyo comportamiento no era conocido y que caían fuera de los tradicionales de Méjico, California y Venezuela (1) (2). Ello determinó a muchos laboratorios viales a exigir nuevos ensayos, que permitieran seleccionar los asfaltos más aptos por su durabilidad. Esto dió origen a especificaciones que no sólo consideraban determinados ensayos que enumeraremos más adelante, sino a incluir requisitos vinculados al origen del asfalto referido a la base del petróleo del cual derivan sino que algunas especificaciones, como la de nuestro país (3), exigen se indique que han sido elaborados por determinado proceso de fabricación. Tal requisito fue incluido en su oportunidad ante la imposibilidad de determinar el método de elaboración por las técnicas de laboratorio corrientes y por nuestra experiencia argentina sobre el problema. En la actualidad, la mayor parte de las especificaciones vigentes en distintos países de Europa y EE. UU. y también en Sud América, Africa y Australia, comprenden una serie de ensayos, algunos tradicionales que miden o pretenden medir ciertas propiedades físicas, así como el cambio de dichas propiedades durante la elaboración de la mezcla y otras características vinculadas a la composición química, adhesión, etc. (4) (5) (6).

Dichos ensayos podrían ser agrupados así:

a) Ensayos físicos.

Penetración (a varias temperaturas y tiempos)  
Punto de ablandamiento (según distintas técnicas)  
Viscosidad (a varias temperaturas)  
Ductilidad (a varias temperaturas y velocidades)  
Punto de rotura (Fraas y otros)

Ensayos reológicos

Peso específico

- b) Ensayos de permanencia de las propiedades después de calentamiento.

Pérdida por calentamiento (ASTM D 6-39)

Pérdida por calentamiento en película delgada (Bureau of Public Roads)

Ensayos de envejecimiento en microfilm

Características mecánicas luego del calentamiento (penetración, ductilidad, viscosidad, punto de ablandamiento)

- c) Ensayos de caracterización de la susceptibilidad térmica.

Índice de penetración (Pfeiffer)

Relación de penetración (a diferentes temperaturas y tiempos)

- d) Ensayos químicos

Solubilidad en tetracloruro de carbono

Solubilidad en sulfuro de carbono

Solubilidad en otros solventes

Asfaltenos

Cenizas

Ensayo de Oliensis

Equivalente heptano-xileno

Contenido de agua

Parafina

- e) Otros ensayos.

Punto de inflamación

Tendencia a formar espuma

El examen del número total de ensayos que se incluyen en el cuadro da una idea de la gran cantidad y diversidad de los mismos. Sin embargo, solamente un número determinado de ellos aparecen en la mayoría de las especificaciones (7) (8) (9).

Dentro de los ensayos físicos (medidas de consistencia y de propiedades mecánicas) en general, el ensayo de per-

netración aparece en todas las especificaciones europeas y norteamericanas así como también en las de Sud América (Venezuela - Perú, Brasil, Uruguay, Chile, Argentina); en cambio otro ensayo de gran uso como el de punto de ablandamiento, es incluido en gran número de especificaciones, pero no se incluye en otras como en Canadá, Rusia y Venezuela.

La ductilidad y el punto de rotura Fraas, aparecen en especificaciones de gran número de estados, sobre todo el primero, pero no se incluyen en la especificación de Holanda (10) ni en la de Nueva Zelandia; pero el segundo o ensayo de Fraas sólo es exigido en ciertos países.

En la misma forma podría ser comentada la inclusión de los ensayos de pérdida por calentamiento (ASTM D 6-39 T) que se encuentra en gran número de especificaciones; en tanto que la modificación del Bureau of Public Roads (11, 12) ahora incluida como norma AASHTO tentativa y ASTM D 1754-63 T sólo se indica en limitado número de países. Este ensayo permite medir el grado de alteración experimentado por el betún durante el mezclado en usina (16, 17).

Los ensayos de susceptibilidad como el índice de penetración o las relaciones de penetración, solamente han sido incluidos en ciertos países y en general tienen poca difusión, aunque han sido considerados en Brasil y Argentina (3).

A su vez, de los ensayos químicos el más difundido en las especificaciones, es el de solubilidad en sulfuro de carbono, siguiéndole en orden de importancia el de solubilidad en tetracloruro de carbono y el de contenido de parafina.

El ensayo de heterogeneidad de la mancha de Oliensis (14) y el de heptano-xileno se encuentran en un número limitado de especificaciones, pese a su importancia. En EE.UU. las especificaciones Federales, las de los estados de New York, New Jersey y del Cuerpo de Ingenieros los incluyen como una exigencia en las mismas (13). A su vez, ensayos de reducida significación en lo referente a calidad, como el punto de inflamación, se encuentran incluidos en un número apreciable de especificaciones (15).

Si se estudia el origen de las especificaciones vigentes en muchos países, se encuentra que gran número de ellas han sido transcritas de la ASTM no sólo por la autoridad técnica de ese Instituto sino por la vasta difusión dada a sus técnicas y métodos. Así se explica la difusión de los ensayos de penetración y punto de ablandamiento (anillo y esfera) en las especificaciones y en la comercialización de los productos. Estos ensayos tuvieron su origen cuando la técnica de los laboratorios era aún precaria e incipiente.

La necesidad de estudiar y rever las especificaciones vigentes sobre asfaltos en EE.UU. en los últimos años determinó la formación de comisiones especiales que por iniciativa del Highway Research Board y con la colaboración del Asphalt Institute, AASHO, U.S. Bureau of Public Roads y otras organizaciones, se abocaron al estudio de este tema. Como consecuencia de esos estudios, Griffith (31) recientemente ha destacado la importancia de la necesidad de una especificación racional para los asfaltos, proponiendo una como tentativa, que será comentada más adelante. Opiniones similares se encuentran en publicaciones de Europa, aparecidas en los últimos años ya sea en Holanda, como en Alemania y Francia.

El objeto de este estudio, es informar sobre las nuevas tendencias y criterios en la preparación de normas y especificaciones de materiales asfálticos empleados en la preparación de mezclas en caliente. Mediante el estudio de los factores que afectan el comportamiento del betón durante su mezcla en usina y en el camino, con criterio racional y con base científica, se propenderá a lograr materiales que brinden estructuras de adecuadas condiciones de fluencia y de durabilidad.

Las presentes recomendaciones se encuentran en estudio adelantado en el LEMIT y los resultados de las mismas, que en parte se adelantan en este trabajo, servirán de base para la preparación de las futuras normas y especificaciones.

---

RELACION ENTRE LAS ESPECIFICACIONES DE MATERIALES ASFÁLTICOS Y SU COMPORTAMIENTO EN CONDICIONES DE SERVICIO Y PREPARACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

---

Si consideramos que la función primordial del betún en las mezclas asfálticas es actuar como ligante impermeable que cementa los agregados pétreos, las propiedades de ese adhesivo estarán relacionadas con sus propiedades físico-mecánicas que regulan su comportamiento bajo esfuerzos. Las condiciones básicas a estudiar en el caso de un betún asfáltico que se emplea en una mezcla asfáltica, han sido enunciadas por Lee and Nicholas (18) y se refieren a tres aspectos del problema:

- 1a) Características reológicas
- 2a) Durabilidad en las condiciones de servicio
- 3a) Adhesión en presencia de agua

Es evidente que los tres factores tienen notable influencia en la vida útil de la estructura, pero si consideramos que el fenómeno de la adherencia en presencia de agua está fundamentalmente gobernado por la naturaleza del agregado pétreo, aunque la consistencia del ligante influya en ciertos casos en el fenómeno (19, 20), es evidente que los factores más importantes a considerar se refieren al comportamiento mecánico y a la durabilidad.

Pasaremos ahora a examinar las propiedades reológicas y su relación con las especificaciones y más adelante, las relacionaremos con la durabilidad.

#### CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS

Los betunes asfálticos derivados del petróleo se consideran como cuerpos visco-elásticos, es decir, materiales cuyo comportamiento varía desde el sólido elástico al líquido viscoso, de acuerdo al tiempo de aplicación del esfuerzo y a las condiciones en que el mismo se aplica en lo referente a temperatura.

A bajas temperaturas, 0°C o menores, y reducidos

tiempos de aplicación del esfuerzo, los betunes de pavimentación se asemejan a un sólido elástico; a altas temperaturas (50-60°C) y grandes tiempos de aplicación de la carga, se asemejan a un líquido viscoso newtoniano. Las condiciones normales de servicio caen en una zona intermedia y entonces, el comportamiento es más complejo y existen efectos superpuestos del comportamiento elástico y del viscoso.

La vinculación de esfuerzo a deformación en estos materiales, ha sido estudiada por van der Poel (21) (22) y esos estudios, han permitido la definición de un módulo de rigidez (Stiffness) que vendría a ser un módulo de Young generalizado, para el caso de los betunes asfálticos, es decir, la relación esfuerzo-deformación.

El módulo de rigidez aplicado a betunes es independiente de la magnitud del esfuerzo, pero a diferencia de otros módulos varía con la temperatura y con el tiempo de aplicación de la carga. Si el betún se encuentra en el campo elástico, se cumplirá la relación:

$$(1) S = E \text{ (a bajas temperaturas)}$$

donde S es el módulo de rigidez (Stiffness)

E es el módulo de elasticidad

se observa que S es independiente del tiempo de aplicación del esfuerzo. Al aumentar la temperatura y si el material bituminoso escurre como un líquido newtoniano, se cumplirá la relación:

$$(2) S = \frac{3 \eta}{t} \text{ ( a altas temperaturas)}$$

en la cual:

$\eta$  es la viscosidad del material a la temperatura considerada

t es el tiempo de aplicación del esfuerzo

se observará pues, que en un gráfico  $\log S - \log t$ , a cada temperatura le corresponderá una curva distinta; en la región elástica (baja temperatura, reducido tiempo de aplicación del esfuerzo) se tendrá una recta paralela a las abscisas; en el campo viscoso, una recta con una inclinación de 45°.

La medida de S se puede determinar por dos tipos de aparatos; en el campo viscoso se emplea el microviscosímetro, desarrollado por Griffin y colaboradores (23) (24) u otros, En el campo elástico, por medio del microelastómetro, desarrollado por Labout (25) y por otros métodos similares. En este aparato, que opera con pequeñas cantidades de muestra y reducidos tiempos de aplicación de la carga; la máxima amplitud de la vibración ocurre a la frecuencia de resonancia; el módulo de rigidez será:

$$(3) S = \frac{N^2}{c} \quad (\text{a temperatura constante})$$

donde  $N$ : es la frecuencia de resonancia

$c$ : es la constante del aparato

Un ábaco desarrollado por van der Poel en base a numerosos ensayos experimentales, permite calcular en base a la penetración y el punto de ablandamiento para una temperatura dada y un tiempo determinado el valor S y también la viscosidad.

Desde el punto de vista práctico y considerando el comportamiento mecánico en servicio, dos son los aspectos que interesan en un asfalto para caminos: que tenga una reducida o escasa deformabilidad y que no quiebre o fracture a baja temperatura. A su vez, como muchos otros materiales, las mezclas asfálticas sufren efectos de fatiga. Esta última estaría relacionada con la composición de la mezcla y también con la rigidez del betún en las condiciones de temperatura y tiempo de aplicación del esfuerzo (26).

A su vez, desde el punto de vista de la preparación de la mezcla, colocación y compactación en obra, así como de su riego (en los casos que se aplica en esta forma), el betún asfáltico deberá tener consistencia adecuada que permita la realización normal de las operaciones enunciadas. En resumen, las propiedades reológicas del betún interesan en las siguientes condiciones:

- a) Durante el mezclado en usina
- b) Durante el riego
- c) Durante la compactación
- d) Durante las condiciones de servicio

Características reológicas durante la mezcla o riego y la compactación

Consideremos primeramente la viscosidad o consistencia del material en las condiciones de mezclado en usina. Según recomendaciones del Instituto del Asfalto (27) la viscosidad óptima en la mezcla sería de 75 a 150 segundos Saybolt Furol y las temperaturas óptimas del betún serían aquellas a las cuales les correspondieran esas viscosidades. Similares consideraciones hace la norma canadiense, pero otras normas como la británica (28) u otros autores como Abrahams (29), no mencionan viscosidades, sino intervalos de temperatura. Para Dormon y Krom dicho valor de viscosidad óptimo sería de 200 C Stokes.

Es evidente que el betún en el mezclador debe estar lo suficientemente flúido como para que la mezcla se realice correctamente y además que la temperatura alcanzada, no altere en forma sensible las características del asfalto. A su vez la mezcla será correcta y estará a una temperatura que permita su traslado a la obra, sin que se produzca drenado o segregación del agregado pétreo.

Es evidente que no puede existir una temperatura fija de mezclado en usina, sino un intervalo de viscosidades, lo cual deriva del hecho de que todos los betunes tienen distinta susceptibilidad térmica y que betunes de igual penetración, tienen distinta consistencia a altas temperaturas.

A continuación, damos los valores de variación de la viscosidad de tres asfaltos entre las temperaturas de 130 y 160°C, para materiales de penetración 75 a 25°C, ensayados en el LEMIT:

CUADRO N° 1

Temperatura °C	Viscosidad cinemática,		Stokes
	Asfalto GB	Asfalto CR	Asfalto V
130	5,7	14,0	6,2
140	3,4	7,6	3,9
150	2,3	5,2	2,7
160	1,5	3,4	1,7

La medida de S se puede determinar por dos tipos de aparatos; en el campo viscoso se emplea el microviscosímetro, desarrollado por Griffin y colaboradores (23) (24) u otros, En el campo elástico, por medio del microelastómetro, desarrollado por Labout (25) y por otros métodos similares. En este aparato, que opera con pequeñas cantidades de muestra y reducidos tiempos de aplicación de la carga; la máxima amplitud de la vibración ocurre a la frecuencia de resonancia; el módulo de rigidez será:

$$(3) S = \frac{\nu^2}{c} \quad (\text{a temperatura constante})$$

donde  $\nu$ : es la frecuencia de resonancia

$c$ : es la constante del aparato

Un ábaco desarrollado por van der Poel en base a numerosos ensayos experimentales, permite calcular en base a la penetración y el punto de ablandamiento para una temperatura dada y un tiempo determinado el valor S y también la viscosidad.

Desde el punto de vista práctico y considerando el comportamiento mecánico en servicio, dos son los aspectos que interesan en un asfalto para caminos: que tenga una reducida o escasa deformabilidad y que no quiebre o fracture a baja temperatura. A su vez, como muchos otros materiales, las mezclas asfálticas sufren efectos de fatiga. Esta última estaría relacionada con la composición de la mezcla y también con la rigidez del betún en las condiciones de temperatura y tiempo de aplicación del esfuerzo (26).

A su vez, desde el punto de vista de la preparación de la mezcla, colocación y compactación en obra, así como de su riego (en los casos que se aplica en esta forma), el betún asfáltico deberá tener consistencia adecuada que permita la realización normal de las operaciones enunciadas. En resumen, las propiedades reológicas del betún interesan en las siguientes condiciones:

- a) Durante el mezclado en usina \*
- b) Durante el riego
- c) Durante la compactación
- d) Durante las condiciones de servicio

Características reológicas durante la mezcla o riego y la compactación

Consideremos primeramente la viscosidad o consistencia del material en las condiciones de mezclado en usina. Según recomendaciones del Instituto del Asfalto (27) la viscosidad óptima en la mezcla sería de 75 a 150 segundos Saybolt Furol y las temperaturas óptimas del betún serían aquellas a las cuales les correspondieran esas viscosidades. Similares consideraciones hace la norma canadiense, pero otras normas como la británica (28) u otros autores como Abrahams (29), no mencionan viscosidades, sino intervalos de temperatura. Para Dormon y Krom dicho valor de viscosidad óptimo sería de 200 C Stokes.

Es evidente que el betún en el mezclador debe estar lo suficientemente flúido como para que la mezcla se realice correctamente y además que la temperatura alcanzada, no altere en forma sensible las características del asfalto. A su vez la mezcla será correcta y estará a una temperatura que permita su traslado a la obra, sin que se produzca drenado o segregación del agregado pétreo.

Es evidente que no puede existir una temperatura fija de mezclado en usina, sino un intervalo de viscosidades, lo cual deriva del hecho de que todos los betunes tienen distinta susceptibilidad térmica y que betunes de igual penetración, tienen distinta consistencia a altas temperaturas.

A continuación, damos los valores de variación de la viscosidad de tres asfaltos entre las temperaturas de 130 y 160°C, para materiales de penetración 75 a 25°C, ensayados en el LEMIT:

CUADRO N° 1

Temperatura °C	Viscosidad cinemática,		Stokes
	Asfalto CB	Asfalto CR	Asfalto V
130	5,7	14,0	6,2
140	3,4	7,6	3,9
150	2,3	5,2	2,7
160	1,5	3,4	1,7

Este cuadro muestra dos aspectos importantes del problema:

- 1º) que asfaltos de igual penetración a 25°C tienen muy distinta consistencia a temperaturas elevadas.
- 2º) que la fijación de una temperatura de mezclado, sólo puede hacerse si se conoce la curva de susceptibilidad térmica del material en el rango que se considera.

Lo expuesto hasta el presente, indica la necesidad de incluir en las especificaciones un valor que exprese la viscosidad del material a altas temperaturas. Este hecho ha sido considerado por el Instituto del Asfalto de EE.UU. hace algún tiempo y ha motivado la inclusión en algunas especificaciones como la del Estado de California (32) y deberá estudiarse su inclusión por ser de verdadera importancia.

Consideraciones similares son válidas si el betún se emplea en riegos, habrá que fijar una viscosidad o medida de consistencia que garantice que el material tenga la fluidez adecuada en las condiciones de trabajo.

Otro aspecto importante del problema es conocer la viscosidad que debe tener el betún en el momento de la compactación y la colocación. Si la temperatura de mezclado ha sido correcta y el material se aplica con los medios mecánicos adecuados en la distribución de la mezcla, no existen problemas relacionados con la viscosidad del betún, salvo que el pastón se haya enfriado considerablemente.

En el aspecto de la compactación el problema puede ser distinto; bajo la acción del cilindrado la densidad de la mezcla se incrementa hasta el valor deseado, acercándose al valor teórico.

Como el contenido de vacíos finales, depende en buena parte de la compactación alcanzada y los vacíos están relacionados estrechamente con la durabilidad (30), es evidente que la compactación es una operación de importancia fundamental en la futura vida útil del pavimento.

Frecuentemente los manuales o pliegos de condiciones indican temperaturas óptimas de compactación, hecho que infie-

re un error de concepto, ya que si no se conoce la susceptibilidad térmica no puede recomendarse una misma temperatura para betunes de distinto origen y proceso de elaboración, aunque tengan la misma penetración a 25°C.

Dormon y Krom estiman que la viscosidad del betún a la temperatura de compactación estará en un valor del orden de 20 000 C Stokes. En nuestros ensayos sobre betunes argentinos y extranjeros de tipo newtoniano y penetración a 25°C comprendida entre 62 y 85, las temperaturas para lograr una viscosidad de 20 000 C Stokes estaban en el límite estrecho de 78 y 88°C.

Por lo expuesto, se encuentra que siguiendo el criterio de Dormon y Krom, la temperatura de compactación es variable de un betún a otro, a pesar de tener igual penetración a 25°C. Este factor de la viscosidad será otra de las variables a considerar en el estudio de la compactación, que está regida también por varios factores, como la rugosidad superficial de las fracciones finas, que influye en las propiedades friccionales de la mezcla.

#### Características reológicas durante el servicio en el camino

Pasemos a examinar ahora los requisitos a exigir en las condiciones de servicio en el camino, en las mezclas asfálticas densas.

Si las temperaturas son bajas y la velocidad de aplicación de la carga son las que corresponden al tránsito dinámico o rápido (más de 80 km/h), el material de la mezcla sometido a estos esfuerzos puede quebrarse, rajándose o bien puede fisurarse por fatiga. A su vez, como las mezclas bituminosas al enfriarse sufren una contracción, si ésta es de cierta magnitud, dichos esfuerzos pueden provocar la rotura de las mismas. Esto es particularmente importante en zonas donde los cambios climáticos, entre el día y la noche, son muy apreciables.

A su vez, la mezcla asfáltica puede fallar por deformación plástica, ya sea, por acciones-deformantes del tránsito en aceleradas bruscas del vehículo o en paradas o frenadas en las zonas de pase de peatones o en paradas de ómnibus y a

su vez, en casos de cargas estáticas de vehículos en reposo.

Si por causas de aplicación repetida de esfuerzos se disminuyen los vacíos de la mezcla y hay aumento progresivo de la densidad de la misma, el sistema filler betún tenderá a fluir a la superficie con mayor o menor facilidad según la temperatura y se producirán mezclas de tipo graso con el grave inconveniente de una excepcional lisura que le confiere una superficie de tipo resbaladizo.

Según Dormon, el efecto acumulativo residual de gran número de cargas de pequeña duración, se puede considerar como similar en el comportamiento de la mezcla a una carga estática durante un tiempo prolongado.

Es evidente que un número considerable de técnicas se han propuesto para la medida de las propiedades mecánicas de los betunes y buena parte de ellas se encuentran en las especificaciones de distintos países. Ya hemos mencionado que gran parte de las mismas tienen un fundamento empírico y no poseen base científica; aunque otras parecen tener relación con ensayos fundamentales vinculados, por ejemplo, al módulo de rigidez de van der Poel (21). Tal es el caso del ensayo de penetración que parece tener una estrecha vinculación con la viscosidad de acuerdo a la fórmula de Saal (35); pero este autor indica que la misma es sólo aplicable a betunes newtonianos puros, lo cual limita su aplicación.

Dormon estima que los valores de penetración no pueden ser comparables con los de viscosidad, ya que en las condiciones del ensayo no se ha alcanzado el equilibrio, especialmente en betunes parafínicos. Traxler (34); numerosos autores (35) y nuestra propia experiencia (33), revelan que la penetración no es una medida de viscosidad como lo indica el cuadro siguiente, en el que se informan valores de betunes de destilación directa, del tipo usado en pavimentación.

CUADRO N° 2

Betún	Penetración a 25°C 100 g, 5 seg	Viscosidad a 25°C megapoises
Cerro Bandera (Argentina)	76	1,0
C. Rivadavia (Argentina)	75	6,2
Tía Juana (Venezuela)	75	1,8

Los valores indicados de viscosidad se han realizado a esfuerzo de corte constante en el microviscosímetro de placas paralelas. Vemos aquí evidentemente que betunes de distinta procedencia tienen consistencias similares, medidas por el ensayo de penetración a 25°C; pero viscosidades hasta seis veces mayores a la misma temperatura.

El hecho de que el ensayo de penetración no mida la consistencia real del betún ha sido demostrado en varios trabajos de Griffith, Lee y otros. Por tal razón, se debe buscar el empleo de un método, que no sólo sea sencillo sino que mida la consistencia real del material, especialmente a temperaturas similares a las que se encuentran en el camino, es decir, de 60°C aproximadamente. Esta temperatura ha sido considerada por Griffith como la más conveniente; hecho también puntualizado por Krom y en cierta forma por Meskill (36).

El problema de determinar la consistencia del betún a 60°C hizo necesaria la creación de nuevos tipos de viscosímetros capilares, llamados de vacío, desarrollados especialmente en EE.UU. buscando soluciones que significaran el empleo de un equipo sencillo. Dichas técnicas han sido incluidas en la ASTM como tentativas (métodos D 2171-63 T y D 2170-63 T) y permiten determinar la viscosidad cinemática a 135°C (C. Stokes) y la viscosidad dinámica a 60°C (Poises).

En estos métodos se determina el tiempo para que un volumen dado de líquido fluya a cierta temperatura por un capilar, por acción de una diferencia de presión que ha sido determinada con toda precisión y el cálculo de la viscosidad se realiza multiplicando dicho tiempo por la constante del aparato. El método es aplicable tanto para betunes viscosos puros como para no newtonianos y los aparatos para la determinación son sencillos de construir y económicos. Los modelos desarrollados por Cannon-Manning, Koppers y el Instituto del Asfalto son los recomendados por ASTM en los métodos mencionados a baja temperatura y el de Cannon Fenske y Zeitfuchs para altas temperaturas ya que permiten operar en intervalos entre 30 y 6 000 C. Stokes.

A continuación se dan algunos valores de la viscosidad a 60°C de betunes de igual penetración a 25°C, determinados en el LEMIT por el método ASTM 2170-63 T, que se antici-

pan sobre un trabajo actualmente en ejecución:

CUADRO N° 3

Betón	Penetración a 25°C 100 g, 5 seg	Viscosidad a 60°C, poises (a presión constante)
Venezuela I	80	2368
Venezuela II	82	1348
Venezuela III	97	1687
Argentina IV	84	3032
Argentina V	83	1280
Argentina VI	95	3800

Estos resultados muestran la importancia de determinar la viscosidad a 60°C como una medida de la consistencia real del material a altas temperaturas, que corresponden aproximadamente a las máximas de servicio en el camino.

La vinculación entre estos valores y los obtenidos con mezclas asfálticas tipo, ensayadas por métodos convencionales, están actualmente en estudio en el LEMIT y permiten extraer interesantes conclusiones al respecto.

Si las condiciones climáticas a que está sometida la mezcla son de bajas temperaturas y tiempos de aplicación de la carga del orden de  $10^{-2}$  a  $10^{-3}$  de segundo, no existen al presente ensayos que permitan determinar el módulo de rigidez a bajas temperaturas y que puedan ser usados como ensayos de rutina con suficiente sensibilidad.

Se están ensayando actualmente distintos métodos, algunos empleando el microviscosímetro a bajas y altas velocidades de corte, así como el penetrómetro a 10°C y temperaturas menores. El ensayo de Fraas también ha sido estudiado con este fin. Este es un campo para futuras investigaciones que permitan encontrar un método sencillo y suficientemente preciso para medir el módulo de rigidez en esas condiciones.

#### PERMANENCIA DE LAS PROPIEDADES DESPUES DEL CALENTAMIENTO

Ya hemos indicado que el asfalto aumenta su consistencia durante el mezclado en usina y continúa incrementando la misma después de haberse puesto en servicio. Hemos hecho re-

ferencia como ensayo de importancia en ese ámbito, el de pérdida en película delgada del Bureau of Public Roads. Este ensayo, destinado a medir cambio de consistencia, similar al experimentado en usina, está incluido en gran número de especificaciones. El mismo limita el valor de la pérdida porcentual a 163°C y también la disminución de la penetración después del calentamiento a no más de 60 % de la original o valores similares.

La experiencia muestra que medir el grado de endurecimiento del betún después de la pérdida por el ensayo de penetración, tiene el mismo error básico conceptual que esta última como medida de consistencia.

Por tal razón, se ha recomendado (31) la medida de la consistencia del betún original y del sometido a pérdida a una temperatura dada y con dichos valores calcular el índice de envejecimiento. Esta técnica consiste pues, en determinar la consistencia del betún a 60°C (pipeta), someterlo al ensayo de pérdida en película de 3 mm, 5 horas a 163°C y luego determinar su consistencia a 60°C. El cociente entre la viscosidad del material sometido a pérdida y del betún original se llamaría índice de incremento de consistencia. Además de esta técnica existe el método del microviscosímetro de Griffin y Simpson, que mide también el incremento de consistencia del betún en película delgada de 5 micrones durante 2 horas a 105°C, que fuera estudiado en un trabajo realizado en colaboración con Agnusdei (37), llamado también índice de envejecimiento de Griffin.

En general, no parece existir una completa correlación entre la retención de la penetración a 25°C después de pérdida y la relación de incremento de viscosidad entre el material original y el calentado a 163°C en película delgada.

A continuación se detallan los valores obtenidos determinando el incremento de viscosidad de muestras de asfaltos de distintas procedencias, sometidas al ensayo de pérdida en película delgada:

CUADRO N<sup>o</sup> 4

	% de retención de penetración después de pérdida, 5 horas a 163°C.	Relación entre la viscosidad después del ensayo de pérdida y la original
Asfalto 1, penet. 80	52	2,3
Asfalto 2, penet. 82	77	2,3
Asfalto 3, penet. 97	53	1,5
Asfalto 4, penet. 84	58	2,6

Los ensayos de viscosidad fueron realizados por el método de la pipeta del Instituto del Asfalto.

Los valores del cuadro anterior muestran que betunes de igual consistencia a 25°C (por el ensayo de penetración) tienen una retención diferente de penetración luego de ser sometidos al ensayo de pérdida por calentamiento, ya que ésta depende de varios factores. A su vez, asfaltos que tienen una diferente retención de penetración en este ensayo, poseen un índice de incremento de consistencia del mismo orden, es decir, que sus consistencias reales han sufrido una variación similar.

Dado sus fundamentos, la determinación del índice de incremento de consistencia brinda un valor de mayor base científica que el ensayo de penetración y por ello, debería incluirse en las técnicas a proponerse en las nuevas especificaciones.

Un aspecto a considerar para el futuro es la técnica de determinación de las viscosidades; puede optarse por el empleo del microviscosímetro operando a una temperatura adecuada (por ejemplo: 25 o 30°C) o bien realizar las determinaciones en la pipeta a 60°C. Este tema, en estos momentos, está siendo objeto de estudio en el LEMIT.

Seleccionada la técnica más conveniente, habrá que fijar los valores máximos de la relación de viscosidades, luego de un estudio experimental sobre muestras especialmente preparadas en el laboratorio y tomadas de obra.

---

## ENSAYOS COMPLEMENTARIOS

---

Dentro de estos ensayos tenemos algunos de naturaleza química, como la solubilidad en sulfuro de carbono y tetracloruro de carbono. La solubilidad en sulfuro de carbono permite determinar la presencia de materiales extraños al betún asfáltico y que son insolubles en ese solvente; es decir, materia mineral y compuestos no bituminosos. El tetracloruro de carbono permite determinar los carbenos (solubles en sulfuro de carbono e insolubles en tetracloruro de carbono) que generalmente se encuentran en cantidades muy pequeñas, del orden de 0,1 a 0,2 % en asfaltos procesados correctamente, y que pueden aumentar hasta 0,5 % o más, en materiales anormalmente calentados. Sin embargo, la evidencia de que un asfalto se ha sobrecalentado se revela mejor, a nuestro juicio, por el ensayo de la mancha de Oliensis.

Por las razones expuestas, dichas determinaciones en lo referente a su valor para estimar el contenido de materia mineral, pueden ser sustituidas por el ensayo de cenizas, de sencilla realización, según las técnicas clásicas o las de ASTM, opinión que también comparte Krom (5).

Puede admitirse aún, como alternativa, la posibilidad de incluir cualquiera de las dos determinaciones, ya que algunos autores como Griffith, estiman todavía de cierta importancia, la determinación de carbenos con tetracloruro de carbono (31).

En cuanto al ensayo de punto de inflamación en el aparato Cleveland, se recomienda mantener su inclusión por razones de seguridad y para poner en evidencia la contaminación con fracciones volátiles livianas o medianas. Algunos autores como Hveem, estimaban que en ciertos casos, el valor del punto de inflamación tenía estrecha relación con la durabilidad, hecho que no está plenamente probado.

El peso específico es un factor de moderada impor-

tancia en el juzgamiento de la calidad de un betún para uso vial, sino se juzga su valor en conjunto con otras determinaciones, entre ellas la susceptibilidad térmica y el comportamiento reológico, de modo que su inclusión estará condicionada a la naturaleza de los ensayos y los requerimientos exigibles.

En lo referente al ensayo de Oliensis, que permite revelar la homogeneidad o heterogeneidad de los betunes asfálticos y poner en evidencia el grado de alteración y cambio de la estructura coloidal por fenómenos de sobrecalentamiento o de cracking térmico, se considera de importancia incluirlo en las especificaciones. En sustitución del mismo podría emplearse el ensayo de heptano-xileno (38).

Con referencia a la ductilidad a 25°C, estimamos que dicho ensayo debe ser incluido en las especificaciones, aunque los valores obtenidos con el mismo han sido motivo de controversias (5, 38, 39, 40). En general, altos valores de la ductilidad a 25°C, corresponden a asfaltos directos de gran susceptibilidad térmica y buenas propiedades adhesivas; pero varios autores como Saal, Krom y Gotolski, consideran este ensayo de difícil interpretación. Estimamos que tal vez resultara más significativo, un ensayo de ductilidad a bajas temperaturas como el mencionado por Krenkler (6); y la realización de un estudio completo sobre el tema, ayudaría a fijar el criterio a seguir, que permita estimar los verdaderos valores de ductilidad exigibles a bajas temperaturas.

---

#### ESQUEMA DE RECOMENDACIONES PARA EL ESTUDIO DE NUEVAS ESPECIFICACIONES DE ASFALTOS PARA USO VIAL

---

Recapitulando lo expuesto y teniendo en cuenta los nuevos criterios sobre el tema, podemos agrupar los ensayos a incluir en la especificación de betunes asfálticos viales, preparada con criterio racional, en tres grupos, de acuerdo al esquema que se desarrolla más abajo. Los valores de la consistencia de los betunes, permitirán luego clasificarlos en distintos tipos de acuerdo a la misma.

CUADRO N° 5

Anteproyecto para el estudio de nuevas especificaciones

	Método	Tolerancias
1.- Ensayos de características de flujo:		
Viscosidad absoluta a 60°C, Poises.....	ASTM D-2171-63 T	Máximo y mínimo.
Viscosidad cinemática a 135°C, C. Stokes.....	ASTM D-2170-63 T	Máximo y mínimo.
Módulo de rigidez a 0 y -10°C.....	a determinar	---
2.- Ensayos de permanencia de las propiedades después del calentamiento:		
Indice de incremento de la consistencia basado en la viscosidad a 60°C.....	ASTM D-1754-63 T D-2171-63 T	Máximo
Indice de envejecimiento por el microviscosímetro basado en la viscosidad a 25°C (alternativa del en- sayo anterior).....	Griffin y ASTM	Máximo
3.- Ensayos complementarios:		
Cenizas.....	ASTM D-271	Máximo
Punto de inflamación.....	ASTM D-92-57	Mínimo
Peso específico.....	ASTM D-70-52	Mínimo
Ensayo de Oliensis.....	AASHO T 48	Homogéneo
Ductilidad a 25°C.....	ASTM D-113-44	Mínimo
Solubilidad en tetracloruro de carbono (alternativa de la determinación de cenizas)	ASTM D-165-42	Mínimo

En oportunidad de preparar la correspondiente especificación se clasificarán los betunes en distintos tipos, en base a su viscosidad a 60°C. Como recomendación para betunes de aplicación vial que integran mezclas bituminosas convencionales, las viscosidades absolutas oscilarían para los distintos tipos entre 300 y 9000 Poises (35) (33-31) (36).

Las viscosidades a 135°C se podrían limitar a las recomendaciones del Instituto del Asfalto de EE.UU. en valores oscilantes entre 150 y 500 C. Stokes (según la consistencia del betún), que son coincidentes con los indicados por la técnica europea (32).

En lo referente al módulo de rigidez, no se podrá abrir juicio al respecto, hasta tanto no se haya desarrollado un método que permita su determinación rápida con suficiente exactitud. Este tema tiene especial significado y será motivo de próximos estudios del LEMIT.

En cuanto hace a los ensayos de durabilidad, determinada por el incremento de la consistencia después del calentamiento, la técnica a seleccionar será la del ensayo en película delgada ASTM con la relación de viscosidades (índice de incremento de consistencia) a la temperatura de 60°C, o en su defecto la técnica de Griffin ya conocida (34). En un trabajo del autor (37) y colaboradores, se dan algunos valores de betunes argentinos empleando el método del microviscosímetro, así como la bibliografía correspondiente.

Referente a los ensayos complementarios, las limitaciones corrientes de las especificaciones vigentes, servirán de base para la preparación de los valores exigibles, que se adecuarán, con las limitaciones correspondientes, a los obtenidos en los ensayos de permanencia de propiedades después del calentamiento y de características de flujo.

La información sobre el tema expuesta en este estudio, permite orientar al técnico sobre las normas y métodos más convenientes para el ensayo y estudio de betunes para uso vial, dentro de los numerosos métodos y técnicas aparecidas en los últimos años en diferentes países. Los estudios sobre nuevos métodos prosiguen en el LEMIT y serán motivo de próximas publicaciones del Laboratorio, especialmente los relacionados con el módulo de rigidez y la durabilidad.

---

## CONCLUSIONES

---

La presente exposición resume los conceptos básicos y fundamentales de los requisitos a exigir, en los materiales para uso vial, a la luz de criterios modernos basados en métodos científicos que serán de indudable valor para mejorar la tecnología de las mezclas asfálticas, librándola del empirismo que caracteriza a muchas determinaciones y ensayos de materiales bituminosos.

Algunos de estos conceptos son conocidos desde hace algún tiempo, sin que hasta el presente se hayan concretado en especificaciones oficializadas, aunque varios técnicos, entre ellos miembros de prestigiosas organizaciones norteamericanas y europeas, se encuentran abocados a su estudio.

En el trabajo se exponen algunas ideas básicas que pueden dar origen a las recomendaciones que se detallan a continuación en forma resumida, con miras a su empleo en la preparación de normas y especificaciones de asfaltos para pavimentación, empleando, dentro de los conocimientos disponibles, técnicas basadas en métodos científicos fundamentales.

Dichos juicios, a manera de conclusión, son los siguientes:

- 1º) Los ensayos de consistencia determinados por métodos empíricos como la penetración, punto de ablandamiento, etc., deberían ser sustituidos por otros ensayos que midan con base científica esa propiedad, empleando técnicas sencillas.

Dichos ensayos propuestos son: la determinación de la viscosidad por el método de la pipeta ASTM D 2171-63 T para la temperatura de 60°C y el ASTM D 2170-63 T para la temperatura de 135°C; que corresponden aproximadamente, a la temperatura máxima de servicio la primera y a la temperatura de mezclado la segunda.

2º) El ensayo convencional de pérdida en película delgada (5 h a 163°C) y la determinación de la penetración del residuo después del calentamiento, como medida del grado de alteración que puede experimentar el betún (porcentaje de penetración residual), debería ser sustituido, en lo referente a la medida de la consistencia, por el método de la pipeta ASTM D 2171-63 T. La relación de la consistencia del betún envejecido a la del betún original, resulta una medida bastante aproximada del grado de alteración.

Como alternativa, se puede determinar la durabilidad, es decir, la permanencia de las propiedades después del calentamiento, por una técnica como el envejecimiento en microfilm (5 micrones, 2 h, 105°C), determinando el índice de envejecimiento de Griffin, basado también, en el cociente de viscosidades entre el material envejecido y el betún original.

3º) Se estima que, como ensayos complementarios se deben incluir: la determinación de cenizas, ensayo de Oliensis, el peso específico, el punto de inflamación y la ductilidad a 25°C, que permiten conjuntamente con las determinaciones mencionadas más arriba, caracterizar el material en forma completa.

4º) Se considera que deben proseguirse los estudios tendientes a encontrar métodos que permitan determinar el módulo de rigidez del betún a bajas temperaturas y pequeños tiempos de aplicación y del esfuerzo, para así cubrir el intervalo de tiempo y temperatura, en que el material se comporta como sólido elástico y que es donde presumiblemente, pueden aparecer fenómenos que afectan la durabilidad del material sometido a esas condiciones.

---

## BIBLIOGRAFIA

---

- 1) Pfeiffer, J. - The Properties of Asphaltic Bitumen (1950).
- 2) Barth, E. - Asphalt, 590, (1962).
- 3) I.R.A.M. - Norma 6604 - Asfaltos para pavimentación(1957).
- 4) Ludling, W. - Strasse und autobahn. May (1961).
- 5) Krom, C. and Dormon, G. - Sixth W.P.C. (1963). Frankfurt.  
Sect. VI, nº 14.
- 6) Krenkler, K. - Asphalte und Peche, 11, (1964).
- 7) A.S.T.M. - Method D 946-63 T, Part 11 (1964).
- 8) B.S.I. 594 (1961).
- 9) D.I.N. nº 1955 (1960).
- 10) Eisen Wegenbouw. Artikel 3 (1962).
- 11) A.S.T.M. - Method D 1764-60 T; A.A.S.H.O. - Method T 179.
- 12) Halstead, W. and Zenewitz, J. - Public Roads. Vol. 31,  
nº 11, (1961).
- 13) F.S.B. - Method SS-A-706.
- 14) A.A.S.H.O. - Method T 102-42.
- 15) A.S.T.M. - Method D 92-57.
- 16) Galli, C. - Primera Reunión del Asfalto (1946).
- 17) Lewis, R. and Welborn, J. - Public Roads. Vol. 22, nº 2,  
22, (1941).
- 18) Lee, A. and Nicholas, J. H. - J. Inst. Pet. 43, 235 (1957).
- 19) Mathews, D. - J. Inst. Pet. 44, 420 (1958).
- 20) Pinilla, A. y Agnusdei, J. - Estudio del LEMIT no publicado. (1964).
- 21) Van der Poel, C. - Journal of Applied Chemistry, 4, 221,  
(1954).

- 22) Van del Poel, C. - Building Materials. Chap. IX (1954).
- 23) Griffin, R. L., Miles, T. and Penther, C. - Proc. Ass. Asph. Pav. Tech., 24, 31, (1955).
- 24) Griffin, R. L. and Simpson, W. C. - A.S.T.M. S. Tech. Pub. 277, 52 (1959).
- 25) Labout, J. - Rheological Acta, 186, (1958).
- 26) Dormon, G. and Jarman, A. - J. App. Chemistry, 8, (1958).
- 27) The Asphalt Institute. Manual Series, nº 4, (1960).
- 28) B.S.I. - Method 594 (1961).
- 29) Abrahams, H. - Asphalt and allied substances (1962).
- 30) Mc Loughlin, J. and Goetz, W. - Highway Res. Board Proc. 34,274, (1955).
- 31) Griffith, J. M. - A.A.S.H.O. Materials Committee Meeting. November 9 (1964).
- 32) State of California - Standard Specification. Sec. 93 (1960).
- 33) Pinilla, A.; Gainza, J. y Agnusdei, J. - Pub. LEMIT. Serie II, nº 95 (1962).
- 34) Traxler, R. N. - Asphalt (1961).
- 35) Carré M. - Conference A.F.T.P. (1963).
- 36) Meskill, R. - N. Jersey Asphalt Pav. Conf. 13 March (1961).
- 37) Pinilla, A. y Agnusdei, J. - Estudio de la durabilidad de asfaltos argentinos, I parte. XIII Reunión del Asfalto (en prensa) (1965).
- 38) Woods, K. - Highway Eng. Handbook, 18-26 (1960).
- 39) Gotolski, W. and others - Proc. Ass. Asph. Pav. Tech., 285, Vol. 33, (1964).
- 40) Saal, R. N. - Journal of App. Chemistry. 5, 663, (1955).