

## **CONTROL DE CALIDAD DE LOS MATERIALES ASFALTICOS**

Por el Dr. JORGE O. AGNUSDEI

### **INTRODUCCION**

En el artículo publicado por la revista "Civil Engineering Magazine" y reproducido en el Shell Bitumen Revue N° 59 del mes de junio de 1981, titulado: "Qué ha pasado con la calidad de los asfaltos", se comentan una serie de problemas relacionados con la calidad de los asfaltos empleados en los EE. UU. durante la última década. Por considerar que los mismos pueden resultar de interés, como antecedentes al presente trabajo a continuación se describen sumariamente los principales conceptos del mismo.

El problema se originó después del embargo petrolero por parte de los países árabes, cuando los Departamentos Viales de los EE.UU. comenzaron a quejarse acerca del comportamiento de los cementos asfálticos suministrados por las refinerías, notando que los mismos no se comportaban como antes del embargo. La razón a los cambios fue atribuida a las diferentes combinaciones de crudos utilizados para la producción de asfaltos.

Hasta ese entonces las refinerías estaban acostumbradas a emplear un determinado tipo de crudo y como consecuencia del embargo, las mismas fueron forzadas a emplear diferentes crudos o combinaciones de éstos. Los Departamentos Viales no fueron avisados de estos cambios y es así que comenzaron a notarse diferencias de comportamiento pese a que en todos los casos, los asfaltos cumplían con las especificaciones vigentes.

El problema continuó en aumento alcanzando su máxima intensidad en 1977'78 y es así que gran número de Departamentos estatales comenzaron a cambiar sus especificaciones, en un intento por corregir las fallas presentadas por los asfaltos.

Los principales problemas observados radicaban en mezclas difíciles de preparar y compactar, desprendimiento de piedras, etc.

La mayoría de los estados encararon programas de investigación, poniendo especial énfasis en estudios de compacta-

ción, en razón de que el personal estaba acostumbrado a trabajar con asfaltos con poca variación en sus características y por lo tanto no realizaba los ajustes correspondientes con los nuevos asfaltos y en consecuencia no siempre se lograba una buena compactación. Es evidente que gran parte de los problemas planteados apuntaban a un solo hecho: *La marcada diferencia en la consistencia de los distintos asfaltos empleados*, como consecuencia de las diferencias en su composición.

El Asphalt Institute opinó que algunos problemas de trabajabilidad podrían ser atribuidos a la incorporación de nuevas plantas a tambor secador, en la cual el agregado y el asfalto son introducidos a un secador simultáneamente. Este proceso puede originar un asfalto más blando en la mezcla, con un alto contenido de humedad que podría conducir a mezclas "tender", es decir mezclas que tardan en alcanzar estabilidad.

Otro factor que pudo haber contribuido a los problemas de compactación fue la introducción de compactadores vibratorios, equipos estos que requieren un tratamiento diferente a los normalmente utilizados con los compactadores convencionales.

El director de la Federal Highway Administration cree que ha contribuido a aumentar los problemas originados con los asfaltos, el reducido personal experimentado con que cuentan la mayoría de los Departamentos Viales Estatales, como consecuencia de los bajos niveles de remuneración de los mismos. La disminución de este personal se traduce en que mayor número de controles de proceso son efectuados por los contratistas y los Departamentos Viales solo son responsables por los ensayos de recepción.

La conclusión final a la que se arriba, se traduce en la necesidad de realizar mayores investigaciones sobre las características de los cementos asfálticos y el efecto que las diferentes combinaciones de crudos, tienen sobre el comportamiento de los asfaltos.

Todo lo que se ha expuesto hasta aquí, trata de poner en evidencia la importancia que tiene el control de calidad de los materiales asfálticos, con el fin de prevenir errores o problemas similares a los antes expuestos. Si bien no es lógico comparar los inconvenientes que pueden haber ocurrido en los EE.UU. con un centenar de refinerías y gran variedad de crudos a procesar, a los que pueden presentarse en nuestro país, con tres refinerías y un número reducido de crudos, los problemas ocasionados en los EE. UU. nos deben servir de experiencia, a fin de no repetir errores y estar prevenidos para enfrentar posibles cambios en las características de los asfaltos, que difieran con las que estamos acostumbrados a utilizar.

Tal vez si en un futuro se incrementa la ejecución de obras viales y por ende el consumo de cemento asfáltico, podría ocurrir que los crudos que en la actualidad nos proveen de asfaltos de características conocidas, no sean suficientes para enfrentar la demanda y en ese caso deba recurrirse al empleo de crudos no tradicionales, cuyas características si bien cumplirían con las actuales especificaciones, podrían resultar diferentes, desde el punto de vista de ejecución y colocación de la mezcla asfáltica. En nuestro país algo se ha realizado al respecto. Es así que el Instituto Argentino del Petróleo y la Comisión Permanente del Asfalto, con la colaboración de entidades oficiales y privadas, ha desarrollado un estudio sobre los nuevos crudos de origen nacional para producción de asfaltos. El estudio se materializó mediante la ejecución de un tramo experimental con el empleo de asfaltos de calidad reconocida y los provenientes de crudos no tradicionales. El tramo experimental se efectuó en 1974 y los resultados obtenidos hasta la fecha han sido informados en varias publicaciones (1).

Si bien este trabajo ha aportado mucha información sobre el conocimiento y manejo de estos asfaltos, es necesario continuar con el estudio de nuevos asfaltos provenientes de otros crudos de nuestro país, con el fin de ir acumulando los conocimientos suficientes, de modo de evitar problemas tales como los surgidos en los EE.UU., por el manejo inadecuado de asfaltos de características diferentes a los normalmente utilizados.

## **2) CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES ASFALTICOS**

En nuestro país el control de calidad de los materiales asfálticos se realiza siguiendo las directivas de las Normas IRAM y de Vialidad Nacional, por parte de los productores y gran número de usuarios.

El sentido que persiguen las especificaciones de los materiales bituminosos es garantizar la buena calidad de éstos productos y establecer diferentes grados, dentro de una misma clase de ligante, que permitan su uso racional en los diferentes procesos de obra a los que están destinados.

A temperatura ambiente, los asfaltos normalmente empleados en pavimentación son sólidos o semisólidos, que deben ser calentados o fluidificados para su correcta aplicación, de ahí que las especificaciones distinguan asfaltos para ser empleados en mezclas asfálticas en caliente y asfaltos fluidificados con solventes, (asfaltos diluidos) o con agua, (emulsiones asfálticas) para las mezclas en frío.

En el caso de los asfaltos para mezclas en caliente, las especificaciones tratan de poner en evidencia sus propiedades, de modo de garantizar una buena calidad en las diferentes mez-

clas en que serán utilizadas. Conseguida la normalización de éstos asfaltos, la de los asfaltos fluidificados son simplemente modificaciones tecnológicas, para ser factible su utilización en distintas aplicaciones.

La mayoría de las especificaciones de asfaltos incluyen una serie de características mínimas, medidas por una serie de ensayos, mediante los cuales queda garantizada la calidad del material. Pero puede darse el caso que dos asfaltos que cumplan correctamente con las especificaciones, tengan otras propiedades de comportamiento, que no son detectadas por los ensayos de la especificación, de ahí que no siempre una especificación permite distinguir entre dos asfaltos, cuál de ellos es mejor.

Tal como se dijo anteriormente, muchos de los problemas ocurridos en EE.UU., fueron ocasionados por asfaltos que cumplían con las especificaciones, sin embargo, diferían de algunas propiedades, que fueron por su desconocimiento, el motivo de las fallas observadas.

Cabe recalcar que no es condición suficiente de calidad, el cumplimiento de una especificación ya que el material deberá ser manejado de tal manera que sus cualidades no queden desvirtuadas por un incorrecto empleo. Debemos destacar que las deficiencias de una mezcla asfáltica mal proyectada o mal colocada, difícilmente serán absorbidas por la calidad del ligante. Como consecuencia de lo dicho, es necesario la realización de otros ensayos, que complementen a los de las especificaciones, de modo de permitirle, tanto al proyectista como al ingeniero de obra, un mejor conocimiento de los materiales asfálticos a usar y lograr un aprovechamiento integral de sus cualidades. Estos ensayos considerados complementarios en una primera etapa, pueden llegar a formar parte de futuras especificaciones, si los mismos revelan que se consigue una mejora en la calidad de asfaltos.

### **3) ENSAYOS COMPLEMENTARIOS**

#### **3.1) Viscosidad**

Tal como será visto más adelante al tratar el capítulo de especificaciones, un ensayo que se considera de suma importancia, es la determinación de la consistencia de los asfaltos mediante viscosímetros capilares. Este ensayo se generalizó en los EE. UU. y es así que gran número de Estados lo adoptaron en sus especificaciones y organismos tales como ASTM y AASHTO lo utilizan para graduar a los asfaltos.

En nuestro país, ésta técnica fue presentada en 1966 por el Dr. Pinilla y colaboradores (2) y dio motivo a una serie de

trabajos por parte del grupo del LEMIT y el del Laboratorio de Investigaciones de YPF.

Antes de describir los distintos ensayos de viscosidad, definiremos que se entiende por viscosidad absoluta y viscosidad cinemática: la viscosidad absoluta es la expresión de la resistencia que ofrece un fluido al movimiento relativo de sus partículas, medida en unidades fundamentales de masa, longitud y tiempo, denominándose a ésta unidad POISE (gr/cm<sup>2</sup> x seg.).

La viscosidad cinemática, es el cociente entre la viscosidad absoluta y la densidad, ambas medidas a la misma temperatura, siendo su unidad el STROKE (cm<sup>2</sup>/seg.).

Para productos de petróleo es muy común expresar la viscosidad cinemática en centistokes (c St) un Stoke es igual a 100 cSt.

### 3.1.1) Viscosidad cinemática de asfaltos

(ASTM D 2170 - AASHTO T201)

Este método se emplea para la determinación de la viscosidad cinemática de asfaltos diluïdos a 60° C y cementos asfálticos a 135° C, en un rango de viscosidad entre 30 y 6000 c St.

Sumariamente, el método consiste en medir el tiempo de flujo del material bituminoso a través del tubo capilar de un viscosímetro de vidrio calibrado, a una temperatura controlada.

La viscosidad cinemática se calcula multiplicando el tiempo de flujo en segundos por la constante de calibración del viscosímetro.

$$\text{Viscosidad} = \text{Constante} \times \text{Tiempo}$$

La viscosidad cinemática puede ser utilizada para calcular la viscosidad dinámica o absoluta, si se conoce la densidad del material a la misma temperatura del ensayo. Para asfaltos de uso en pavimentación, la densidad a 135° C puede determinarse multiplicando el peso específico a 25/25° C por un factor igual a 0,934 g/cm<sup>3</sup>. Este factor está basado en un coeficiente de expansión de los asfaltos de 0,00061 por °C.

### 3.1.2.) Viscosidad absoluta de asfaltos

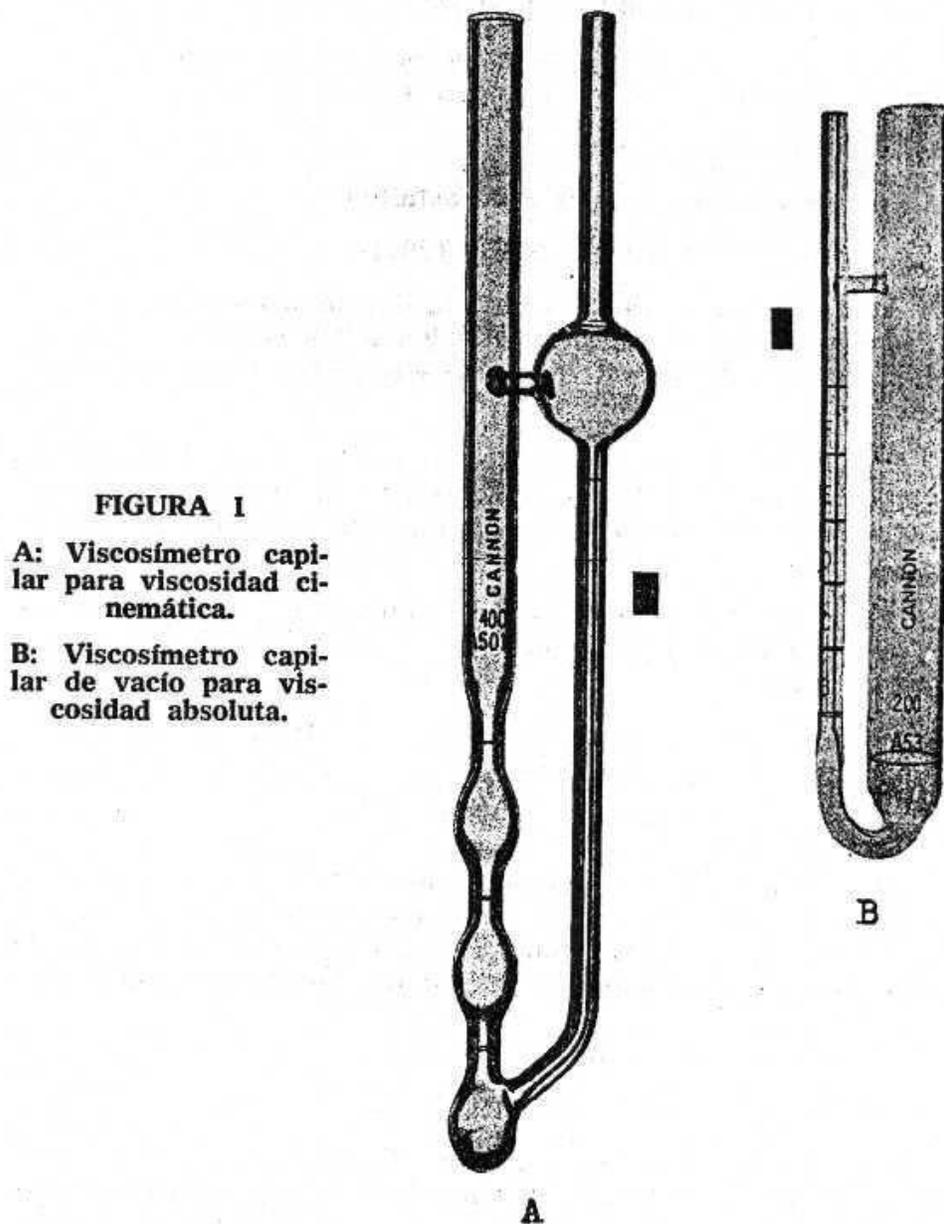
(ASTM D 2171 - AASHTO T202)

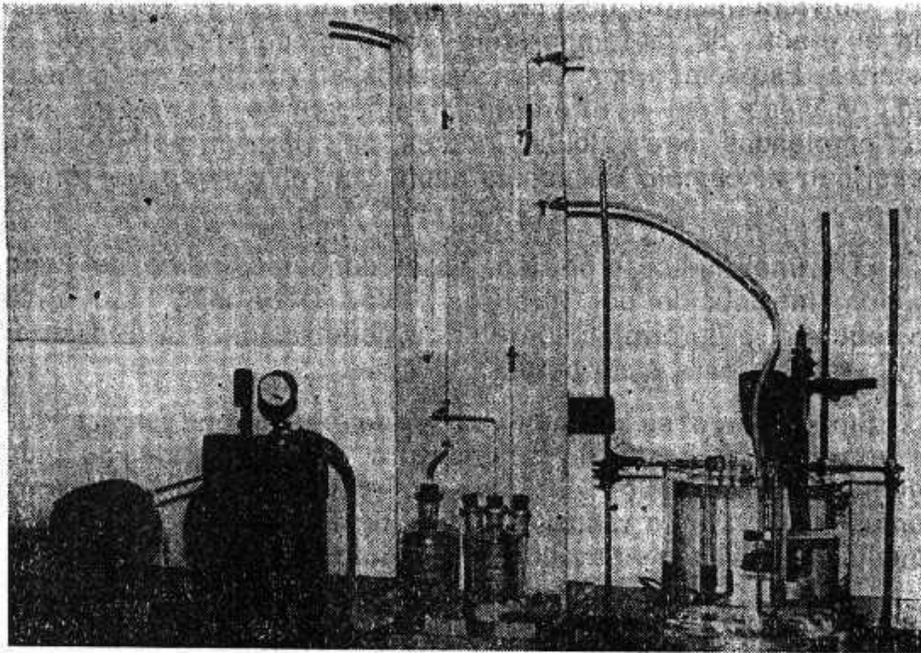
Este método se emplea para la determinación de la viscosidad absoluta de asfaltos por medio de viscosímetros capilares de vacío, a 60° C. El método es aplicable para materiales

con viscosidades entre 20 y 200.000 poises. La operación consiste en medir el tiempo de flujo del asfalto a través de un tubo capilar, bajo condiciones controladas de temperatura y presión.

En razón de que los asfaltos, a la temperatura de 60° C, tienen viscosidades elevadas para fluir por gravedad a través de tubos capilares, es necesario la aplicación de vacío, para que en estas condiciones el mismo pueda fluir a través de los capilares. El vacío que se aplica en estos casos es equivalente a 30 cm. de columna de mercurio.

El cálculo de la viscosidad es similar al descrito anteriormente, para la medida de viscosidad cinemática.





**FIGURA 2**

**Vista general del equipamiento para la determinación de viscosidad.**

En las figuras N° 1 y 2 se muestran los viscosímetros capilares y las distintas partes que conforman el equipo.

Para mostrar la influencia que puede tener la viscosidad de un asfalto en la estabilidad de una mezcla asfáltica, se presenta el caso de dos asfaltos de igual penetración y distinta viscosidad, empleados en una mezcla de características similares.

Mezcla con asfalto de Penetración a 25° C (100 g - 5 seg.)	40	42
Viscosidad del asfalto a 60° C, Poises	9340	4086
Estabilidad Marshall, Kg.	1120	840
Fluencia, mm	3,1	2,5

### 3.2) Susceptibilidad térmica

Una propiedad de los asfaltos que es importante conocer es la del cambio de propiedades por efecto de la temperatura.

A altas temperaturas, el asfalto es un material del tipo sol con características de flujo Newtonianas, mientras que a temperatura ambiente o más bajas, puede manifestar un flujo de características complejas no-Newtonianas. Es así que, aquellos asfaltos que en su proceso de elaboración han sido sometidos al soplado con aire, tienen consistencias que cambian mucho menos con la temperatura, que aquellos que han sido obtenidos por refinación directa u otros procedimientos, en los que no interviene el soplado.

Corrientemente, dos métodos son utilizados para describir el efecto de la temperatura sobre la consistencia de los asfaltos. Estos métodos están basados en medidas de penetración y viscosidad a diferentes temperaturas. Estas medidas son empleadas para calcular índices, que para un asfalto dado, describen el cambio de consistencia con el cambio de temperatura.

El primer índice empírico, es el conocido Índice de Penetración, introducido por Pffeiffer y Van Doormaal. Este ensayo requiere la determinación de dos penetraciones a diferentes temperaturas para cada betún.

Sin embargo si la línea recta que se obtiene al graficar, es extrapolada hasta la temperatura del punto de ablandamiento, la penetración obtenida en este punto, es aproximadamente 800. Por lo tanto, el Índice de Penetración, puede ser calculado de una penetración y el punto de ablandamiento.

Asfaltos que se emplean normalmente en pavimentación, tienen índices de penetración que varían entre +1 y -1. Altos valores negativos son indicativos de grandes cambios de consistencia con la temperatura.

El otro índice es el denominado VTS (Viscosity-Temperature Susceptibility).

El VTS es la pendiente de la recta que se obtiene al graficar el log. de la viscosidad en centipoises frente a la temperatura en grados Kelvin. Sin embargo, por razones de conveniencia, ASTM emplea un gráfico en el que la viscosidad se expresa en Poises y la temperatura en grados Fahrenheit (ASTM D 2493). Valores altos del VTS indican cambios pronunciados de viscosidad con la temperatura.

### **3.3) Nomograma para correlacionar ensayos de asfaltos**

(Bitumen Test Date Chart)

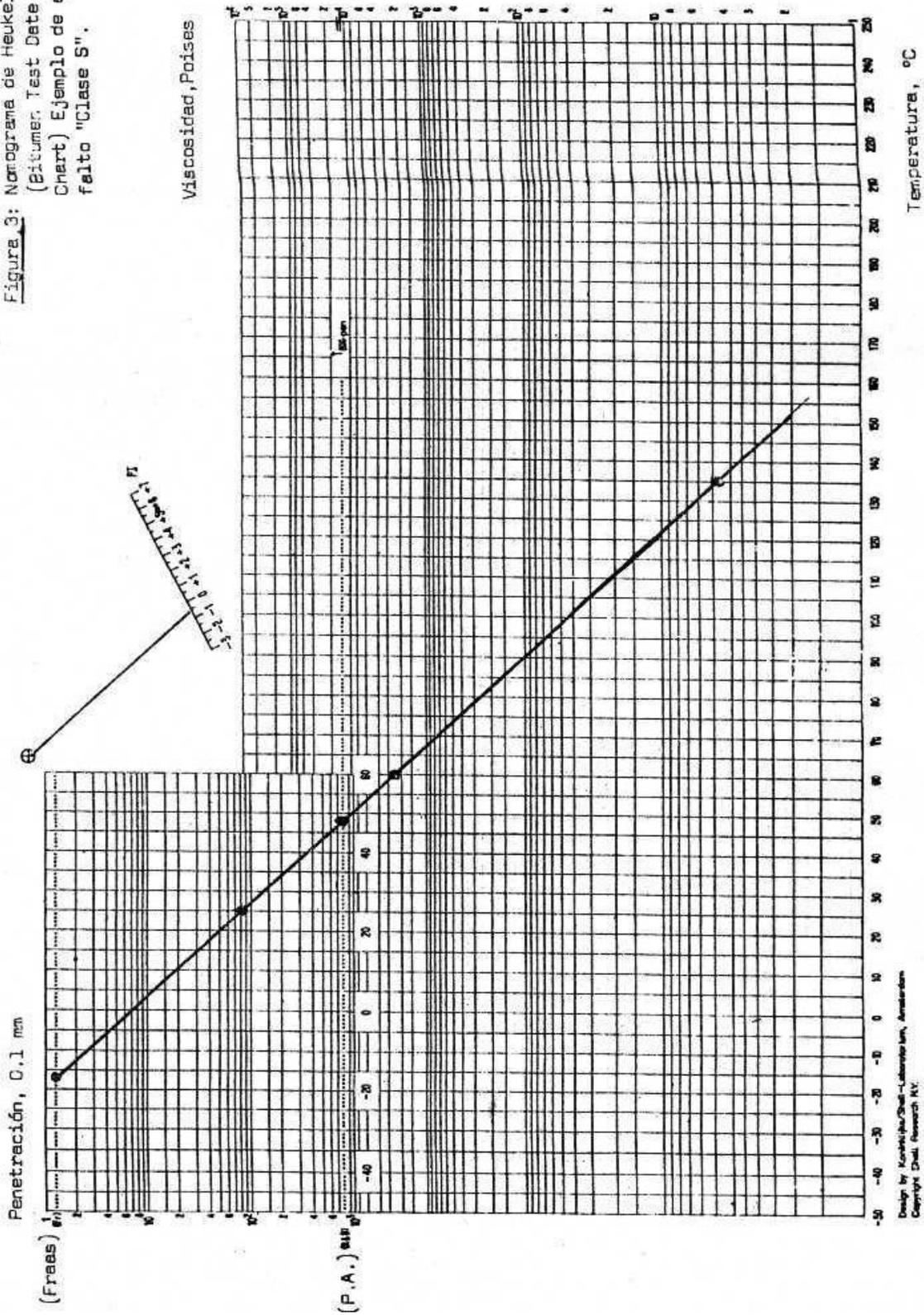
Los asfaltos son manufacturados en una gran variedad de grados con diferentes propiedades mecánicas. Para este fin, se hace uso de distintos procesos de fabricación tales como destilación, soplado, precipitación, etc.

Un método de caracterización de los asfaltos, con ayuda de sus propiedades mecánicas, fue desarrollado por Heukelom (3) del laboratorio de la Shell de Holanda.

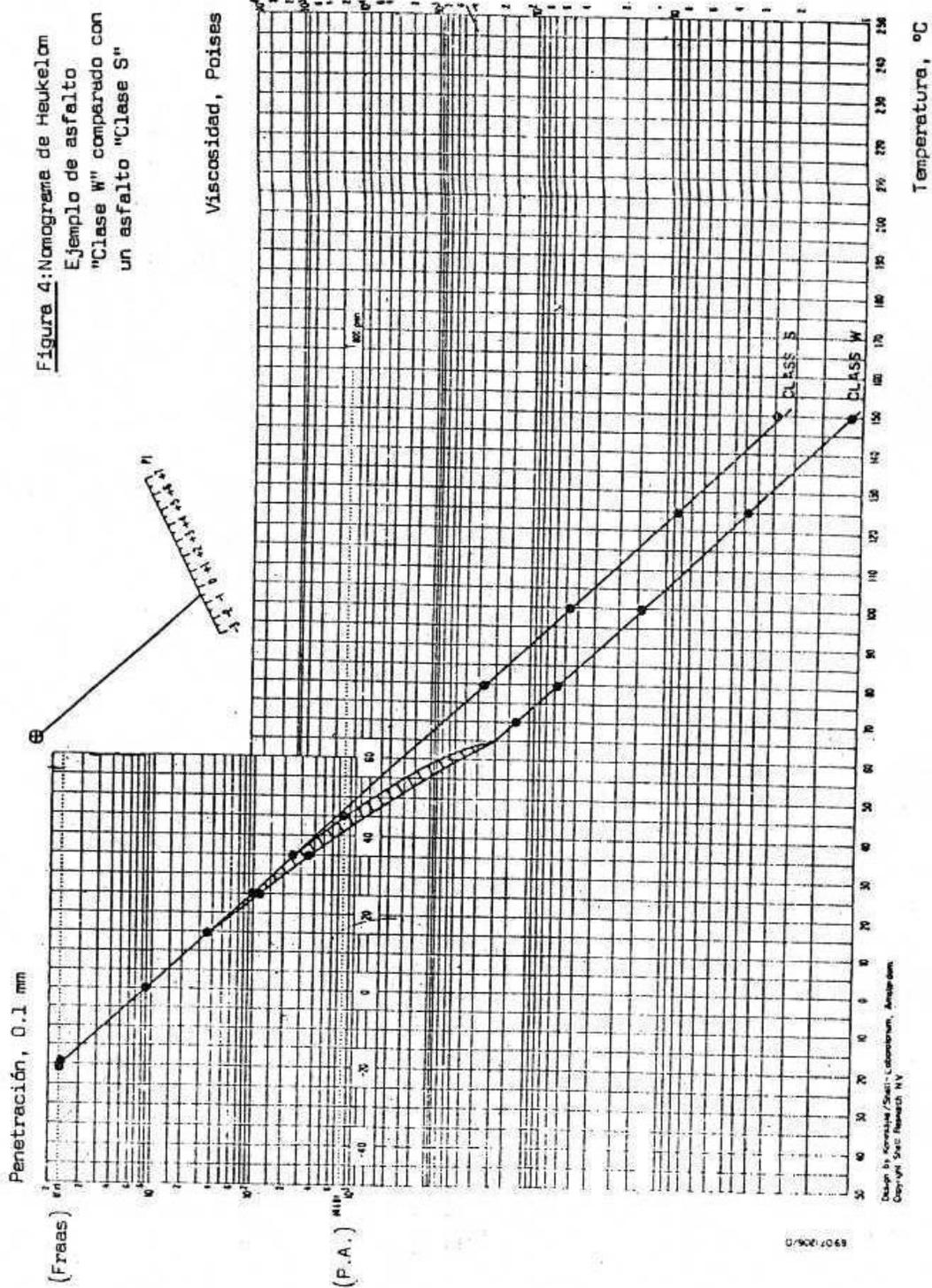
#### **3.3.1) Identificación de asfaltos**

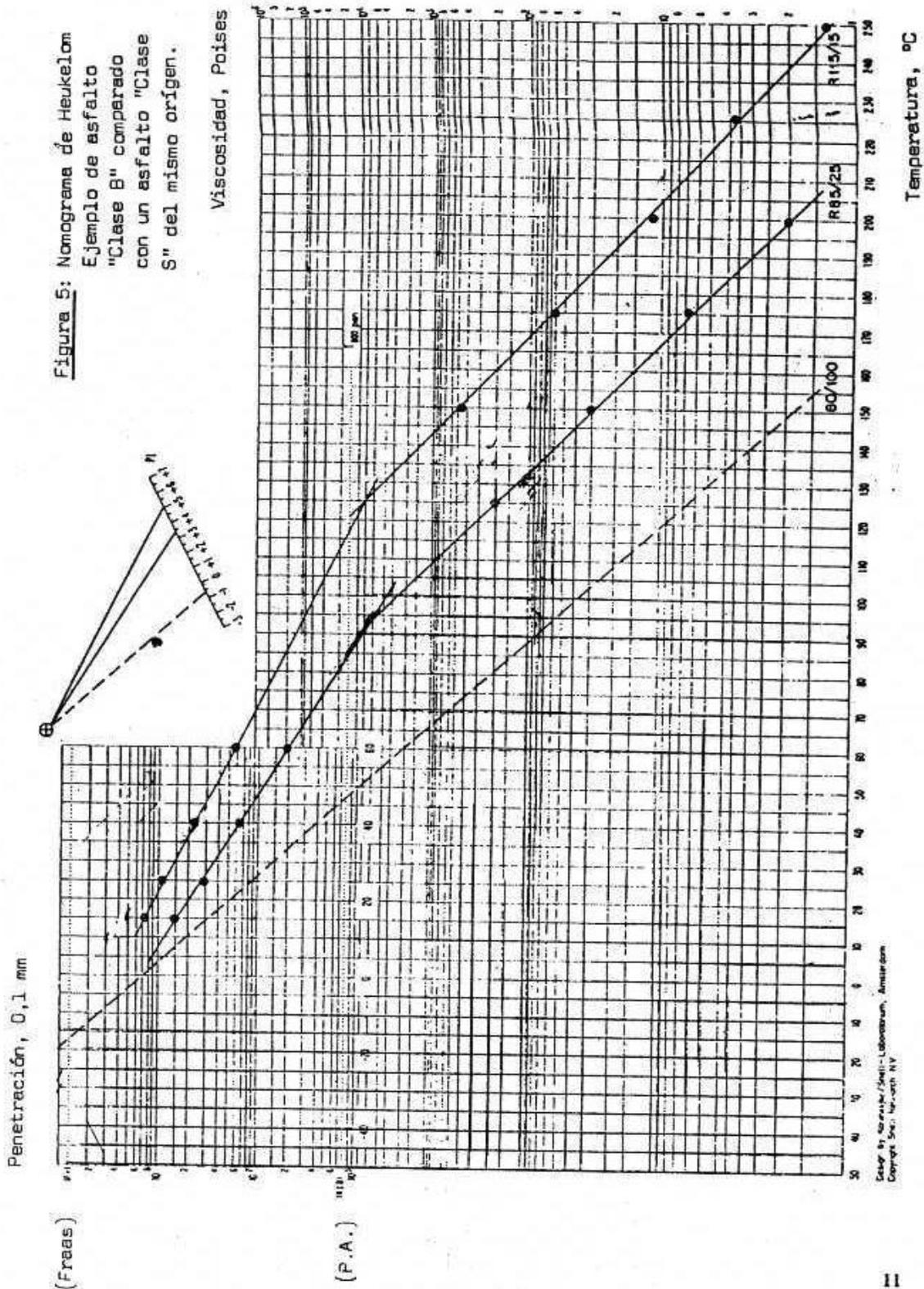
Heukelom ha demostrado que los asfaltos pueden ser divididos en tres clases, cada uno mostrando un tipo específico

Figura 3: Nomograma de Heukelom  
 (Bitumen, Test Date  
 Chart) Ejemplo de as  
 falto "Clase S".



Design by Koninklijke/Delft-Laboratorium, Amsterdam  
 Copyright Delft Research N.V.





de comportamiento, mediante la representación gráfica de resultados de ensayos normales, sobre un nomograma denominado "Bitumen Test Date Chart".

Los ensayos que normalmente se emplean para la representación son los de Penetración, Punto de ablandamiento, Punto de rotura Fraas y Viscosidad.

El gráfico, cuyo modelo es mostrado en la figura N° 3 consiste en una escala horizontal para temperatura y en dos escalas verticales, una para penetración y la otra para viscosidad. La escala de penetración está provista de dos marcas, indicando que el punto de fractura Fraas está aproximadamente a una penetración de  $1\frac{1}{4}$  y el punto de ablandamiento está al rededor de una penetración de 800.

Los valores experimentales de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad, volcados en éste gráfico, permiten obtener una línea recta, mediante la cual es posible calcular el índice de penetración, trazando una recta paralela a la anterior, desde el punto fijo marcado en el nomograma y la escala de Índice de penetración.

Tal como se vio en el ejemplo anterior, los resultados de ensayos de gran número de asfaltos, pueden ser representados en este nomograma por líneas rectas.

A éste grupo de asfaltos se los ha llamado "Clase S" y comprende a aquellos asfaltos de diferente origen pero con un bajo contenido de parafina.

Asfaltos con un alto contenido de parafina, denominados "Clase W", al ser representados en el nomograma, originan curvas del tipo a las descritas en la figura 4. En esta figura se ha representado un asfalto parafínico (W) junto con la representación del mismo asfalto al que se le ha extraído la parafina (S).

El asfalto parafinoso origina dos líneas rectas, casi con igual pendiente, pero no alineados, dejando entre sí una zona de transición, que corresponde a diferentes estados de cristalización y solubilidad de las parafinas. A baja temperatura, cuando la parafina está cristalizada, no hay diferencia entre las curvas de los asfaltos con y sin parafina. A alta temperatura, cuando la parafina está fundida, la curva para el asfalto parafinoso es más baja, existiendo entre ambos la zona de transición indicada por líneas rayadas.

Con la ayuda también del nomograma de Heukelom puede detectarse la presencia de asfaltos sopladados. Cuando se representa éste tipo de asfaltos en el nomograma, origina curvas que consisten en dos líneas rectas con diferentes pendientes, tal como las mostradas en la figura 5. A altas tempe-

raturas la pendiente de éstos asfaltos es similar a la de los asfaltos del mismo origen pero sin soplar, mientras que a baja temperatura, la pendiente de la recta es menos pronunciada. Asfaltos de éste tipo se denominan "Clase B". Es de destacar que los ejemplos dados en éste caso, corresponden a asfaltos con un alto grado de oxidación que no se emplean normalmente en pavimentación. De cualquier modo, el nomograma es una herramienta útil para poner en evidencia la diferencia de comportamiento de los asfaltos oxidados y estudiar su efecto mediante el empleo de otros ensayos.

### 3.3.2) Temperatura de aplicación

Es de suma importancia el tratamiento que se les da a los asfaltos tanto durante el proyecto de la mezcla en laboratorio como durante la operación de mezclado y puesta en obra.

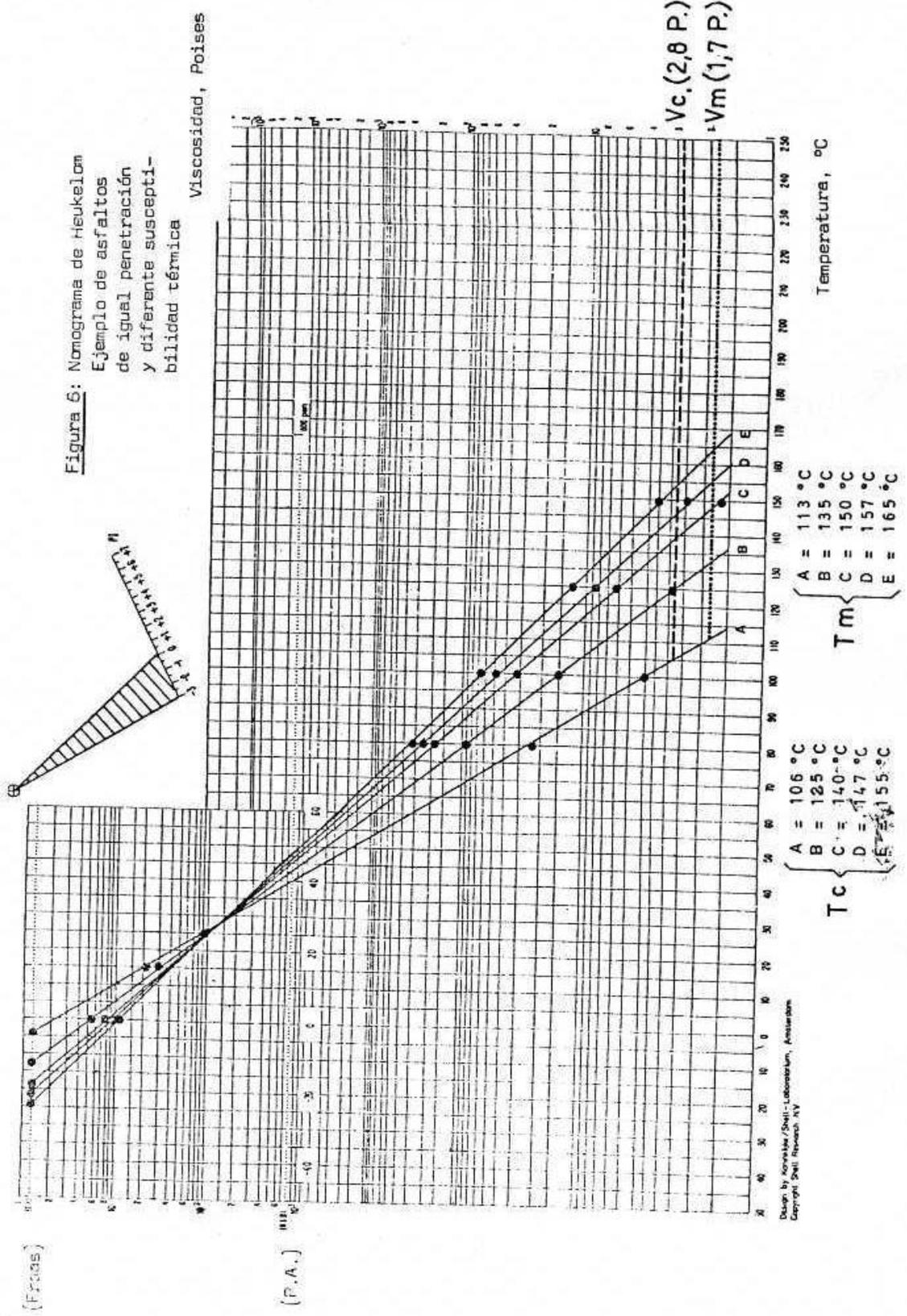
Para conseguir una buena cobertura de los áridos por parte del asfalto, es necesario que su viscosidad sea la óptima a la temperatura de mezclado. Si la viscosidad es demasiado alta, los agregados no serán cubiertos totalmente por parte de los asfaltos. Por el contrario, si la viscosidad es muy baja, se producirá una buena cobertura inicial, pero podría ocasionar el escurrimiento del asfalto de los agregados durante el transporte de la mezcla.

En lo que respecta a la colocación y compactación de las mezclas, ocurre que si la viscosidad del asfalto es demasiado alta, la compactación puede resultar defectuosa e insuficiente. Por otro lado, si la viscosidad es muy baja, será necesario esperar, antes de que la compactadora pueda ser usada, para evitar deformaciones y corrimientos de la mezcla no compactada.

Para el proyecto de mezclas asfálticas en caliente en laboratorio, de acuerdo al método Marshall, la especificación ASTM D 1559, establece que la viscosidad del asfalto en el mezclado, debe estar comprendida entre  $85 \pm 10$  segundos Saybolt Furol ( $170 \pm 20$  centistokes) y para la compactación, entre  $140 \pm 15$  segundos Saybolt Furol ( $280 \pm 30$  centistokes). Procediendo bajo éstas condiciones, los resultados obtenidos por diferentes laboratorios serán más homogéneos, en razón de haberse eliminado la variable asfalto del ensayo.

Durante la ejecución de la mezcla en obra, donde el sistema de mezclado es más eficiente, el Instituto del Asfalto recomienda una viscosidad comprendida entre 150 y 300 centistokes (75 — 150 S.S.F.).

En cuanto a la viscosidad óptima de compactación en obra, la misma no puede ser establecida de antemano, ya que la temperatura es función del equipo de compactación y con-



Penetración, 0.1 mm

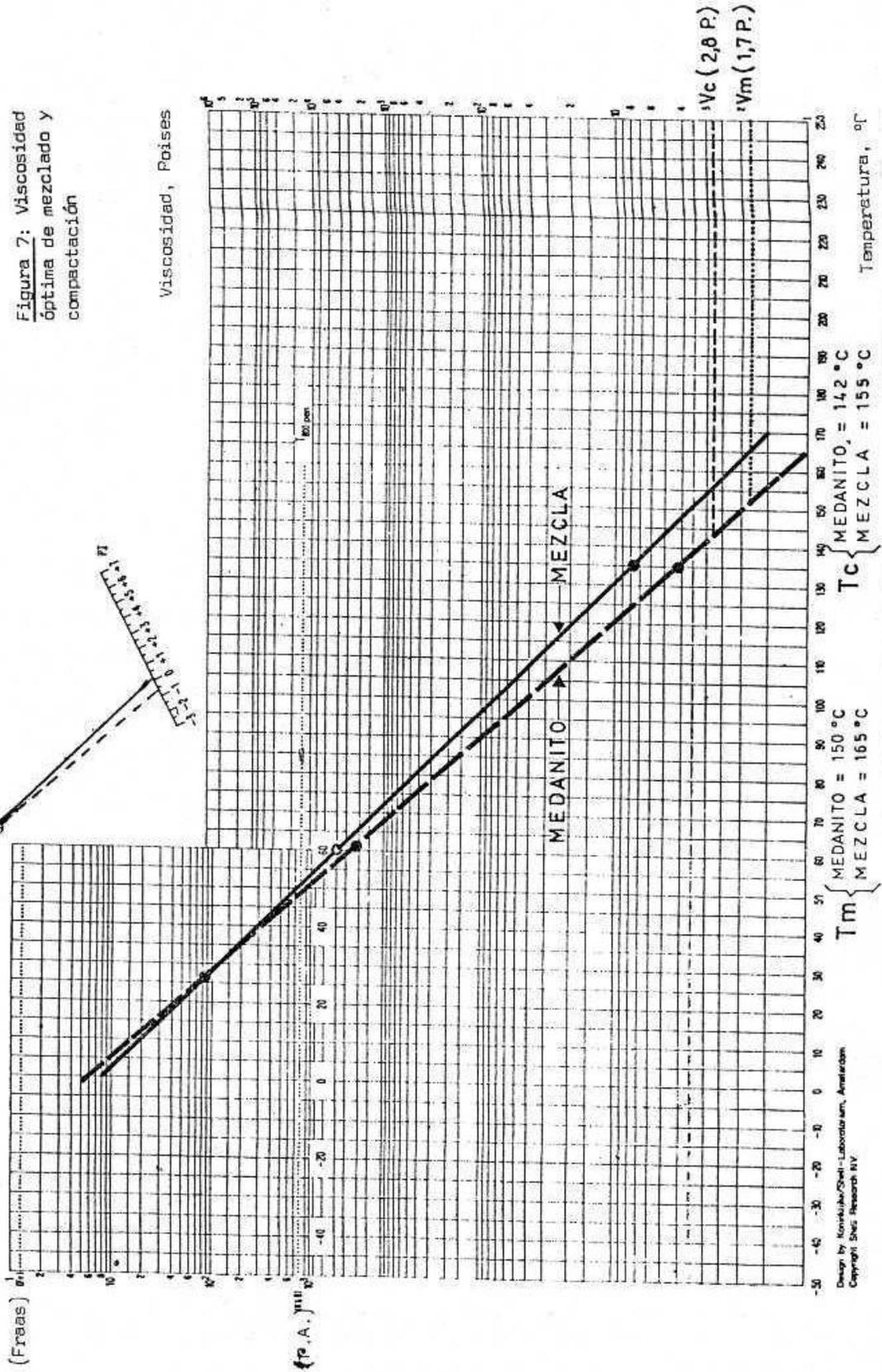


Figura 7: Viscosidad óptima de mezclado y compactación

diciones de la obra, de ahí que lo normal para su establecimiento, es la ejecución de los correspondientes tramos de prueba.

Mediante el nomograma de Heukelom es posible, de una manera sencilla, calcular las viscosidades óptimas de mezclado y compactación, graficando los resultados de ensayos normales, tales como penetración, punto de ablandamiento y viscosidad.

Es una práctica generalizada en nuestro país, para la recepción de los cementos asfálticos, el empleo del ensayo de penetración, como única técnica para caracterizar el tipo de asfalto. En la figura 6, se presenta una serie de asfaltos de distinto origen pero de igual penetración a 25° C. Las distintas pendientes de las rectas, nos indican marcadas diferencias en la susceptibilidad térmica, indicada por los índices de penetración que varía entre 0 y -3. Como consecuencia de esto, las temperaturas óptimas de mezclado, para una viscosidad media de 1,7 Poise varía entre 113 y 165° C, mientras que para la compactación para viscosidad media de 2,8 Poise, las temperaturas varían entre 106 y 155° C. Por razones de practicidad, los límites de viscosidad han sido tomados en Poises en lugar de centistokes.

En la figura 7, se presenta las curvas obtenidas para asfaltos, argentinos Medanito y Mezcla con penetraciones similares de 75 y 70 respectivamente, donde las diferencias en las temperaturas de mezclado y compactación son de 15 y 13° C.

Es de destacar que tanto la viscosidad de mezclado como la compactación no son medidas de la calidad de los asfaltos, pero el correcto uso de estos parámetros, redundará en una mejor calidad de las mezclas asfálticas.

### 3.3.3) Módulo de rigidez

(Stiffness)

Generalmente los asfaltos son materiales viscoelásticos, siendo sus propiedades de flujo complejas (no-Newtonianos). Su comportamiento depende de la temperatura y del tiempo de aplicación de la carga. A alta temperatura y tiempos grandes de aplicación de la carga, se comportan como fluidos casi Newtonianos, mientras que a baja temperatura y cortos tiempos de aplicación de las cargas, ellos se comportan como sólidos elásticos. En condiciones intermedias, que son las que prevalecen durante el período de servicio, su comportamiento es complejo.

Van der Poel, (4) ha mostrado que las propiedades mecánicas de un asfalto pueden ser expresadas en un amplio rango de condiciones prácticas, por la relación:

$$S = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformación}}$$

Van der Poel denominó a ésta relación, Stiffness (S) por analogía con el módulo de elasticidad (E).

El Stiffness dependerá del procedimiento de carga, el tiempo de carga y la temperatura.

Cuando el asfalto es puramente elástico,  $S=E$  y es independiente del tiempo de carga.

Cuando el asfalto es puramente viscoso, el Stiffness es inversamente proporcional al tiempo de carga.

$$S = \frac{3 \mu}{t}$$

donde  $\mu$  es el coeficiente de viscosidad. El conocimiento de estas propiedades fundamentales de los asfaltos, es esencial para el diseño estructural de pavimentos. Por lo tanto, es necesario contar con métodos lo suficientemente simples y precisos, para poder predecir el comportamiento de los materiales asfálticos.

Van der Poel desarrolló un nomograma, mediante el cual el Stiffness de cualquier asfalto y a cualquier temperatura y tiempo de carga puede ser calculado, conociendo el Punto de ablandamiento y el Índice de Penetración. El Punto de ablandamiento fue tomado por Van der Poel como temperatura de referencia para el cálculo del Stiffness.

Posteriormente, Heukelom (3) revisó el nomograma desarrollado por Van der Poel y concluyó que la temperatura a la cual la penetración es igual a 800 (T800) es más satisfactoria, como temperatura de referencia, que la del Punto de ablandamiento y por lo tanto una nueva versión del Nomograma de Van der Poel ha sido realizada. Para el cálculo del Índice de penetración y del T 800, pueden utilizarse el nomograma de la BTDC, por medio de la recta obtenida en base a dos o tres determinaciones de penetración a distintas temperaturas, o bien mediante la carta de la Fig. 8.

En la figura 9 se presenta la nueva versión del Nomograma de Van der Poel para el cálculo del Stiffness.

#### 3.3.4) Módulo de rigidez de mezclas asfálticas

Un nuevo método de estimar el Stiffness de mezclas asfálticas, fue desarrollado por Ugé y colaboradores (5).

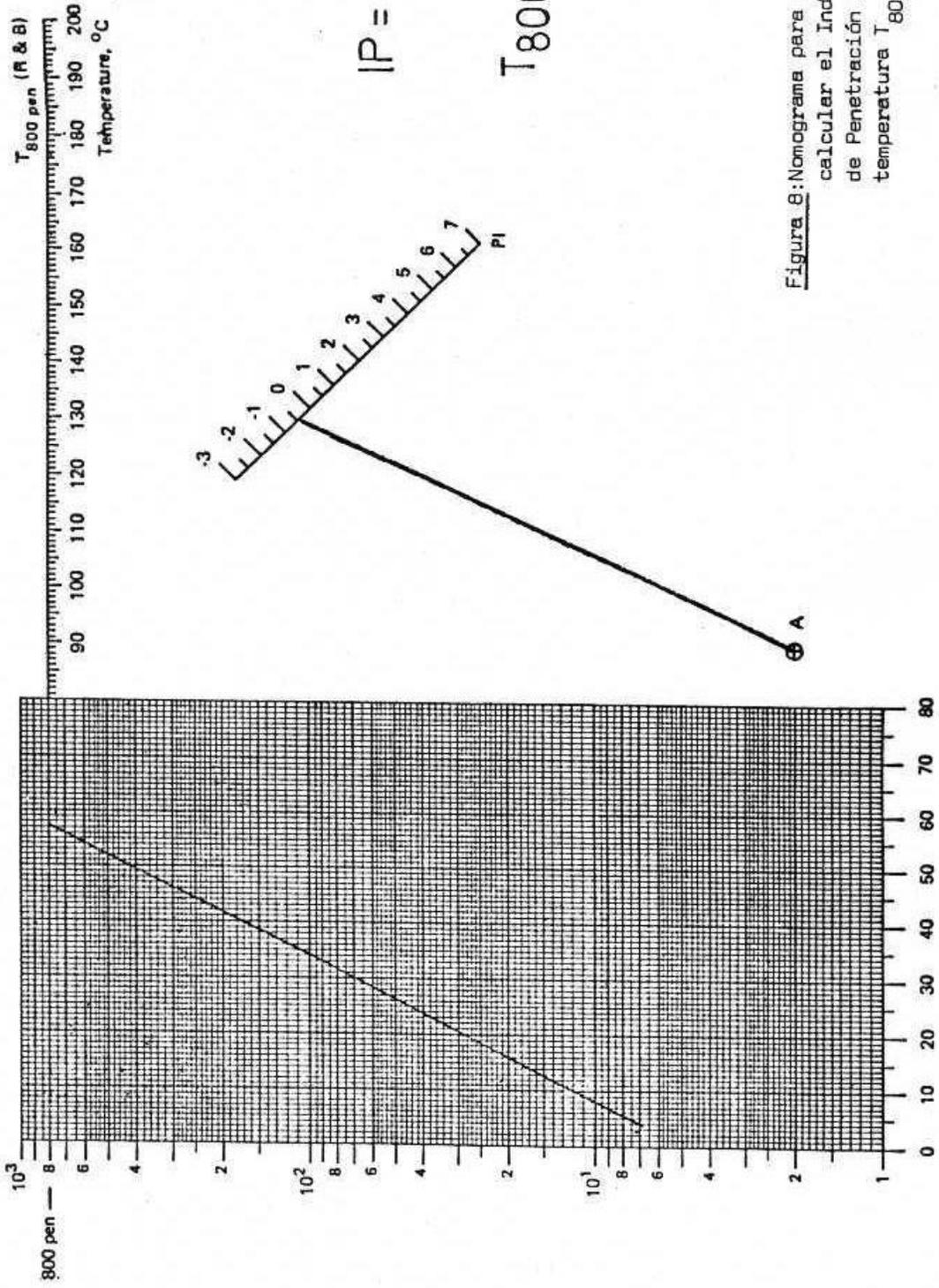


Figura 8: Nomograma para el calcular el Índice de Penetración y la temperatura T<sub>800</sub>.

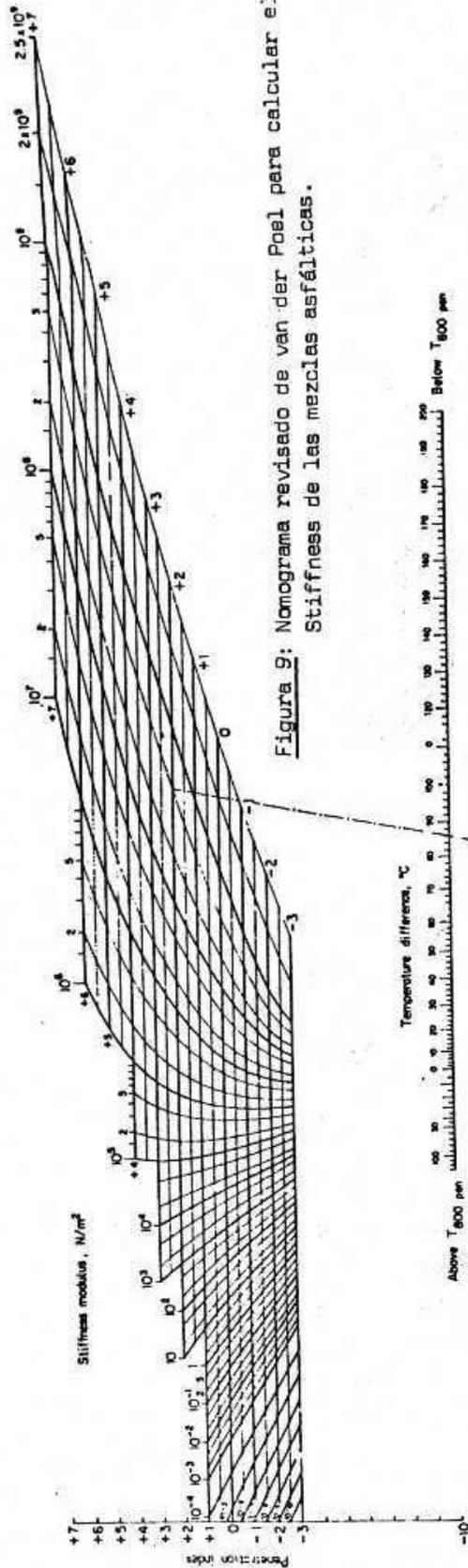


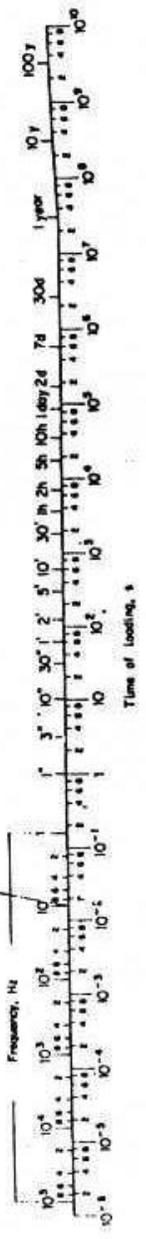
Figura 9: Nomograma revisado de van der Poel para calcular el Stiffness de las mezclas asfálticas.

Example for a bitumen with  $PI = +2.0$  and  $T_{800 pen} = 75^\circ C$ .  
 To obtain the stiffness modulus at  $T = -11^\circ C$  and a frequency of 10 Hz:  
 connect 10 Hz on time scale with  $75 - (-11) = 86^\circ C$  on temperature scale.  
 Read  $S = 3 \times 10^8 N/m^2$  on network at  $PI = +2.0$ .

The penetration index (PI) has been defined by:  
 $PI = \frac{10 \times P_1}{P_2} = 50 \log \frac{10 - T_1}{T_2 - 10}$   
 The stiffness modulus, defined as the ratio  $\sigma/\epsilon$  = stress/strain, is a function of time of loading (frequency), temperature difference with  $T_{800 pen}$ , and PI.  
 $T_{800 pen}$  is the temperature at which the penetration would be 800.  
 $T_{10}$  is obtained by extrapolating the experimental log penetration versus temperature line to the penetration value 800.  
 At low temperatures and/or high frequencies the stiffness modulus of all bitumens asymptotes to a limit of approx.  $3 \times 10^9 N/m^2$ .

Units:  
 $10^{-4} m^2 = 10^{-4} \text{ cm}^2 = 1.02 \times 10^{-5} \text{ kg/cm}^2 = 1.45 \times 10^{-6} \text{ lb/in}^2$   
 $1 N/m^2 = 10^{-4} P$

K. L. A. August 1953, 3rd edition 1972  
 D.P.S. 13-2 11545



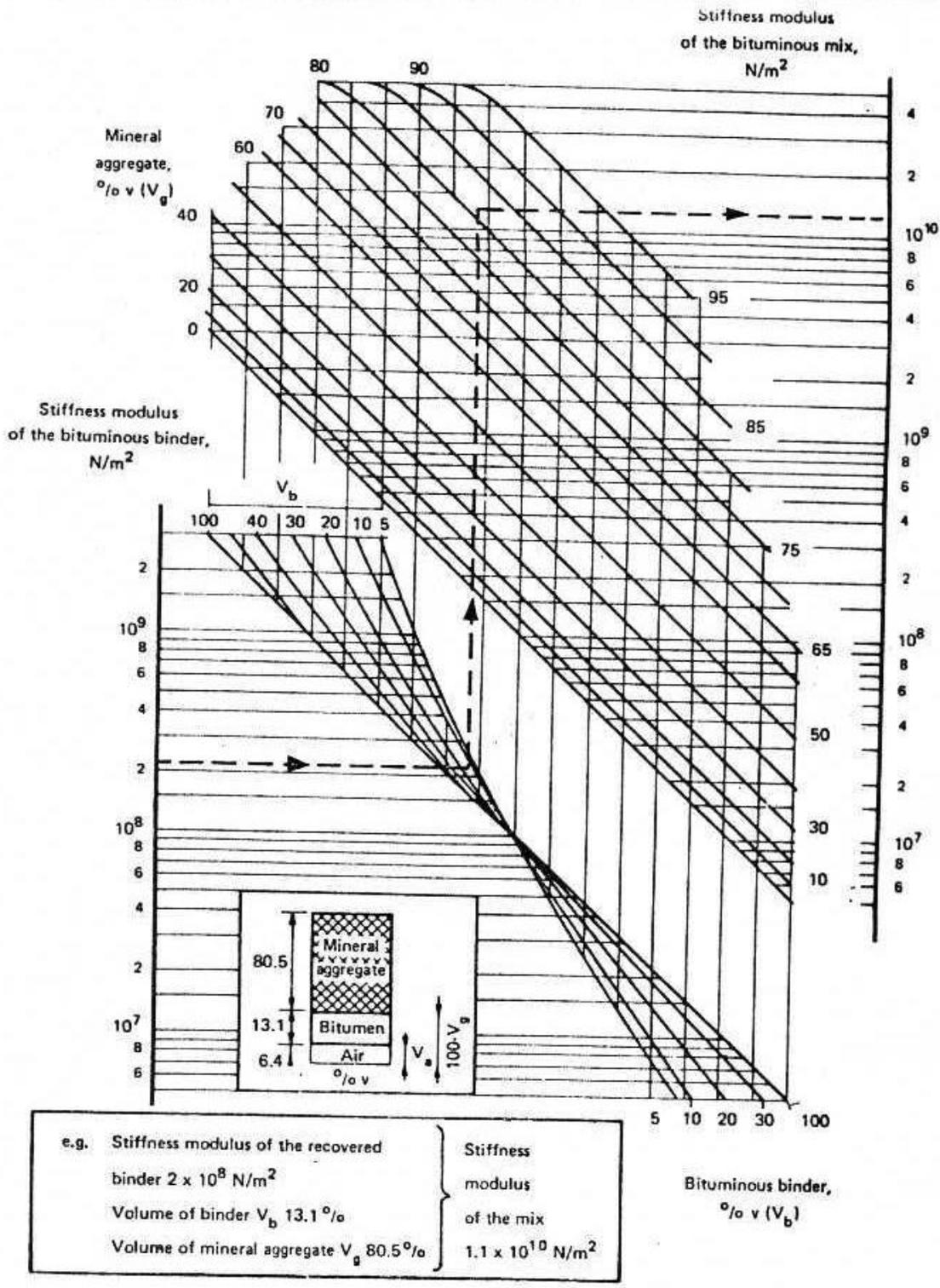


Figura 10: Nomograma para el calculo del Stiffness de las mezclas asfálticas.

El Stiffness de la mezcla asfáltica es determinado a partir del Stiffness del asfalto en la mezcla y de la composición volumétrica de la mezcla.

Durante el mezclado y colocación de la mezcla asfáltica, el asfalto incrementa su consistencia, de ahí que para el cálculo del Stiffness del asfalto en la mezcla, es necesario conocer el Índice de Penetración y la T 800 del asfalto recuperado de la mezcla, una vez colocada y compactada, o bien determinar esas características en el residuo del ensayo de Pérdida por calentamiento en película delgada.

Conociendo el Stiffness del asfalto en la mezcla ( $S_b$ ), la composición de la mezcla, el porcentaje en volumen de asfalto ( $V_b$ ) y el porcentaje en volumen de los agregados ( $V_g$ ), es posible calcular el módulo de rigidez de la mezcla asfáltica ( $S_m$ ), mediante el Nomograma mostrado en la figura 10.

#### 3.4) Ensayos de durabilidad:

Se entiende por durabilidad de un ligante asfáltico a su capacidad de mantener sus propiedades cohesivas y cementantes durante la vida útil del pavimento.

Durante la fabricación de la mezcla asfáltica, proceso de corta duración pero crítico, en razón de la elevada temperatura y el pequeño espesor de la película de asfalto que recubren los agregados, el asfalto sufre un proceso de alteración irreversible, como consecuencia de la evaporación de fracciones volátiles y adsorción de ciertos componentes por parte de los agregados.

Durante el período de servicio, la formación de estructuras y polimerización tiene lugar con el correr del tiempo. En razón de los cambios producidos, los asfaltos endurecen y modifican sus propiedades reológicas en forma significativa y permanente.

La actual tendencia europea a emplear asfaltos de baja penetración, en mezclas con bajo contenido de ligante y altamente fillerizadas agravan el problema del endurecimiento de los asfaltos.

En razón de lo expuesto, es de suma importancia conocer las características del ligante una vez fabricada la mezcla y colocada, es decir las características en el comienzo de su vida útil en el pavimento.

Es importante conocer de antemano el distinto grado de alterabilidad de los asfaltos, a los efectos de poder seleccionar un determinado tipo y prever de ésta manera un comportamiento específico del mismo.

Mediante ensayos de laboratorio, es posible conocer en forma aproximada, la alteración que sufren los asfaltos durante el mezclado en usina y colocación de la mezcla asfáltica. El ensayo de calentamiento de una película de asfalto de 3 mm de espesor durante 5 horas a 163° C, normalizado por IRAM, mide los cambios producidos en el residuo por medio de los ensayos de penetración y ductilidad.

Si bien este ensayo es incluido en numerosas especificaciones extranjeras, el mismo tiene el inconveniente del prolongado tiempo de ejecución. Es así que un nuevo ensayo que trata de reproducir el mismo efecto, en un tiempo mucho menor, es el normalizado por ASTM de acuerdo al método D2872 denominado "Pérdida por calentamiento en película fina rotativa". El método de la película fina rotativa, desarrollada en 1963 por el Estado de California y presentado en nuestro país por el Dr. Pinilla y colaboradores en 1968 (6), consiste en calentar a 163° C, durante 75 minutos, una muestra de asfalto en un recipiente de vidrio de forma cilíndrica, colocado en un dispositivo que gira a razón de 15 r.p.m. Durante la rotación, el recipiente recibe un fino chorro de aire seco y caliente en forma permanente. Los cambios producidos son medidos en base a ensayos de penetración, ductilidad y viscosidad.

Tal como será visto más adelante, tanto AASHTO como ASTM han adoptado este ensayo para graduar a los asfaltos en base a las características del residuo.

Otro método de laboratorio desarrollado por el Laboratorio de Transporte de California, denominado "California Tilt Oven Durability Test" utiliza el mismo equipo del método ASTM D 2872 (pérdida en película fina rotativa), con ligeras modificaciones, calentando el asfalto a 113° C durante 168 horas. Estas condiciones simulan el efecto de dos años de comportamiento en servicio en un clima de desierto caliente. El efecto del envejecimiento es determinado por ensayos de consistencia en el residuo.

Finalmente, un ensayo basado en el comportamiento reológico de los asfaltos, es utilizado por numerosos investigadores para tratar de predecir el comportamiento de los asfaltos en servicio. El ensayo se basa en el cálculo de la pendiente de la recta, que se obtiene al graficar en coordenadas logarítmicas la velocidad de fluir en función de la viscosidad, mediante el empleo, por ejemplo, del microvisímetro de placas deslizantes. Al valor de ésta pendiente se la denomina "Índice de corte" (Shear Index).

El índice de corte, es otra forma del Índice de Flujo complejo de Traxler, que resulta de graficar los valores de velocidad de fluir en función del esfuerzo de corte. Valores bajos

del Índice de corte significan comportamiento casi Newtoniano, mientras que valores altos, son indicativos de un flujo complejo, no Newtoniano.

Una buena correlación, entre Índice de corte y performance del pavimento, fue encontrada por Kandhal (8).

Índice de corte $> 0,55$	Comportamiento pobre
Índice de corte $= 0,35 - 0,45$	Comportamiento de regular a bueno
Índice de corte $< 0,35$	Comportamiento bueno a muy bueno

De acuerdo a los resultados obtenidos por Kandhal, se estima que un pavimento será razonablemente durable, si el Índice de corte del asfalto, luego de mezclado en usina, es menor de 0,20.

Si bien los valores de correlación de Kandhal son válidos para los asfaltos y condiciones específicas de los pavimentos ensayados y por el momento no podría ser generalizada, se aprecia que los ensayos reológicos, brindan una herramienta útil para el estudio de la durabilidad de los asfaltos. Lamentablemente, para este tipo de determinaciones, es necesario el empleo de instrumental y personal especializado, propios de laboratorios de investigación.

#### 4) **ESPECIFICACIONES**

##### 4.1) **Cementos asfálticos**

En nuestro país, los asfaltos que se emplean en mezclas asfálticas en caliente o en tratamientos superficiales, se encuentran cubiertos por la norma IRAM 6604. Esta Norma ha sido recientemente sometida a revisión y en este momento el Esquema 2 de Norma IRAM 6604 se encuentra en discusión pública.

En la figura 11 se presenta el esquema 2 con las modificaciones sugeridas. El nuevo esquema sigue graduando los asfaltos por penetración, incluyendo 5 tipos de asfalto, en lugar de los 6 de la actual norma. Se han eliminado los tipos 60-70 y 120-150 y se ha incorporado un nuevo tipo, el 200-300.

En lo que respecta a los requerimientos exigidos, en el esquema se ha modificado los valores mínimos de peso específico, punto de inflamación y ductilidad del residuo del ensayo en película delgada. Además, se han eliminado los ensayos de solubilidad en sulfuro de carbono y tetracloruro de carbono, siendo reemplazados por el de solubilidad en tricloroetileno. El índice de penetración también ha sido modificado, fijándose un ámbito de  $-1,5$  a  $+0,5$  en lugar de  $-2$  a  $+0,5$ .

De todos los cambios introducidos, el de mayor significación sería el nuevo valor de la ductilidad del residuo del en-

**FIGURA 11: ESQUEMA 2 NORMA IRAM 6604**

CARACTERISTICAS	TIPO I		TIPO II		TIPO III		TIPO IV		TIPO V	
	Mín.	Máx.								
Penetración 25° C, 100 g, 5 s.	40	50	50	60	70	100	150	200	200	300
Densidad relativa 25° C/25° C	0,990		0,990		0,990		0,980		0,980	
Ductilidad 25° C 5 cm/mín, cm	100		100		100		100		100	
Punto de Inflamación-Cleveland	230		230		230		230		180	
Vaso abierto, ° C	99		99		99		99		99	
Solubilidad en Tricloroetileno, %										
<b>ENSAYO EN PELICULA DELGADA</b>										
Pérdida por calentamiento a 163° C, 5 h, %		1		1		1		1,5		1,5
Penetración retenida 25° C, 100 g, 5s % del original	50		50		50		40		35	
Ductilidad del residuo, 25° C, 5 cm/mín., cm	50		50		75		75			
<b>INDICE DE PENETRACION</b>	-1,5	+0,5	-1,5	+0,5	-1,5	+0,5	-1,5	+0,5	-1,5	+0,5
<b>ENSAYO DE "OLIENSIS"</b>	NEGATIVO									

**FIGURA 12**

**ESPECIFICACION AASHTO M 226-801 (BASADA SOBRE EL ASFALTO ORIGINAL)**

	GRADOS				
	AC - 2,5	AC - 5	AC - 10	AC - 20	AC - 40
Viscosidad a 60° C, Poises	250 ± 50	500 ± 100	1.000 ± 200	2.000 ± 400	4.000 ± 800
Viscosidad a 135° C, Cs, Min.	80	110	150	210	300
Penetración a 25° C (100 g.5 seg), min.	200	120	70	40	20
Punto de inflamación, COC, °C, Min.	163	177	219	232	232
Solubilidad en TCE, % Min.	99	99	99	99	99
Ensayos sobre el residuo del ensayo en película delgada					
Viscosidad a 60° C, Poises Max	1.000	2.000	4.000	8.000	16.000
Ductilidad a 25° C, cm, Min.	100	100	50	20	10
Ensayo de mancha (opcional)					

NEGATIVO PARA TODOS LOS GRADOS

**FIGURA 13**

**ESPECIFICACION AASHTO M 226-801 (BASADA SOBRE EL RESIDUO DEL ENSAYO DE PELICULA FINA ROTATIVA)**

ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DEL	GRADOS				
ENSAYO EN PELICULA FINA ROTATIVA	AR - 10	AR - 20	AR - 40	AR - 80	AR - 160
VISCOSIDAD A 60° C, POISE	1.000 ± 250	2.000 ± 500	4.000 ± 1.000	8.000 ± 2.000	16.000 ± 4.000
Viscosidad a 135° C, Cs, Min.	140	200	275	400	550
Penetración a 25° C (100 g - 5 seg), Min.	65	40	25	20	20
% de la penetración original, Min.	—	40	45	50	52
Ductilidad a 25° C, cm. Min.	100	100	75	75	75
<b>ENSAYOS SOBRE EL ASFALTO ORIGINAL</b>					
Punto de inflamación, coc. °C, Min.	205	219	227	232	238
Solubilidad en TCE, % Min.	99	99	99	99	99

**FIGURA 14**

**ESPECIFICACION AASHTO M 81-75 — ASTM D 2028-76**  
 (Asfaltos diluidos tipo secado rápido)

	RC - 70		RC - 250		RC - 800		RC - 3000	
	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Viscosidad Cinemática a 60° C, Cs	70	140	250	500	800	1.600	3.000	6.000
Punto de inflamación, °C	—	—	27	—	27	—	27	—
Agua, %	—	0,2	—	0,2	—	0,2	—	0,2
Destilación, % en volumen del destilado total a 360° C								
Hasta 190° C	10	—	—	—	—	—	—	—
Hasta 225° C	50	35	15	—	—	—	—	—
Hasta 260° C	70	60	45	25	25	25	25	25
Hasta 315° C	85	80	75	70	70	70	70	70
Residuo de la destilación a 360° C % en volumen de muestra	55	65	75	80	75	80	80	80
<b>ENSAYOS SOBRE EL RESIDUO DE LA DESTILACION</b>								
Viscosidad absoluta a 60° C, Poises	600	2.400	600	2.400	600	2.400	600	2.400
Ductilidad a 25° C, cm	100	100	100	100	100	100	100	100
Solubilidad en TCE, %	99	99	99	99	99	99	99	99
Ensayo de mancha	Negativo para todos los grados							

sayo en película delgada. Con esta modificación la nueva especificación contaría con valores acordes a los exigidos por la mayoría de las especificaciones extranjeras.

Tal como se dijo anteriormente, el uso del ensayo de viscosidad en los materiales asfálticos se generalizó ampliamente en los últimos años, especialmente en los EE.UU., donde instituciones tales como AASHTO y ASTM adoptaron este ensayo para la graduación de los asfaltos, junto con el clásico ensayo de penetración.

Tanto AASHTO como ASTM poseen especificaciones que gradúan a los asfaltos por penetración y viscosidad. Es así que tenemos las especificaciones AASHTO M 20-70 y ASTM D 946, que clasifican a los asfaltos por penetración en 5 tipos, siendo los requisitos exigidos por ambas especificaciones, prácticamente los mismos. Por otro lado, las especificaciones AASHTO M 226-801 y ASTM D 3381-76 cubren asfaltos graduados por viscosidad a 60° C. En las mismas, se presentan tres tablas con valores límites, pudiendo el usuario especificar cualquiera de las tres tablas propuestas. En caso de que el usuario no especifique los límites, se aplicarán los valores de la Tabla 1. En este caso también se cumple, que las exigencias de las especificaciones AASHTO y ASTM difieren muy poco entre sí.

La Tabla 1 de la especificación AASHTO M 226, mostrada en la Figura 12, gradúa a los asfaltos en base a la viscosidad a 60° C de los asfaltos originales. Esta tabla presenta 5 grados, cubriendo un rango de viscosidad entre 200 y 4800 Poises y la única diferencia con la Tabla 1 de la especificación ASTM D 3381, radica en los valores de viscosidad del residuo del ensayo de calentamiento en película delgada, que difieren, pero no en forma significativa.

La Tabla 2 de las especificaciones AASHTO y ASTM también está basada en la viscosidad a 60° C de los asfaltos originales y a diferencia de la anterior, incluye un nuevo grado de asfalto, difiriendo algunos valores, no así los referidos a los grados de viscosidad.

Finalmente en la figura 13, se presenta la Tabla 3 de la especificación AASHTO M 226 que es similar a la ASTM D 3381. La graduación de esta Tabla, se basa en las propiedades del residuo del ensayo de calentamiento en película fina rotativa (ASTM D 2872) y la misma incluye 5 grados de asfaltos.

Del estudio de las tres tablas propuestas por las especificaciones AASHTO y ASTM, se considera que la Tabla 3, que gradúa a los asfaltos en base a las propiedades del residuo del ensayo de calentamiento en película fina rotativa, sería lo

más conveniente, en razón que permite conocer al proyectista, cuales serán las características del asfalto al iniciar su vida útil en el pavimento y de esta manera poder estimar el futuro comportamiento de la estructura, sometida a la acción intensiva del tiempo y el tránsito.

#### 4.2) **Asfaltos diluídos y emulsiones asfálticas**

En la actualidad, en nuestro país siguen en vigencia las normas IRAM 6608, 6610 y 6612 para asfaltos diluídos de endurecimiento rápido, medio y lento. Estas normas están siendo revisadas por el IRAM, con el fin de introducir medidas de viscosidad cinemática con viscosímetros capilares, para la graduación de los distintos tipos.

En lo referente a las emulsiones asfálticas, el IRAM también está estudiando en la actualidad las especificaciones y métodos de ensayos de las emulsiones asfálticas catiónicas.

Las normas AASHTO y ASTM clasifican los distintos tipos de asfaltos diluídos, en base a la viscosidad cinemática a 60° C, con viscosímetros capilares, de acuerdo a lo indicado por las normas de ensayo ASTM D 2170 y AASHTO T 201. Además estas especificaciones identifican al residuo de la destilación, por medidas de viscosidad absoluta a 60° C, según ASTM D 2171 y AASHTO T 202, tal como se muestra en la figura 14.

Una vez más se pone en evidencia la importancia que han tomado los ensayos de viscosidad en la graduación de los materiales bituminosos, lo que sin duda ha de contribuir a mejorar la calidad de los asfaltos.

#### 5) **CONSIDERACIONES FINALES**

Luego de lo expuesto anteriormente cabe preguntarse:

##### 5.1) **¿En nuestro país, hemos tenido problemas de calidad con los materiales asfálticos**

La respuesta es sí. El problema se remonta a muchos años atrás, cuando se emplearon en obras de pavimentación, asfaltos obtenidos de crudos de Comodoro Rivadavia cuyos pavimentos fallaron al poco tiempo de construídos.

Sin tratar de justificar la regular calidad de estos asfaltos, pudo haber influído en su mal comportamiento, el desconocimiento de algunas de sus propiedades, tal como es su elevada viscosidad que pudo haber creado problemas en la compactación de las mezclas. Otro problema se suscitó con ciertos asfaltos diluídos fabricados con asfaltos presumiblemente de Comodoro Rivadavia, que incrementaban su consistencia

con el tiempo sin pérdida de solvente. Este fenómeno fue atribuido a cambios en la estructura coloidal provocados por la naturaleza del asfalto base y de los solventes empleados.

En los últimos años no han aparecido problemas que puedan relacionarse con la calidad de los materiales asfálticos y esto puede ser atribuido a lo siguiente:

a) Que los crudos utilizados en la fabricación de asfaltos originaron materiales de buena calidad, principalmente con escasa variabilidad en sus propiedades.

b) Que en razón de la disminución en los ensayos de control por parte de los usuarios pudo haber ocurrido que materiales defectuosos no fueron detectados y las consecuencias de sus falencias, atribuidas a otras causas.

### **5.2) ¿Qué es lo que se hace en materia de control de calidad de materiales asfálticos?**

En la actualidad muy poco. Esto está relacionado, aunque no justificado, con el reducido número de obras, con la desaparición de laboratorios especializados en la materia, con la falta de instrumental y personal experimentado por parte de reparticiones oficiales, contratistas, etc. Se ha podido constatar que en muchos casos los ensayos de recepción de ciertos materiales se practican con posterioridad al uso del mismo.

### **5.3) ¿Qué debería hacerse en materia de control de calidad de materiales asfálticos?**

5.3.1) En primer lugar no repetir errores como los acontecidos en otros países por la disminución en las exigencias en el control de calidad.

5.3.2) Exigir por parte de las reparticiones oficiales y usuarios en general, el estricto cumplimiento de las especificaciones vigentes mediante los respectivos ensayos de control realizados previamente a la utilización, de ser posible en el lugar de recepción del material. De ésta manera se evitarán errores que no siempre pueden ser compensados por el pago de una multa.

Puede darse la posibilidad que un determinado material entregado en especificación por el productor pueda contaminarse en el transporte y llegar a variar sus propiedades de modo tal de no cumplir con las exigencias de la especificación.

5.3.3) Intensificar y alentar el desarrollo por parte de los laboratorios centrales, regionales y de investigación de ensayos complementarios que brinden, tanto al proyectista como al

ingeniero de obra, de mayores conocimientos sobre las propiedades de los materiales para un uso racional de los mismos.

Tener presente, que el costo del instrumental adecuado y de personal calificado para llevar a cabo las tareas de control, son insignificantes frente al costo de la obra en sí y al de los problemas que podrían originarse por la falta de control.

## 6) BIBLIOGRAFIA

- 1) Agnusdei, J. O.; XXI Reunión del Asfalto, 133, 1978.
- 2) Pinilla, A., Reynaldi, A.; XIV Reunión del Asfalto, 236, 1966.
- 3) Heukelom, W.; Proc. Association of Asphalt Paving Technologists, 1973.
- 4) van der Poel, C.; J. Appl. Chem., 4, 221, 1954.
- 5) Bonnaure, F., Gest, G., Gravois, A., Ugé, P.; Proc. Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 12, 1977.
- 6) Pinilla, A., Agnusdei, J. O., Reynaldi, A.; VI Congreso Argentino de Vialidad y Tránsito, 267, 1968.
- 7) Kem, G., Predoehl, N.; Proc. of Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 50, 1981.
- 8) Kandhal, P. S., Sandvig, L. D., Koehler, W. C., Wenger, M. E.; ASTM, STP, 532.

## DISCUSION

Pregunta Ing. ALVAREZ: Hay ensayos que permitan correlacionar el envejecimiento por la edad en un pavimento.

Contesta Dr. AGNUSDEI: Ensayos que se encuentren incluidos en especificaciones, no. El único ensayo normalizado que permite estimar las alteraciones que se producen en los asfaltos durante la operación de mezclado en usina, es el de pérdida por calentamiento en película fina o rotativa. Con respecto a un ensayo que permita evaluar el envejecimiento con la edad, podemos citar el desarrollado por el Laboratorio de Transporte de California, denominado "California Tilt Oven Durability Test". Este ensayo emplea la misma técnica que el de la película fina rotativa, pero el envejecimiento del asfalto es durante un período de 168 horas a una temperatura de 113° C. Bajo estas condiciones de operación, se reproduce la alteración que sufren los asfaltos luego de dos años de exposición en un pavimento construido en un clima desértico. Esta correlación es aplicable al caso particular de la zona del desierto de California, caracterizada por las altas temperaturas, el bajo contenido de humedad y la escases de lluvias.

Pregunta Ing. DORFMAN: 1) Si el ensayo de penetración no es determinante para definir la calidad del asfalto en obra, con qué ensayos se debería controlar cada partida de asfalto que llega a la obra.

2) Porqué no se realiza o se adopta como ensayo de rutina el de viscosidad absoluta.

Contesta Dr. AGNUSDEI: Respecto a los ensayos de recepción de asfaltos, como mínimo deberían realizarse los de penetración, punto de ablandamiento y viscosidad absoluta. Con estos tres ensayos podría detectarse, en primera instancia, asfaltos con propiedades distintas a los utilizados normalmente. Detectada la anormalidad, debería ensayarse el asfalto en forma completa para poner en evidencia el grado de anormalidad.

En cuanto al ensayo de viscosidad, insisto, tal como lo hemos venido haciendo desde hace muchos años, que el mismo debería ser introducido en los Laboratorios de obra ya que el ensayo es relativamente simple y rápido, pudiendo tomar menos tiempo que una determinación de penetración. Estoy convencido que en los laboratorios de obra se realizan ensayos más complicados y con instrumental más complejo, de ahí que no veo inconvenientes en su implementación en forma rutinaria en los laboratorios.

Pregunta Ing. ABELLEIRA: Se pueden extender los comentarios sobre temperaturas óptimas de mezclado en función de la viscosidad a los asfaltos de penetración 150-200 actualmente en uso en Santa Cruz.

Contesta Dr. AGNUSDEI: No hay ningún inconveniente en obtener las temperaturas óptimas de compactación y mezclado para asfaltos de penetración 150-200 ya que el nomograma mostrado, abarca un amplio rango de viscosidades y temperaturas en las cuales entran perfectamente este tipo de asfaltos.

Pregunta el Lic. OSCHER: Se ha estudiado el efecto de los mejoradores de adherencia sobre la viscosidad de los asfaltos, los que podrían acortar los procesos de mezclado.

Contesta Dr. AGNUSDEI: El estudio de los mejoradores de adherencia ha sido motivo de numerosos trabajos de investigación aplicada por muchos de los aquí presentes. Lo que no se ha hecho concretamente, es el estudio del efecto de los tensioactivos sobre la viscosidad de los asfaltos y su posible aplicación en la disminución de los tiempos de mezclado, por los cambios de viscosidad que producen estos aditivos. Personalmente entiendo, que este efecto no sería significativo, ya que de por sí, los tiempos normales de mezclado de las plantas asfálticas modernas son bajos, oscilando entre 40 y 50 segundos. Además, a la temperatura de mezclado, los cambios de viscosidad por efecto de los tensioactivos serían muy pequeños, como para que pudiera lograrse un acortamiento sustancial del tiempo de mezclado, que compense económicamente el empleo de estos aditivos.

Pregunta Agrimensor SOIFER: 1) Si los problemas que pueden ocasionar los cambios de crudos que se procesan para las mezclas, habrán de ser comunicados por YPF en el momento de su elaboración para que las dependencias a cargo de la Inspección de obra puedan arbitrar los medios tendientes a modificar las condiciones de elaboración y compactación de las mezclas.

2) Si no resultaría más lógico realizar los controles en destilería a los efectos de evitar la llegada a obra de asfaltos que pudieran no cumplir las especificaciones, extendiendo un certificado con indicaciones técnicas de las características de los partidos.

Contesta Dr. DE LUCA: Referente a la primera parte de la pregunta, no habría ningún inconveniente por parte de YPF en controlar los productos

a pie de destilería, pero esto no excluye la posibilidad de controlar los materiales asfálticos en el momento de la aplicación de los mismos.

Contesta Dr. AGNUSDEI: Respecto al otorgamiento de un certificado de cumplimiento de especificación por parte de los productores, pienso que esto no debe tener ningún inconveniente por parte de los mismos, partiendo de la base que los productos que se cargan en destilería están en especificación. De esta manera se deslindaría responsabilidades, ya que si el producto que se recibe en obra no cumple con la especificación respectiva, la culpa no sería del productor, sino del transportista, pudiendo ser la causa de la anomalía una contaminación durante el transporte.

Es una práctica común en muchos países europeos, indicar en los contratos de obra, que el asfalto debe ser suministrado con un certificado que acredita el cumplimiento de la especificación.

Pregunta Ing. SANTANGELO: Respecto a la pregunta del Ing. Abeleira, recuerdo tener presente las condiciones de la zona, caracterizada por bajas temperaturas y altas velocidades del viento, los que perturban sensiblemente el proceso de compactación. Por lo tanto, posiblemente sea necesario adecuar en este caso particular, las temperaturas de mezclado y compactación.

Contesta Dr. AGNUSDEI: Concuerdo con lo que dice el Ing. Santángelo de que habría que adecuar las temperaturas de mezclado y compactación para este caso particular, poniendo especial énfasis en la de compactación. Los valores informados de viscosidad óptima de mezclado y compactación son generales, para este caso particular se debería confirmar prácticamente, si estos valores son los adecuados o bien deben ser modificados.

Pregunta Dr. WAINHAUS: Qué importancia le atribuye a la densidad como parámetro de calidad del asfalto. Usted rechazaría un asfalto que sin cumplir la densidad establecida por la especificación IRAM, cumpliera todos los demás requisitos.

Contesta Dr. AGNUSDEI: Este es un tema que podría ser motivo de discusión por un tiempo prolongado. De acuerdo a mi experiencia y a la opinión de investigadores extranjeros, la densidad de un asfalto es de relativa importancia. Si bien la misma puede dar una indicación del origen del asfalto, en general se la emplea para calcular los volúmenes recibidos y empleados en las mezclas.

Personalmente no rechazaría un asfalto que no cumpliera con el requisito de densidad, siempre y cuando el valor obtenido no se apartara en forma significativa de los valores usuales, que ponga en evidencia la presencia de un material anómalo, lo cual sería motivo de un estudio más profundo del material en cuestión.

Pregunta Ing. TOSTICARELLI: 1) En la Argentina se da el mismo caso de los EE.UU. de un cambio en los tipos de crudos a partir de la crisis petrolera mundial.

2) Qué porcentaje de petróleo se importa para uso vial.

Contesta Dr. DE LUCA: No se ha dado esta situación a nivel interno ya que los crudos han sido siempre los mismos, pudiendo haber cambiado solamente un poco los procesos de obtención, esto respecto a YPF.

Contesta Ing. BASTANCHURI: Actualmente no se están importando crudos para la elaboración de asfaltos. Antes Shell utilizaba gran parte de crudos de Venezuela para hacer sus asfaltos.

Pregunta Ing. TOSTICARELLI: 1) En la transparencia que se mostró con el esquema de norma IRAM, se observa que se acepta una reducción

en la penetración de hasta el 50 % en la mayoría de los grados. Se ha comprobado que la reducción es de ese orden en la planta asfáltica, distribución y compactación importa la pregunta por el criterio a adoptar para entrar a los nuevos ábacos del método Shell 1978.

2) En la misma transparencia se indica el índice de penetración al final. Ello indica que se especifica sobre el asfalto luego del calentamiento o debe entenderse sobre el asfalto original.

Contesta Dr. AGNUSDEI: Con respecto a la primera pregunta, los asfaltos argentinos generalmente no presentan problemas de alteraciones pronunciadas por el efecto de calentamiento. Esta alteración no es igual para todos los asfaltos, dependiendo ello del origen del mismo.

Para el cálculo del Stiffness de las mezclas mediante los nomogramas incluidos en las curvas del diseño, Shell se recomienda entrar con las propiedades de los asfaltos tal como serán en el camino, es decir luego de ser calentado, mezclado y distribuido. Para ello, lo más lógico es emplear los valores de penetración y punto de ablandamiento que se obtienen luego del ensayo de pérdida por calentamiento en película fina, ya que tal como fue dicho anteriormente, este ensayo reproduce con mucha aproximación, las alteraciones que sufren los asfaltos durante el mezclado y colocación de la mezcla.

En lo referente a la pregunta del índice de penetración, los valores de la tabla se refieren al asfalto original.

Pregunta Ing. CASTELLANO: Existe algún tipo de asfalto o aditivo que sirva para proteger el pavimento del derrame de combustibles por parte de los vehículos de transporte en las curvas de las esquinas.

Contesta Dr. AGNUSDEI: No hay aditivos que se puedan incorporar a los asfaltos para hacerlos resistentes a la acción de los combustibles. Este problema puede ser subsanado, mediante el uso de ligantes a base de breas modificadas con elastómeros. El Ing. Massaccesi ha realizado una prueba con este tipo de material, en una plaza de la ciudad de La Plata, con muy buenos resultados hasta el momento. Esta solución es frecuentemente practicada en muchos países de Europa.

#### *REPRESENTANTE DE YPF HACE ALGUNAS DECLARACIONES SOBRE EL PROBLEMA*

Doctor DE LUCA: Un comentario a algunas conclusiones que hizo el Dr. Agnusdei referentes al trabajo presentado.

En una de las conclusiones él se refería al mal comportamiento de pavimentos asfálticos que hubieran podido ser construidos o que fueron construidos en el pasado y que tuvieron mal comportamiento, pero aclaró el mismo doctor Agnusdei que ese mal comportamiento puede ser atribuido a fallas constructivas al no haber sabido o podido utilizar correctamente ese asfalto, que para ese entonces era desconocido en alguna de sus características, fundamentalmente la viscosidad. También puedo aportar el antecedente que figura como trabajo en una de las reuniones de la Comisión Permanente del Asfalto, de un pavimento urbano construido en la ciudad de La Plata y en la que después de muchísimos años se verificaba un comportamiento más que bueno. En él se había utilizado un asfalto tipo Comodoro Rivadavia. En esa obra se hacía la salvedad de que la construcción del pavimento se había hecho con una estructura cerrada, que evidentemente favorecía o favoreció el buen comportamiento del asfalto de Comodoro Rivadavia. Esto lo tomo como antecedente para decir y presentar la inquietud ante Vialidad Nacional, ya que considero que tiene todavía una

deuda con respecto a una definición referente a la factibilidad de aplicación del asfalto de Comodoro Rivadavia con buenas perspectivas. Esto está avalado por las conclusiones a las cuales se refirió el doctor Agnusdel, de los tramos experimentales construidos, uno con Medanito, otro con una mezcla Medanito y Escalante 50 % y otro con Escalante puro. En esas conclusiones hubo dos aspectos: uno desde el punto de vista del índice de servicio o índice de serviciabilidad que daban para los 3 tramos, incluido el tramo construido con el asfalto de Escalante, valores de buen comportamiento, al cabo de 7 u 8 años. Esa es una conclusión, que desde el punto de vista de transitabilidad, los tramos, incluyendo el de Escalante, han tenido un buen comportamiento. La otra deducción del trabajo, se basa sobre las características y porcentajes de fisuramiento, que evidentemente son mayores para la parte de Escalante, pero que bajo ningún concepto han conducido, aún soportando tráfico tremendos y con gran carga, a la destrucción del tramo. Todo esto sirve para hacer la pregunta y poner a consideración de los tecnólogos del país, cuál es la relación entre estas dos conclusiones. El ingeniero TAGLE refiriéndose a esos tramos dijo concretamente que si un pavimento al cabo de 5 años tenía un índice de servicio de 4,5 con un máximo de 5, él consideraba, que prescindiendo un poco del estado de fisuramiento, el tramo tenía un muy buen comportamiento. Pero yo vuelvo a hacer la pregunta: cuál es la concomitancia que debe darse entre una deducción del índice de serviciabilidad muy bueno y una deducción no tan buena o cuestionable basado sobre el porcentaje de fisuramiento. Yo decía que V.N. está en deuda en llegar a la definición absoluta con respecto a la factibilidad de utilizar el asfalto de Comodoro Rivadavia puro, sobre la base de que estos ensayos experimentales no han sido totalmente negativos. De tal manera el país exige una definición con respecto a esto, porque la Argentina no es como Estados Unidos que puede tener 20 crudos para elegir para asfaltos, ya que tiene muy pocos crudos y uno de ellos es el de Comodoro Rivadavia. El país exige una respuesta con respecto a la posibilidad de que el asfalto de Comodoro Rivadavia, que se puede disponer en abundancia, pueda ser utilizado. Porque se puede presentar el caso, en estos momentos no, como ocurrió con el asfalto de CHALLACO, ese asfalto del que nosotros nos vanagloriábamos por tener un índice de penetración y características reológicas excelentes y de un momento a otro se terminó, duró 20 años. Con el asfalto de Medanito, que estamos utilizando en este momento, puede ocurrir lo mismo. Entonces la tecnología vial argentina tiene que dar una respuesta. Si son necesarios, como se han planteado a nivel de IRAM nuevos tramos experimentales porque estos no han sido suficientes pero no negativos, que se construyan. Creo que es una obligación que la Vialidad argentina debe cumplir para darle la respuesta definitiva referente a la factibilidad de utilizar una materia prima que ha demostrado, si no ser muy buena, ser buena y con posibilidades muy efectivas.

Dr. ARCURI: Estoy de acuerdo con el Dr. DE LUCA referente al problema energético. El doctor DE LUCA y los demás miembros de la Comisión que intervienen en el Comité de Asfalto del IRAM saben muy bien y lo he manifestado en nombre del departamento Tecnología de V.N. que tienen las puertas abiertas para efectuar cualquier ensayo de comportamiento en servicio. Esto ocurrió hará cosa de 3 meses. Hasta el momento no se ha presentado ninguna inquietud. Estamos dispuestos a efectuar cuantos ensayos experimentales estimen necesarios, puesto que redundan en beneficio de la economía de nuestro país. En cuanto al comportamiento en servicio de los tramos experimentales efectuados en el Acceso Norte, el Ing. VENIER del Departamento Tecnología, Area Mecánica de Calzada, señaló en su oportunidad, la falencia del mismo. Si el Ing. VENIER se encuentra presente, podría abundar en detalles, puesto que es un problema que afecta a Mecánica de Calzada.

Ing. TOSTICARELLI: Yo creo que el doctor DE LUCA tiene razón en todo, simplemente la aclaración viene a la evaluación de ese tramo experi-

mental, en el cual el grupo de investigación de Rosario, fue invitado a participar y fue el que sugirió incluir algunos elementos de valoraciones moderna, como el del índice de serviciabilidad. Por eso quiero aclarar qué significado tiene en este caso y qué significado tiene la fisuración.

El lugar del tramo fue bien elegido, porque en siete años y medio ha llegado a tener el tránsito equivalente a 15 años de una ruta de campaña. No obstante, ese pavimento tiene una estructura inferior, mucho más fuerte que cualquier otro pavimento y tiene bases estabilizadas. Por eso esas fisuras es un índice excesivo para cualquier otro pavimento y que aquí no afectaban la serviciabilidad. Entonces, en el informe eso lo destacamos especialmente y en ese sentido considero muy buena la fórmula de evaluación adoptada por V. N. en su programa de evaluación de la red nacional, porque en lugar de valerse de una fórmula de un solo parámetro, que sería el índice de serviciabilidad, se valen de la fórmula combinada, en que fisuración entra por otro lado. En la última evaluación de ese tramo nosotros aplicamos ese criterio y al aplicar ese criterio, que evalúa deformaciones del perfil longitudinal con rugosímetro, fisuración, desprendimiento y ahuellamiento el tramo aparece castigado con fisuración, porque merece ser castigado. Entonces, el resultado considero que ha sido muy exitoso, sobre todo referente al asfalto Mezcla. Pero es condición que los resultados de este tramo en cuanto a su excesiva fisuración deben ser evaluados en forma conjunta y no como dos parámetros separados. Cuando en un pavimento cualquiera, sobre todo con una estructura inferior no tan fuerte, se producen fisuras y penetra el agua, eso se traduce en deformaciones que el índice de serviciabilidad los acusa, aquí no porque es casi como si estuviese sobre una estructura rígida y totalmente estable. De todas maneras quería hacer esta aclaración y también agregar que en la última evaluación, con el criterio de índice de comportamiento con 4 parámetros como mencioné, se acusan diferencias. No obstante, como dijo el Ing. TAGLE, que aguante 7 años ya sirve para mucho. Puede servir para otras estructuras, ahí fue usado como capa de rodamiento, como base ese problema de fisuración no podría ser tan grave. Me parece excelente el que se renueve la idea de hacer más tramos experimentales y en ese sentido quiero manifestar el deseo de colaboración de nuestro grupo.

Dr. DE LUCA; Gracias por la aclaración Ing. TOSTICARELLI, se ha entendido perfectamente. Creo que la colaboración que ofrece el Ing. TOSTICARELLI ES IMPORTANTISIMA y vale la pena insistir en darle una solución a este problema. Utilizando la expresión del doctor CELESTINO RUIZ cuando se refería a los problemas de asfaltos diluidos; el asfalto de Comodoro Rivadavia ya tiene barba, entonces habría que darle también una solución definitiva. Esta solución va a llegar a través de tramos experimentales realizados en otras condiciones, porque en esta, se ha utilizado un asfalto Escalante con una penetración por debajo de la especificada, con un valor de 60 en vez de estar en el ámbito de 70 - 100. El asfalto de Escalante no es el mejor representante del asfalto de Comodoro, hay un asfalto derivado del petróleo de Cañadón Seco, que es de la misma zona de Comodoro, que tiene propiedades mucho mejores que la de Escalante.

Los tramos experimentales deben realizarse, no debemos quedarnos en intenciones. El país necesita soluciones.