

C5-T112

**EL ESTADO DEL ARTE DE MEDIDAS DE
CONSISTENCIA DE LOS ASFALTOS PARA
PAVIMENTACIÓN**

Ing. Alicia SUBIAGA

LEMaC, UTN La Plata

ARGENTINA

EL ESTADO DEL ARTE DE MEDIDAS DE CONSISTENCIA DE LOS ASFALTOS PARA PAVIMENTACIÓN

Ing. Alicia Subiaga.
Docente investigador UTN Reg. La Plata
LEMaC Centro de Investigaciones Viales

- INTRODUCCIÓN:

El asfalto ha recibido su denominación por su apariencia física y por su consistencia. La palabra "asfalto" deriva del termino Accadio: "assphaltu" o "sphallo" que significa: resquebrajar, dividir, partir". Los griegos le asignan el significado de: Firme, estable, seguro, por sus más antiguos usos; del griego pasó al latín, luego a Francia con el término "asphalte" y al inglés con el término "Asphalt", y para el habla española "asfalto".

En tanto, el término betumen tiene su origen en el sánscrito donde la palabra "jute" que significa pitch o "jute kit" que significa pitch creado refiriéndose al producto producido por algunos árboles resinosos. El término en latín equivalente sería "gwtu men" y otros "pixtu men" (pitch espumoso o burbujeante), el cual fue generando una expresión corta "bitumen" que pasó de Francia a Inglaterra rápidamente...

El betún asfáltico, o sencillamente asfalto ha encontrado aplicación desde la antigüedad, las piezas mas antiguas fabricadas en un material denominado "mastic de bitumen" se encuentran en el museo de Louvre proveniente de Suse – hoy Iran – y se estima datan de 2500 anos AC, la analogía de composición de fragmento provenientes de la zona del Mar Muerto con el hallazgo de piezas próximas a El Cairo hacen que datan de unos 5000 anos nos permiten pensar en la existencia de un comercio entre ambas zonas desde entonces.

El creciente uso de los betunes ya sea en la construcción de pavimentos, o en la preparación de rellenos para juntas de dilatación y en diversas estructuras de impermeabilización, a pesar de que los aproximadamente 1300 crudos conocidos no todos producen iguales betunes de igual calidad y apenas un 10% de ellos betunes para uso vial y con un rendimiento de solamente un 3%, y el proceso de control de calidad hace uso de ensayos físicos.

Ha pasado poco mas de un siglo desde el comienzo de los ensayos que hoy que recorren el mundo, empleando técnicas sencillas de determinación de propiedades del asfalto, el equipamiento utilizado fue sencillo y esto hizo posible disponer de los mismos en cualquier laboratorio de asfaltos, aun en obra para un adecuado control.

El asfalto es un material complejo que debe cumplir un doble rol en las mezclas que interviene, debe impartir a la mezcla propiedades visco elásticas y unir en forma durable al resto de los componentes de la dosificación. Estas importantes propiedades aun en la actualidad pueden definirse con buena aproximación haciendo uso de de las primeras técnicas y de las actuales.

- 1- Formas de medir la consistencia de un asfalto.

1.1 Ensayos básicos

Si observamos las especificaciones de los asfaltos de los distintos países u organismos de control vemos que aun, se utilizan estas técnicas sencillas de control de propiedades físicas relacionadas con la consistencia, junto a ensayos de avanzada tecnología.

1.1.1 Penetración:

ASTM D 5 - IRAM 6576

Ensayo ideado por H.C.Bowen en 1888, y ampliamente utilizado por A.W.Dow., equipo que con algunas modificaciones se utiliza actualmente. Este consiste en una aguja estandarizada se libera por un tiempo determinado sobre la superficie del betún en determinadas condiciones de temperatura y con peso preestablecido. La condición normalmente utilizada en 100 g de peso a 25°C de temperatura y 5 seg. de tiempo de liberación del peso indicado sobre la muestra; midiéndose el valor de penetración en décimas de milímetro, es decir es una medida de la profundidad de penetración en betunes, medida asociada a la consistencia del mismo. Este ensayo es de aplicación universal. Y aun es utilizado para clasificar a los asfaltos.

1.1.2 Punto de ablandamiento:

ASTM D 36 - IRAM 115

Los asfaltos no poseen un punto de fusión determinado sino que se ablandan gradualmente, para dar un valor a una propiedad similar a la de fusión se han desarrollado diversos métodos, el mas conocido es el de anillo y bola; bajo condiciones especificadas se vierte betún a ensayar en un anillo, se acondiciona a cierta temperatura, se coloca en el soporte especialmente diseñada con una esfera de acero de 3,5 g de peso sobre ella, se calienta gradualmente a una velocidad determinada hasta que el asfalto por acción del peso de la esfera y de la temperatura se deforme hasta una distancia de una pulgada y en ese punto se registra la temperatura. Esta temperatura se conoce como punto de ablandamiento del betún. Ensayo de aplicación universal.

Índice de penetración - Susceptibilidad térmica: Con los ensayos mencionados podemos introducir el concepto de susceptibilidad térmica, ya que el asfalto es un material termoplástico, es decir a baja

temperatura se comporta como un sólido, a altas temperaturas como un líquido viscoso y a temperaturas intermedias tiene propiedades visco elásticas. En 1936 Pfeiffer observa una relación lineal entre el logaritmo de la penetración y la temperatura con una pendiente relacionada a la susceptibilidad térmica del asfalto, al representar $\log.P$ en función de la temperatura.

De la representación dedujo que los asfaltos tienen la temperatura correspondiente al punto de ablandamiento una penetración de 800.

La pendiente toma el valor siguiente, por definición de la ecuación de una recta:

$$A = (\log 800 - \log P_{25^{\circ}\text{C}}) / (T_{P.AB.} - 25) = \log 800 / P_{25^{\circ}\text{C}} / (T_{P.AB.} - 25)$$

Pfeiffer y Van Doormal, poco después prefieren la expresión Susceptibilidad Térmica la cual podría tomar un valor de cero para asfaltos viales, y definen a esta como índice de Penetración, con la siguiente expresión:

$$\log 800 / P_{25^{\circ}\text{C}} / (T_{P.AB.} - 25) = (20 - IP) / (10 + IP) * 1 / 50$$

$$IP = 20 - 10 [(50 \log 800 / P_{25^{\circ}\text{C}}) / (T_{P.AB.} - 25)] / [(50 \log 800 / P_{25^{\circ}\text{C}}) / (T_{P.AB.} - 25) + 1]$$

El valor del Índice de Penetración va de -3 para betunes muy susceptibles a la temperatura hasta +7 para los betunes poco susceptibles a la temperatura. Para asfaltos de uso vial los asfaltos menos susceptibles a la temperatura toman valores positivos y los asfaltos más susceptibles a la temperatura valores negativos, en general de -0,5 a 1,5..

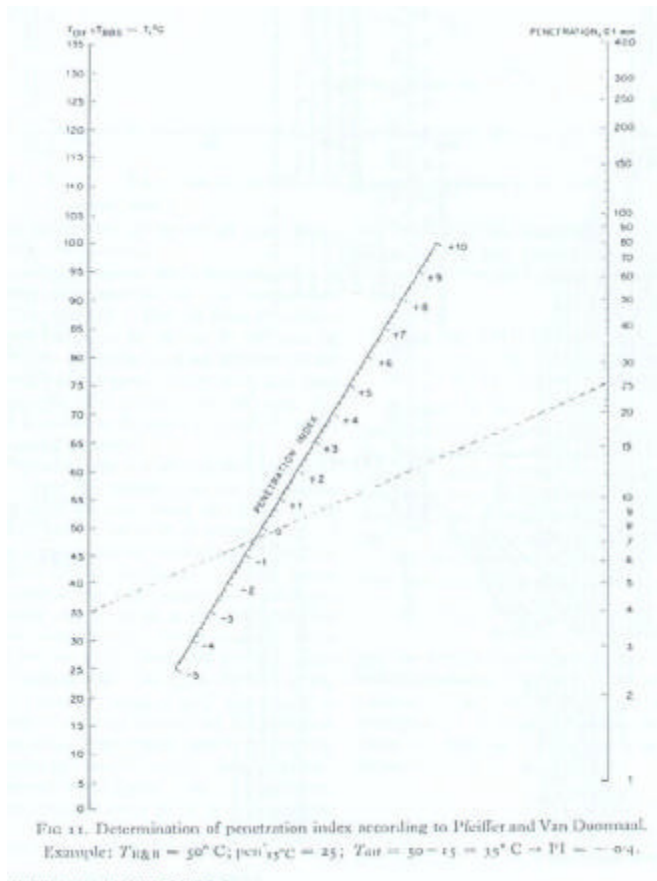
Podemos calcular la pendiente de la recta o susceptibilidad térmica del asfalto mediante la determinación de la penetración a dos o más temperaturas diferentes mediante la siguiente expresión:

$$A = \log \text{pen } T_1 - \log \text{pen } T_2 / (T_1 - T_2)$$

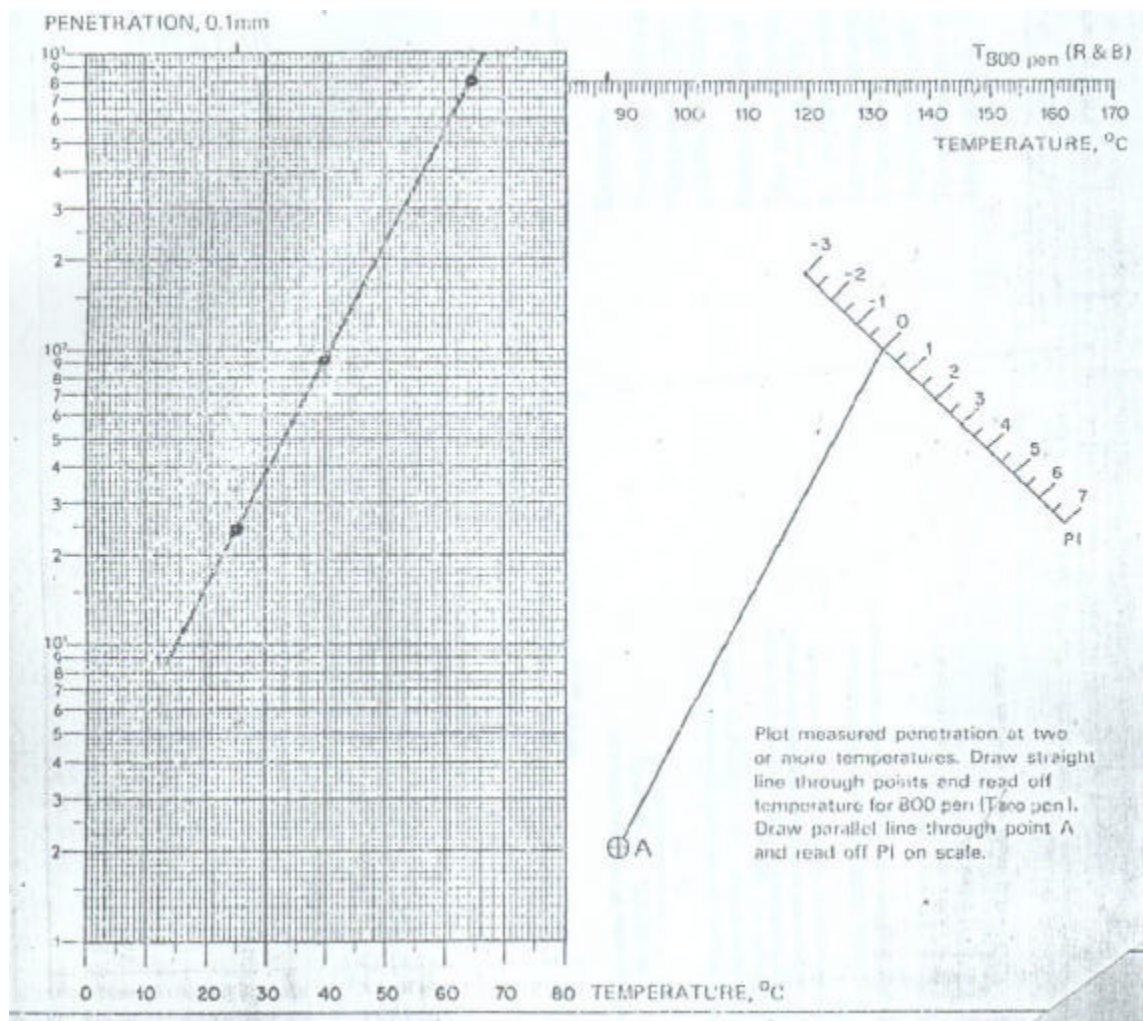
La consistencia que toma el betún en el punto de ablandamiento se determina por extrapolación lineal entre ambas nos da la penetración del betún en el punto de ablandamiento.

El Índice de penetración se determina gráficamente conociendo la penetración a dos temperaturas diferentes o bien el punto de ablandamiento y penetración del mismo. Los gráficos son los siguientes:

Un IP relacionando Pen / P Ab.



- Al relacionar dos datos de penetración a dos temperaturas diferentes, se puede obtener la susceptibilidad térmica del asfalto mediante el siguiente grafico de Heukelom



1.1.3 Punto de rotura Fraas: IP 80 – IRAM 6831

Con muy poca diferencia respecto a los anteriores Tecnólogos Fraas – en 1937 – desarrolla este ensayo que lleva su nombre. Este ensayo puede ser usado para describir el comportamiento de los betunes a muy bajas temperaturas, aprox. $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Este ensayo nos indica el comportamiento reológico de las mezclas compactas a bajas temperaturas, y es la temperatura a la cual el betún toma la rigidez crítica y quiebra.

El ensayo consiste en colocar sobre placa de acero libre de óxido, de 41 mm de longitud, 20 mm de ancho y 0,15mm de espesor, $0,4 \cdot \delta$. a $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ en g/cm^3 (cantidad de muestra equivalente a un espesor de 0,05cm), g de la muestra del asfalto a ensayar distribuida en forma uniforme. Luego se coloca en el soporte de la probeta del equipo Fraas, se somete el mismo a un descenso de la temperatura de $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$, y comienza a flexionarse a través de un dispositivo especial, a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ del punto de ruptura esperado.



El punto de rotura Fraas se puede predecir utilizando los valores de penetración y punto de ablandamiento porque es equivalente a la temperatura a la cual el betún toma un valor de penetración de 1,25; o bien mediante el gráfico que surge a través de dos datos de penetración a temperaturas diferentes.

Recientemente en nuestro país se ha homologado el uso de la clasificación de asfaltos por viscosidad además de la clasificación de los mismos por penetración. La norma argentina que clasifica a los asfaltos por penetración es la norma IRAM 6604 y la que los clasifica por viscosidad es la norma IRAM-IAP A6835.

- 1.2 - Ensayos de consistencia por capilaridad
 - 1.2.1 Viscosidad Absoluta: Viscosidad mediante viscosímetros capilares de vació
- ASTM D 2171 – IRAM 6836

Conceptos básicos: Cabe recordar que viscosidad es la relación entre el esfuerzo de corte aplicado y la velocidad de corte aplicada llamado coeficiente de viscosidad. Este coeficiente es la medida de la resistencia al flujo de un líquido. Comúnmente llamada viscosidad del líquido.

La unidad en el sistema de medida cgs es $1\text{g}/\text{cm}\cdot\text{s}$ ($1\text{dina}\cdot\text{s}/\text{cm}^2$) y es denominada Poise (P).

Poiseville, 1799/1869, en un extenso trabajo en reología formulo la ley de flujo viscoso en capilares, en honor de quien lleva la unidad de flujo viscoso la denominación de Poise.

En el sistema SI de medida la unidad de viscosidad es el Pa.s (1N.s/m²) y equivale a 10P.

Esta viscosidad es medida por algún sistema geométrico que no esté influenciado por la gravedad.

Un líquido en el cual la velocidad de corte es proporcional al esfuerzo de corte será un líquido **Newtoniano**; de lo contrario si el esfuerzo de corte varía con la velocidad de corte estaremos en presencia de un líquido de fluir **No Newtoniano**. Dentro de los líquidos no Newtonianos tenemos aquellos que dependen del tiempo de aplicación de la velocidad de corte y aquellos que son independientes del mismo.

Sir Isaac Newton – 1642/1727 – estudio el flujo de fluidos y registro sus principios en su Principia.

El método cubre el procedimiento para la determinación de viscosidad de asfaltos (betunes) por viscosímetros capilares de vacío a una temperatura de 60°C (140°F). Se aplica a materiales con un rango de viscosidad entre 0,036 a 200000 P (Poises) Puede aplicarse este método a otras temperaturas, indicando la misma. (Algunas normas utilizan el mismo método extendiéndolo a viscosidades de 5800000 poises).

Para la determinación utiliza viscosímetros capilares por vacío, siendo las pipetas más aplicadas, las siguientes:

- Cannon Manning.
- Asphalt Institute.

El método de operación consiste en medir el tiempo de flujo de un volumen fijo del betún en estudio bajo condiciones de temperatura y vacío determinadas. La operación se estudia en ciertas condiciones de vacío dada la gran resistencia a la fluencia que tienen estos asfaltos a 60AC, temperatura no muy lejana al punto de ablandamiento de los asfaltos que nos ocupa. El vacío normalizado para este ensayo es de 30cm de columna de Hg...

Para la determinación de la viscosidad debemos conocer el factor de calibración de la misma y el tiempo de fluencia obtenido en la determinación del ensayo.

Para el cálculo de la viscosidad se aplica la siguiente relación:

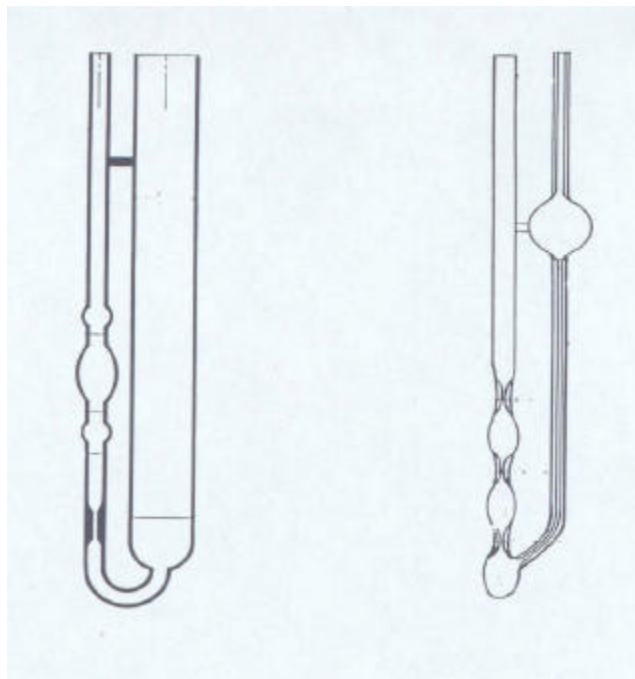
$$\mu = K * t$$

μ = Viscosidad absoluta, Poise (Pa.s).

Densidad de un líquido se define la masa por unidad de volumen del mismo. En el sistema de medida cgs la unidad de la densidad es g/cm³, y en el sistema SI la unidad de la densidad es Kg. / m³.

Entre los viscosímetros capilares más utilizados en viscosidad cinemática, tenemos:

- Cannon Fenske.
- IP – Instituto del Petróleo.
- La viscosidad y las distintas formas de fluencia y deformación de los materiales y las diferentes formas de medirla es estudiada por una ciencia denominada **Reología**.



Viscosímetro capilar de vacío (P) (Pa.s)
Cannon- Manning
ASTM D- 2171

Viscosidad cinemática (St)
Cannon Fenske Opaque
ASTM D-2170

1.2.3 - Viscosidad aparente empleando viscosímetro rotacional con cámara termoestabilizada, de tipo Brookfield Thermosel o similar.
ASTM D-4402 - IRAM 6637

Este método se utiliza para determinar la viscosidad aparente de asfaltos a una temperatura comprendida entre 38°C y 200°C, debido a que algunos asfaltos pueden exhibir comportamiento no-newtoniano,

en las condiciones de este ensayo, y no siendo estos valores únicos del material sino que reflejan el comportamiento del fluido y del sistema de medición no siempre predicen el comportamiento e las condiciones de uso del material.

Conceptos básicos: Llamamos viscosidad aparente a la relación entre el esfuerzo aplicado y la velocidad de cizallamiento de un fluido newtoniano o no-newtoniano.

El método consiste en medir la resistencia que opone el fluido al movimiento del rotor.

Para determinar la viscosidad se multiplica a la lectura indicada en el display por un factor, obteniendo la expresión en mili pascal segundo.

Un esquema de un viscosímetro rotacional, en este caso Brookfield, puede verse en el sig. Esquema:

Si se dispone de este equipamiento para el control de la consistencia de un asfalto para uso vial son menores la limitaciones para un adecuado estudio del comportamiento del cemento asfáltico, propiedades que merecen exponerse en otro trabajo.



Hemos visto que la *Susceptibilidad térmica del asfalto o Índice de Penetración*: la podemos determinar mediante el diagrama de Heukelom que requiere para su determinación de los datos de penetración a dos temperaturas diferentes o bien la penetración a 25°C y el punto de ablandamiento del asfalto fue cuestionado por muchos estudiosos del asfalto, debido a que todos los asfaltos en el punto de ablandamiento tenían una penetración de 800 dmm., sean estos directos, sopladados o con

contenidos de parafinas; dato demostrado por el concepto de determinación mencionado en primer termino.

Con el estudio de la viscosidad de los asfaltos y su clasificación podemos también ubicar a los asfaltos por un Índice utilizando valores de viscosidad a diferentes temperaturas, aplicando logaritmo podemos linealizar la expresión y obtener la susceptibilidad térmica de la viscosidad cuya pendiente puede ser igual a la del Índice de Penetración asumiendo que todos los asfaltos tienen una viscosidad de 1300 Pa.s en el punto de ablandamiento.

El Índice de Susceptibilidad Térmica de la viscosidad esta dado por:

$$VTS = 0,221 [(\log (\log (\mu_1 + 0,8)) / \log (\mu_2 + 0,8)) / \log (T_1/T_2)]$$

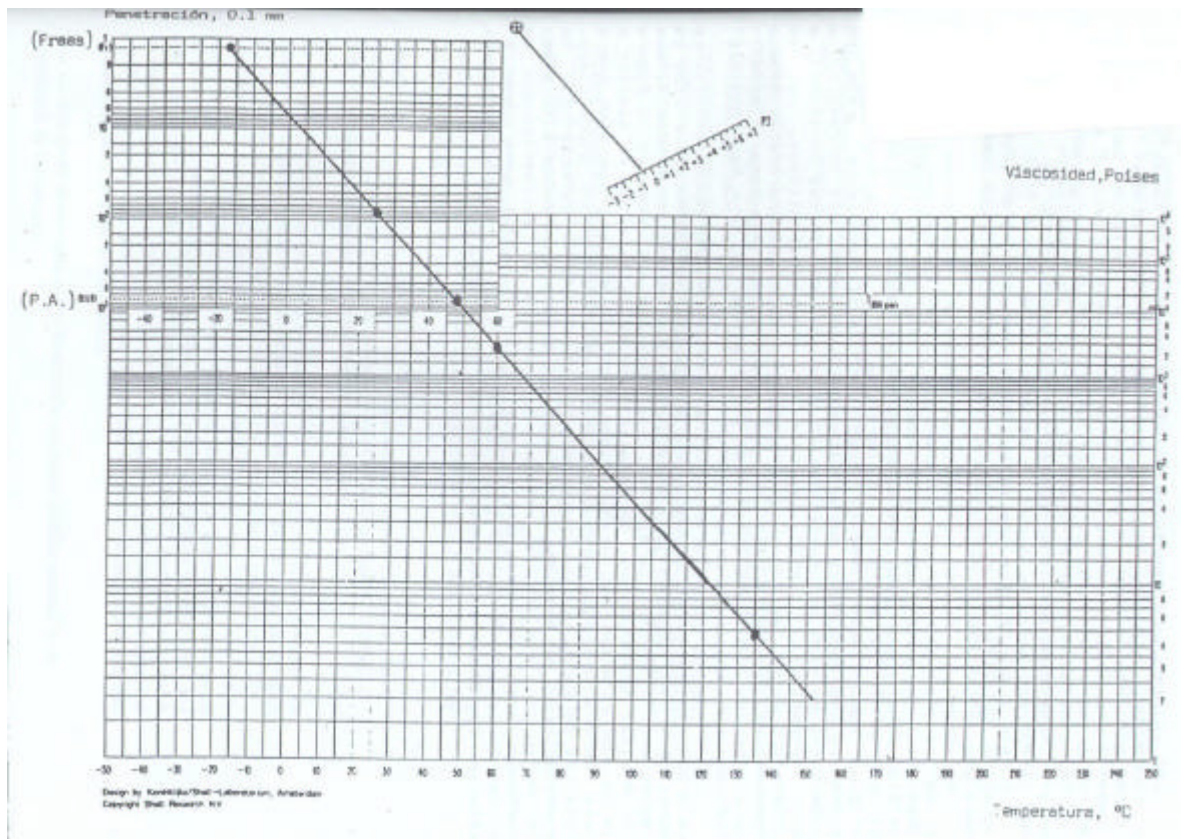
Donde:

μ = viscosidad cinemática en Poise

T = temperatura en °F

Este índice tomado con la una relación de viscosidad a bajos valores indica poca susceptibilidad térmica. El principio se encuentra graficado en la norma ASTM D- 2493.

Situaciones que se puede ver claramente en el nomograma de Heukelon, para un betún tipo S:



Si consideramos como condiciones de contorno en dicho nomograma, las siguientes:

$$c = 0 \quad \Rightarrow \quad \mu = 1 \text{ Poise}$$

$$c = 1000 \quad \Rightarrow \quad P = 0,1 \text{ mm}$$

La relación de c con la penetración y la viscosidad, viene dada por:

$$C = 1000 - 125 \log P$$

$$C = 1310 * \log \mu / (4,35 +$$

$\log \mu$)

En estas condiciones se puede proponer una definición general de la susceptibilidad térmica para ambas regiones, para la zona de penetración y la de viscosidad para un betún tipo S .

La **susceptibilidad térmica de un betún**

$$BTS = [30 / (0,4 \{ (c1 - c2) / (T2 * T1) \} + 1)] - 10$$

El BTS puede determinarse a dos temperaturas diferentes obteniéndose, como vimos, según sea la determinación el ensayo de penetración, punto de ablandamiento o viscosidad, lo siguiente:

$$(BTS) P = IP$$

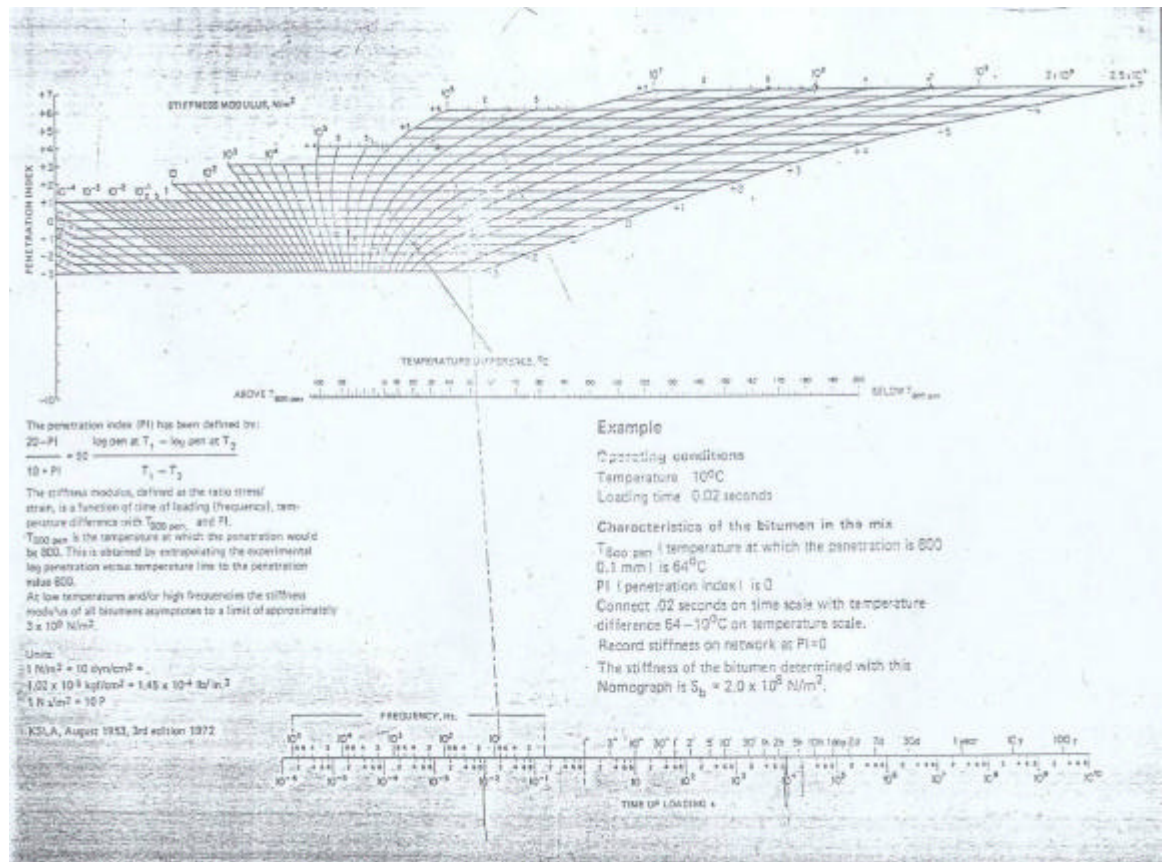
(BTS) Vis = IP Vis

Es decir, el valor numérico o índice de susceptibilidad térmica obtenida por penetraciones o por punto de ablandamiento y penetración para determinar el índice de Penetración, puede ser el mismo al obtenido a través de datos de viscosidad. Obviamente no es adecuado hablar de IP en términos de viscosidad lo correcto es referirnos en términos de viscosidad para la (BTS) VIS.

Los asfaltos que cumplen con las demostraciones dadas son los asfaltos Tipo S de la clasificación en el Nomograma de Heukelon.

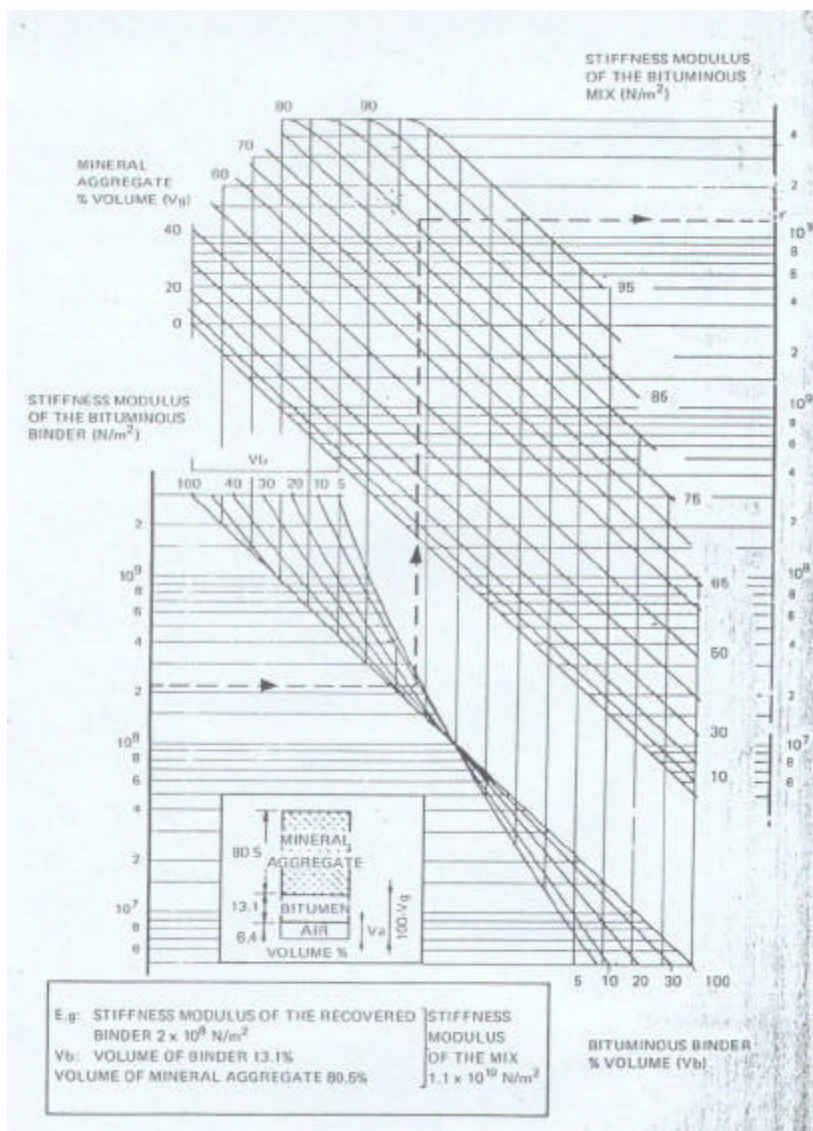
- 3- Aplicación de las determinaciones físicas:

Por razones de simplicidad, costos de equipamiento, etc el ensayo de penetración, el índice de penetración calculado y el punto de ablandamiento son los ensayos universalmente utilizados nos permiten conocer propiedades tan importantes como el módulo de rigidez del betún asfáltico que habremos de emplear en la dosificación del pavimento flexible, según se aprecia en los siguientes gráficos:



Este nomograma que caracteriza un betún aplicando sus propiedades físicas, fue realizado por Van der Poel a través del nomograma que lleva su nombre y conocido como BTDC – Bitumen Test Data Chart – y que varía según se trate del betún en, tipo S, B o W. Nos ocupamos de los betunes tipo S en el presente trabajo.

Por ultimo podemos decir que, con el arte de medir la consistencia de los asfaltos y con los resultados del calculo de la composición volumétrica de la mezcla podemos predecir el modulo de stiffnes o modulo de rigidez de la mezcla asfáltica diseñada; utilizando el siguiente ábaco



- 3.1 Consideraciones asumidas en el presente:
 Se conoce la procedencia del asfalto a usar.
 Se conoce el método de obtención aplicado en refinería.

La viscosidad es 1300 Pa.s cuando toma 800 1/10 mm de penetración.

Los asfaltos no contienen parafinas aunque pueden ser de diferentes crudos.

La viscosidad a diferentes temperaturas puede ser obtenida con la ayuda del nomograma.

- 4 - Conclusiones.
- El VTS puede ser igual al IP. Caso que nos ocupa. Asfalto tipo S.
La viscosidad puede ser obtenida de la lectura del mismo nomograma con los ensayos mencionados.
Los asfaltos pueden provenir de diferentes crudos, solo variara la pendiente de la recta ya que esta influenciada por la susceptibilidad térmica.
- * En asfaltos parafínicos no se puede aplicar debido a que la penetración en el punto de ablandamiento puede tener un valor próximo a 800 1/10mm pero la viscosidad es mucho menor a 1300 Pa.s., y presenta diferente pendiente según la zona en estudio correspondiente al nomograma de Heukelon.
En asfaltos soplados la viscosidad es mucho mayor en el punto de ablandamiento al valor supuesto de 1300 Pa.s
- * El trabajo ha relacionado la mayor cantidad de ensayos de fácil ejecución y conocimiento, a excepción de la viscosidad que requiere prácticas difíciles de aplicar en obra.
- El presente trabajo no ha mencionado ensayos de importancia tales como el ensayo de ductilidad, contenido de parafinas, asfaltenos, pérdida por calentamiento en película delgada, etc.
No se ha tenido en cuenta ningún ensayo que nos oriente acerca de las propiedades químicas o físico química del betún a aplicar que tanta relevancia tiene en el comportamiento del asfalto, a pesar que en la actualidad nuevamente se redobla la aplicación de ensayos físicos estudiando a la mezcla asfáltica en un todo como lo indica la tecnología SHRP.
- Estas consideraciones se aplican solamente a asfaltos convencionales, tipo S dirigido a profesionales, que dispongan aun en obra, de equipamiento muy simple para el control de calidad y predicción de las propiedades de las dosificaciones.
- 5 – Bibliografía:
 - de Bats, F. "Practical Rheological Characterization of Paving Grade bitumens". Pp 304-310. EB 1989.

- Huekelom W. " Improved Methods of Characterizing Asphaltic Bitumens with The Aid of their Mechanical Properties. AAPT – 1973.
- Van der Poel "A General System Describing the Viscoelastic Properties of Bitumens and its Relation to Routine Test Data". – 1954.
- Edwards J.M. "Bitumen Specification and Quality". 1973.
- Pinilla A., Agnusdei J., Frezzini P. " Nuevas tendencias en especificaciones y su aplicación a los asfaltos procesados en el país". CPA. 1971.
- Bitumen Actualite. "Quelques donnes pratiques"-1995 pp32-39.
- ASTM. Asfaltos para caminos.
- IRAM- Asfaltos para pavimentación.
- Pfeiffer j. "The Properties of Asphaltic Bitumen". 1950.
- Abrahams H. "Asphalt and Allird Substances". 1962.
- Whiteoak D. " The Shell Bitumen Handbook". 1991.