

ESTUDIO REOLOGICO DE LA MODIFICACION QUIMICA DE UN BETUN ASFALTICO

LUIS FRANCISCO MONTERO RUANO (*)

MANUEL BLANCO FERNANDEZ (**)

RESUMEN. En el presente trabajo se estudia cómo una reacción química puede cambiar las propiedades reológicas de un betún, cambiando la estructura coloidal del betún. Se supone un modelo de estructura coloidal para el betún modificado y se trata de comprobar si este modelo se puede justificar a partir de los resultados experimentales.

ABSTRACT. In this work is studied how a chemical reaction changes the rheological properties of a bitumen, by means of changing the colloidal structure of the bitumen. A model for the colloidal structure of the modified bitumen is proposed and justifications for this model are found in experimental results.

INTRODUCCION

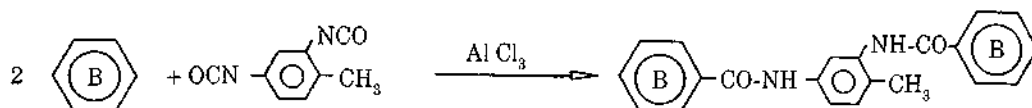
El betún es un fluido, y como tal pueden estudiarse sus propiedades reológicas. Un buen conocimiento de estas propiedades puede ser una ayuda importante a la hora de determinar una aplicación apropiada para el mismo.

Las propiedades reológicas son función de las características estructurales del fluido. El betún tiene una estructura coloidal en la que las moléculas de asfaltenos se agrupan formando micelas que están solvatadas por resinas y a su vez todo está disuelto en un medio formado por aceites (Fig. 1).

Los asfaltenos son moléculas de gran tamaño, con un alto contenido en núcleos aromáticos, los aceites son moléculas pequeñas de hidrocarburos saturados y las resinas son moléculas con una estructura intermedia entre las otras dos.

Si por medio de una reacción química modificamos la estructura coloidal del betún, esta modificación tendrá un reflejo en las propiedades reológicas del material. De este modo, podemos modificar el betún por medio de una reacción tipo Friedel-Crafts con un reactivo difuncional como el toluen-2,4-diisocianato.

Esquemáticamente la reacción sería:



Donde  representa las moléculas aromáticas del betún, que están principalmente en los asfaltenos.

Con esta reacción logramos un entrecruzamiento entre las moléculas de asfalto, que puede ser intramolecular e intermolecular. En este caso pasaremos a un sistema coloidal distinto (Fig. 2), con propiedades reológicas muy diferentes al anterior, mientras que si la reacción es únicamente intramolecular, el sistema coloidal no sufri-

rá grandes modificaciones, y por tanto no habría mucho reflejo en las propiedades reológicas.

PARTE EXPERIMENTAL

La modificación química se ha realizado en el toluen-2,4-diisocianato, usando como catalizador tricloruro de aluminio, en proporciones betún/isocianato/catalizador de 97/1,5/1,5. La reacción se llevó a cabo en un baño de aceite a 150 °C durante 16 horas con agitación constante.

El estudio de las propiedades reológicas se ha realizado en un reómetro capilar marca Instron modelo 8211. Este reómetro, mide la fuerza que ha de ejercerse sobre el betún para que fluya a través de un capilar

(*) Licenciado en Ciencias Químicas. Sección de Química Orgánica del Laboratorio de Estructuras y Materiales del CEDEX (MOPU).

(**) Doctor en Ciencias Químicas. Jefe del Sector de Materiales del Laboratorio de Estructuras y Materiales del CEDEX (MOPU).

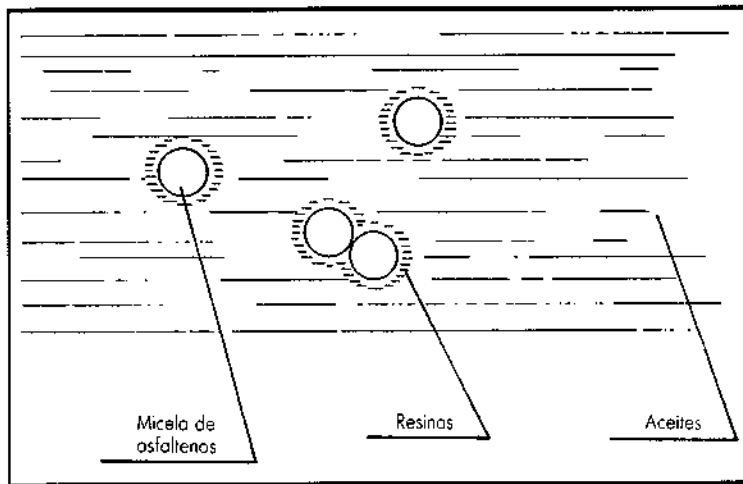


FIGURA 1. Estructura coloidal del betún original.

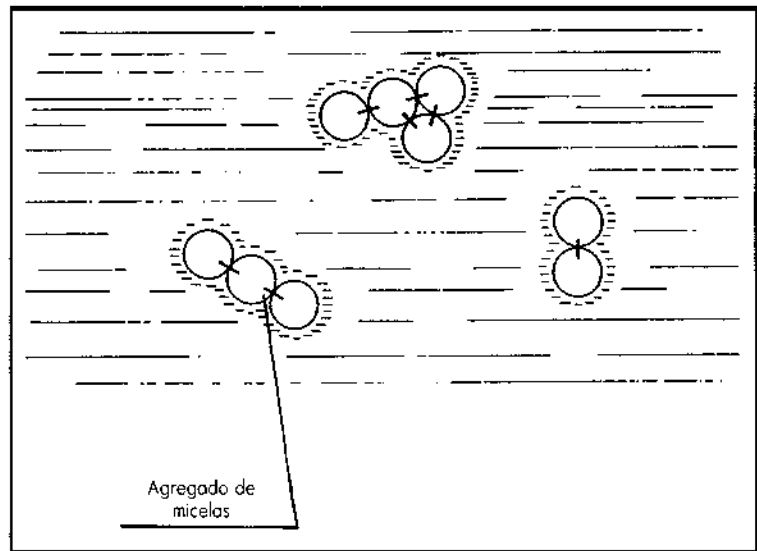


FIGURA 2. Estructura coloidal del betún modificado.

(fig. 3). Se puede controlar la temperatura del proceso y la velocidad de bajada del émbolo que empuja al betún.

La viscosidad aparente del betún, μ , se calcula según:

$$\mu = \frac{\sigma}{D} \quad (\text{Eq. 1})$$

Donde σ es el esfuerzo cortante y D es la velocidad de cizalla.

El valor de σ se calcula a partir de la carga en kg que mide el reómetro, multiplicando por un factor que depende de las características del aparato empleado, en nuestro caso:

$$\sigma = 3,44 \times 10^5 \frac{dc}{L} F \quad (\text{Eq. 2})$$

Donde F es la carga en kp, L la longitud del capilar y dc el diámetro interno del capilar.

D se calcula a partir de la velocidad de bajada del émbolo $V \times h$:

$$D' = 8 V/dc \quad (\text{Eq. 3})$$

En donde:

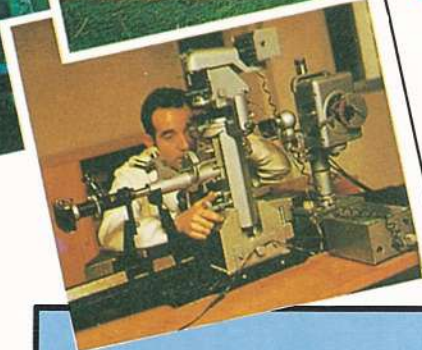
$$V = V \times h/60 (db/dc)^2 \quad (\text{Eq. 4})$$

En las que D' es el gradiente de velocidad del fluido en el capilar, considerándolo parabólico, db el diámetro interno del reservorio y $V \times h$ es la velocidad media del betún en el capilar. Sin embargo, al no ser el betún un fluido newtoniano, no sigue esa ley y no podemos calcular D directamente, sino que es necesario hacer una

**GEOLOGIA, GEOTECNIA, CONTROL DE OBRA,
CONTROL MEDIO AMBIENTAL Y LABORATORIOS.**

**FABRICACION DE: ADITIVOS PARA MOLIENDA DE
CEMENTO Y PARA HORMIGON, CEMENTO ROMPEDOR
DE ALTA SEGURIDAD** (silencioso, no explosivo).

PROYECTOS, ESTUDIOS, ANALISIS Y ENSAYOS



- Localización y estudios de yacimientos.
- Sondeos y ensayos de campo
- Ensayos de identificación
- Ensayos mecánicos
- Ensayos de control y caracterización
- Descripción geológica
- Características Geotécnicas
- Análisis y caracterización de minerales y concentrados.
- Análisis de carbones.



Compañía Internacional de Investigación y Ensayos, S.A.

Carretera Madrid-Toledo, Km. 50 (desvío de Cabañas de la Sagra). 45520 Villaluenga de la Sagra (Toledo).
Tels. (925) 53 03 00 - 53 06 12 - 53 03 09. Fax. (925) 53 11 36 • Azorín, 2. 13170 Miguelturra (Ciudad Real). Tel. (926) 22 98 36

LABORATORIO ACREDITADO POR EL MINISTERIO DE INDUSTRIA Y ENERGIA PARA LOS ENSAYOS DE YESOS, CEMENTOS Y SUS PREFABRICADOS • LABORATORIO HOMOLOGADO POR EL MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS Y URBANISMO EN LAS CLASES A (HORMIGONES) y C (SUELOS) • LABORATORIO ACREDITADO POR LA RED ESPAÑOLA DE LABORATORIOS DE ENSAYO • EMPRESA COLABORADORA DE LA ADMINISTRACION (ECA) EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE.

CONSTRUIMOS SOLUCIONES

Obras que identifican nuestra forma de trabajar y califican la larga trayectoria de nuestra empresa.

Construimos grandes realidades que son el fruto de la técnica y la experiencia acumulada a lo largo de los años.

Así somos y así seguiremos: construyendo futuro.



FOMENTO
DE OBRAS Y CONSTRUCCIONES S.A.

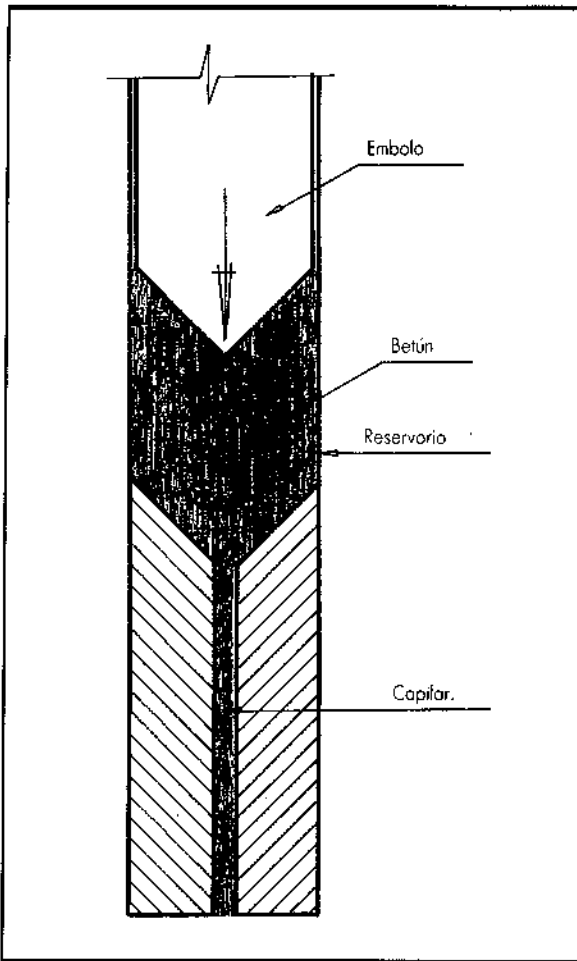


FIGURA 3. Esquema del reómetro capilar.

corrección debido a que el gradiente de velocidad no sigue un perfil parabólico (Fig. 4), de modo que D se calculará según:

$$D = \frac{3n' + 1}{4n'} \cdot 8V/dc \quad (\text{Eq. 5})$$

n' es el factor de corrección de Rabinowich, que viene dado por la pendiente de la recta $\ln \sigma$ vs $\ln D'$. Por tanto la viscosidad se calculará a partir de las ecuaciones 2 y 5.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Si representamos los valores obtenidos de viscosidad frente a la temperatura para el betún original y modificado, obtenemos los gráficos 1 y 2, en los que se observa un importante aumento de la viscosidad con la modificación, tal como sucedería si se formaran los agregados en la figura 2. Respecto a las gráficas, hay que tener en cuenta que al ser estos betunes y fluidos muy viscosos, las medidas a bajas temperaturas y eleva-

das velocidades de deformación no son fiables pues están en el límite de carga del reómetro, por esto no se han tenido en cuenta estas medidas a la hora de realizar las gráficas, y este efecto es mayor en el betún modificado, por ser más viscoso.

Si representamos el logaritmo de la viscosidad frente a la temperatura (gráfs. 3 y 4), obtenemos unas rectas en las que se observa una menor dependencia (menor pendiente) de la viscosidad con la temperatura para el betún modificado, que puede explicarse a partir de los agregados de la figura 2.

Efectivamente, en el betún original se pueden formar agregados, pero las fuerzas de unión son débiles y están muy influidas por la temperatura, por ello la dependencia de la viscosidad con la temperatura es alta. En cambio, en el betún modificado, la reacción química da lugar al establecimiento de unas uniones permanentes entre las micelas, por lo que la dependencia con la temperatura será menor, lo que se pone de manifiesto en la menor pendiente de las rectas $\log \mu$ vs T en el betún modificado con respecto al original.

Si representamos el esfuerzo cortante, σ , frente a la velocidad de cizalla, D , obtendremos los gráficos 5 y 6 en los que se observan diferencias de comportamiento

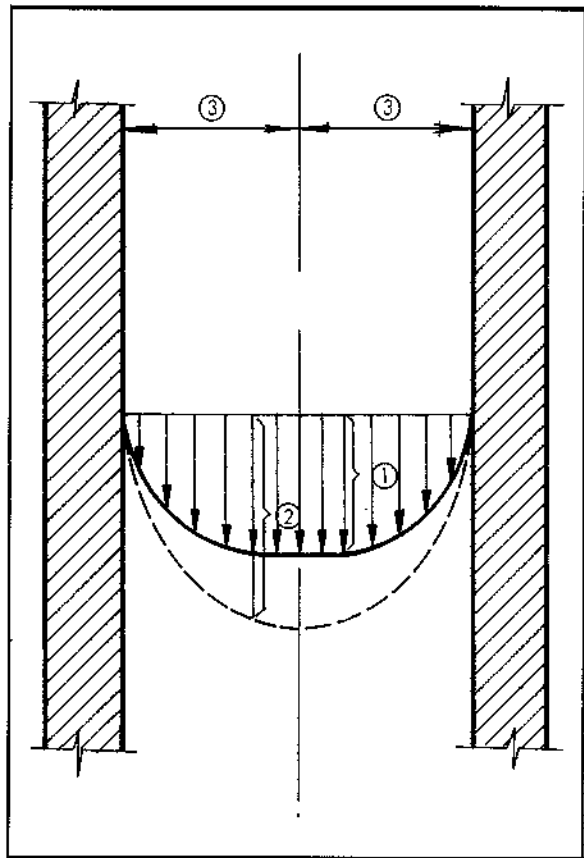


FIGURA 4. Perfil de velocidades en el capilar. 1. Perfil de fluidos no newtonianos. 2. Perfil para fluidos newtonianos. 3. Radio del capilar.

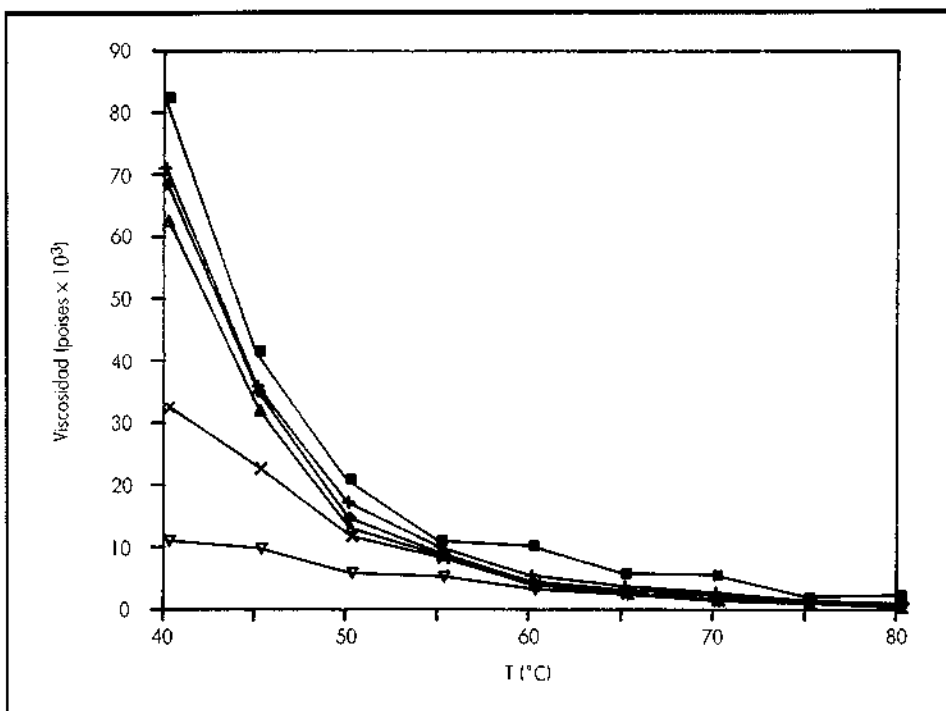


GRAFICO 1. Representación de la viscosidad frente a la temperatura a distintas velocidades de cizalla. Velocidades de 1/s: $\square$ 7,08; $+$ 23,62; $\diamond$ 70,87; $\triangle$ 236,2; $\times$ 708,7; ∇ 2.362,2. Betún original.

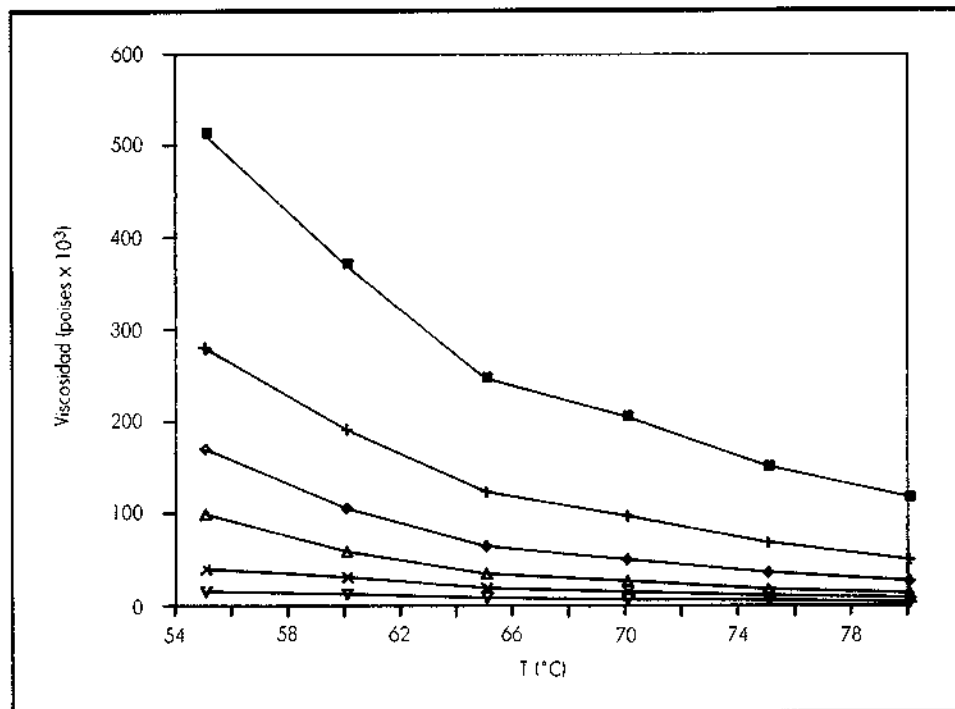


GRAFICO 2. Representación de la viscosidad frente a la temperatura a distintas velocidades de cizalla. Betún modificado. Velocidades como en el Gráfico 1.

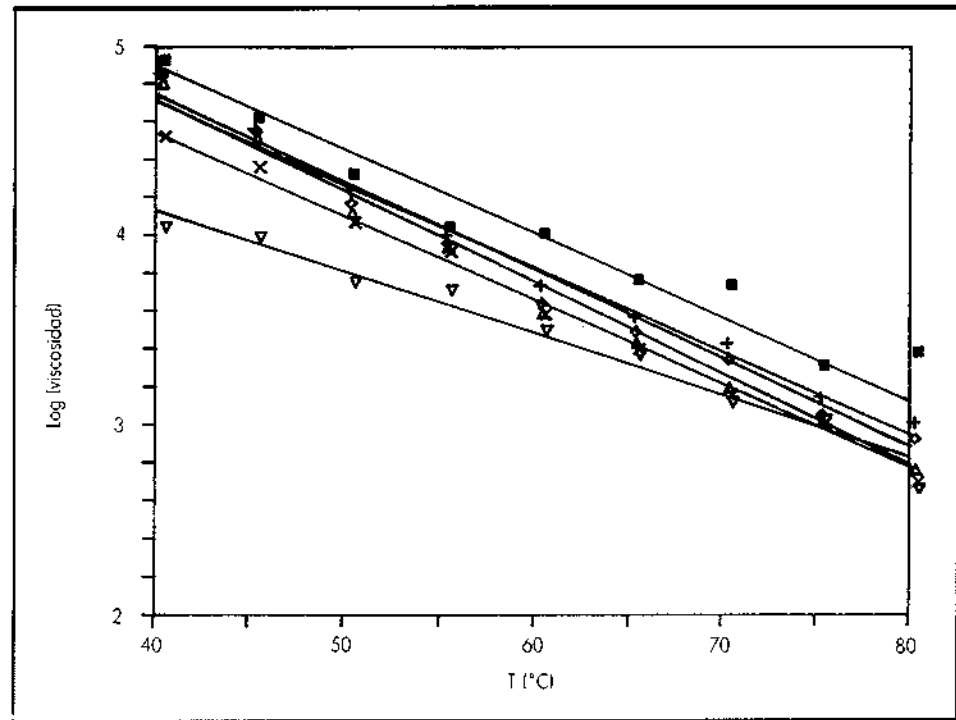


GRAFICO 3. Logaritmo de la viscosidad frente a la temperatura para distintas velocidades de deformación. Betún original. Velocidades como en el Gráfico 1.

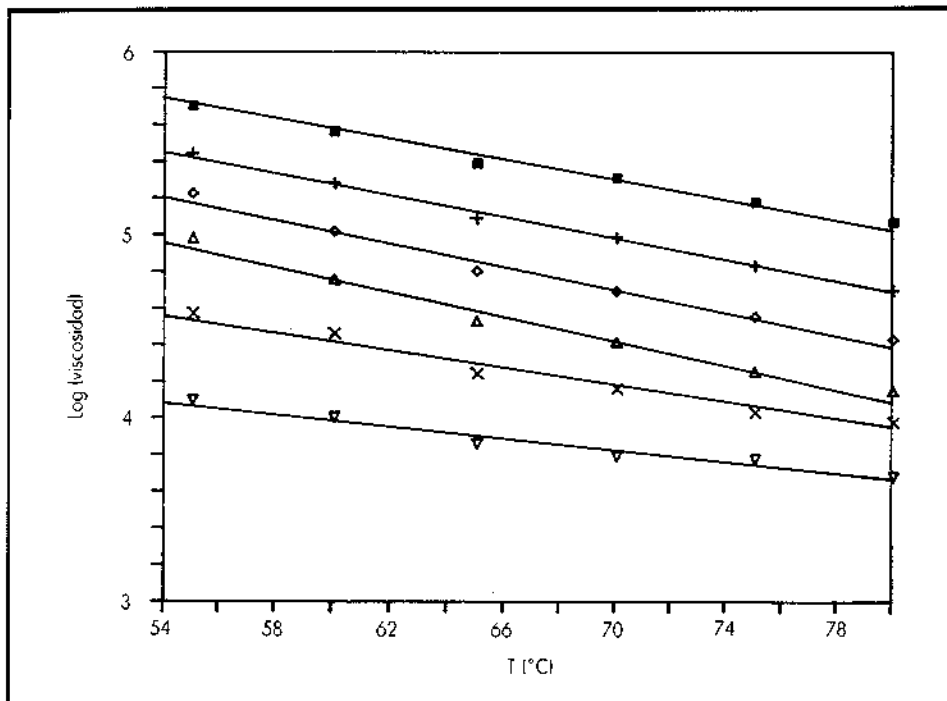


GRAFICO 4. Logaritmo de la viscosidad frente a la temperatura para distintas velocidades de deformación. Betún modificado. Velocidades como en el Gráfico 1.

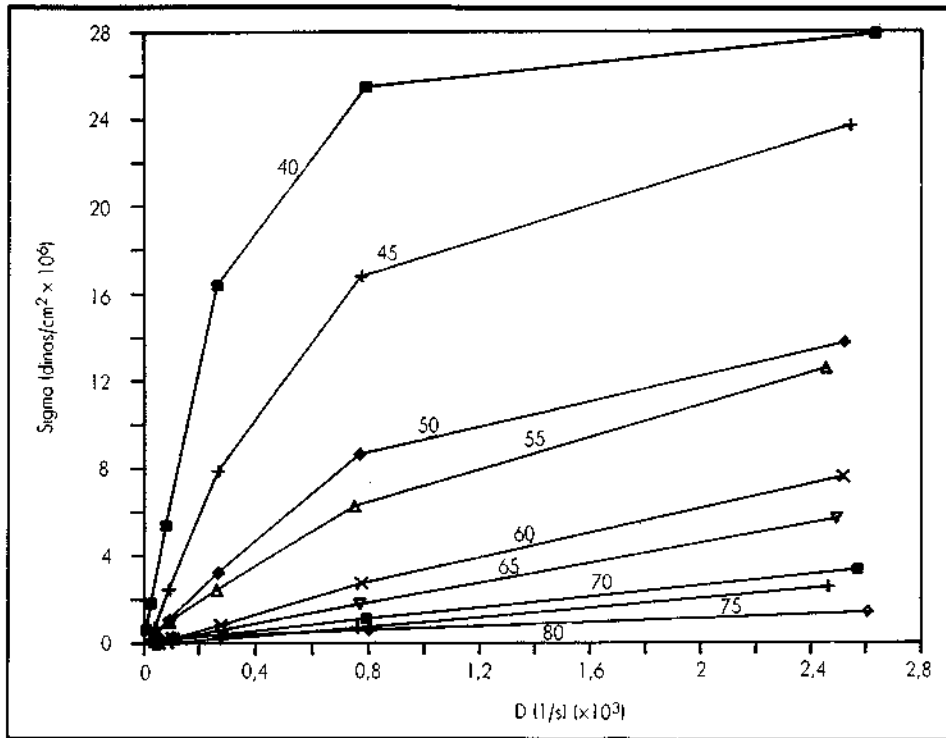


GRAFICO 5. Representación del esfuerzo cortante, σ , frente a la velocidad de deformación para el betón original a distintas temperaturas ($^{\circ}\text{C}$).

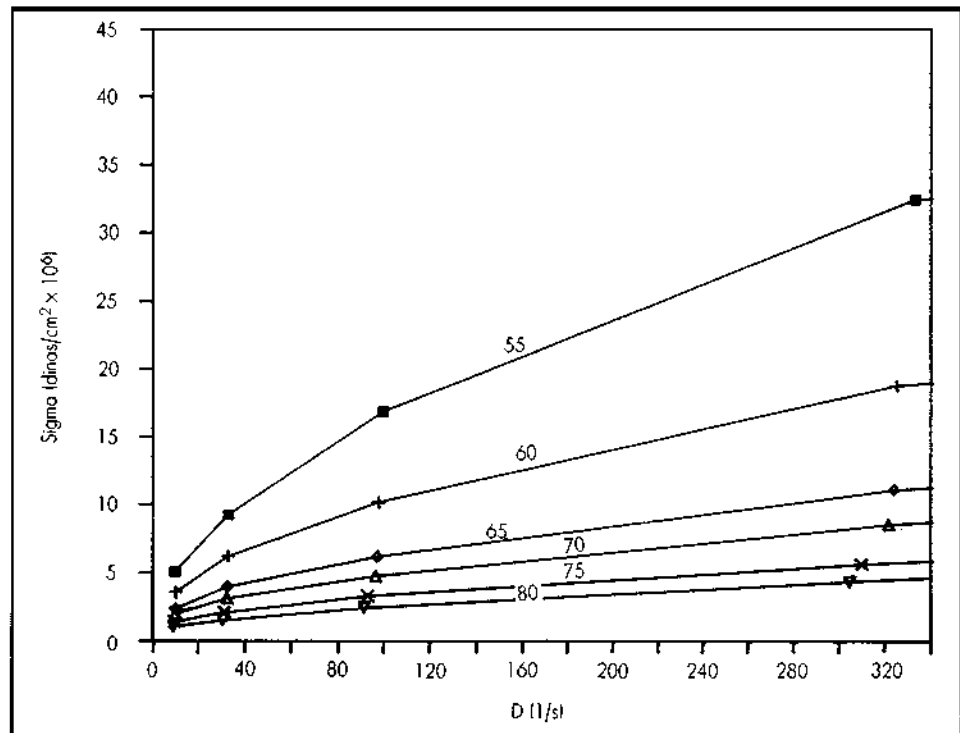


GRAFICO 6. Representación del esfuerzo cortante (σ) frente a la velocidad de deformación para el betón modificado a distintas temperaturas ($^{\circ}\text{C}$).

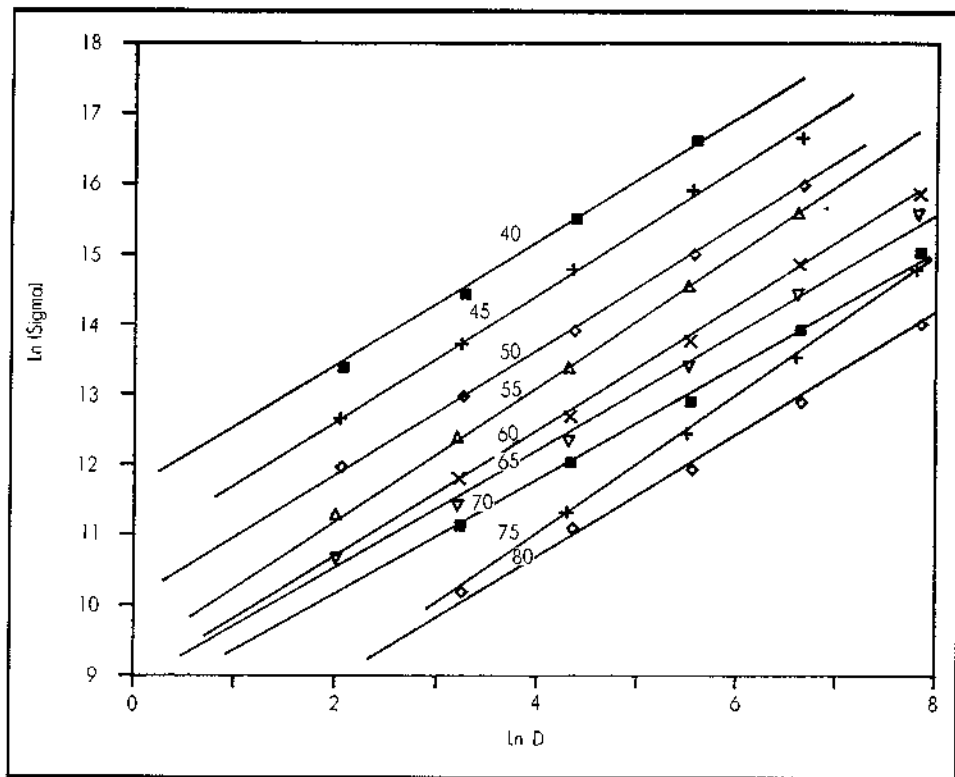


GRAFICO 7. Representación doble logarítmica del esfuerzo cortante frente a la velocidad de cizalla a distintas temperaturas para el betún original.

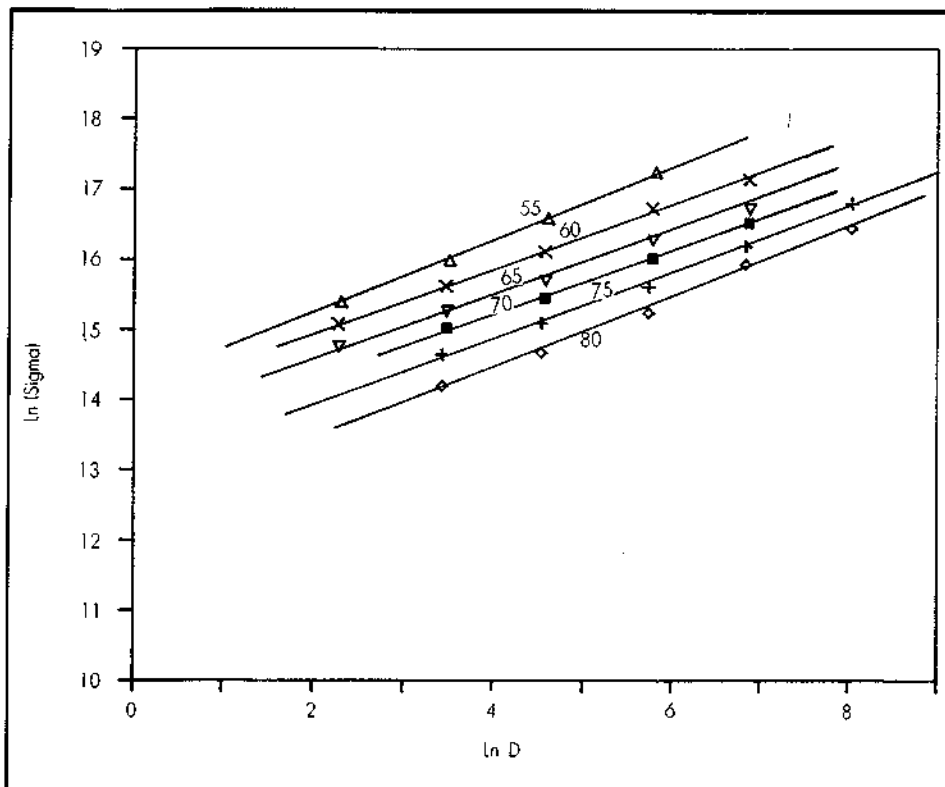


GRAFICO 8. Representación doble logarítmica del esfuerzo cortante frente a la velocidad de cizalla a distintas temperaturas para el betún modificado.

entre los betunes. Al aumentar la temperatura, el betún original tiende rápidamente al comportamiento newtoniano, mientras que el modificado lo hace mucho más lentamente.

Los gráficos 7 y 8 representan las rectas $\ln \sigma$ vs $\ln D$, de ecuación:

$$\ln \sigma = A/B + 1/B \ln D \quad (\text{Eq. 6})$$

Al calcular la pendiente y la ordenada en el origen de estas rectas, se observa que para cada betún la pendiente es constante e independiente de la temperatura, mientras que la ordenada en el origen varía con la temperatura.

BETUN	A/B	R	1/B	δ
Original	15.367-0,102 T	0,994	0,865	0,038
Modificado	17.687-0,061 T	0,994	0,451	0,041

TABLA 1.

R = Coeficiente de correlación de A/B.
 δ = Desviación estándar de 1/B.

En las rectas A/B volvemos a encontrar una menor dependencia con la temperatura para el betún modificado (menor pendiente), además aparece un término que podemos considerar como indicativo de la resis-

tenencia al flujo del material, que sería 15,36 para el original y mayor (17,68) para el modificado.

Por otro lado en el término 1/B que nos da una idea del carácter newtoniano del fluido (newtoniano 1/b = 1), se observa un cambio hacia caracteres menos newtonianos con la modificación química.

Con todo ello, se puede suponer que, efectivamente, la reacción llevada a cabo logra la formación de los agregados micelares propuestos, lo que se manifiesta en un aumento de la viscosidad, una disminución del carácter newtoniano y en la menor dependencia con la temperatura de las características del flujo.

REFERENCIAS

- (1) HOIBERG, A. J. (1964): «Bituminous materials: Asphalts, Tars, and Pitches». Vol 1. Chp. 4, *Interscience Publishers*, New York.
- (2) BARTH, E. J. (1962): «Asphalt: Science and Technology». Gordon & Breach, New York, pp. 26-27.
- (3) YEN, T. F.; ERDMAN, J. G., y POLLACK, S. S. (1961): *Anal. Chem.*, 33, p. 1.587.
- (4) DICKIE, J. P., y YEN, T. F. (1967): *Anal. Chem.*, 39, p. 1.847.
- (5) POLLACK, S. S., y YEN, T. F. (1970): *Anal. Chem.*, 42, p. 623.
- (6) HERZOG, P.; TOUCHBAR, D., y ESPINAT, D. (1988): «Fuel», 67, p. 245.
- (7) BRULE, B., y MIGLIORI, F. (1983): *Bull. Liaison Labo. P. et Ch.*, 128, p 107.