

Tesis de Becarios de Investigación

“REOLOGÍA EN LIGANTES ASFÁLTICOS”

BECARIO: Gisela Catriel

TUTOR: Ing. Cecilia Soengas

AREA: Materiales Viales

Año: 2008

1. Reología

Definición

La reología es la ciencia de flujo que estudia la deformación de un cuerpo sometido a esfuerzos externos.

1.3 Historia

El concepto se comenzó a investigar a partir del siglo XVII gracias a los científicos Robert Hooke e Isaac Newton, los cuales asentaron las ideas generales de dicha ciencia.

Robert Hooke habló de reología en su teoría que se resumía en lo siguiente: “Si se dobla la tensión, se dobla la deformación”.

Luego Isaac Newton publicó una hipótesis asociada al estado simple de cizalladura (o corte): “La resistencia derivada de la falta de deslizamiento de las partículas de un líquido es proporcional a la velocidad con que se separan unas de otras dentro de él”. Esta necesidad de deslizamiento es lo que ahora se denomina viscosidad.

1.4 Principio básico de la reología

Se debe saber la velocidad de respuesta que tiene el material, para comprender su comportamiento frente a una fuerza exterior.

2. Reología de ligantes asfálticos: viscosidad

2.1 Definición

La viscosidad se puede definir como una medida de la resistencia a la deformación del fluido. Este concepto relaciona el esfuerzo cortante con la velocidad de deformación

$$\tau : \mu \cdot D$$

Donde:

τ : esfuerzo cortante (mPa)

μ : viscosidad (mPa . s)

D : velocidad de deformación (s^{-1})

2.2 Tipos de viscosidad

Existen 3 tipos de viscosidad: la dinámica, la cinemática y la aparente.

- Viscosidad dinámica (μ): representando la curva de fluidez (esfuerzo cortante frente a velocidad de deformación) se define como la pendiente en cada punto de dicha curva.
- Viscosidad cinemática (ν): relaciona la viscosidad dinámica con la densidad del fluido utilizado.
- Viscosidad aparente (μ_a): se define como el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. (viscosidad para fluidos no newtonianos, en el siguiente punto se explica esta denominación).

En la Figura 1: se puede apreciar la representación de la viscosidad dinámica y aparente.

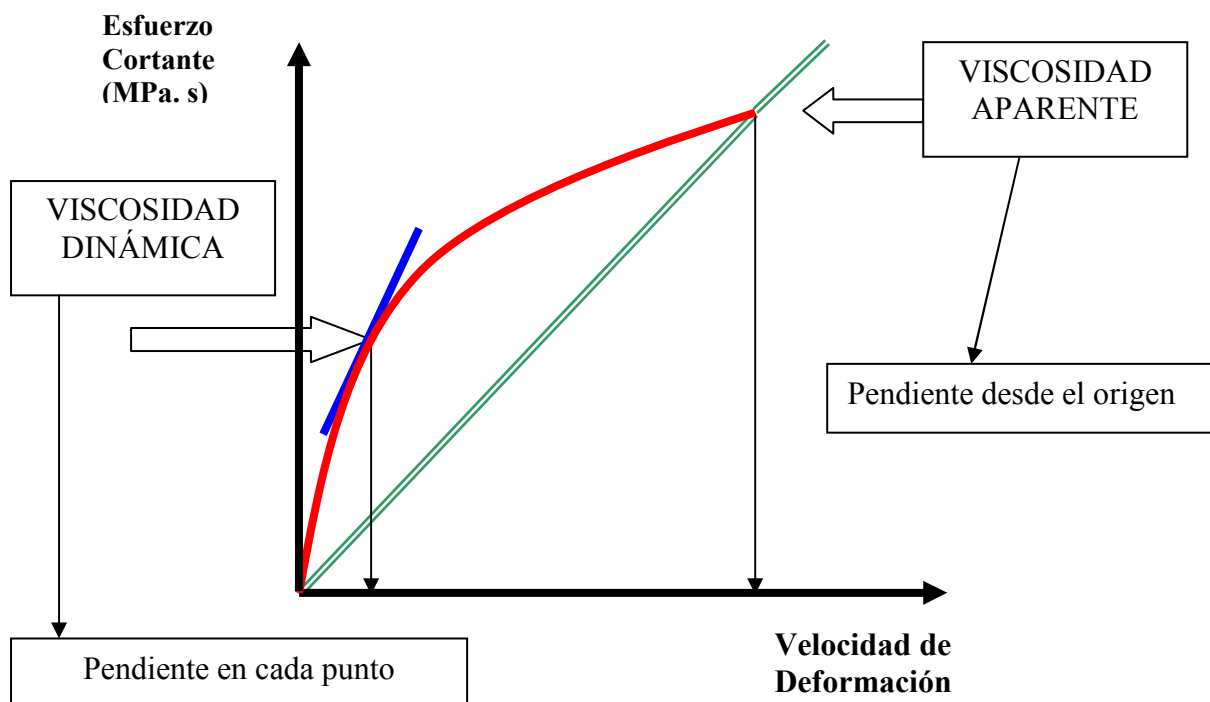


Figura 1: Curva de fluidez

Un fluido se define como una sustancia que se deforma continuamente bajo la aplicación de esfuerzos cortantes.

Las características reológicas de un fluido son uno de los criterios esenciales en el desarrollo de productos en el ámbito industrial.

Las propiedades reológicas se definen a partir de la relación existente entre fuerza o sistema de fuerzas externas y su respuesta, ya sea como deformación o flujo

3.1 Existen tres tipos de fluidos

Newtonianos; proporcionalidad entre el esfuerzo de cortante y la velocidad de deformación.

No Newtonianos; no hay proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación.

Viscoelásticos; se comportan como líquidos y sólidos, presentando propiedades de ambos.

La relación entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad viene dada por la Ley de viscosidad de Newton la cual responde a la ecuación:

$$\tau_{xy} = \mu \cdot \frac{du}{dt}$$

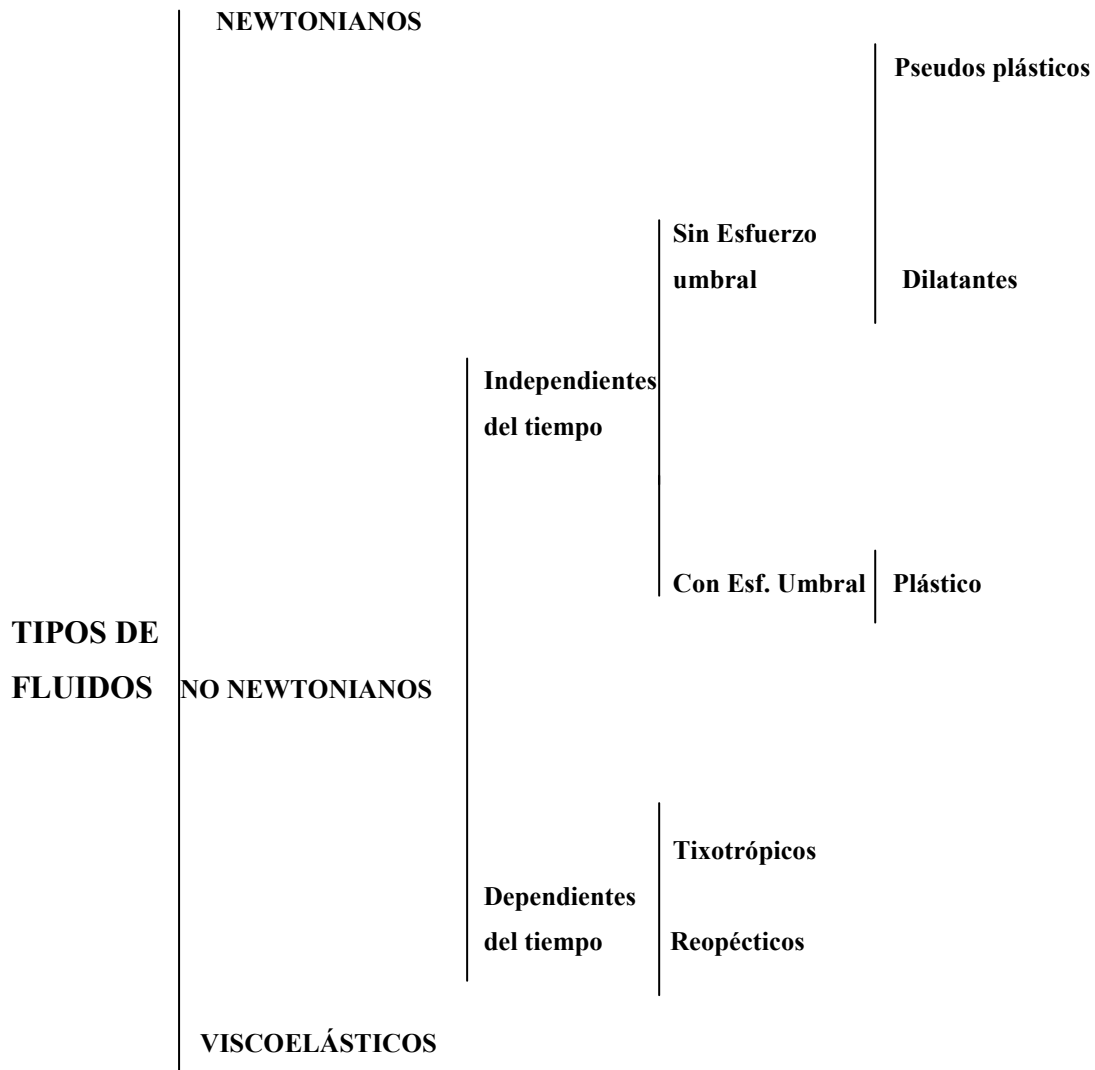
Siendo: τ_{xy} = esfuerzo cortante (mPa)

μ = viscosidad dinámica del fluido (mPa·s)

du/dy = velocidad de deformación del fluido (s^{-1}) = D

(estas unidades son las más utilizadas en reología)

Un esquema conciso de los tipos de fluidos existentes en Reología es el siguiente:



A continuación se va a describir detalladamente cada uno de ellos:

I. -FLUIDOS NEWTONIANOS

Este se caracteriza por cumplir la Ley de Newton, es decir, que existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación (ecuación de la Pág. A-4). Si por ejemplo se triplica el esfuerzo cortante, la velocidad de deformación se va a triplicar también. Esto es debido a que el término μ (viscosidad) es constante para este tipo de fluidos y no depende del esfuerzo cortante aplicado.

Hay que tener en cuenta también que la viscosidad de un fluido newtoniano no depende del tiempo de aplicación del esfuerzo, aunque sí puede depender tanto de la temperatura como de la presión a la que se encuentre.

Para una mejor comprensión de este tipo de fluido se representan dos tipos de gráficas, la "curva de Fluidéz" a) y la "curva de Viscosidad" b). En la Curva de Fluidéz se grafica el esfuerzo cortante frente a la velocidad de deformación (τ vs D), mientras que en la Curva de Viscosidad se representa la viscosidad en función de la velocidad de deformación (μ vs D). Para un fluido newtoniano se obtienen las siguientes curvas (Figura 1):

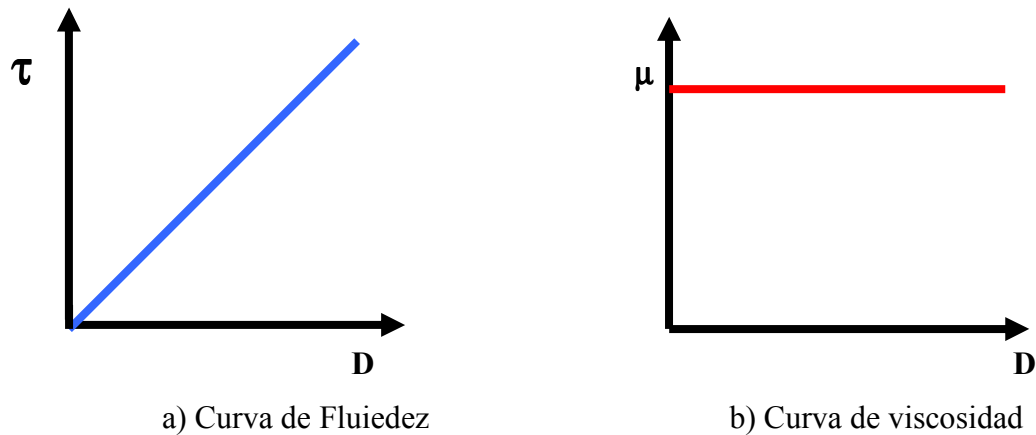


Figura 2: Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido newtoniano.

Como se puede observar en la curva de fluidez, el valor de la viscosidad μ es la tangente del ángulo que forman el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación, la cual es constante para cualquier valor aplicado. Además se observa en la curva de viscosidad que la viscosidad es constante para cualquier velocidad de deformación aplicada.

Ejemplos de este tipo de fluidos son el agua, el aceite (Foto 1), 9etc.



Foto 1: El aceite de oliva, ejemplo de fluido newtoniano.

II. FLUIDOS NO NEWTONIANOS:

Son aquellos en los que la relación entre esfuerzo cortante y la velocidad de deformación no es lineal. Estos fluidos a su vez se diferencian en *dependientes e independientes del tiempo*.

a) Fluidos independientes del tiempo de aplicación:

Estos fluidos se pueden clasificar dependiendo de si tienen o no esfuerzo umbral, es decir, si necesitan un mínimo valor de esfuerzo cortante para que el fluido se ponga en movimiento.

- Fluidos sin esfuerzo umbral:

▪ Fluidos pseudoplásticos: (SHEAR - THINNING)

Este tipo de fluidos se caracterizan por una disminución de su viscosidad, y de su esfuerzo cortante, con la velocidad de deformación. Su comportamiento se puede observar en la Figura 3:

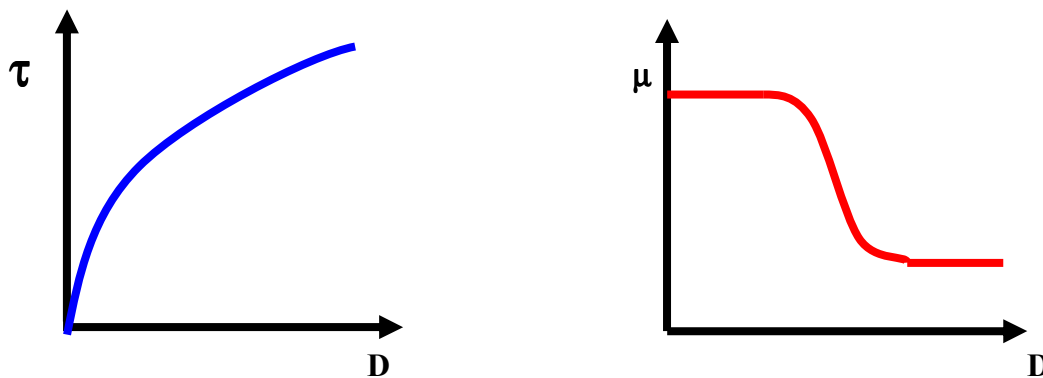


Figura 3: Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido pseudoplástico.

Ejemplos de fluidos pseudoplásticos son: algunos tipos de ketchup (Foto 2), mostaza, algunas clases de pinturas, suspensiones acuosas de arcilla, etc.



Foto 2: El ketchup como ejemplo de fluido pseudoplástico.

▪ **Fluidos dilatantes: (SHEAR - THICKENING)**

Estos son suspensiones en las que se produce un aumento de la viscosidad con la velocidad de deformación, es decir, un aumento del esfuerzo cortante con dicha velocidad. La figura 4 representa las curvas de fluidez y viscosidad para este tipo de fluidos:

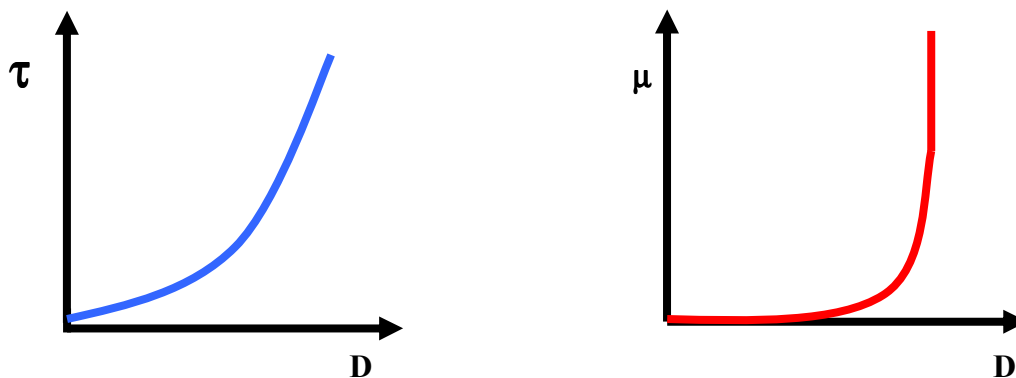


Figura 4: Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido dilatante.

El fenómeno de dilatación se produce debido a la fase dispersa del fluido. En dicho fluido tiene lugar un empaquetamiento de las partículas, dejando a la fase continua casi sin espacio.

Si a continuación se aplica un esfuerzo, el empaquetamiento se altera y los huecos entre las partículas dispersas aumentan. Además, conforme aumenta la velocidad de deformación aplicada, mayor turbulencia aparece y más difícil es el movimiento de la

fase continua por los huecos, dando lugar a un mayor esfuerzo cortante (la viscosidad aumenta).

Ejemplos de este tipo de fluidos son: la harina de maíz (Foto 3), las disoluciones de almidón muy concentradas, la arena mojada, dióxido de titanio, etc.



Foto 3: Bote de harina de maíz. Mezclada con agua da lugar a una masa que se vuelve muy espesa al moverla.

- **Fluidos con esfuerzo umbral, llamados también plásticos (VISCOPLASTIC)**

Este tipo de fluido se comporta como un sólido hasta que sobrepasa un esfuerzo cortante mínimo (esfuerzo umbral) y a partir de dicho valor se comporta como un líquido. Las curvas de fluidez y viscosidad se representan en la siguiente figura (5):

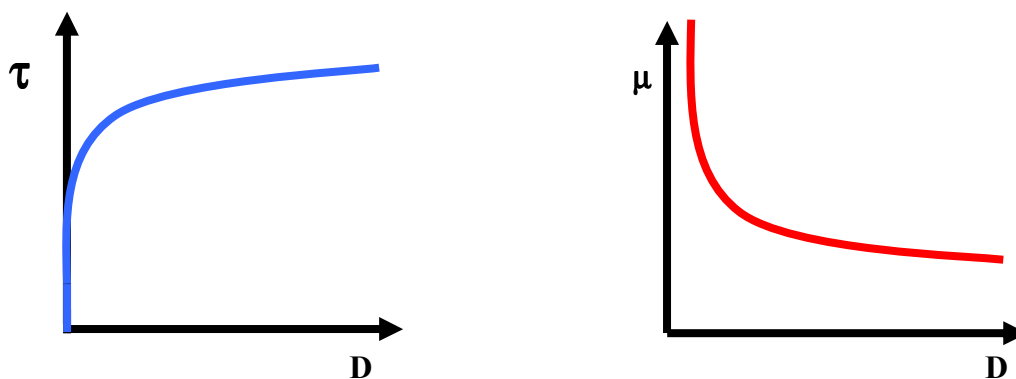


Figura 5. Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido plástico

Los fluidos plásticos, a su vez, se diferencian en la existencia de proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación, a partir de su esfuerzo umbral.

Si existe proporcionalidad, se denominan fluidos plásticos de Bingham y si no la hay, se denominan solo plásticos.

Algunos *ejemplos* de comportamiento plástico son el chocolate, la arcilla, la mantequilla, la mayonesa, la pasta de dientes (Foto 4), las emulsiones, las espumas, etc.



Foto 4: Ejemplo típico de fluido plástico

b) Fluidos dependientes del tiempo de aplicación:

Este tipo de fluidos se clasifican en dos tipos: los fluidos *tixotrópicos*, en los que su viscosidad disminuye al aumentar el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante, recuperando su estado inicial después de un reposo prolongado, y los fluidos *reopécticos*, en los cuales su viscosidad aumenta con el tiempo de aplicación de la fuerza y vuelven a su estado anterior tras un tiempo de reposo.

- Fluidos tixotrópicos

Estos se caracterizan por un cambio de su estructura interna al aplicar un esfuerzo. Esto produce la rotura de las largas cadenas que forman sus moléculas. Dichos fluidos, una vez aplicado un estado de cizallamiento (esfuerzo cortante), sólo pueden recuperar su viscosidad inicial tras un tiempo de reposo.

La viscosidad va disminuyendo al aplicar una fuerza y acto seguido vuelve a aumentar al cesar dicha fuerza debido a la reconstrucción de sus estructuras y al retraso que se produce para adaptarse al cambio. Aparece un fenómeno de *Histéresis* (Fig. 6)

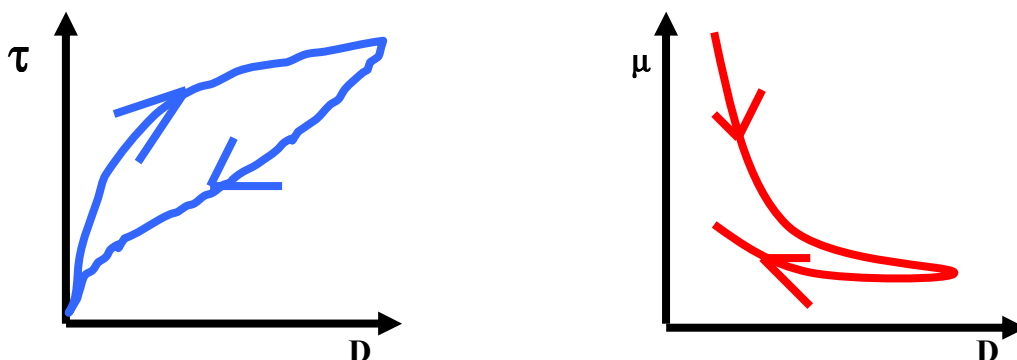


Figura 6: Curvas de fluidez y de viscosidad de un fluido tixotropía (hay histéresis)

Ejemplos típicos de fluidos tixotrópicos son: las pinturas, el yogourt (Foto 5), las tintas de impresión, la salsa de tomate, algunos aceites del petróleo, el nylon, etc.



Foto 5: El yogourt es un buen ejemplo de fluido tixotrópico

- Fluidos reopécticos

Los fluidos reopécticos, se caracterizan por tener un comportamiento contrario a los tixotrópicos, es decir, que su viscosidad aumenta con el tiempo y con la velocidad de deformación aplicada y presentan una histéresis inversa a estos últimos.

Esto es debido a que si se aplica una fuerza se produce una formación de enlaces intermoleculares conllevando un aumento de la viscosidad, mientras que si cesa ésta se produce una destrucción de los enlaces, dando lugar a una disminución de la viscosidad.

Las curvas de fluidez y de viscosidad de los fluidos reopécticos se representan en la figura 7:

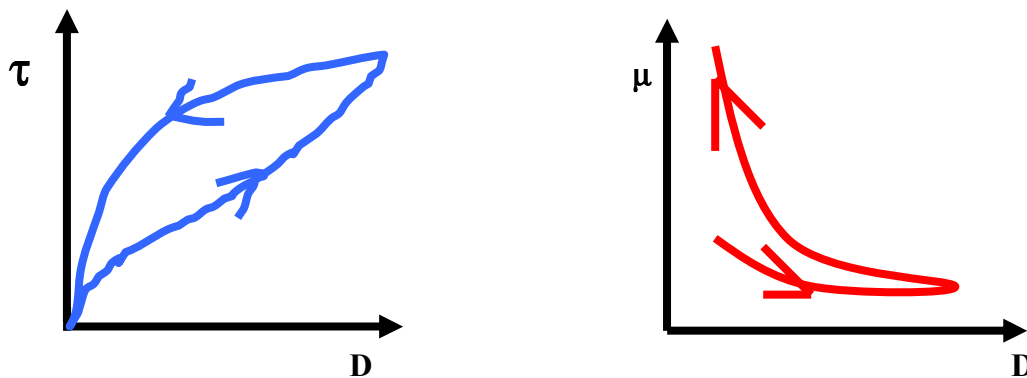


Figura 7: Curvas de comportamiento reopéctico (hay histéresis)

Existen pocos fluidos de este tipo. Un ejemplo es: el yeso (Foto 6), entre otros.

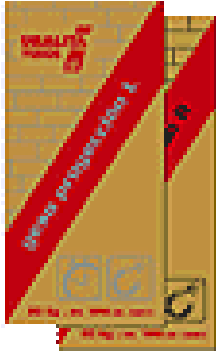


Foto 6: El yeso mezclado con el agua da lugar a un fluido reopéctico, endureciéndose muy rápidamente

III. FLUIDOS VISCOELÁSTICOS:

Los fluidos viscoelásticos se caracterizan por presentar a la vez tanto propiedades viscosas como elásticas. Esta mezcla de propiedades puede ser debida a la existencia en el líquido de moléculas muy largas y flexibles o también a la presencia de partículas líquidas o sólidos dispersos.

Ejemplos de fluidos viscoelásticos son el asfalto (objeto de nuestro estudio), la nata, la gelatina, los helados (Foto 7), etc.



Foto 7: El helado muestra propiedades sólidas y líquidas a la vez (Viscoelástico)

Dentro del estudio de la reología, los equipos con los que se pueden medir las características reológicas de los ligantes son el reómetro de corte y el viscosímetro rotacional Brookfield. Este último equipo es el adquirido por el LEMaC, es por ello que dentro de la reología nos centraremos en el Viscosímetro Brookfield.

Viscosímetro Brookfield

El ensayo del viscosímetro rotacional se utiliza para determinar las características de fluidez del cemento asfáltico. Dato importante para proveer alguna garantía de que éste puede ser bombeado y fácilmente manejable en la refinería, terminal o planta de fabricación de mezclas asfálticas. Determinada la viscosidad se puede desarrollar una curva de temperatura – viscosidad en estimaciones de temperaturas de mezclado y compactación en los diseños de las mezclas. Con esta curva se puede determinar si un ligante asfáltico corresponde en su comportamiento a un fluido newtoniano o no newtoniano.

La viscosidad rotacional, se determina midiendo el par torsor necesario para mantener constante la velocidad rotacional de un vástago cilíndrico (spindel o aguja) sumergido en una muestra de ligante asfáltico a temperaturas determinadas. Este par torsor está directamente relacionado con la viscosidad del ligante, que es evaluada por el viscosímetro.

La norma IRAM 6837, describe el procedimiento para determinar la viscosidad mediante el viscosímetro Brookfield en un ámbito de temperatura entre 38 °C y 200 °C. Para determinar la curva Temperatura – Viscosidad, el ensayo para ligantes modificados se realiza a 60 °C, 135 °C, 150 °C, 170 °C y 190 °C. Para ligantes convencionales dichas temperaturas se acotan entre 60 °C y 170 °C.

El valor de la viscosidad es medido en pascal segundo multiplicado por el factor del aparato. Se deben definir las velocidades de rotación del vástago ya que para cada tipo de velocidad se deben ensayar a las temperaturas antes mencionadas, luego se cambia esa velocidad y se procede de igual manera.

En la foto N° 8 se puede apreciar el viscosímetro Brookfield completo, en la foto N° 9 el vástago con la aguja (spindel). En la foto N° 10 se aprecia el soporte de los vástagos y en la foto N° 11 el equipo con sus componentes.



Foto N° 8: Viscosímetro Brookfield



Foto N° 9: Vástago, soporte de aguja y aguja



Foto N° 10: Soporte de vástagos y aguja

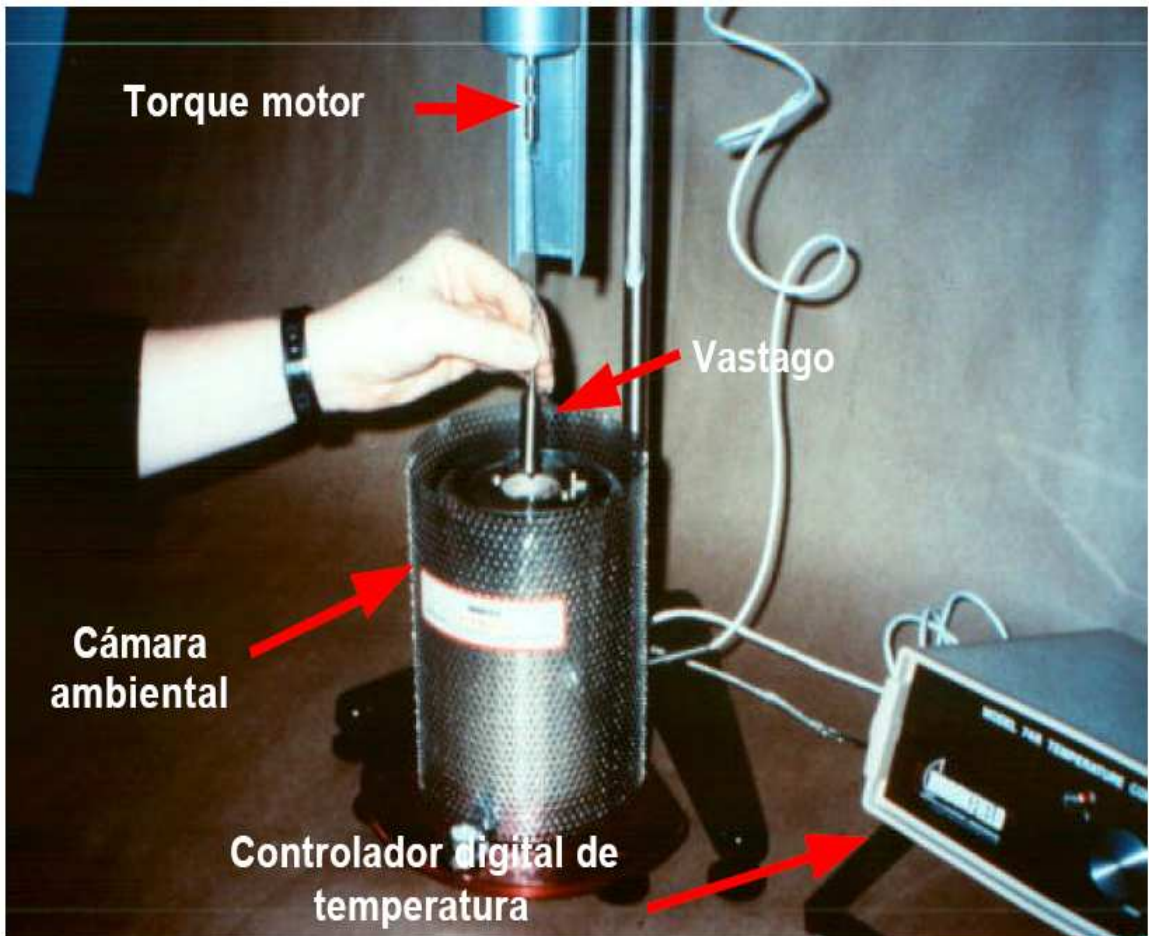


Foto N° 11: Descripción de los componentes

En el gráfico N° 1 se puede apreciar una curva típica de Temperatura – Viscosidad del ensayo de viscosidad rotacional de un ligante modificado.

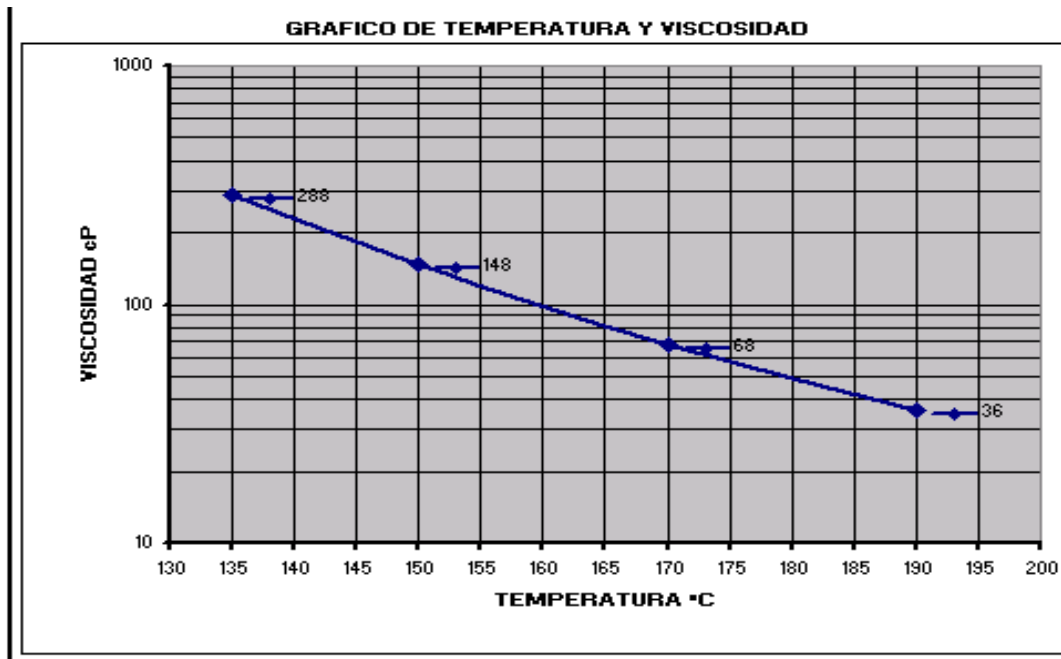


Gráfico N° 1: Curva Temperatura - Viscosidad