



## PRÁCTICA Nº 2. VISCOSIDAD

1. OBJETIVO GENERAL: Determinar el efecto de la temperatura sobre la viscosidad de fluidos newtonianos.
2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS:
  - 2.1. Determinar la relación de la viscosidad con la temperatura.
  - 2.2. Comparar los valores de viscosidad experimentales con los obtenidos mediante las ecuaciones teóricas (Andrade, Eyring, Orrick y Erbar, Morris, Makhija y Stairs y Van Velzen, Cardozo y Langenkamp`s) y el nomograma.

### 3. INTRODUCCIÓN TEÓRICA:

La viscosidad es la propiedad de un fluido para resistir la rapidez con la que se lleva a cabo la deformación cuando actúan fuerzas cortantes sobre él. Depende de la temperatura, la composición y presión del fluido <sup>[1]</sup>.

- **Ley de newton de la viscosidad:** “Para un determinado fluido, la tensión tangencial de rozamiento aplicada según una dirección es directamente proporcional a la velocidad (en módulo) en la dirección normal a la primera, siendo la constante de proporcionalidad correspondiente al coeficiente de viscosidad.”

$$\tau_{yx} = -\mu \frac{dv_x}{dy}$$

Es decir, que la fuerza de cizalla por unidad de área es proporcional al gradiente negativo de la velocidad local. Ésta es la ley de Newton de la viscosidad, y los fluidos que la cumplen se denominan fluidos newtonianos. Estos fluidos son aquellos en los cuales la viscosidad no varía con la deformación, es decir, que existe una relación lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado y la tasa de deformación resultante. Por el contrario un fluido es considerado No-newtoniano cuando su viscosidad varía con la deformación, es decir, existe una relación no lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado y la tasa de deformación angular <sup>[2]</sup>.

**Efecto de la temperatura en la viscosidad de los líquidos:** No es posible estimar teóricamente las viscosidades para líquidos con exactitud. Las viscosidades de líquidos disminuye drásticamente con

la temperatura, ésta decrece con ella. Esta dependencia de la temperatura se representa bien mediante la ecuación empírica (Andrade):

$$\mu = Ae^{B/T}$$

Esta ecuación sugiere una relación que envuelve los radios de los volúmenes específicos y un factor de compresibilidad adiabática para líquidos compresibles e incompresibles, se ve limitada a bajas temperaturas. Otras ecuaciones para medir la viscosidad de un líquido teóricamente, conocidas como modelos teóricos de viscosidad son [3]:

**Modelo de Eyring.** Este modelo se basa en el estudio de la relación de las fuerzas intermoleculares con la viscosidad. En un líquido las moléculas están en constante movimiento; cuando el líquido está en reposo el movimiento se reduce a vibración, debido a que cada molécula queda rodeada por las más próximas. Esta teoría permite estimar la viscosidad de los líquidos a partir de otras propiedades físicas como: Volumen molar del líquido y calor de vaporización del líquido:

$$\mu = \frac{N * h}{\tilde{V}} e^{3.8 \frac{T_{eb}}{T}} \quad \tilde{V} = \frac{PM}{\rho}$$

Donde:

$\mu$ : viscosidad en Kg/m\*s.

N: número de Avogadro ( $6.022 \times 10^{23}$  moléculas/mol)

h: constante de Planck ( $6.624 \times 10^{-34}$  J\*s/moléculas)

V: volumen molar ( $m^3/mol$ )

T<sub>b</sub>: temperatura de ebullición normal (K)

T: temperatura del sistema (K)

**Método de Orrick y Erbar.** Este método se utiliza para calcular la viscosidad a bajas temperaturas y emplea la técnica de la contribución de los grupos presentes en el fluido para estimar A y B. La contribución de cada grupo se encuentra tabulada [3].

$$\ln \frac{\mu}{\rho * M} = A + \frac{B}{T}$$

Donde:

$\mu$ : viscosidad del líquido en cP

$\rho$ : densidad del líquido @ 20 °C ( $g/cm^3$ )

M: peso molecular

T: temperatura (K)

**Método de Morris.** Este método también incluye la contribución de los grupos presentes en el fluido para determinar su viscosidad, la cual viene dada por la ecuación [3]:

$$\ln \frac{\eta_L}{\eta^*} = J \left( \frac{1}{Tr} - 1 \right)$$

El parámetro  $\eta^*$  es una constante que depende del compuesto que se trate y sus valores están tabulados. Para la ecuación dada  $\eta^*$  expresaba la viscosidad en el punto crítico, pero desde que ésta ecuación no es aplicable a altas temperatura reducidas,  $\eta^*$  se interpreta como una constante empírica.  $T_r$  corresponde a la temperatura reducida del fluido ( $T/T_c$ ) y  $J$  es una función de su estructura, la cual es calculada mediante la ecuación [3]:

$$J = \sqrt{0.0577 + \sum_i (b_i n_i)}$$

Donde  $b_i$  está determinada por la contribución de cada grupo (valores tabulados) y  $n_i$  representa el número de veces que aparece el grupo en la molécula. Normalmente se encuentra menor exactitud a muy bajas temperaturas y en los miembros más simples de una serie homóloga.

**Método de Makhija y Stairs.** Esta ecuación fue diseñada para un numeroso grupo de líquidos. Utiliza un grupo de constantes  $A'$ ,  $B'$  y  $T'$  calculadas experimentalmente y que se ajustan al fenómeno de disminución de la viscosidad al aumentar la temperatura [3].

$$\log n_L = A' + \frac{B'}{T - T'}$$

Donde,

$n_L$ : Viscosidad del líquido (cP)

$T$ : Temperatura, K

$A'$ ,  $B'$ ,  $T'$ : Son constantes tabuladas para cada líquido

**Modelo de Van Velzen, Cardozo y Langenkamp's.** Este modelo está expresado mediante una ecuación modificada de Andrade en función de las constantes  $B$  y  $T_0$ , la cual se basa en el efecto de la estructura sobre las viscosidades de los líquidos [3].

$$\log \eta_L = B \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_0} \right)$$

Donde  $\eta_L$  es la viscosidad del líquido expresada en cP y la temperatura en Kelvin.  $B$  y  $T_0$  están relacionadas con la estructura. Para determinar estos parámetros se debe conseguir la longitud equivalente de la cadena  $N^*$  donde:

$$N^* = N + \sum_i \Delta N_i$$

$N$  es el número de átomos de carbono en la molécula, y  $\Delta N_i$  representa la contribución estructural la cual se encuentra tabulada. Si el grupo estructural o grupo funcional aparece "n" veces en la molécula,  $\Delta N_i$  se debe corregir [3].

El valor de  $N^*$  es usado para determinar B y  $T_o$ . Para  $T_o$ :

$$T_o = 28.86 + 37.439N^* - 1.3547N^{*2} + 0.02076N^{*3} \text{ para } N^* \leq 20$$

$$T_o = 8.164N^* + 238.59 \text{ para } N^* > 20$$

Para B:

$$B = B_o + \sum \Delta B_i$$

$$B_o = 24.79 + 66.885N^* - 1.3173N^{*2} - 0.00377N^{*3} \text{ para } N^* \leq 20$$

$$530.59 + 13.740N^* \text{ para } N^* > 20$$

Para hallar  $\Delta B_i$  a pesar de que compuestos donde los grupos funcionales aparezcan más de una vez, sólo se toma una vez la contribución de los mismos.

**Nomograma de Viscosidades.** Este consiste en un arreglo de ordenadas y abscisas, junto con un rango de temperaturas y viscosidades determinadas experimentalmente. Para cada líquido existe un par de números que indican el punto por donde pasará la línea que parte desde la temperatura a la cual se requiere la viscosidad hasta el rango de viscosidades <sup>[4]</sup>. La desventaja de este método es que no se encontrarán todos los compuestos deseados, o quizá el rango de viscosidades y temperaturas sea muy corto.

#### 4. EQUIPO Y PROCEDIMIENTO:

El equipo a utilizar consiste en un viscosímetro de Couette, el cual consta de un cilindro rotacional a través del cual se determina la viscosidad de los diferentes fluidos newtonianos (Glicerina y Trietanolamina). Estos fluidos son incorporados en un baño térmico en un rango de temperatura entre 25 y 80 °C aproximadamente, una termocupla de Cr-Al junto a un termómetro permiten mantener el control de temperatura del fluido. La medición de la viscosidad se efectuará por cada incremento de 3 °C.

5. SEGURIDAD: Utilizar obligatoriamente bata de laboratorio, guantes térmicos y lentes de seguridad.

#### 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

1. Welty. Fundamentos de Transferencia de Momento, Calor y Masa.
2. Bourne, Malcolm C; Food texture and viscosity, edit. Academic Press, Estados Unidos de Norte América, 1.982.
3. Robert C. Reid, John M. Prausnit and Thomas K. Sherwood. The properties of gases and liquids. Tercera Edición, Editorial Mc Graw-Hill.
4. Robert H. Perry. Manual del Ingeniero Químico. Volumen I. Séptima Edición.