**VISCOSIDAD: Método capilar**

La determinación de la viscosidad empleando este dispositivo o instrumento, se basa ***en la medida del tiempo necesario para que un volumen determinado de líquido (V) escurra a través de un capilar.*** El volumen fijo a escurrir es el contenido entre la marca superior e inferior de la oliva A (Figura 8) del viscosímetro.

Para analizar este proceso se emplea la *Ecuación de Poiseuille*, la cual permite predecir el caudal que circulará por una cañería cilíndrica para fluidos viscosos que circulan bajo régimen laminar.



Q = caudal

V: volumen

t: tiempo

r: radio

l: longitud

P fricción: Perdida de presión por fricción

Si despejamos la viscosidad de la Ec. 20, obtenemos la siguiente expresión:



Ahora, analicemos cada uno de estos parámetros en nuestro sistema en estudio.

El viscosímetro capilar o viscosímetro de Oswald está compuesto por dos ramas, una gruesa y una delgada, la cual contiene un capilar muy delgado conectado a dos olivas, A y B Figura 1.



Figura 1

Al introducir un fluido en el viscosímetro, cuando se establezca una diferencia de altura entre las columnas de líquido de las dos ramas del viscosímetro se generará una diferencia de presiones (P0 y P1) entre las mismas, responsable de la fuerza impulsora del movimiento (Figura 1).

En la situación inicial, con el líquido en reposo (t = 0), la energía total (*E total*) del sistema estará acumulada como diferencia de presión por la diferencia de altura entre las ramas (***P impulsor)***.

En el momento en que se inicie el movimiento del fluido, esta energía acumulada (*E total*) se transformará una parte en energía cinética (*E cinética*) y otra parte se utilizará para vencer a las fuerzas de fricción. Entonces podemos plantear las **energías** involucradas por **unidad de volumen,** lo que nos lleva a trabajar con unidades de presión.



La **proporción** en la que se reparte esta energía total en Ecinética y Efricción **depende** de la **geometría del tubo** por el cual el líquido fluye y de la **viscosidad del fluido.** Cuanto más pequeño sea el radio del tubo, mayor será el gasto de energía necesaria para vencer a las fuerzas de fricción y por ende menor será lo que reste de energía para convertirse en energía cinética, por lo que el fluido se moverá con menor velocidad.

En el viscosímetro de Ostwald, el tubo por el que fluye el líquido es un capilar cuyo radio es sumamente pequeño, por lo tanto el gasto de energía por fricción es muy grande (casi el 100% de la energía total). Esto implica que la fracción de energía que se transforma en energía cinética se pueda considerar despreciable y que en consecuencia se pueda ***asumir*** que ***toda la energía inicial del sistema*** se utilizará para ***vencer la fuerza de rozamiento (E fricción).*** Por lo tanto, haciendo esta aproximación antes mencionada, el ***P fricción*** se puede ***estimar como igual al*** ***P impulsor***.



Dado que el P impulsor es la diferencia de presión entre las dos columnas de líquido y que P= h g , podemos reemplazamos en la ecuación ( Ec. 20) el P fricción por (h g ), obteniendo una expresión matemática que nos permite calcular la viscosidad cinemática del fluido conociendo la geometría del capilar y midiendo el tiempo que tarda una dada porción de fluido en pasar de un enrase a otro del viscosímetro:



En nuestro sistema, la longitud *l* y el radio *r* son los del capilar presente en el viscosímetro, y el volumen *V* es el volumen entre enrases de la oliva A, es decir, *l*, *r* y *V* son parámetros propios del viscosímetro. Ahora bien, *h* es la diferencia de altura de líquido entre las ramas del viscosímetro, si se carga el viscosímetro siempre con el mismo volumen de líquido, su magnitud es siempre la misma y podemos considerarla como un valor conocido. En consecuencia, la ecuación 24 puede reducirse a:



Donde ***k*** es la ***constante del viscosímetro*** y ***engloba los parámetros geométricos del capilar y la fuerza impulsora del movimiento***



**Luego, se ve más claramente que el coeficiente [**c] **es directamente proporcional al tiempo que tarde en fluir el líquido en estudio y que la relación entre [**c] **y *t* estará dada por los parámetros que componen *k*.** Como puede observarse, cuanto más viscoso sea un fluido, mayor será el tiempo que tarde en fluir en un viscosímetro dado y en consecuencia, el tiempo de escurrimiento medido será mayor.

Resumiendo, al medir el tiempo de escurrimiento de un liquido X en un viscosímetro y multiplicarlo por su constante se obtiene el valor de la **viscosidad cinemática** de dicho líquido.

Por lo tanto, para poder determinar el valor de viscosidad cinemática se deberá conocer previamente la *k* del viscosímetro o proceder a determinar la *viscosidad cinemática relativa* del fluido incógnita respecto de un fluido de referencia.

Ahora bien, ¿como conocemos *k*? Al medir viscosidades cinemáticas en este tipo de viscosímetros se puede proceder de tres maneras:

i- la constante *k* es provista por el fabricante del viscosímetro y cuando se lo adquiere comercialmente, *k* se entrega junto con el certificado de calibración,

ii- se puede realizar la calibración del viscosímetro (con un fluido patrón) que se va a utilizar y obtener así *k*,

iii- se mide la *viscosidad cinemática relativa*. Por supuesto, para realizar esto último los tiempos de escurrimiento del líquido de referencia y del líquido en estudio deben determinarse en el **mismo viscosímetro**. Se debe plantear la ecuación para ambos fluidos y establecer su relación. Considerando que *k* es la misma para ambas ecuaciones, el cociente entre los tiempos es igual al cociente entre las viscosidades cinemáticas, es decir a la viscosidad cinemática relativa:



Luego con el valor conocido de **[**c] del fluido de referencia se obtiene el ****c] del fluido estudiado.

La consideración de ***constantes k*** iguales para patrón e incógnita solo es válida si la diferencia inicial de nivel de líquido entre las ramas del viscosímetro *(**h*) es la misma para ambos líquidos. Esto se logra **cargando el viscosímetro con un mismo volumen de líquido** en ambas mediciones.

Además debemos tener en cuenta que el fluido usado como referencia debe **tener viscosidad cinemática semejante** al líquido incógnita. Comúnmente esto se logra cuando ambos líquidos tienen:

- peso específico (o densidad) similar

- viscosidad absoluta similar

La diferencia de presión entre las columnas de líquido en ambas ramas del viscosímetro y la geometría del capilar son las que determinan la velocidad de escurrimiento del fluido, y por consiguiente, la pérdida de presión por fricción que el fluido experimenta entre los extremos del capilar.

Como se explicó anteriormente, para determinar el coeficiente de viscosidad utilizando estos viscosímetros asumimos que la energía cinética es despreciable. En realidad, siempre hay una fracción de energía total que se transforma en energía cinética, pero ésta no se considera en los cálculos, lo cual da lugar a un **“error por energía cinética”.**

Por lo tanto, se debe buscar que este error sea pequeño y del mismo orden para ambos líquidos. Esto ocurre si ambos fluidos, referencia e incógnita, fluyen a velocidades parecidas y sumamente bajas, y para ello deben tener igual *P impulsor* y viscosidades absolutas numéricamente similares. En la práctica si se carga el viscosímetro con iguales volúmenes de ambos líquidos (igual *h* entre las ramas) y se elige un patrón de peso específico similar al líquido incógnita, la diferencia de presión impulsora del movimiento (***P impulsor =*** ***h \* ρ***) será aproximadamente la misma. Si uno de los líquidos tuviera una densidad mucho mayor que el otro, a pesar de tener la misma diferencia de altura entre las ramas, el P impulsor sería mucho mayor para el líquido más denso. Teniendo el mismo *P impulsor* y la misma geometría de capilar, sólo resta que las **viscosidades absolutas sean similares**, para que ambos líquidos gasten aproximadamente lo mismo como trabajo de las fuerzas de fricción y, en consecuencia, fluyan a similares velocidades.

Por otro lado, ***h*** no es constante durante toda la experiencia, sino que a medida que el fluido escurre se va haciendo más pequeño (el líquido fluye de la rama delgada a la rama ancha). Como ***P*** impulsor es ***P =*** ***h \* ρ***, esto implica que el ***P*** varíe consecuentemente, y si los pesos específicos no son similares, la variación de altura se traduciría en una muy distinta variación de presión para el fluido problema y para el patrón, y por lo tanto las condiciones del experimento estarían variando demasiado e invalidarían la medida.

En el análisis del proceso se utiliza la ***ley de Poiseuille*** y ésta solo es válida cuando el régimen del ***flujo es laminar***, por lo tanto cada viscosímetro (según su geometría) tiene **un rango de *viscosidades cinemáticas* para el cual esto se cumple**.

Si se trabaja por debajo de la viscosidad cinemática mínima para un viscosímetro, la velocidad del flujo será alta y el régimen será *turbulento*, y si se trabaja por encima de la máxima, el tiempo de escurrimiento será demasiado largo y hará muy dificultosa la medida. Por esta razón existe una variada gama de viscosímetros con diferentes radios de capilar, que permiten medir un amplio rango de coeficientes de viscosidad. Cada viscosímetro viene clasificado con un número arbitrario (25, 50, 100, 200, 300….) y para cada uno de ellos el proveedor indica el rango de viscosidades cinemáticas que pueden ser determinadas.