

## 5 PRÁCTICAS DE TERMODINÁMICA I (CLAVE 8985)

Este capítulo trata conceptos fundamentales para el estudio de Termodinámica, como:

- Determinación de la viscosidad, uso del viscosímetro.
- Determinación de calores específicos, utilización del calorímetro.
- Comprobación de la Ley de Joule y Ley de Charles.

### 5.1 Determinación de la viscosidad/ uso del viscosímetro

#### Objetivo

Uso y comprensión del funcionamiento de los viscosímetros de Saybolt, Cannon-Fenske y Stormer, en la determinación experimental de la viscosidad de líquidos.

#### Introducción

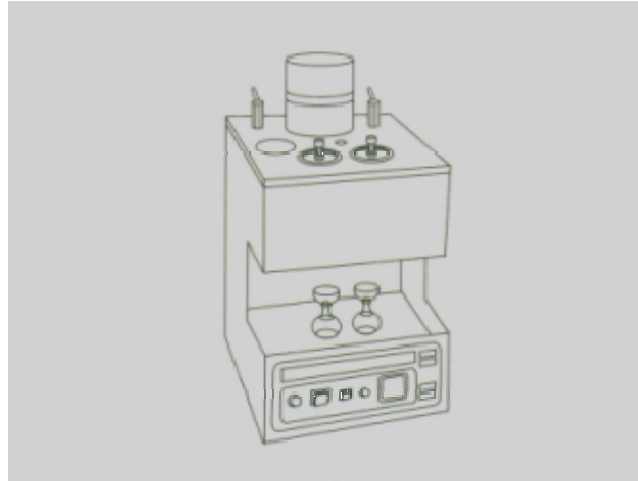
La resistencia interna que presentan los fluidos al movimiento se conoce como viscosidad ( $\mu$ ). Generalmente se puede decir que esta propiedad es la fuerza que se opone al movimiento relativo de capas adyacentes del fluido, de ese modo que se puede considerar un “frotamiento interno”. El coeficiente de viscosidad, en Poises, se define como la fuerza por unidad de superficie, en dinas/cm<sup>2</sup>, necesaria para mantener una diferencia de velocidades de 1 cm/seg entre dos capas paralelas de fluido situadas a 1 cm de distancia [15,16].

$$1 \text{ Poise} = 1 \text{ gr/cm-sec} = 100 \text{ cp} \quad (\text{III})$$

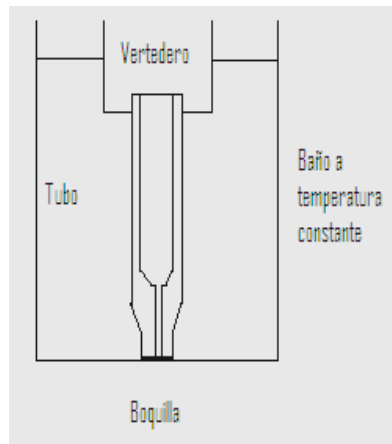
#### Viscosímetro de Saybolt

Este instrumento está destinado para determinar la viscosidad de los productos del petróleo a temperaturas especificadas entre 21 y 98.8 °C. Consiste esencialmente de un tubo de latón y en la parte inferior lleva un capilar

corto montado en un baño de temperatura constante. El tubo tiene un vertedero para ajustar el nivel del líquido en la parte alta y un tapón de corcho en la parte inferior.



**Figura 5-1: Ilustración del viscosímetro Saybolt**



**Figura 5-2: Contenedor de muestra del viscosímetro Saybolt**

Se mide el tiempo que tarda en desalojarse el volumen del tubo lleno del fluido bajo prueba a través de la boquilla Saybolt universal o Saybolt furol. La viscosidad Saybolt universal es el tiempo en segundos, en que fluyen 60 ml de muestra a través de un orificio universal calibrado en condiciones específicas. La viscosidad Saybolt furol es el tiempo en segundos, en que fluyen 60 ml de

muestra a través de un orificio furol, calibrado en condiciones específicas. El valor absoluto de la viscosidad Saybolt furol es aproximadamente 10 veces menor que el de la viscosidad Saybolt universal y se recomienda para aquellos productos pesados del petróleo, que tienen viscosidades mayores de 1000 segundos Saybolt universal (la boquilla Saybolt furol es de mayor diámetro que la boquilla Saybolt universal), como aceites combustibles y otros materiales residuales. La viscosidad cinemática  $\nu$  ( $\nu = \mu/\rho$ ) se encuentra relacionada con el tiempo de escurrimiento según la expresión:

$$\nu = C_1 \theta^2 \quad (22)$$

Lo cual indica que la viscosidad cinemática es directamente proporcional al tiempo  $\theta$ . Dado que el tubo capilar es muy corto, la distribución de velocidades típicas de un flujo laminar no se alcanza a establecer; el fluido entra al tubo uniformemente y, debido al arrastre viscoso de la paredes, tiende a frenarse cerca de ellas y a acelerarse en el centro. Por esta razón es necesario introducir el término de corrección de la forma  $C/\theta$  a la ecuación obteniendo:

$$\nu = \frac{C_1 \theta^2 + C_2}{\theta} \quad (23)$$

La relación aproximada entre la viscosidad cinemática ( $\nu$ ) y los segundos Saybolt ( $t$ ) es:

$$\nu = \frac{0.0022\theta^2 - 1.80}{\theta} \quad (24)$$

**Tabla 5-1: Relaciones para Saybolt universal y Saybolt furol**

Viscosímetro	$\theta$ (s)	$u$ (Stokes)
Saybolt universal	$32 < \theta < 100$	$0.00226\theta - 1.95/\theta$
	$\theta > 100$	$0.00220\theta - 1.35/\theta$
Saybolt furol	$32 < \theta < 100$	$0.02240\theta - 1.84/\theta$
	$\theta > 100$	$0.02160\theta - 0.60/\theta$

### Viscosímetro de Cannon-Fenske

Se basa en el tiempo de flujo de una cantidad determinada de un fluido por un tubo capilar. Para determinar su viscosidad se mide el tiempo que tarda en fluir una cantidad determinada. En este caso es un dispositivo experimental sencillo que permite obtener que un fluido circule con régimen laminar por el interior de un tubo largo y recto, mantenido en condiciones de temperatura constante y que se encuentra equipado con un instrumento que permite medir el gradiente de presiones, en puntos del tubo ubicados a cierta distancia de sus extremos.



**Figura 5-3: Viscosímetro Cannon-Fenske**

## Viscosímetro Stormer

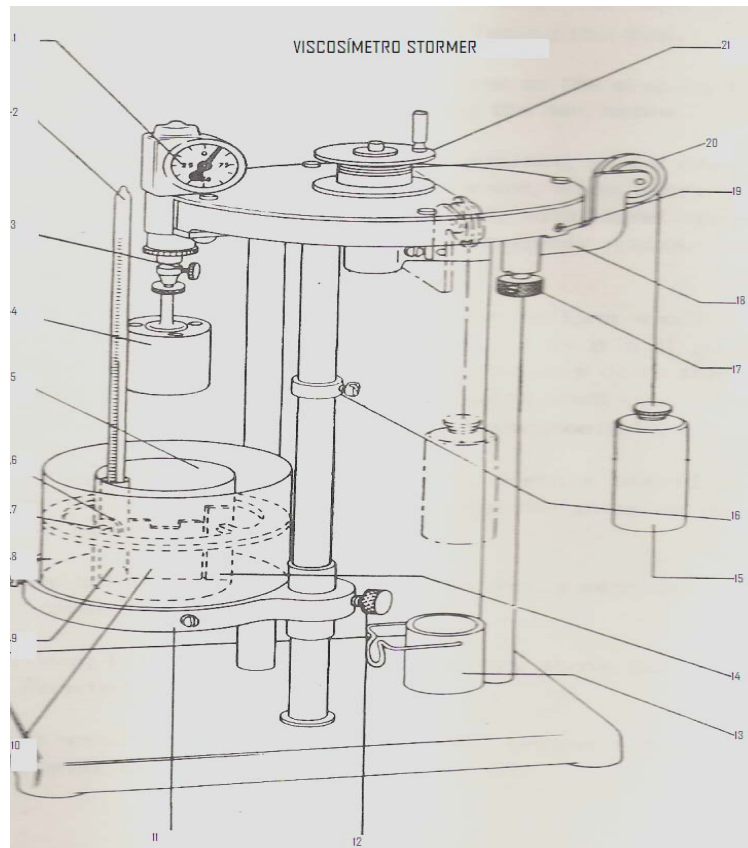
El viscosímetro Stormer se basa en el tiempo en que el disco de este aparato tarda en dar 100 revoluciones, el disco está conectado a una pesa que se libera, la caída de esta se ve modificada por la resistencia encontrada por el disco al rotar en el líquido, a consecuencia de la viscosidad del instrumento. Con este viscosímetro es posible determinar viscosidades relativas y viscosidades absolutas (en términos de cp). Las viscosidades absolutas se determinan una vez que se fabrica una curva de calibración de los tiempos en que se obtienen 100 revoluciones y los valores de viscosidad de las muestras.

### **Listado de partes**

1. Contador de revoluciones (tacómetro)
2. Termómetro
3. Tornillo de ajuste del cilindro
4. Cilindro
5. Copa de ensayo
6. Placa de freno
7. Brazo
8. Baño de agua o aceite
9. Receptáculo del termómetro
10. Deflector central
11. Plataforma móvil
12. Tornillo de la plataforma
13. Caja de pesas
14. Parte de la copa de ensayo
15. Peso móvil
16. Máxima altura
17. Control del freno
18. Brazo de la polea
19. Mecanismo del freno

20. Polea

21. Bobina



**Figura 5-4: Viscosímetro Stormer**

#### Viscosímetro de Cannon-Fenske

1. Poner en funcionamiento los baños de temperatura constante –de ser necesario- permitiendo que alcancen y se mantengan los valores previamente determinados, para los cuales se realizarán las mediciones de viscosidad.
2. Limpiar perfectamente el viscosímetro antes de emplearlo. Cuando se trabaje con soluciones de sustancias orgánicas enjuague con solución limpiadora, luego con agua y enseguida con acetona.
3. Colocar el viscosímetro en posición vertical por medio de la pipeta graduada de 10 ml, introduzca en su rama ancha exactamente 6.5 ml de líquido a ensayar (cada vez que se proporciona una muestra de

líquido en el viscosímetro lo será en condiciones de temperatura ambiente).

4. Sumergir el viscosímetro dentro del baño de temperatura constante, de tal forma que su nivel sobrepase en no menos de 1 cm la altura del bulbo superior. Espere unos 10 minutos para que el viscosímetro y su contenido alcancen la temperatura del baño.
5. Antes de empezar a medir tiempos de escurrimiento, poner verticalmente el viscosímetro dentro del baño.
6. Los tiempos de escurrimientos se miden de la siguiente forma: Succionar el líquido por el primer bulbo que se encuentra sobre el capilar, hasta que el nivel de líquido esté unos 0.5 cm por encima de la marca grabada entre ambos bulbos. Se libera el líquido y se registra el tiempo que el menisco del líquido tarda en pasar desde la marca graduada superior hasta la inferior. Se repite este punto hasta que los tiempos se mantengan constantes.
7. Limpiar el viscosímetro en la forma ya descrita, tanto si se continua el trabajo con otros líquidos o si se deja de efectuar ensayos.
8. Desconectar los baños de temperatura constante.

#### Viscosímetro Stormer

1. Colocar el aparato en una mesa horizontal, de tal manera que el poso móvil pueda caer una distancia de 1 metro libre de obstrucciones. Esto permitirá al rotor hacer 125 revoluciones, indicadas por el tacómetro, donde cada graduación representa una revolución.
2. Poner el cilindro en el mecanismo.
3. De ser necesario adicione agua o aceite al baño de temperatura del aparato.
4. Afloje el tornillo de la plataforma y levante la plataforma hasta la máxima altura. Finalmente asegure la plataforma usando el tornillo de ésta.
5. Centrar el baño conteniendo la copa de ensayo. El rotor, cuando se baja, debe estar centrado en la copa de ensayo.



6. Enrollar el cable del peso móvil (un resorte bajo la bobina permite enrollar el cable cuando el freno está en posición ON, sin moverle rotor o el tacómetro).
7. Bajar la plataforma que soporta el baño y la copa de ensayo, asegurándose que el termómetro, rotor (cilindro) están limpios y secos.
8. Retirar la copa de ensayo, llénela con la muestra hasta 6-7 mm (un cuarto de pulgada) por arriba de las marcas de la copa de ensayo.
9. Llenar el baño con agua o aceite, dependiendo de la temperatura deseada de la muestra, usando aceite para las temperaturas más altas (el viscosímetro Stormer no está diseñado para trabajar a temperaturas mayores de 140 °C).
10. Levantar la plataforma con el baño y la copa de ensayo hasta que el contenido de la copa cubra el cilindro a una profundidad de 6-7 mm. Asegure la plataforma en esta posición apretando el tornillo. La altura máxima debe fijarse a un punto donde esta profundidad del cilindro se logre en otros experimentos.
11. Poner el termómetro en el portatermómetro, para el caso que se requiera una temperatura diferente a la ambiente.
12. Obtener la temperatura deseada por los medios disponibles.
13. Con el freno en la posición ON, levante el peso móvil enrollando la bobina hasta que éste casi toque el brazo de la polea (el freno no está diseñado para cargas muy pesadas, cuando se requiera mucho peso primero introduzca el cilindro en la muestra y luego adicione el peso).
14. Ajustar el indicador de revoluciones liberando el freno, girando un cuarto de vuelta el control del freno. Permita que el indicador se mueva hasta que la aguja marque entre 80-90 (nunca mueva la aguja indicadora con la mano, siga el procedimiento). El propósito de poseionar el indicador 10 o 20 graduaciones a la derecha de cero es para permitir que el cilindro de un número suficiente de vueltas antes de iniciar el cronómetro. Si el peso móvil se bajó mucho, súbalo.
15. Con el cronómetro en la mano, libere el freno y mida el tiempo en segundos requerido para 100 revoluciones del cilindro como indicado en el tacómetro. Cuando cuente 100 revoluciones ponga el freno. Si el

tiempo es menor a 20 segundos remueva peso del dispositivo de peso móvil. Si el cilindro se mueve lentamente incremente el peso.

16. Con el cronómetro listo, ponga el tacómetro entre 80 y 90, ajuste la temperatura de la muestra si se requiere, libere el freno, accione el cronómetro cuando el indicador pase por cero, después de las 100 revoluciones detenga el cronómetro y ponga el freno.
17. Repetir el paso 16 hasta obtener constancia en los resultados. En cada lectura ponga el indicador 10 o 20 unidades antes de cero (nunca ajuste manualmente el indicador de este viscosímetro, ni adicione aceite al mecanismo).

### **Materiales y sustancias**

#### Viscosímetro de Saybolt

- Viscosímetro de Saybolt
- Cronómetro
- Termómetro 110 °C
- Muestra
- Picnómetro
- Vaso de precipitado de 250 ml

#### Viscosímetro Cannon-Fenske

- Viscosímetro Cannon-Fenske
- Cronómetro
- Baños de temperatura constante provistos de control automático
- Pipeta graduada de 10 ml
- Solución limpiadora
- Líquido a analizar
- Agua
- Picnómetro
- Soporte para mantener el viscosímetro
- Perilla

#### Viscosímetro Stormer

- Viscosímetro Stormer

- Cronómetro
- Líquido a analizar
- Agua destilada
- Termómetro

### **Datos por registrar**

Para cada uno de los viscosímetros se necesita casi lo mismo, a menos a que se indique lo contrario.

1. Características del viscosímetro: especificaciones del instrumento
2. Mediciones de viscosidad: volumen utilizado en cada medición, nombre de la muestra utilizada, temperaturas a la que se trabajo, tiempos de escurrimiento de 3 a 4 mediciones de cada muestra
3. Mediciones de densidad: peso del picnómetro vacío, peso del picnómetro lleno de agua destilada y peso del líquido en ensayo.

### **Puntos sobre los cuales informar**

1. Tabule tiempos, densidades, viscosidades absolutas y viscosidades cinemáticas, para cada una de las muestras y para cada viscosímetro.
2. Grafique las curvas correspondientes a: la densidad, la viscosidad absoluta y la viscosidad cinemática, en función de la temperatura (para el caso cuando se cuentas con baños a diferente temperatura).

### **Resultados, cálculos y análisis**

Viscosímetro de Saybolt

1. Determine la viscosidad absoluta y cinemática de las muestras ensayadas, por medio de las fórmulas dadas en la teoría.

Viscosímetro de Cannon-Fenske

1. Determine las viscosidades siguientes para cada muestra:
  - a) viscosidad relativa,  $\mu_r = \mu_1 / \mu_2 = [\rho_1 \theta_1] / [\rho_2 \theta_2]$  donde:  $\rho_1, \rho_2$  son las densidades de los líquidos;  $\mu_1$ , viscosidad del líquido de prueba.  $\mu_2, \rho_1, \rho_2$  se conocen de la bibliografía.  $\theta_1$  y  $\theta_2$ , son los tiempos medidos para el líquido de prueba y la muestra conocida, respectivamente.

- b) viscosidad cinemática,  $\nu = \mu_r / \rho_1$ .
- c) viscosidad específica,  $\mu_e = \mu_r - 1$ .
- d) viscosidad reducida,  $\mu_{re} = \mu_e / C$ , C=concentración de la muestra conocida.
- e) viscosidad inherente,  $\mu_i = \ln \mu_r / C$ .

#### Viscosímetro Stormer

Determine la viscosidad relativa dividiendo el tiempo requerido por el cilindro para girar 100 veces en el líquido bajo estudio por el tiempo requerido para girar 100 veces en agua destilada, usando idénticos procedimientos en ambos casos (temperatura y peso móvil).

## 5.2 Determinación del efecto de concentración en Viscosidad

### Objetivo

Determinar el efecto de la concentración en la viscosidad usando el viscosímetro de Cannon-Fenske, Stormer y de Saybolt.

### Introducción

En algunas situaciones industriales, el efecto de la concentración de un soluto en la viscosidad de un solvente es usado como parámetro de calidad o para conocer la concentración del soluto [15,16].

### Procedimiento

1. Preparar 250 ml de las siguientes soluciones, usando sacarosa o azúcar de mesa como soluto. Soluciones de 50, 85, 115 y 150 gramos de sacarosa por litro.
2. Determinar la densidad de las soluciones preparadas y la densidad del solvente agua.
3. Tomar la temperatura ambiente del laboratorio.

4. Determinar el tiempo de drenado del agua en los viscosímetros Cannon Fenske y Saybolt y el tiempo en que ocurren 100 revoluciones en el viscosímetro de Stormer.
5. Analizar las soluciones preparadas en los viscosímetros Cannon-Fenske, Stormer y de Saybolt.

### **Resultados, cálculos y análisis**

1. Reporte la viscosidad del agua a la temperatura ambiente del laboratorio medida en la sesión experimental.
2. Reporte las densidades y tiempos de drenado y de 100 revoluciones para el agua y las muestras.
3. Usando el concepto de viscosidad relativa/cinemática determine las viscosidades de las muestras según el procedimiento de los instrumentos utilizados (Práctica 1).
4. Grafique en el eje de las “y” los valores de viscosidad y en el eje de las “x” las concentraciones de las soluciones, utilizando los datos obtenidos con cada viscosímetro.
5. Grafique en el eje de las “y” los valores de viscosidad y en el eje de las “x” el logaritmo natural de las concentraciones de las soluciones, utilizando los datos obtenidos con cada viscosímetro.
6. Grafique en el eje de las “y” los valores del logaritmo natural de la viscosidad y en el eje de las “x” el inverso de las concentraciones de las soluciones, utilizando los datos obtenidos con cada viscosímetro.
7. En las graficas obtenidos en los puntos 4,5 y 6 obtenga la ecuación que mejor describe los datos.

### **Preguntas**

1. ¿Cómo se comparan los valores de viscosidad para una misma solución obtenidos usando los diferentes viscosímetros?, ¿Son iguales, parecidos, o muy diferentes?, ¿Por que?
2. ¿Qué tipo de función describe mejor la relación entre viscosidad y concentración?
3. ¿Cuál es el efecto de la concentración en la viscosidad para el sistema agua-sacarosa?

### 5.2.1 Análisis de resultados y conclusiones

El análisis de resultados se basa en los datos que se obtuvieron utilizando el viscosímetro de Cannon-Fenske y para esto se necesita la viscosidad del agua a temperatura de 25°C.

Paso 1: Viscosidad del agua a 25 °C= 0.00089 N\*s/m<sup>2</sup>

Paso 2: La Tabla 5-II muestra los datos necesarios para hacer uso del viscosímetro de Cannon-Fenske.

**Tabla 5-II: Densidades y tiempos de drenado**

<b>Concentración de azúcar (gr/lt)</b>	<b><math>\theta</math> promedio(s)</b>	<b>Densidad (g/ml)</b>
0 (Agua)	10.36	1
50	11.416	1.026
85	12.331	1.04
115	13.389	1.0533
150	14.497	1.066

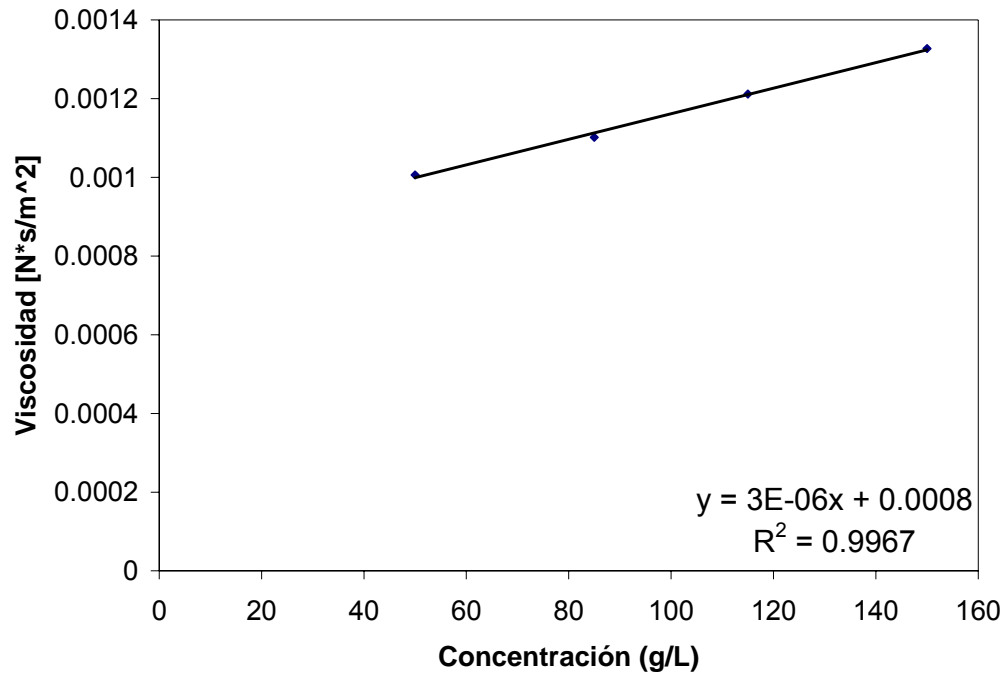
Paso 3: La Tabla 5-III muestra las viscosidades relativa, absoluta y cinemática usando las ecuaciones presentadas en la Práctica 5.1.

**Tabla 5-III: Viscosidad relativa, absoluta y cinemática**

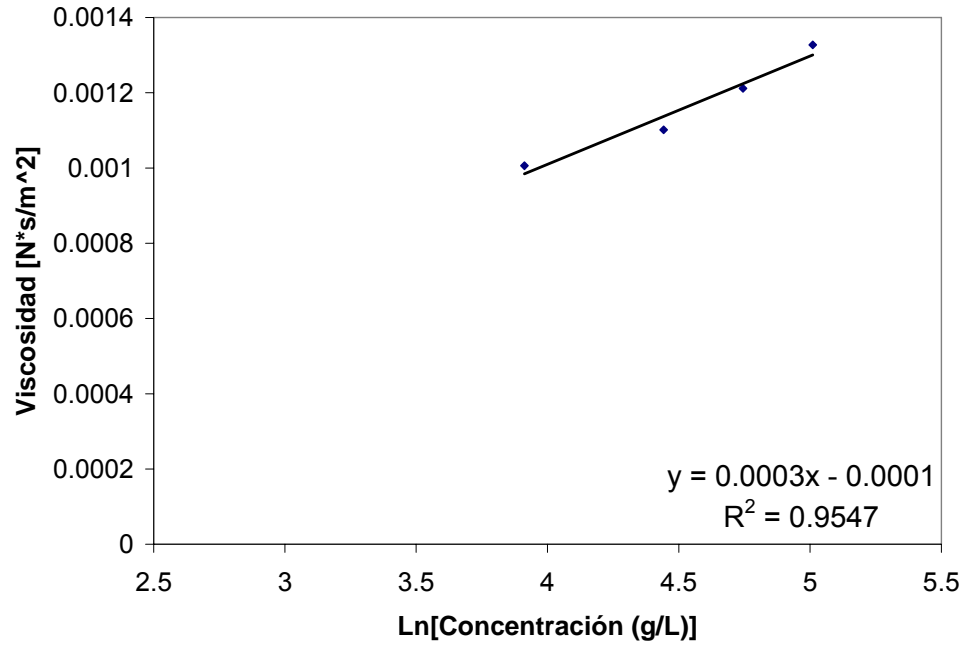
<b>Concentración de azúcar (gr/lt)</b>	<b>Viscosidad relativa</b>	<b>Viscosidad (N*s/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Viscosidad cinemática (m<sup>2</sup>/s)</b>
0 (Agua)	No aplica	0.00089	8.9E-07
50	1.13058069	0.00100622	9.80718E-07

85	1.237861	0.0011017	1.05932E-06
115	1.36125808	0.00121152	1.15021E-06
150	1.49167973	0.00132759	1.2454E-06

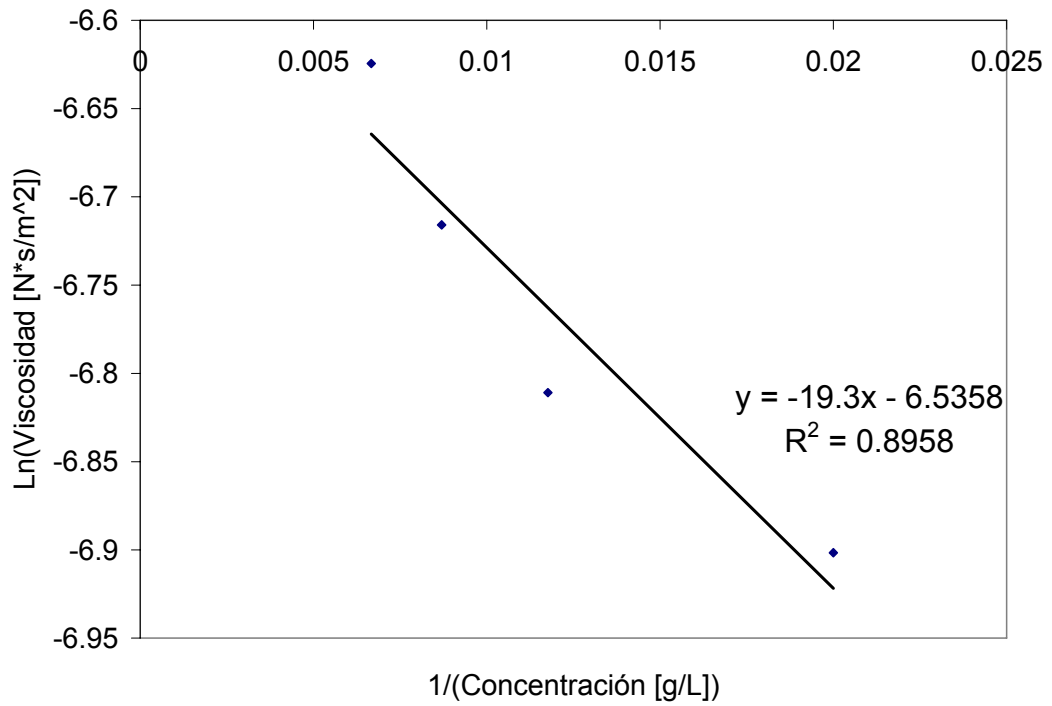
Paso 4: A continuación se muestran las gráficas requeridas en la Práctica 5.2



**Figura 5-5: Viscosidad en función de concentración**



**Figura 5-6: Viscosidad en función de Ln (concentración)**



**Figura 5-7: Ln (viscosidad) en función de 1/(concentración)**



Paso 5: La ecuación lineal que mejor describe los datos de las figuras obtenidas en el paso 4 se presentan en las figuras respectivas. De acuerdo con el coeficiente de correlación  $R^2$  los resultados de este experimento muestran que la mejor correlación se obtuvo al graficar la viscosidad como función de la concentración.

### **5.3 Determinación del efecto de la temperatura en la viscosidad**

#### **Objetivo**

Determinar el efecto de la temperatura en la viscosidad usando el viscosímetro de Cannon-Fenske.

#### **Introducción**

La resistencia interna que presentan los fluidos al movimiento se conoce como viscosidad ( $\mu$ ). Generalmente se puede decir que esta propiedad es la que se opone al movimiento relativo de capas adyacentes del fluido, de modo que se puede considerar un “frotamiento interno”. El coeficiente de viscosidad, en Poises, se define como la fuerza por unidad de superficie, en dinas/cm<sup>2</sup>, necesaria para mantener una diferencia de velocidades de 1 cm/seg entre dos capas paralelas de fluido situadas a 1 cm de distancia [15,16].

$$1 \text{ Poise} = 1 \text{ g/cm-sec} = 100 \text{ cp}$$

Viscosímetro de Cannon-Fenske.

Se basa en el tiempo de flujo de una cantidad determinada de un fluido por un tubo capilar. Para determinar su viscosidad se mide el tiempo que tarda en fluir una cantidad determinada. En este caso es un dispositivo experimental sencillo que permite obtener que un fluido circule con régimen laminar por el interior de un tubo largo y recto, mantenido en condiciones de temperatura constante y que se halle equipado con un instrumento que

permite medir el gradiente de presiones, en puntos del tubo ubicados a cierta distancia de sus extremos.

### **Procedimiento**

Consultar el procedimiento de operación del Viscosímetro de Cannon-Fenske presentado en la Práctica 1.

### **Materiales y sustancias**

- Agua
- 200 ml de solución de sacarosa de concentración 150 g/L

### **Datos por registrar**

- 1) Mediciones para estimar viscosidad: nombre de la muestra utilizada, temperaturas a la que se trabajó, tiempos de escurrimiento de 10 mediciones de cada muestra.
- 2) Mediciones de densidad a cada temperatura de todas las sustancias: peso del picnómetro vacío, peso del picnómetro lleno de agua destilada y peso del líquido en ensayo.

### **Resultados, cálculos y análisis**

1. Determinar la viscosidad relativa ( $\mu_r$ ) de la solución de sacarosa respecto al agua a cada temperatura:  $\mu_r = \mu_1 / \mu_2 = [\rho_1 \theta_1] / [\rho_2 \theta_2]$ ; donde  $\rho_1$ ,  $\rho_2$  son las densidades de los líquidos (2 denota agua, 1 denota la solución de sacarosa),  $\mu_2$  viscosidad del líquido de prueba (viscosidad del agua a la temperatura especificada)  $\mu_1$  viscosidad a calcular de la muestra problema (solución de sacarosa),  $\theta_1$  y  $\theta_2$  son los tiempos medidos para el líquido de prueba (2 denota agua, 1 denota la solución de sacarosa) y la muestra conocida, respectivamente.

2. Determinar la viscosidad absoluta de la solución de sacarosa a las temperaturas estudiadas  $\mu_1$  (para esto es necesario investigar las viscosidades del agua a las temperaturas de estudio):  $\mu_1 = \mu_2 * [\rho_1 \theta_1] / [\rho_2 \theta_2]$ .

3. Determinar la viscosidad cinemática de la solución de sacarosa a las temperaturas estudiadas ( $\nu$ ):  $\nu = \mu_1 / \rho_1$ .
4. Tabule la temperatura, tiempos de escurrimiento y sus promedios para cada muestra, densidades, viscosidades absolutas, viscosidades cinemáticas y viscosidades relativas.
5. Grafique las curvas correspondientes a: la densidad, la viscosidad absoluta y la viscosidad cinemática, en función de la temperatura (una grafica para densidad, una para viscosidad absoluta y otra para viscosidad cinemática).

### **Preguntas**

1. Investigue acerca de los modelos existentes para obtener la densidad como una función de la temperatura y la viscosidad como una función de la temperatura. Ajuste los datos experimentales (temperatura-densidad, temperatura-viscosidad) a estos modelos, reporte el valor de las constantes involucradas y comente la forma en que el modelo evaluado con las constantes determinadas describe los resultados (aplique este tratamiento tanto a densidad como a viscosidad del agua y la solución de sacarosa).

#### **5.3.1 Análisis de resultados y conclusiones**

Paso 1. A continuación se muestra la Tabla 5-IV que contiene los datos experimentales de tiempos de escurrimiento tanto para el agua como para la solución de sacarosa a temperaturas de 25, 30 y 40°C.

**Tabla 5-IV: Mediciones para estimar viscosidad**

Temperatura	Tiempo para el agua (s)	Tiempo para la solución de sacarosa (s)
25 °C	10.37	13.97
(Viscosidad del agua pura a esta temperatura: 9.74622694E-04 Pa-s )	10.5	13.63
	10.62	13.88
	10.46	13.89
	10.41	13.75
<b>Promedio a 25 °C</b>	<b>10.472</b>	<b>13.824</b>
<b>Densidades a 25 °C (g/ml)</b>	<b>1</b>	<b>1.063</b>
30 °C	9.82	12.78
(Viscosidad del agua pura a esta temperatura: 8.42319977E-04 Pa-s)	9.59	12.75
	9.68	12.84
	9.66	12.66
	9.78	12.77
<b>Promedio a 30 °C</b>	<b>9.706</b>	<b>12.76</b>
<b>Densidades a 30 °C (g/ml)</b>	<b>1.003</b>	<b>1.060</b>
40 °C	8.16	10.53
(Viscosidad del agua pura a esta temperatura: 6.86771795E-04 Pa-s)	8.95	10.59
	8.95	10.91
	8.6	10.78

	8.88	10.78
<b>Promedio a 40 °C</b>	<b>8.708</b>	<b>10.718</b>
<b>Densidades a 40 °C (g/ml)</b>	<b>1.033</b>	<b>1.056</b>

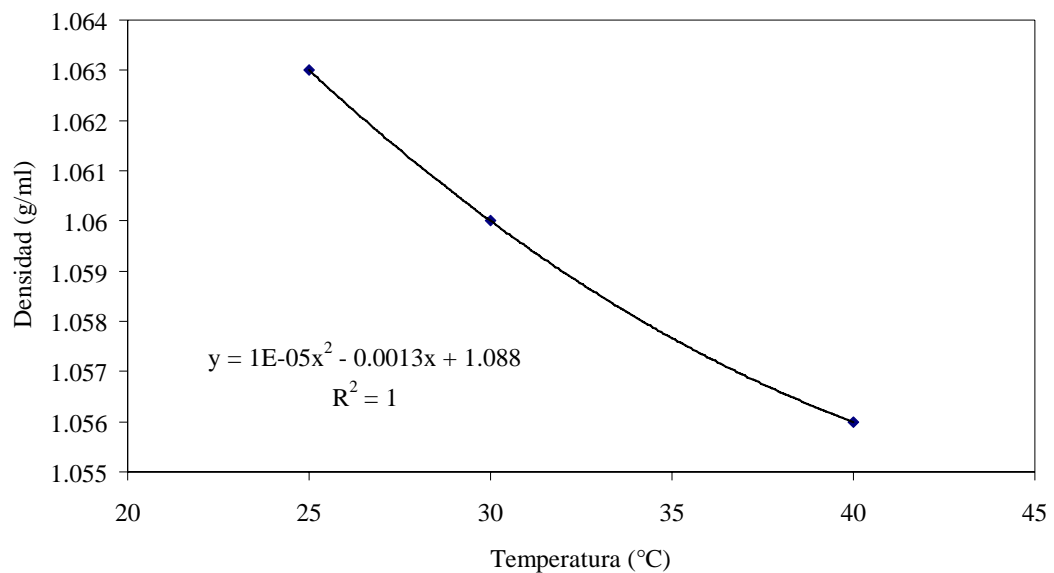
Paso 3: La Tabla 5-V muestra las viscosidades relativa, absoluta y cinemática usando las ecuaciones presentadas en la Práctica 5.1.

**Tabla 5-V: Viscosidades y densidades a varias temperaturas**

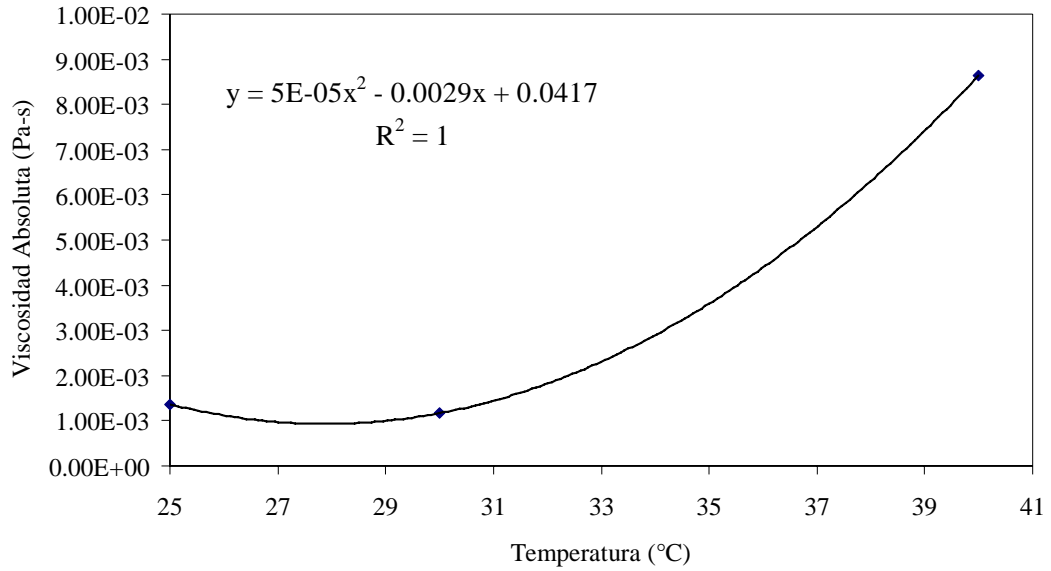
Temperatura (°C)	Densidad de la muestra (g/ml)	Viscosidad relativa	Viscosidad absoluta (Pa-s)	Viscosidad cinemática (m <sup>2</sup> /s)
25 °C	1.063	1.403	1.367E-03	1.285E-06
30 °C	1.060	1.389	1.169E-03	1.102E-06
40 °C	1.056	1.258	8.638E-03	8.178E-06

Paso 4: A continuación se muestran las gráficas requeridas en la Práctica 5.3

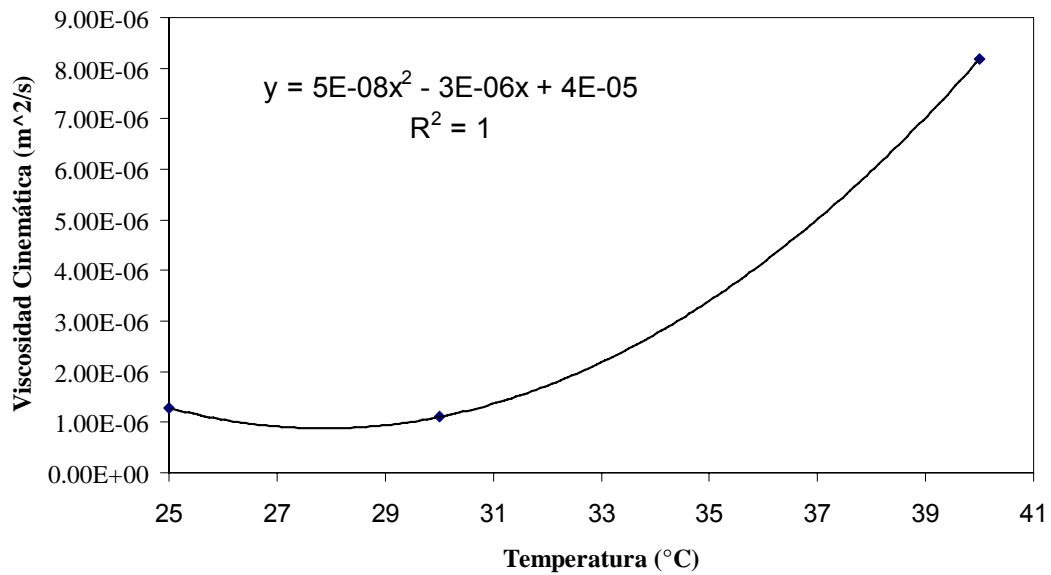
V



**Figura 5-8: Densidad como función de la temperatura**



**Figura 5-9: Viscosidad absoluta como función de la temperatura**



**Figura 5-10: Viscosidad cinemática como función de la temperatura**

## 5.4 Ley de Joule: conversión de energía eléctrica a calor

### Objetivo

Demostrar el principio básico de conservación de la energía, analizando cómo una cantidad dada de energía eléctrica se convierte en calor.

### Introducción

Este principio se demuestra cuando una resistencia eléctrica es usada para calentar un líquido; por ejemplo agua. La energía eléctrica suministrada a la resistencia es cedida al agua que se está calentando en la forma de energía calorífica, lo cual es detectado en el agua por un aumento en su temperatura. La energía que es suministrada a una resistencia eléctrica puede calcularse conociendo las siguientes cantidades: Voltaje [V], Intensidad eléctrica [I] y tiempo de operación [ $\theta$ ]. De forma matemática la energía [W] suministrada a la resistencia eléctrica esta dada por la siguiente ecuación:

$$W = (V)(I)(\theta) \quad (25)$$

Donde V tiene las unidades de J/c (c=coulomb), I las unidades de c/s, W esta en J (Joule) y  $\theta$  está en segundos. La energía que provoca el aumento de la temperatura en el agua, y que a su vez fue suministrada por la resistencia eléctrica puede calcularse conociendo la cantidad de agua, el cambio de temperatura y el calor específico del agua (1 cal/ (g °C)) [15,16].

### Procedimiento

Esta práctica se realizará usando un dispositivo especial de calentamiento disponible en el laboratorio. Anote los siguientes datos:

1. Masa/volumen de agua.
2. Temperatura inicial del agua.
3. Seleccione en el instrumento como temperatura final deseada 50 grados centígrados.
4. Medir el voltaje al inicio de la práctica, y después cada 2 minutos.
5. Encender el dispositivo.

6. Anotar los valores de tiempo, temperatura del agua, voltaje, y amperaje  $I$  de los dispositivos de calentamiento del instrumento cada 2 minutos.
7. Repetir paso el 7 hasta lograr la temperatura deseada o hasta que el amperaje medido sea mucho menor al inicial.
8. Anotar la temperatura a la que se terminó el experimento.
9. Anotar los datos experimentales en la tabla.

### **Materiales y sustancias**

2 termómetros graduados de cero a 100 centígrados

1 embudo de 500 ml

1 amperímetro

1 matraz de 1 litro

16.5 litros de agua

### **Resultados, cálculos y análisis.**

1. Calcule la energía suministrada a la resistencia eléctrica en calorías con la ecuación  $W = V \cdot I \cdot \theta$ .
2. Calcule la energía en calorías ganada por el agua.
3. Calcule el porcentaje de energía que fue ganada por el agua.
4. ¿La práctica realizada da motivos suficientes para apoyar el hecho de conservación de la energía? Justifique su respuesta.

#### **5.4.1 Análisis de resultados y conclusiones**

Paso 1. Se calentaron 15 Litros de agua con una resistencia eléctrica de 21 a 40°C.

Paso 2. Los datos obtenidos se presentan a continuación en la Tabla 5-VI que muestra el aumento de temperatura con respecto al tiempo y los valores de Voltaje e Intensidad en el precalentador y calentador respectivamente.

**Tabla 5-VI: Datos experimentales de la ley de Joule**



$\theta$ (min)	T(°C)	Precalentador		Calentador	
		V (J/c)	I (c/s)	V (J/c)	I (c/s)
0	21	120	5.37	120	3.32
2	24	120	5.42	120	3.31
4	26	120	5.42	120	3.31
6	28	120	5.33	120	3.33
8	29	120	5.43	120	3.33
10	31	120	5.42	120	3.32
12	33	120	5.41	120	3.3
14	35	120	5.43	120	3.29
16	36	120	5.31	120	3.29
18	38	120	5.41	120	3.32
20	40	120	5.35	120	3.29

Paso 3: Al utilizar la Ecuación (25) y hacer las operaciones correspondientes se obtiene que:

1. La energía suministrada por la resistencia fue: 299457 cal
2. La energía ganada por el agua fue: 285000 cal
3. El porcentaje de energía ganada por el agua fue de: 95%
4. La temperatura aumentó a una rapidez 64% menor de lo que se esperaba.

## 5.5 Comprobación de la ley de Boyle y la ley de Charles

### Objetivo

Comprobar experimental mente la Ley de Boyle y la Ley de Charles.

## Introducción

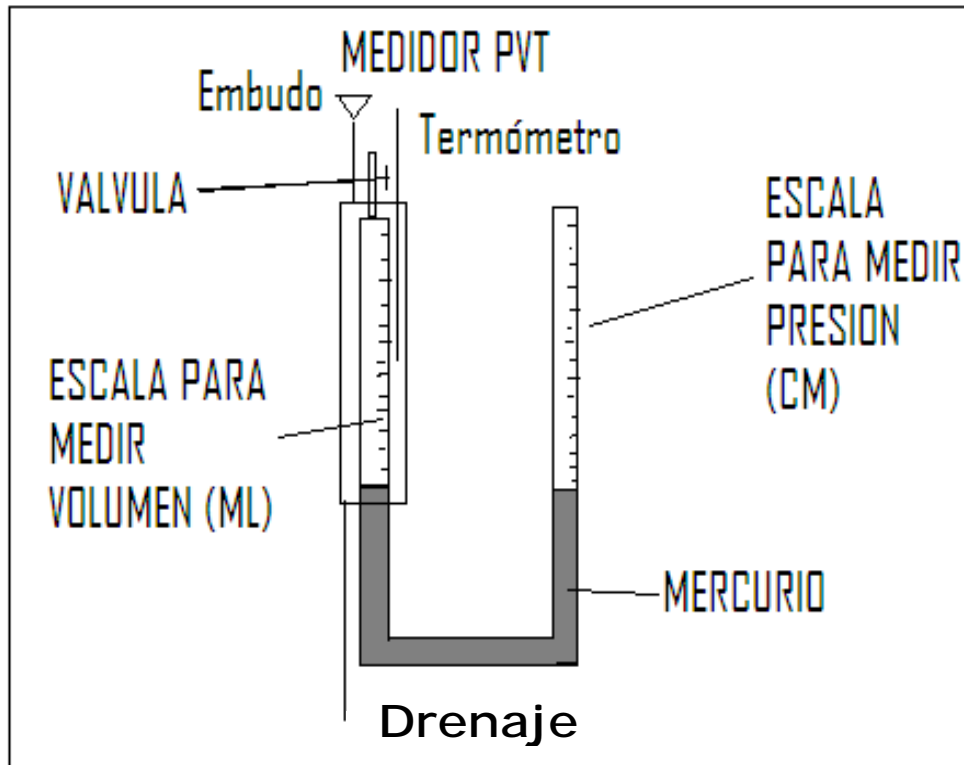
Ley de Boyle: Establece que el volumen de cualquier cantidad definida de gas a temperatura constante varía inversamente a la presión ejercida sobre él. Matemáticamente se representa por:  $P_1V_1=K= P_2V_2$  [15,16].

Ley de Charles: Establece que el volumen de una cantidad definida de gas a presión constante es directamente proporcional a la temperatura absoluta. Matemáticamente se representa por:  $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$  [15,16].

## Procedimiento

### Ley de Boyle

- 1) Registre la temperatura a la que se encuentre el laboratorio.
- 2) Abrir la válvula del medidor PVT.
- 3) Mover el nivel de mercurio a un punto deseado en la escala medidora de PVT.
- 4) Cerrar la válvula del medidor PVT.
- 5) Leer el volumen de gas usando la escala medidora de volumen y anotar el nivel (altura de mercurio).
- 6) Levantar el nivel de mercurio 5 cm arriba del nivel anterior y anotar el volumen (o a una altura a la que se obtenga un cambio apreciable en el volumen del gas).
- 7) Levantar el nivel de mercurio 5 cm más que en el paso anterior.



**Figura 5-11: Diagrama del medidor PVT**

#### Ley de Charles

- 1) Poner a calentar 3 litros de agua a 80 centígrados, también agregar 2 kilos de hielo a 1.5 litros de agua (cantidades aproximadas).
- 2) Anotar la temperatura a la que se encuentra el laboratorio.
- 3) Abrir la válvula del medidor PVT.
- 4) Mover el nivel de mercurio a un punto deseado en la escala medidora de presión.
- 5) Cerrar la válvula del medidor PVT.
- 6) Anotar temperatura del laboratorio y el volumen de gas.
- 7) Usando el embudo del sistema agregar agua a temperatura de 0 a 5 °C.
- 8) Mida la temperatura en el dispositivo del medidor PVT y anote el volumen de gas.
- 9) Retire del sistema el agua a baja temperatura, utilizando el drenaje.
- 10) Repetir los pasos 7 a 9 utilizando el agua caliente a 80 centígrados.

## Materiales y sustancias

- 1 Medidor PVT (disponible en el laboratorio)
- 1 Termómetro graduado de 0 a 100°C
- 1 Mechero de Bunsen
- 1 Placa calentadora eléctrica
- 2 Recipiente metálicos de 3 o 4 litros (utensilios de cocina)
- 1 Pinza de presión (para cerrar una manguera de media pulgada)
- 4 kg de hielo

## Resultados, cálculos y análisis

- 1) Grafique P vs V usando las unidades de (atm, L), (torr, cm<sup>2</sup>), (Pa, m<sup>3</sup>). Serán tres graficas separadas.
- 2) Grafique V vs T usando las unidades de (ml, °C), (L, K), (L, °R). Obtenga las ecuaciones de las graficas que incluyeron grados kelvin y rankine, extrapole estas hasta donde el volumen sea cero. Comente acerca de estos valores y de las pendientes de las rectas.
- 3) Comente si el objetivo fue alcanzado.

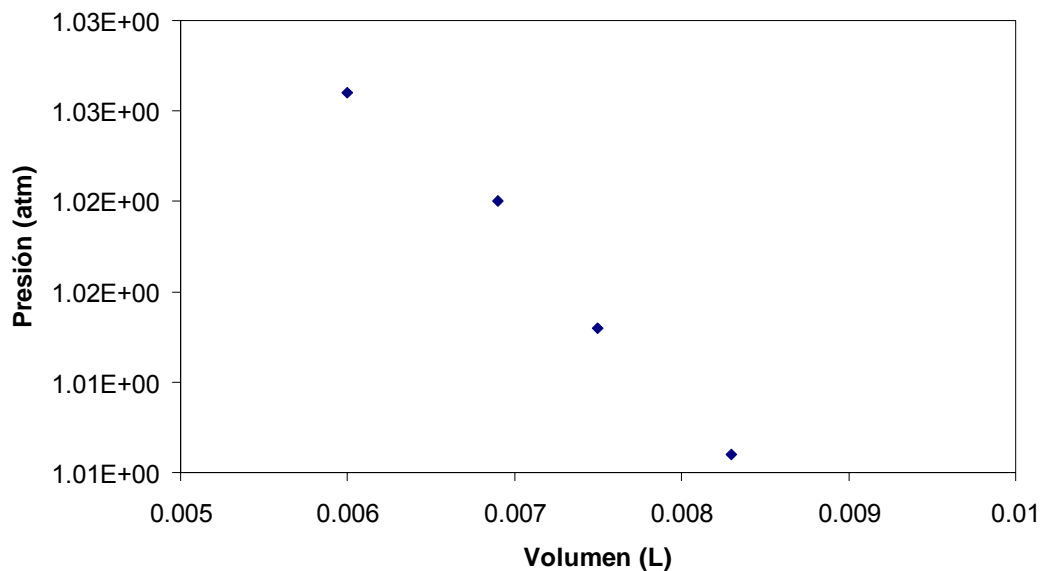
### 5.5.1 Análisis de resultados y conclusiones

Ley Boyle: La temperatura es constante

Agua a temperatura ambiente de 24°C

**Tabla 5-VII: Ley de Boyle: presiones y volúmenes a 24 °C**

Lectura	P (mmHg)	V(ml)	P(atm)	V(L)	P(Pa)	V(m <sup>3</sup> )
1	765	8.3	1.006	8.3E-03	101932	8.3E-06
2	770	7.5	1.013	7.5E-03	102642	7.5E-06
3	775	6.9	1.020	6.9E-03	103351	6.9E-06
4	780	6	1.026	6.0E-03	103959	6.0E-06



**Figura 5-12: Datos de la ley de Boyle (P, V)**

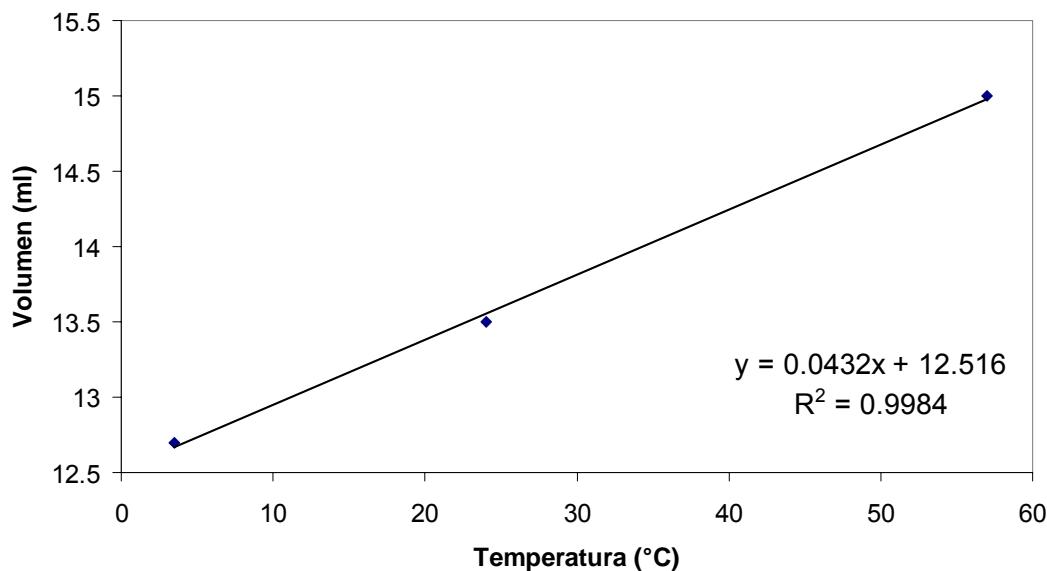
De la Figura 5-12 es evidente que a mayor presión menor volumen, lo cual sugiere la Ley de Boyle.

Ley de Charles: La Presión es constante

$$P = 1 \text{ atm}$$

**Tabla 5-VIII: Ley de Charles: temperaturas y volúmenes a 1 atm**

	T(°C)	V(ml)	T(°K)	V(L)	T(°R)	V(m <sup>3</sup> )
1	3.5	12.7	276.65	0.013	497.97	0.013E-03
2	24	13.5	297.15	0.014	534.87	0.014E-03
3	57	15	330.15	0.015	594.27	0.015E-03



**Figura 5-13: Datos de la ley de Charles (V, T)**

Los datos de la Ley de Charles se correlacionan por la ecuación lineal  $V=0.0432T+12.516$ . Esta ecuación predice que el volumen será cero cuando la temperatura sea de  $-289.72^{\circ}\text{C}$ . El valor de temperatura era  $-273.15^{\circ}\text{C}$ .

## 5.6 Determinación de calores específicos

### Objetivo

Determinar el calor específico de benceno y cloroformo.

### Introducción

El calor específico<sup>1</sup> ( $C_e$ ) de una sustancia se refiere a la cantidad de energía que es necesario suministrar para elevar la temperatura de la unidad de masa de esta sustancia en un grado. Para el agua el valor del calor específico es  $1 \text{ cal/ (g}^{\circ}\text{C)}$  [ $4.184 \text{ J/ (g}^{\circ}\text{C)}$ ]. Es posible medir el calor específico cuando se dispone de una sustancia de la cual se conoce esta cantidad, agua por ejemplo. Si una cantidad dada de agua en gramos  $m_{\text{agua}}$  es calentada a  $T_{(\text{agua})0}$  y se pone en contacto con cierta masa de una muestra  $m_{\text{muestra}}$  que se encuentra inicialmente a una temperatura  $T_{(\text{muestra})0}$ .

<sup>1</sup> Al calor específico, a veces, se le llama también *capacidad térmica específica* y *capacidad calorífica*.

Habr  un intercambio de calor; la temperatura del agua disminuir  y la temperatura de la muestra aumentará. Las temperaturas finales serán  $T_{(agua)F}$  y  $T_{(muestra)F}$ . El aumento   disminución en temperaturas de estas sustancias es una función del calor transferido y de los valores de los respectivos calores específicos [15,16]. Est n relacionados como sigue (sea agua el liquido conocido).

El calor perdido o ganado por el agua es igual al calor ganado por la muestra.

$$Q_{(agua)} = -Q_{(muestra)} \quad (26)$$

Los calores perdidos o ganados del agua y la muestra están dados por:

$$Q_{(agua)} = (m_{agua}) (C_{e(agua)}) (T_{(agua)F} - T_{(agua)0}) \quad (27)$$

$$Q_{(muestra)} = (m_{muestra}) (C_{e(muestra)}) (T_{(muestra)F} - T_{(muestra)0}) \quad (28)$$

Igualando los calores del agua y de la muestra, es posible obtener una expresión para estimar calor específico de la muestra.

$$C_{e(muestra)} = - \frac{(m_{agua}) (C_{e(agua)}) (T_{(agua)F} - T_{(agua)0})}{(m_{muestra}) (T_{(muestra)F} - T_{(muestra)0})} \quad (29)$$

### Procedimiento

1. Calentar 200 ml de agua a una temperatura de 50  C ( $T_{(agua)0}$ ).
2. Agregar 50 ml de la muestra (benceno o cloroformo) al vaso de 200 ml y medir su temperatura ( $T_{(muestra)0}$ ). Anote la densidad de la muestra, para calcular  $m_{muestra}$ .
3. En el vaso de 50 ml agregar **25 ml de agua** ( $m_{agua}$ ), inmediatamente después introduzca este vaso en el vaso de 200 ml con la muestra.

4. Medir y registrar cada treinta segundos las temperaturas del agua y de la muestra, hasta que el valor de ambas temperaturas comience a descender.
5. Obtenga los valores de  $T_{(agua)F}$  y  $T_{(muestra)F}$  con los valores registrados antes del descenso de temperaturas de ambas sustancias.

### **Materiales y sustancias**

- 1 Vaso de precipitados de 200 ml
- 1 Vaso de precipitados de 50 ml
- 2 Termómetros
- 50 ml de benceno
- 50 ml de cloroformo
- 1000 ml de agua
- 1 Cronometro

### **Resultados, cálculos y análisis**

1. Calcule el calor específico de las muestras (benceno y cloroformo)
2. Compare los resultados experimentales con los valores reportados en la literatura.
3. Reporte el calor específico experimental por mol de cada sustancia.

#### **5.6.1 Análisis de resultados y conclusiones**

Los resultados obtenidos para esta práctica se presentan a continuación:

$$C_e(\text{muestra}) = -[(m_{\text{agua}})(C_e(\text{agua}))(T(\text{agua})_F - T(\text{agua})_0)] / [(m_{\text{muestra}})(T(\text{muestra})_F - T(\text{muestra})_0)]$$

Masa de benceno = 44 grs.

Masa del agua = 25 grs.

Masa del cloroformo = 74 grs.

Temperatura inicial del agua = 68°C

Temperatura inicial del benceno = 28°C



Temperatura inicial del cloroformo= 28°C  
Temperatura final agua-benceno = 38°C  
Temperatura final agua-cloroformo =39°C

Calores específicos experimentales

Ce (benceno)=1.704 cal/g °C

Ce (cloroformo)=1.567 cal/g °C