

## OBJETIVO:

Determinar experimentalmente el coeficiente de expansión o dilatación del aire, así como compararlo con el valor establecido para la dilatación de los gases (  $0.003663 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$  ).

## INTRODUCCIÓN.

El proposito de este experimento es comprobar que cuando existe una presion constante en el sistema , este se llamara proceso isobarico . El primer estudio de la variacion isobarica del volumen con la temperatura lo hizo J . CHARLES (1787) y lo verifíco GAY LUSSAC (1802)

De entre todos los cuerpos, los gases son aquellos en que mas fácilmente puede comprobarse la dilatación por efecto del calor. Se dice que los gases al someterse al calor, muestran una expansión mayor y mas regular que los sólidos y los líquidos.

Un sistema gaseoso esta definido cuando sus variables, presión, temperatura, volumen y masa tienen valores definidos. Para poder definir el estado de un sistema gaseoso sin necesidad de medir todas sus variables, se hace uso de ecuaciones matemáticas, las cuales relacionan unas variables en función de otras. Estas relaciones se denominan ecuaciones de estado, las que pueden obtenerse observando el comportamiento del sistema bajo condiciones dadas.

En 1787, el físico francés CHARLES observo que el hidrogeno, aire, dioxido de carbono y oxigeno se expandían en igual proporción al calentarlos desde  $0^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$  manteniendo la presión constante. Sin embargo, fue GAY LUSSAC en 1802, quien encontró que todos los gases aumentaban igual volumen por cada grado de temperatura y se puede definir el coeficiente de expansión o dilatación de un gas como el aumento de volumen que experimenta la unidad de volumen de ese gas a  $0^{\circ}\text{C}$  cuando se eleva  $1^{\circ}\text{C}$  su temperatura bajo una presión constante, es designa este coeficiente por  $\alpha$ .

De acuerdo con mediciones muy precisas, se ha comprobado que el coeficiente de expansión es independiente de la naturaleza del gas, de la temperatura y de la presión que se elijan, su valor medio que se adopta en la practica, es:

$$\alpha = 1 / 273^{\circ}\text{C} = 0.003663 \text{ } 1 / ^{\circ}\text{C}$$

Sin embargo, estos resultados solo pueden aplicarse a los gases reales, cuando estos se encuentran alejados de su punto de licuacion y son validos con todo rigor solo para los gases ideales o perfectos. De las observaciones realizadas por CHARLES y GAY LUSSAC encontraron un aumento lineal del volumen con la temperatura (medida en la escala centígrada), a presión constante y cantidad fija de gas:

$$V = \alpha + \beta t \text{ donde } P, m \text{ constantes}$$

Designando  $t = 0^{\circ}\text{C}$ , se tiene  $\alpha = V_0$  donde:

$V_0$  = volumen del gas a  $0^{\circ}\text{C}$  y a presión fija.

Luego

$$V = V_0 + \beta t$$

Definiendo el coeficiente de expansión como:

$$a = b / V_0 \dots\dots\dots(1)$$

La ley de CHARLES – GAY LUSSAC resulta ser:

$$V = V_0 (1 + a t ) \text{ para } P, m \text{ constantes } \dots\dots\dots(2)$$

Con base en lo anterior, se enuncio la ley de CHARLES o GAY LUSSAC, que se enuncia de la siguiente manera:

**Siempre que la masa y la presión de una muestra de gas se mantienen constantes, el volumen que ocupa el gas es directamente proporcional a su temperatura absoluta.**

## **MATERIAL.**

*Soporte con arillo* ; se uso para sostener practica el vaso de precipitados de 2000 ml. , cuando este era calentado, así también sirvió para detener el soporte que agarraba al matraz de ERLLENMEYER. Este instrumento esta formado de una base de metal de aproximadamente 20 cm. de largo por 15 cm. de ancho, de la cual sale perpendicularmente un tubo de metal macizo de aproximadamente 50 cm. de largo del cual se sostiene el arillo.

*Tela de alambre* ; el uso de este instrumento se utilizo para impedir que el vaso de precipitados de 2000 ml. , se ahumara en el instante en que era calentado. Esta formado por una tela de metal cuadrada de aproximadamente 15 cm. de largo.

*Mechero bunsen* ; utilizado para el calentamiento de agua en el desarrollo de la practica, esta conformado de dos partes:

La primera es una manguera de látex la cual de conecta a la toma de gas de la mesa de trabajo, tiene un largo aproximado de 20 cm.

La segunda es una pieza de metal ligero , tiene una base de metal en forma circular de 12 cm de diámetro, y un tubo hueco por donde pasa el gas, este tubo tiene un diámetro de aproximadamente 1 cm., la parte del tubo que se encuentra cerca de la base tiene una serie de orificios los cuales regulan la intensidad de la flama. (Véase figura 1 )

*Matraz de ERLLENMEYER de 250 ml.* ; sumergido en el vaso de precipitados de 2000 ml. en  $\frac{3}{4}$  partes, se uso como contenedor del aire ahí acumulado para que en el momento de comenzar a calentarse el baño, el aire se dilatara y se desplazara por el tubo de vidrio. Constituido por vidrio. ( véase la figura 2 )

*Tapón bihorado para el matraz* ; usado básicamente para sostener el tubo de vidrio de 5 mm. de diámetro y el termómetro de mercurio, también se uso para sellar la boca del matraz mientras se realizaba el experimento. Formado de un material semejante al plástico tiene un diámetro aproximado de 2 cm. , así como dos orificios pequeños por donde se introducen el termómetro y el tubo de vidrio.

*Tubo de vidrio de 5 mm. de diámetro* ; utilizado para recoger el aire dilatado, esta formado por un cilindro hueco de vidrio.

*Vaso de precipitados de 1000 ml.* ; se uso para contener a la bureta de gases, así también para mantener una cierta presión en una de las entradas de la bureta, conformado de vidrio y graduado en una de sus caras (ver figura 3).

*Vaso de precipitados de 2000 ml.* ; se uso para contener a el matraz de ERLLENMEYER, así también para

darle un baño de agua, conformado de vidrio y graduado en una de sus caras es muy similar al vaso de 1000 ml. , su diferencia es el tamaño (vease figura 4).

*Bureta para gases de 100 ml.* ; Se utilizo para visualizar la forma en que aumentaba el volumen del aire dentro del sistema, esta formado por vidrio ( véase figura 5 ).

*Termómetro de 0 oC a 150 oC* ; utilizado para la lectura de la temperatura dentro del matraz sellado, este instrumento es parte esencial del experimento. Tiene 30 cm de largo aproximadamente y en su interior tiene un recipiente de mercurio el cual se dilata al variar la temperatura en el exterior.

*Probeta de 100 ml.* ; se uso para agregar agua a el vaso de 1000 ml., así también para el calculo del volumen inicial de aire dentro del sistema. Esta constituido por una base hexagonal de plástico, y un cilindro hueco de vidrio. ( véase figura 6 ).

## **DESARROLLO.**

- 1.- Se monto el dispositivo como se muestra en la figura 7. Se procedió a llenar con agua a una temperatura aproximada de 20 oC ,  $\frac{3}{4}$  partes de la capacidad de los vasos de precipitados.
  - 2.- El vaso de precipitados de 2000 ml. se coloco sobre el soporte a una altura de 15 cm.
  - 3.- Se procedió a sostener el matraz de ERLLENMEYER con un soporte, que se encontraba colocado a la altura del vaso de precipitados de 2000 ml.
  - 4.- A continuación se introdujeron en el tapón bihoradado, un termómetro de mercurio y el tubo de vidrio de 5 mm. de diámetro. Una vez concluida esta operación se procedió a introducir el tapón en la boca del matraz ERLLENMEYER.
  - 5.- En este punto es necesario señalar que el armado de la bureta para gases, la manguera de látex y el tubo de vidrio de 5 mm. de diámetro, ya se encontraba realizado en el instante de recoger el material en el almacén, por lo tanto solo se procedió a introducir la bureta para gases en el vaso de precipitados de 1000 ml.
  - 6.- Con la bureta para gases dentro del vaso de 1000 ml., se le agrego agua al vaso de 1000 ml. con la probeta, esto con la finalidad de que el agua se introdujera en la bureta y alcanzara la lectura de 30 ml. , al mismo tiempo que tenia el nivel del agua del vaso de 1000 ml.
  - 7.- Una vez alcanzado el nivel de 30 ml. y el nivel del agua dentro y fuera de la bureta era el mismo, se calentó el agua que contenía el vaso de precipitados de 2000 ml. , cabe señalar en este punto que el equipo tenia la idea que el agua dentro de la bureta tenia que subir.
- Esto es que las mediciones se darían en forma ascendente, por esta duda el equipo perdió aproximadamente 20 minutos en espera de que el agua se comportara en la forma en que esperábamos, al no observar ningún comportamiento en el nivel de agua se le pidió se opinión al profesor el cual nos explico que el nivel del agua dentro de la bureta iba a descender y por tanto las mediciones serian en forma descendente. Con esto se procedió a cortar el suministro de gas y a vaciar el contenido del vaso de precipitados de 2000 ml. En la coladera de la mesa de trabajo.
- 8.- Una vez vaciado el vaso de precipitados, este se lleno nuevamente a  $\frac{3}{4}$  partes de su capacidad, para colocarlo en el soporte e introducirle el matraz de ERLLENMEYER, una vez concluidos estos pasos se calentó el agua, y en el instante en que el agua dentro de la bureta disminuyo de nivel se tomo la lectura en el termómetro , hasta obtener 20 pares de datos por cada grada de elevación de la temperatura del gas.

9.- Obtenidos los pares de datos, se procedió a desarmar el dispositivo, apartando la bureta para gases, el matraz de ERLLENMEYER, el tubo de vidrio de 5 mm. de diámetro y la manguera de látex. El equipo restante se limpio y se coloco listo para entregar.

10.- A continuación se determino el volumen inicial de aire del sistema, esto se logro llenando de agua el matraz de ERLLENMEYER, el tubo de vidrio, la manguera de látex y la bureta de gases, una vez llenos estos instrumentos se fue vaciando el agua de cada uno en la probeta de 100 ml.

11.- Obtenido el volumen total del sistema, se le resto los 30 ml. que se tomaron al inicio del experimento, el nuevo resultado es el volumen total inicial de aire que será muy importante para el desarrollo de los cálculos.

## **DATOS, CÁLCULOS Y RESULTADOS.**

1) Los valores iniciales del experimento fueron:

Temperatura fuera del sistema (dentro del laboratorio ) = 20 oC

Temperatura dentro del sistema (dentro del matraz) = 22 oC

Volumen del matraz = 225 ml.

Volumen de bureta, tubo de vidrio y manguera de látex = 189 ml.

Volumen inicial de agua dentro de la bureta = 30 ml.

Volumen inicial del sistema = 384 ml.

2) A continuación se tabulan los datos experimentales obtenidos para temperatura, volumen y volumen total. ( TABLA 1 )

TABLA 1

| MEDICIONES | TEMPERATURA<br>OC | VOLUMEN<br>ml. | VOLUMEN<br>TOTAL (ml.) |
|------------|-------------------|----------------|------------------------|
| 1          | 24                | 29             | 385                    |
| 2          | 25                | 25             | 389                    |
| 3          | 26                | 23             | 391                    |
| 4          | 27                | 22             | 392                    |
| 5          | 28                | 21.5           | 392.5                  |
| 6          | 29                | 21             | 393                    |
| 7          | 30                | 20.5           | 393.5                  |
| 8          | 31                | 20             | 394                    |
| 9          | 32                | 19             | 395                    |
| 10         | 33                | 18.5           | 395.5                  |
| 11         | 34                | 18.5           | 395.5                  |
| 12         | 35                | 17             | 397                    |
| 13         | 36                | 17             | 397                    |
| 14         | 37                | 17             | 397                    |

|    |    |      |       |
|----|----|------|-------|
| 15 | 38 | 16.5 | 397.5 |
| 16 | 39 | 16.5 | 397.5 |
| 17 | 40 | 16.5 | 397.5 |
| 18 | 41 | 16   | 398   |
| 19 | 42 | 16   | 398   |
| 20 | 43 | 16   | 398   |

Para visualizar mejor el comportamiento véase la figura 8, donde se grafican volumen total contra temperatura.

3) Con la finalidad de encontrar el valor del coeficiente de expansión para este experimento y tomando como base lo visto en los antecedentes teóricos, en relación al aumento lineal del volumen con la temperatura realizaremos un ajuste lineal (ajuste a una recta). Por motivos de comodidad tomaremos las siguientes consideraciones:

3a) La literal x será la temperatura en °C

La literal y será el volumen en ml.

3b) Se tomara provisionalmente para el desarrollo la ecuación:

$$y = m x + b$$

3c) La literal m representara ( a V<sub>0</sub> )

La literal b representara V<sub>0</sub>

Para que el ajuste este correcto el valor debe ser mínimo con lo que tenemos:

$$d_i = Y_i - (mX_i + b)$$

$$S d_i^2 = \text{mínimo}$$

$$S (Y_i - mX_i - b)^2 = \text{mínimo}$$

Como los parámetros a determinar son m y b, por tanto, la derivada parcial es con respecto a m y b.

$$d S (Y_i - mX_i - b)^2 = 0$$

$$d_m$$

$$d S (Y_i - mX_i - b)^2 = 0$$

$$d_b$$

Efectuando las derivadas parciales se tiene para m:

$$2 (Y_i - mX_i - b) d S (Y_i - mX_i - b) = 0$$

$$d_m$$

$$2 \sum (Y_i - mX_i - b) \sum (X_i) = 0$$

$$\sum Y_i \sum X_i - m \sum X_i^2 - b \sum X_i = 0$$

$$m \sum X_i^2 + b \sum X_i = \sum Y_i \sum X_i \dots\dots\dots(A)$$

Efectuando las derivadas parciales se tiene para b:

$$2 \sum (Y_i - mX_i - b) d \sum (Y_i - mX_i - b) = 0$$

$$db$$

$$2 \sum (Y_i - mX_i - b) \sum (n) = 0$$

$$\sum Y_i - m \sum X_i - nb = 0$$

$$m \sum X_i + nb = \sum Y_i \dots\dots\dots(B)$$

Las ecuaciones A y B forman un sistema de ecuaciones simultáneas con incógnitas m y b, ya que n será igual al numero de mediciones, resolviendo el sistema por determinantes tenemos:

$$m \sum X_i^2 + b \sum X_i = \sum Y_i \sum X_i$$

$$m \sum X_i + nb = \sum Y_i$$

$$\sum X_i^2 \sum X_i$$

$$D = \sum X_i \sum n - (\sum X_i)^2$$

$$\sum Y_i \sum X_i \sum X_i$$

$$\sum Y_i \sum n \sum Y_i \sum X_i - \sum Y_i \sum X_i$$

$$m = \frac{\sum Y_i \sum n \sum Y_i \sum X_i - \sum Y_i \sum X_i}{\sum X_i \sum n - (\sum X_i)^2} = \dots\dots\dots (C)$$

$$D = \sum X_i \sum n - (\sum X_i)^2$$

$$\sum X_i^2 \sum Y_i \sum X_i$$

$$\sum X_i \sum Y_i \sum X_i^2 \sum Y_i - \sum X_i \sum Y_i \sum X_i b = \dots\dots\dots (D)$$

$$D = \sum X_i \sum n - (\sum X_i)^2$$

Como se ve es necesario calcular las sumatorias de  $\sum X_i$ ,  $\sum X_i^2$ ,  $\sum Y_i$ ,  $\sum X_i Y_i$ , estas se tabularan en la TABLA 2.

TABLA 2

| NUMERO | $X_i$<br>( °C ) | $Y_i$<br>( ml. ) | $X_i Y_i$<br>( °C ml. ) | $X_i^2$<br>( °C ) <sup>2</sup> |
|--------|-----------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|
|--------|-----------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|

|           |     |        |         |        |
|-----------|-----|--------|---------|--------|
| 1         | 24  | 385    | 9240    | 576    |
| 2         | 25  | 389    | 9725    | 625    |
| 3         | 26  | 391    | 10166   | 676    |
| 4         | 27  | 392    | 10584   | 729    |
| 5         | 28  | 392.5  | 10990   | 784    |
| 6         | 29  | 393    | 11397   | 841    |
| 7         | 30  | 393.5  | 11805   | 900    |
| 8         | 31  | 394    | 12214   | 961    |
| 9         | 32  | 395    | 12640   | 1024   |
| 10        | 33  | 395.5  | 13051.5 | 1089   |
| 11        | 34  | 395.5  | 13497   | 1156   |
| 12        | 35  | 397    | 13895   | 1225   |
| 13        | 36  | 397    | 14292   | 1296   |
| 14        | 37  | 397    | 14689   | 1369   |
| 15        | 38  | 397.5  | 15105   | 1444   |
| 16        | 39  | 397.5  | 15502.5 | 1521   |
| 17        | 40  | 397.5  | 15900   | 1600   |
| 18        | 41  | 398    | 16318   | 1681   |
| 19        | 42  | 398    | 16716   | 1764   |
| 20        | 43  | 398    | 17114   | 1849   |
| SUMATORIA | 670 | 7893.5 | 264,791 | 23,110 |

Sustituyendo los valores de la TABLA 2 en las ecuación C tenemos para m:

$$n \sum Y_i X_i - \sum Y_i \sum X_i$$

$$m = \frac{\sum Y_i X_i - \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i)}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}$$

$$\sum Y_i X_i - \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i)}{n}$$

$$(20)(264791) - \frac{(7893.5)(670)}{20}$$

$$m =$$

$$\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}$$

$$7175$$

$$m =$$

$$13300$$

$$m = 5.394 \text{ E} - 4 \text{ L} / ^\circ\text{C}$$

Sustituyendo los valores de la TABLA 2 en las ecuación D tenemos para b:

$$\sum Y_i \sum X_i^2 - \sum X_i \sum Y_i X_i$$

$$b = \text{-----}$$

$$n S_{Xi2} - (S_{Xi})^2$$

$$(7893.5 \text{ E }^{-3} \text{ L}) (23110 \text{ oC})^2 - (670 \text{ oC}) (264791 \text{ E }^{-3} \text{ oC L})$$

$$b =$$

$$\text{-----}$$

$$(20) (23110 \text{ oC})^2 - (670 \text{ oC})^2$$

$$50008815$$

$$b = \text{-----}$$

$$13300$$

$$b = 376.6 \text{ E }^{-3} \text{ L}$$

Para la obtención de el coeficiente de expansión del gas tenemos la ecuación 1:

$$a = m / V_0$$

Utilizando el valor encontrado de m y V0 como el volumen inicial tenemos:

$$(5.394 \text{ E }^{-3} \text{ L} / \text{oC})$$

$$a = \text{-----}$$

$$(0.384 \text{ L})$$

$$a = 0.0014 \text{ 1} / \text{oC}$$

Con lo anterior y utilizando la ecuación 1 tenemos que la ley física de este experimento queda como:

$$V = V_0 (1 + a t)$$

$$V = 0.384 (1 + 0.0014 t)$$

## CONCLUSIONES.

Del desarrollo experimental para la obtención del coeficiente de expansión del aire, se puede concluir lo siguiente:

Tomando como base la ley de CHARLES – GAY LUSSAC, se esperaban unas mediciones aproximadamente constantes o uniformes (a lo menos 1 oC y a lo mas 1.5 oC de diferencia), pero en el momento de estar tomando las mediciones en la bureta de gases, estas no presentaban la uniformidad esperada. De lo anterior el equipo llego a la conclusión de que la inconsistencia se debió principalmente a una o varias fugas del gas en el sistema, esto es algo difícil de confirmar ya que a simple vista el equipo parece estar en buenas condiciones, así también en el instante de armar la manguera de látex y el tapón estos parecieron cerrar herméticamente. Por lo tanto para el equipo parece ser la respuesta mas probable a la inconsistencia de las mediciones.

En lo concerniente a el coeficiente de dilatación, el valor  $0.003663 \text{ } 1 / ^\circ\text{C}$  es el aceptado como valor medio o promedio para la realización de practicas de "gases ideales", pero como en la realidad no existe tal gas, un gas se comporta de manera tanto mas parecida a un gas ideal cuanto mas se alejan su presión y temperatura de las condiciones en que puede pasar al estado liquido. También se encontró que un físico de nombre REGNOULT3, realizo mediciones para encontrar el coeficiente de dilatación en el aire (  $0.003670 \text{ } 1 / ^\circ\text{C}$  ), con lo cual en la toma de un coeficiente u otro el valor encontrado tiene un porcentaje de error aproximado del 61%.

Esto se puede explicar independientemente de lo escrito en el primer párrafo y es que los físicos que encontraron estos coeficientes de dilatación trabajaron bajo condiciones controladas , a parte que iniciaron sus experimentos a una temperatura del sistema de casi  $0 ^\circ\text{C}$ , mientras que nosotros las condiciones que rodeaban este experimento no estaban del todo controladas o se les parecían a las condiciones de sus experimentos. Esto aunado al hecho de que al temperatura inicial dentro del sistema era de  $20 ^\circ\text{C}$  nos da como resultado el porcentaje de error encontrado.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

1. Maron, Samuel H. Y Prutton. Carl F.

Fundamentos de Fisicoquímica

edit. Limusa 1992

19o reimpresión pags. 16–19

2. Grolier internacional

Enciclopedia de las Ciencias. Tomo 5

Edit. Cumbre 1988

8va edición 2da reimpresión pags. 25

3. Grolier internacional

Enciclopedia autodidáctica. Tomo 2

Edit. Cumbre 1978

12a edición pags. 359 – 361

4. Academias de Laboratorios de Química

Manual de laboratorio de Fisicoquímica 1

edit. U.P.I.I.C.S.A I.P.N. 1995

pags. 7 – 11

5. Academias de Laboratorios de Física

Física experimental

### CUESTIONARIO.

1.– Tabular los datos experimentales de volumen y temperatura, incluir una columna con el volumen total a las diferentes temperaturas. ( ver TABLA 1 )

TABLA 1

| MEDICIONES | TEMPERATURA | VOLUMEN | VOLUMEN     |
|------------|-------------|---------|-------------|
|            | OC          | ml.     | TOTAL (ml.) |
| 1          | 24          | 29      | 385         |
| 2          | 25          | 25      | 389         |
| 3          | 26          | 23      | 391         |
| 4          | 27          | 22      | 392         |
| 5          | 28          | 21.5    | 392.5       |
| 6          | 29          | 21      | 393         |
| 7          | 30          | 20.5    | 393.5       |
| 8          | 31          | 20      | 394         |
| 9          | 32          | 19      | 395         |
| 10         | 33          | 18.5    | 395.5       |
| 11         | 34          | 18.5    | 395.5       |
| 12         | 35          | 17      | 397         |
| 13         | 36          | 17      | 397         |
| 14         | 37          | 17      | 397         |
| 15         | 38          | 16.5    | 397.5       |
| 16         | 39          | 16.5    | 397.5       |
| 17         | 40          | 16.5    | 397.5       |
| 18         | 41          | 16      | 398         |
| 19         | 42          | 16      | 398         |
| 20         | 43          | 16      | 398         |

2.– Construir la gráfica de volumen total contra temperatura ( ver figura 8)

3.– Efectuar un ajuste de curva y determinar la pendiente de la recta.

Por motivos de comodidad tomaremos las siguientes consideraciones:

3a) La literal x será la temperatura en oC

La literal y será el volumen en ml.

3b) Se tomara provisionalmente para el desarrollo la ecuación:

$$y = m x + b$$

3c) La literal m representara ( a V0 )

La literal b representara V0

Para que el ajuste este correcto el valor debe ser mínimo con lo que tenemos:

$$d_i = Y_i - (mX_i + b)$$

$$S d_i^2 = \text{mínimo}$$

$$S (Y_i - mX_i - b)^2 = \text{mínimo}$$

Como los parámetros a determinar son m y b, por tanto, la derivada parcial es con respecto a m y b.

Efectuando las derivadas parciales se tiene para m:

$$mS \sum X_i^2 + bS \sum X_i = S \sum Y_i X_i \dots\dots\dots(A)$$

Efectuando las derivadas parciales se tiene para b:

$$mS \sum X_i + nb = S \sum Y_i \dots\dots\dots(B)$$

Las ecuaciones A y B forman un sistema de ecuaciones simultáneas con incógnitas m y b, ya que n será igual al numero de mediciones, resolviendo el sistema por determinantes tenemos:

$$n \sum Y_i X_i - S \sum Y_i S \sum X_i$$

$$m = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots (C)$$

$$n \sum X_i^2 - (S \sum X_i)^2$$

$$S \sum X_i^2 S \sum Y_i - S \sum X_i S \sum Y_i X_i b = \dots\dots\dots$$

$$\dots\dots\dots (D)$$

$$n \sum X_i^2 - (S \sum X_i)^2$$

Como se ve es necesario calcular las sumatorias de  $\sum X_i$ ,  $\sum X_i^2$ ,  $\sum Y_i$ ,  $\sum X_i Y_i$ , estas se tabularan en la TABLA 2.

TABLA 2

| NUMERO | $X_i$<br>( oC ) | $Y_i$<br>( ml. ) | $X_i Y_i$<br>(oC ml.) | $X_i^2$<br>( oC ) <sup>2</sup> |
|--------|-----------------|------------------|-----------------------|--------------------------------|
| 1      | 24              | 385              | 9240                  | 576                            |
| 2      | 25              | 389              | 9725                  | 625                            |
| 3      | 26              | 391              | 10166                 | 676                            |
| 4      | 27              | 392              | 10584                 | 729                            |
| 5      | 28              | 392.5            | 10990                 | 784                            |
| 6      | 29              | 393              | 11397                 | 841                            |
| 7      | 30              | 393.5            | 11805                 | 900                            |

|           |     |        |         |        |
|-----------|-----|--------|---------|--------|
| 8         | 31  | 394    | 12214   | 961    |
| 9         | 32  | 395    | 12640   | 1024   |
| 10        | 33  | 395.5  | 13051.5 | 1089   |
| 11        | 34  | 395.5  | 13497   | 1156   |
| 12        | 35  | 397    | 13895   | 1225   |
| 13        | 36  | 397    | 14292   | 1296   |
| 14        | 37  | 397    | 14689   | 1369   |
| 15        | 38  | 397.5  | 15105   | 1444   |
| 16        | 39  | 397.5  | 15502.5 | 1521   |
| 17        | 40  | 397.5  | 15900   | 1600   |
| 18        | 41  | 398    | 16318   | 1681   |
| 19        | 42  | 398    | 16716   | 1764   |
| 20        | 43  | 398    | 17114   | 1849   |
| SUMATORIA | 670 | 7893.5 | 264,791 | 23,110 |

Sustituyendo los valores de la TABLA 2 en las ecuación C tenemos para m:

$$n \sum Y_i X_i - \sum Y_i \sum X_i$$

$$m = \frac{\sum Y_i X_i - \frac{(\sum Y_i)(\sum X_i)}{n}}{\sum X_i^2 - \frac{(\sum X_i)^2}{n}}$$

$$n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2$$

$$(20)(264791 \text{ E } -3 \text{ oC L}) - (7893.5 \text{ E } -3 \text{ L})(670 \text{ oC})$$

$$m = \frac{(20)(23110 \text{ oC }^2) - (670 \text{ oC})^2}{7175}$$

$$m = \frac{7175}{13300}$$

$$m = 5.394 \text{ E } -4 \text{ L / oC}$$

$$m = 5.394 \text{ E } -4 \text{ L / oC}$$

$$m = 5.394 \text{ E } -4 \text{ L / oC}$$

$$m = 5.394 \text{ E } -4 \text{ L / oC}$$

Sustituyendo los valores de la TABLA 2 en las ecuación D tenemos para b:

$$\sum Y_i \sum X_i^2 - \sum X_i \sum Y_i X_i$$

$$b = \frac{\sum Y_i \sum X_i^2 - \sum X_i \sum Y_i X_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

$$n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2$$

$$(7893.5 \text{ E } -3 \text{ L})(23110 \text{ oC})^2 - (670 \text{ oC})(264791 \text{ E } -3 \text{ oC L})$$

$$b =$$

---


$$(20)(23110\text{ }^{\circ}\text{C}^2) - (670\text{ }^{\circ}\text{C})^2$$

$$50008815$$

$$b = \text{-----}$$

$$13300$$

$$b = 376.6\text{ E} - 3\text{ L}$$

4.- Explicar a que corresponde la pendiente de la recta de volumen contra temperatura.

La pendiente de esta recta de volumen contra temperatura corresponde al producto del coeficiente de expansion del volumen con el valor de la ordenada al origen

5.- determinar el valor de a.

Utilizando el valor encontrado de m y V0 como el volumen inicial tenemos:

$$(5.394\text{ E} -3\text{ L} / ^{\circ}\text{C})$$

$$a = \text{-----}$$

$$(0.384\text{ L})$$

$$a = 0.0014\text{ } 1 / ^{\circ}\text{C}$$

Con lo anterior y utilizando la ecuación 1 tenemos que la ley física de este experimento queda como:

$$V = V_0 (1 + a t)$$

$$V = 0.384 (1 + 0.0014 t)$$

En la figura 9, se gráfica la recta ajustada a los puntos experimentales.

6.- Extrapolar la temperatura para cuando el volumen tiende a cero.

$$V = 0.384 (1 + 0.0014 t)$$

$$V(t = 0) = 0.384 (1 + 0.0014 t)$$

$$0 = 0.384 (1) + 0.0014 t (0.384)$$

$$t = -0.384 / (5.376\text{ E} - 4)$$

$$t = -714.28\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Para visualizar mejor el fenómeno se graficara volumen contra temperatura, comparando el valor de a teórico y a experimental ( ver figura 10)

7.- Calcular el porcentaje de error entre el valor obtenido y el valor teórico para  $\alpha$  y para la temperatura del cero absoluto.

Para el error entre el coeficiente de dilatación obtenido y el valor teórico tenemos:

Valor teórico – valor experimental

$$\% \text{ error } \alpha = \frac{\text{valor teórico} - \text{valor experimental}}{\text{valor teórico}} \times 100\%$$

valor teórico

$$0.003663 - 0.0014$$

$$\% \text{ error } \alpha = \frac{0.003663 - 0.0014}{0.003663} \times 100\%$$

$$0.003663$$

$$\% \text{ error } \alpha = 61.11 \%$$

Para la temperatura del cero absoluto tenemos:

Valor teórico – valor experimental

$$\% \text{ error } 00 \text{ C} = \frac{\text{valor teórico} - \text{valor experimental}}{\text{valor teórico}} \times 100\%$$

valor teórico

$$-273.15 + 714.28$$

$$\% \text{ error } 00 \text{ C} = \frac{-273.15 + 714.28}{-273.15} \times 100\%$$

$$-273.15$$

$$\% \text{ error } 00 \text{ C} = 161.4 \%$$

**OBSERVACIONES DEL PROFESOR.**