

Curva de calentamiento del etanol. Un caso para el manejo de datos experimentales

Ventura Blancas Thelma¹, Villamil Aguilar Ruth Patricia², López Gaona Jesús Alejandro^{2*}

¹ Secundaria No.182, Alexis Carrell, SEP, Área de Ciencias. Ing. González Camarena No. 103, Iztapalapa, Ciudad de México, C.P. 09280. México

² Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Química. Av. San Rafael Atlixco No. 136, Iztapalapa, Ciudad de México. C.P. 09340. México.

* Autor para correspondencia: gaby@xanum.uam.mx

Recibido:

22/abril/2018

Aceptado:

24/julio/2018

Palabras clave:

Método gráfico, Cambio de variable, relación funcional

Keywords:

Graphical method, variable change, functional relationship

RESUMEN

Se presenta una actividad experimental sencilla, de bajos riesgo y costo, para estudiantes de los primeros cursos experimentales del área química enfocada a la obtención y manejo de datos; en particular, para aplicar el método gráfico y, a partir de cambios de variable, obtener una relación funcional empírica entre las variables relevantes del experimento. El experimento consiste en calentar etanol, desde una temperatura menor a 0 °C, hasta la temperatura ambiente. Se presentan resultados de un grupo de estudiantes junto con su propuesta de cambio de variables y la relación funcional que encuentran a partir de ella. Se mencionan algunas sugerencias que se les hicieron para mejorar; tanto la obtención de datos, como su tratamiento y, a partir de ellas, reflexionar acerca de qué y cuáles son las variables relevantes del experimento. Con las nuevas variables obtienen una representación gráfica que mostró una tendencia cercana a la lineal.

ABSTRACT

A simple experimental activity, which is low in risk and cost, is presented. It is intended for the first-year college students to develop abilities to obtain and manage data from the experiments, to use them in graphical method and, by proposing an adequate variable change, to get an empirical relationship between the experiment relevant variables. The experiment consists in heating ethanol from temperatures lower than 0 °C to room temperature. Results from the analysis performed by a group of students, together with his proposal about variable change and the relationship they found from it are mentioned. Some ideas which were suggested to them to improve the way they collect data as well as its analytical treatment are also mentioned, in such a way, that students think about what and which ones the relevant variables are. With their proposal they got a graphical representation which resembles a linear tendency.

Introducción

La obtención y el manejo de datos en el laboratorio son actividades que deben desarrollarse en los primeros cursos experimentales de química. Se deben cubrir, entre otros, aspectos tales como la determinación de las incertidumbres en las medidas, su propagación y la aplicación del método gráfico. A partir de éste es posible obtener las relaciones funcionales entre las variables relevantes de un experimento y, de ahí, los parámetros asociados que, en muchas ocasiones, nos permiten obtener los valores de constantes importantes (Oda Noda, 2005). Asociado al método gráfico, el tema de cambio de variable es de especial importancia, pues es por este medio que se simplifica la obtención de una relación funcional y de los parámetros asociados (Baird, 1995). Un ejemplo muy conocido es cuando la función esperada es del tipo:

$$Z = Ae^{\frac{B}{T}} \left(o, \ln z = \ln A + \frac{B}{T} \right)$$

T es temperatura absoluta y A y B son constantes

Las nuevas variables, en vez de z y T , son $\ln z$ y $1/T$ (Atkins y de Paula, 2008). La representación gráfica de estas nuevas variables nos permite conocer los valores de A y B . La variable z podría ser la presión de vapor de una sustancia, la constante de equilibrio o la constante de rapidez de una reacción y, entonces, de B se obtendría la entalpía de cambio de fase, la entalpía de reacción, o la energía de activación de una reacción, respectivamente.

Hay, desde luego, muchos otros ejemplos de cambios de variable, los cuales se les presentan a los estudiantes tomando ejercicios de textos diversos en los que se muestran datos que no necesariamente son experimentales, o bien, se han ajustado para que sea relativamente fácil proponer un cambio de variable adecuado y el estudiante desconoce si los datos del ejercicio son el total de los obtenidos o sólo un subconjunto que se ajustó al cambio de variable que se quiere; es decir, los datos que están dentro de los límites de validez de un modelo propuesto.

Por otro lado, puede pensarse en realizar actividades experimentales para que los estudiantes obtengan sus propios datos con los cuales lleven a cabo su análisis y obtengan, a partir de cambios de variable adecuados, la expresión que refleje la dependencia entre las variables relevantes del experimento. Sin embargo, hoy en día, la mayoría de los experimentos que se proponen en los diversos cursos experimentales ya se encuentran consignados en

varios canales de la red, especialmente en You Tube, con lo cual, algunos estudiantes, dejan de hacer el análisis de datos y sólo copian y siguen lo que encuentran en la red. La actividad experimental termina siendo una práctica para repetir y comprobar lo que ven vía internet.

Cuando se le propone al estudiante realizar una actividad experimental que no se encuentra reportada en internet, el manejo de los datos recolectados en el laboratorio se vuelve confuso ya que muchas veces se enfrentan con que éstos no se ajustan a un modelo predeterminado, o que se dispersan bastante respecto a la curva que describiría la relación funcional entre las variables relevantes y, por lo tanto, no pueden asegurar que la relación sea correcta. Al enfrentar esta situación, el estudiante se ve forzado a mejorar sus habilidades y destrezas en el laboratorio para recolectar información más precisa y, si aún en estas circunstancias no logra que sus datos se ajusten a un modelo esperado, deberá adquirir la habilidad de proponer otros modelos para los cambios de variable, que, aunque no sean los más comunes en nuestra disciplina, se ajusten a su actividad experimental. Por lo tanto, sería deseable contar con una buena cantidad de actividades experimentales en las que el estudiante pueda obtener y procesar los datos obtenidos. Sin embargo, puesto que el presupuesto del que se dispone para la compra tanto de reactivos como de equipo no es muy abundante, debe de buscarse que el costo de estas actividades sea reducido.

En este trabajo se propone una actividad que, aunque no tiene un componente químico inmediato, sí aporta suficientes elementos para el manejo de datos. Ésta es la contraparte del experimento muy conocido de la ley de enfriamiento de Newton (Manzur et al., 2016), la cual corresponde a un decaimiento exponencial descrito por la expresión siguiente:

$$\Delta T = Ae^{-Bt}$$

Donde ΔT es la diferencia entre la temperatura del sistema y la del medio ambiente; A y B son constantes y t es el tiempo.

En el caso que nos ocupa se trata de seguir el aumento de temperatura del etanol en función del tiempo, como resultado de la transferencia de calor entre el medio ambiente y la sustancia, y obtener la relación funcional entre las variables relevantes, la diferencia de temperatura y el tiempo. Se ha elegido etanol y no al agua como sustancia de prueba, pues el primero se mantiene en fase líquida a temperaturas bajas, digamos a -20 °C, por lo que la transferencia de calor del medio ambiente al alcohol sólo implica un cambio en la temperatura y

no un cambio de fase, como ocurriría con el agua. Este experimento es fácil de realizar, de bajo riesgo y de bajo costo. Puede realizarse, incluso, en un salón de clase. La actividad y el análisis de datos se propone que se lleven a cabo en el aula o laboratorio, en la misma sesión de tres horas.

Desarrollo

En una primera etapa se mostró, a partir de una actividad experimental de cátedra, la variación de la temperatura durante el enfriamiento de una cierta cantidad de agua, desde temperaturas cercanas a 80 °C hasta la temperatura ambiente. Con ello se busca propiciar una discusión acerca de cómo esperan que sea el comportamiento del fenómeno inverso, el calentamiento de una sustancia.

La actividad de cátedra se realizó calentando con una resistencia eléctrica 40 mL de agua hasta los 85 °C; posteriormente y con un sensor de temperatura conectado a un dispositivo LabQuest de la marca Vernier, se registró la temperatura en función del tiempo. El dispositivo puede conectarse a una computadora y, con ayuda de un proyector, mostrar la gráfica obtenida conforme se van registrando los datos. De esa manera, todo el grupo observa en tiempo real, no sólo el desarrollo del experimento, sino la representación gráfica de las variables de éste. Se empleó agua y no el alcohol que se emplea en la experimentación posterior, ya que debido a su inflamabilidad introduce riesgos al calentarlo.

A la par que se sigue el enfriamiento del agua, también se registra el enfriamiento de un sensor de temperatura que consiste en un termopar encapsulado en un cilindro de acero inoxidable.

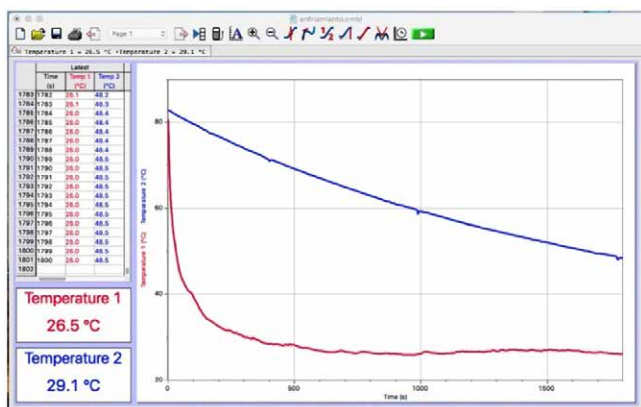


Figura I. Curvas de enfriamiento. En azul, el enfriamiento de 40 mL de agua; en rojo, el enfriamiento del sensor de temperatura.

La Figura 1 corresponde a la captura de la pantalla del dispositivo LabQuest en el que se muestran las

curvas de enfriamiento que describen el comportamiento de ambos. Una vez que se discute el comportamiento de las sustancias cuando se enfrían, se les formula a los estudiantes la pregunta: ¿cuál será la expresión gráfica del proceso inverso, el calentamiento, para un líquido, y la correspondiente relación funcional que la describe?. A continuación, se describen los objetivos que se establecieron para que los estudiantes den respuesta a la pregunta anterior mediante experimentación.

Objetivos

- Representar gráficamente datos obtenidos experimentalmente
- Realizar un cambio de variable adecuado para linealizar la curva obtenida.
- Determinar los parámetros asociados con la recta obtenida, incluidas sus incertidumbres o desviaciones estándar.
- Obtener la relación funcional empírica entre las variables relevantes de un experimento (en este trabajo temperatura y tiempo) utilizando los métodos que se ven en un curso experimental

Desarrollo de la actividad

Materiales

- 1 recipiente de, aproximadamente, 600 mL de capacidad.
- 1 matraz redondo de 50 ml
- 1 termómetro, analógico o digital, que pueda medir entre -30 °C y 30 °C y, de ser posible, con resolución de 0.01 °C.
- 1 agitador de vidrio.

Sustancias

- Etanol
- Sal de mesa
- Agua
- Hielo

Procedimiento

En el recipiente de 600 mL se colocan hielo con sal y un poco de agua para alcanzar una temperatura menor a 0 °C.

Se agregan 40 ml de etanol al matraz redondo y se introduce el termómetro dentro de él. Esperar a que alcancen el equilibrio térmico.

Se coloca el matraz redondo con el etanol y el termómetro en el recipiente con hielo y se agita hasta que la temperatura del alcohol sea la misma que la del hielo con sal.

Se retira el matraz del recipiente y se toman los valores de la temperatura del alcohol en función del tiempo durante, aproximadamente, 30 minutos o hasta que el etanol alcance la temperatura ambiente.

Resultados y discusión

Cabe mencionar que para medir la temperatura se empleó, en vez de un termómetro, el dispositivo LabQuest de la marca Vernier, el cual, como ya se mencionó, permite, al mismo tiempo que se registran los valores numéricos de la temperatura en función del tiempo, representarlos gráficamente; con ello, el estudiante tiene, a partir de la gráfica, información inmediata del comportamiento del fenómeno que está estudiando y, si es necesario, realizar ajustes al experimento sin tener que esperar a la recolección completa de datos y su posterior análisis. En la Figura 2 se observa el montaje para el experimento.



Figura 2. Montaje del equipo que se empleó para el experimento.

En seguida se presentan los resultados del trabajo de un grupo de estudiantes. Desde el siguiente párrafo, que inicia con *RESULTADOS*, y hasta donde indica *CONCLUSIONES*, inclusive, el texto, tabla, gráficas y análisis, corresponden al informe que entregaron. Sólo se le hicieron algunas correcciones de estilo y ortográficas al texto original para darle mayor claridad.

Resultados

Algunos de los datos obtenidos se muestran en la Tabla 1 y su representación gráfica, en la Figura 3.

Tabla 1. Datos representativos obtenidos con el sensor de temperatura LabQuest de Vernier.

Tiempo (s)	Temperatura (°C)
1	-4.88582491
72	0.61113484
144	4.694978
216	8.00888941
288	10.427317
360	12.9110407
432	14.809295
504	16.3578626
572	17.5054389
648	18.6664578
720	19.6296944
792	20.4495377
936	21.7993736
1080	22.6566651
1224	23.48847
1440	24.3419969
1728	25.194538
2088	25.8858135
2166	25.8858135

En la Figura 3 se observa cómo aumenta la temperatura con respecto al tiempo. Como se muestra en la **Tabla 1**, la temperatura más alta a la que se llegó fue la temperatura ambiente.

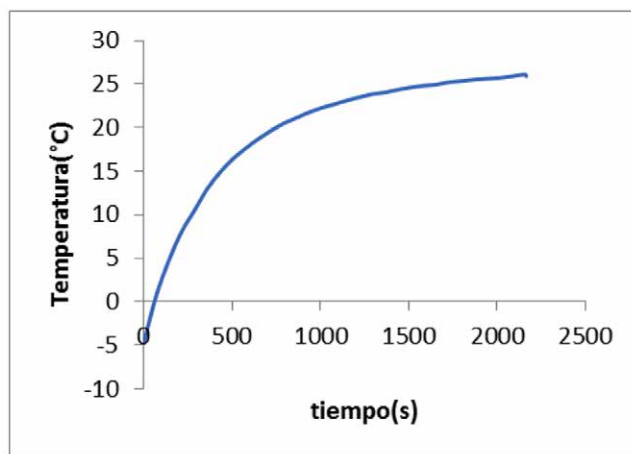


Figura 3. Curva de calentamiento para el alcohol.

Para obtener una representación linealizada se pueden explorar algunos cambios de variable que permitan obtener una tendencia lineal. Una vez que se han probado algunos se muestra el que al parecer conduce a una relación lineal. En la Figura 4 se muestra ese posible cambio de variable (θ vs $\ln(t)$) donde θ es la diferencia de temperatura entre el ambiente y el alcohol y t es el tiempo.

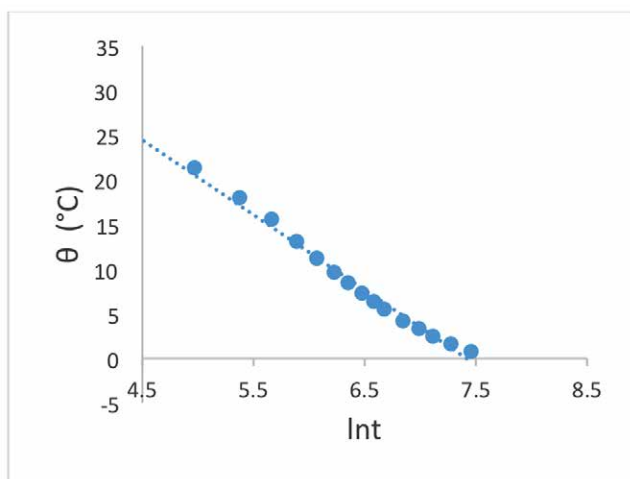


Figura 4. Linealización de la gráfica 1.

A partir de la Figura 4 se pueden obtener la pendiente (m) y ordenada al origen (b) con sus respectivas desviaciones estándar (S_m , S_b), cuyos valores son:

$$m = -8.79 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$S_m = 0.17 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$b = 67.74 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$S_b = 1.09 \text{ }^\circ\text{C}$$

De acuerdo con el cambio de variable, la ecuación empírica que corresponde al comportamiento de la curva es de la forma:

$$\theta = m \ln t + b$$

Donde:

- θ : diferencia de temperatura,
- m : pendiente,
- $\ln t$: logaritmo natural de tiempo,
- b : ordenada al origen.

Sustituyendo sus valores en la ecuación se obtiene:

$$\theta = -8.79 \text{ }^\circ\text{C} \ln t + 67.74 \text{ }^\circ\text{C}$$

Conclusiones

- La curva de la gráfica de la Figura 3 muestra un comportamiento creciente en función del tiempo.
- El comportamiento creciente de la gráfica de la Figura 3 es característico de una curva de calentamiento.
- El cambio de variable propuesto permite linealizar la curva en un intervalo de temperaturas de $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ a $23 \text{ }^\circ\text{C}$, aproximadamente, como se muestra en la gráfica de la Figura 4.

Hasta aquí el informe del grupo de estudiantes. Los resultados anteriores corresponden al primer intento por encontrar la relación funcional solicitada.

En esta actividad los estudiantes tuvieron la oportunidad de proponer, a partir de su experiencia y de lo observado en la actividad de cátedra previa relacionada con el enfriamiento de una sustancia, algunas hipótesis que pudieron comprobar con relativa rapidez. Por ejemplo, al principio propusieron que el incremento de la temperatura en función del tiempo sería exponencial, en analogía a lo que observaron en el enfriamiento de una sustancia. Expresión similar, pero con signo positivo en el exponente. Cuando observaron la forma de la curva en su gráfica se dieron cuenta de que su inferencia era incorrecta. Fue entonces que buscaron una función que tendiera asintóticamente a la temperatura final, la temperatura ambiente.

Desde luego, hay varios aspectos que deben enfatizarse y otros que deben corregirse. Estos se hacen del conocimiento de los estudiantes mediante preguntas relacionadas con cada uno de ellos. En seguida se anotan algunas de las observaciones.

- En la tabla de datos los valores de temperatura tienen un gran número de cifras y, además, un número de cifras diferente entre ellas. Se les hizo notar que el equipo empleado no tiene, en realidad, una resolución como lo que se refleja en la lectura. Es el usuario el que, al inicio del experimento, fija en el instrumento el número de cifras que desea que muestre, pero su resolución verdadera está en el orden de las centésimas de $^\circ\text{C}$ y eso deberían consultarlo en las especificaciones en el manual del equipo. Esta observación va de la mano con la relación que hay entre el número de cifras significativas y la incertidumbre de la medición (Epp, 1980).
- Otro aspecto, tiene que ver con lo que el grupo consideró como variables relevantes, pues decidieron

que la temperatura era una de las variables a seguir. Una vez que se les cuestionó acerca de cómo influiría la temperatura ambiente, por ejemplo, si ésta fuera más alta, digamos 33 °C, los estudiantes se percataron de que podrían obtener mejores resultados si en vez de utilizar como variable la temperatura tomaran como nueva variable a la diferencia de las temperaturas del medio ambiente y del etanol. De hecho, en la gráfica de la figura 4, en la que se muestra un posible cambio de variables, ya se incorpora esta sugerencia. Si desde un principio establecieran que la variable que deben representar en función del tiempo es θ en vez de la temperatura del alcohol, el análisis podría simplificarse, pues el comportamiento que verían sería como el de la figura 5 y a partir de éste, sí pueden plantear una dependencia como la que originalmente propusieron.

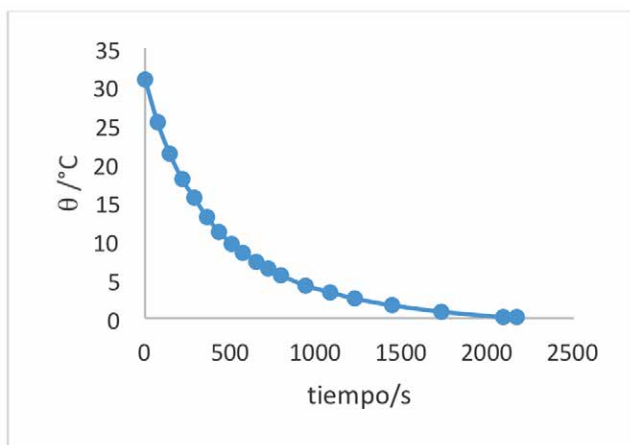


Figura 5. La diferencia de temperatura entre el ambiente y el alcohol en función del tiempo

- Una tercera observación se hizo respecto a la temperatura inicial. Se les preguntó si sabían la temperatura que puede alcanzar la mezcla hielo-agua-sal de mesa. Obtuvieron el valor experimentalmente y encontraron que podía llegar, sin problema, a -17 °C. Se dieron cuenta que podía seguirse el calentamiento del etanol en un intervalo de temperatura más amplio y, si es el caso, determinar límites de validez de un posible modelo que describa el fenómeno.
- También se enfatizó que, tanto en la tabla, como en las gráficas se reportaron los valores sin especificar las incertidumbres respectivas, y se les indicó que deben incluirlas, así como los cálculos correspondientes a la propagación de incertidumbre asociada al cambio de variable propuesto.

Como las sesiones de laboratorio son de 3 horas y la realización de la actividad experimental toma poco tiempo (alrededor de 60 min en lo que montan y toman lecturas), se cuenta con suficiente tiempo para que una vez que se les ha orientado en sus errores de elección de variable e intervalo de temperatura de medición, realicen las modificaciones pertinentes y recaben nuevamente la información necesaria para realizar, ahí mismo, el análisis de sus datos. Si se quisiera realizar esta actividad en menos tiempo, en vez de emplear alcohol puede seguirse el calentamiento de del mismo termopar encapsulado o de termómetro de vidrio, lo cual toma menos de 10 minutos, aunque en este caso debe tomarse en cuenta que el vapor del ambiente puede condensarse sobre su superficie y, mientras haya agua en ella, el comportamiento será diferente a cuando el termopar o el termómetro estén secos.

Nota: Aunque en este trabajo se empleó un dispositivo electrónico para la medición de la temperatura, ésta puede realizarse con un termómetro de vidrio, pues la rapidez de calentamiento del etanol, al no ser muy alta, permite capturar los datos que describen la curva que se muestra arriba. Cuando la rapidez de calentamiento (o enfriamiento) de una sustancia es muy alta, por ejemplo, la de una varilla de metal, la rapidez con la que se toman las lecturas de temperatura son bajas comparadas con la rapidez del cambio de temperatura; para esos casos sí es recomendable usar un dispositivo con registro continuo de temperatura, como el empleado en el experimento.

Lo que sigue

Repetir la experiencia tomando en cuenta las observaciones que se les hacen. El ajuste que hacen de los datos para obtener la relación funcional puede mejorarse. Esta es una actividad que puede aprovecharse para analizar otro tipo de fenómenos; por ejemplo, la relación que hay entre la rapidez de enfriamiento/calentamiento y la capacidad calorífica de las sustancias, u observar cómo afecta la evaporación de un líquido que recubre a un objeto metálico durante el proceso de enfriamiento/calentamiento, por mencionar algunos.

Conclusiones

- La actividad experimental que se propone permite alcanzar aceptablemente los objetivos que se le proponen al estudiante.
- Es posible realizar el experimento varias veces en un tiempo relativamente corto para probar modificaciones al procedimiento con el fin de mejorar los resultados.

- Este tipo de actividades, económicas y de rápida realización, sirven, además, para que los estudiantes conozcan con más detalle la forma como pueden obtenerse datos más confiables.
- La realización de una experiencia de cátedra previa al desarrollo experimental les permite a los estudiantes tener una idea más clara de los objetivos que quieren alcanzar con el desarrollo de la actividad que se les propone.

Referencias

Atkins, P, de Paula J. (2008). Química Física. 8ª. Ed. Editorial Médica Panamericana, p. 1016.

Baird D. C. (1995). Experimentation. An introduction to Measurement Theory and Experiment Design. Third Ed., p. 47-54.

Epp, C.D., Cicero, H.B. (1980) Laboratory experiments in College Physics. Fifth Ed., p. 3-8

Manzur, A., Cardoso, J., Vargas, R., Estrada, A. Ayala, D. (2016). Método Experimental para Universitarios. 1ª. Ed., p. 218.

Oda Noda B. (2005). Introducción al análisis gráfico de datos experimentales. 3ª. Ed. Facultad de Ciencias. UNAM, p. 45-68.