

El desarrollo de un calorímetro portable de bajo costo: Experiencias con la metodología del Aprendizaje por Competencias

Jesús Joanan Cruz Cuevas

<https://orcid.org/0009-0005-3060-7609>

Pablo Zermeño Díaz

<https://orcid.org/0009-0000-9821-600X>

Adrián Arturo Huerta Hernández

<https://orcid.org/0000-0003-2435-6397>

Resumen

En el presente texto se detalla una propuesta de experiencias significativas desarrolladas por estudiantes de servicio social de los Laboratorios de Materia Condensada Blanda y Medios Granulares de la Facultad de Física de la Universidad Veracruzana. Se construye un sistema de monitoreo de cambios de temperatura basados en una tarjeta Arduino, útil para los objetivos de enseñanza-aprendizaje bajo condiciones de aislamiento, regularización y útil también en los procesos de inclusión. En la metodología del aprendizaje por competencias de la Universidad Veracruzana, se requiere adquirir habilidades prácticas, como podría ser electrónica, programación o en el manejo y construcción de dispositivos de adquisición de datos para el estudio de los fenómenos físicos que nos rodean. No sólo para aprender a usarlos, sino buscar una aplicación que detone su creatividad y nos ayude en la formación y desarrollo tanto individual como colectivo.

Lo anterior podría ser de interés por ejemplo para profesores de secundaria o hasta los primeros semestres de la licenciatura, sobre todo si no se han llevado talleres durante la pandemia, así que

puede funcionar como programa de regularización o nivelación, tanto de estudiantes que no pudieron trabajar en un laboratorio como de escuelas que nunca han contado con un laboratorio, así como también para padres interesados en el autoaprendizaje, la autonomía y la formación integral de sus propios hijos.

Palabras Clave: Cambios de temperatura, educación, competencias.

Abstract

This text details a proposal of significant experiences developed by social service students in the Soft Condensed Matter and Granular Media Laboratories of the Physics Faculty at the Veracruzana University. A temperature change monitoring system based on an Arduino board was built, useful for teaching and learning objectives under conditions of isolation and regulation, and also helpful in inclusion processes. The Veracruzana University's competency-based learning methodology requires the acquisition of practical skills, such as electronics, programming, or the handling and construction of data acquisition devices for studying the physical phenomena that surround us. The goal is not only to learn how to use these devices, but also to find an application that sparks creativity and contributes to both individual and collective training and development.

The above could be of interest, for example, to high school teachers or even those in the first semesters of undergraduate studies, especially if workshops have not been held during the pandemic. It can function as a regularization or leveling program for students who were unable to work in a laboratory, as well as for schools that have never had a laboratory, and also for parents interested in self-learning, autonomy, and the comprehensive development of their own children.

Keywords: Temperature changes, education, skills.

Introducción

Una de las propuestas educativas que ha tenido un auge relativo a partir de la pandemia, es el aprendizaje basado en la investigación o en el desarrollo de proyectos que generen experiencias significativas y que, con el tiempo, se vuelvan más complejos. Durante el periodo de pandemia, tuvimos el problema de llevar a nuestras casas actividades que nos ayudaran a salvar la situación hasta cierto punto. No siempre se podían realizar actividades prácticas, que comúnmente se adquieren en el desarrollo de un proyecto o una investigación científica, como en un taller de electrónica o Arduino o en un laboratorio.

Ahora y desde que empezamos a trabajar presencialmente, nos damos cuenta de que hace falta tiempo para regularizar y eso requiere del apoyo de la comunidad académica, sí, pero también de la iniciativa de los estudiantes y padres o tutores, comprometidos y conscientes de su realidad y de nuestro propio futuro. Así también, como el de crear o trabajar en actividades de importancia local, para el desarrollo individual y colectivo, de las regiones. En todo ello los laboratorios portables han ayudado a disminuir los costos, facilitar el transporte y el desarrollo de proyectos caseros que motiven a los estudiantes a esforzarse y comprometerse con la comunidad. Por dar un ejemplo, en este capítulo proponemos el estudio de diferentes fenómenos físicos que ocurren a nuestro alrededor, particularmente en la cocina de nuestras casas, la cual sustituye de alguna manera un laboratorio y es fácil de usar bajo las medidas de precaución y cuidados de cualquier adulto responsable, como es el caso de los estudiantes de la licenciatura que realizan su servicio social.

Otros elementos que son posibles de estudiar y de analizar sus datos son los cambios de temperatura en una plancha cuando esta calentado, o la temperatura de un refrigerador comparada con la temperatura de un recipiente lleno de agua, por ejemplo, otra pregunta legítima es la de cómo cambia la temperatura de una cafetera eléctrica. Como ejemplo, de la búsqueda de respuestas a estas interrogantes, dentro del seno de cualquier

familia podría ser de interés investigarlo por mano propia, y con ello adquirir conocimientos y habilidades, buscando nuestras propias explicaciones como el hecho de que el agua dentro del refrigerador formara cristales de hielo, o bien de que el agua se evaporará en la cafetera y un sinnúmero de detalles alrededor de esos temas como el de la solubilidad de la sal o el azúcar, la formación de cristales con la evaporación entre muchos otros. Para ello se planeó medir cómo cambia la temperatura durante algunos de los procesos mencionados, para identificar los cambios físicos cuando ocurren los fenómenos mencionados y establecer las causas y sus efectos. En breve se mencionarán algunos ejemplos, mediante el uso de una sonda de bajo costo usada para medir la temperatura.

Para estudiar los fenómenos físicos que ocurren en nuestras casas usando dichos aparatos electrodomésticos será necesario obtener un termómetro para registrar los cambios de temperatura que ocurren durante los procesos mencionados. En nuestro caso optamos por construir un sistema de adquisición de datos de bajo costo lo cual conforma la Actividad 1 de nuestro capítulo. Después, se harán diferentes estudios, como retos que culminarán con el aprendizaje de conceptos teóricos, el dominio de diferentes actividades prácticas, conformando las competencias, considerando una actitud y el rol del aprendiz que deberá asumir la actitud de un investigador, para el logro específico de la competencia.

Actividad 1. Desarrollo de un sistema de adquisición de datos para estudiar los cambios de temperatura

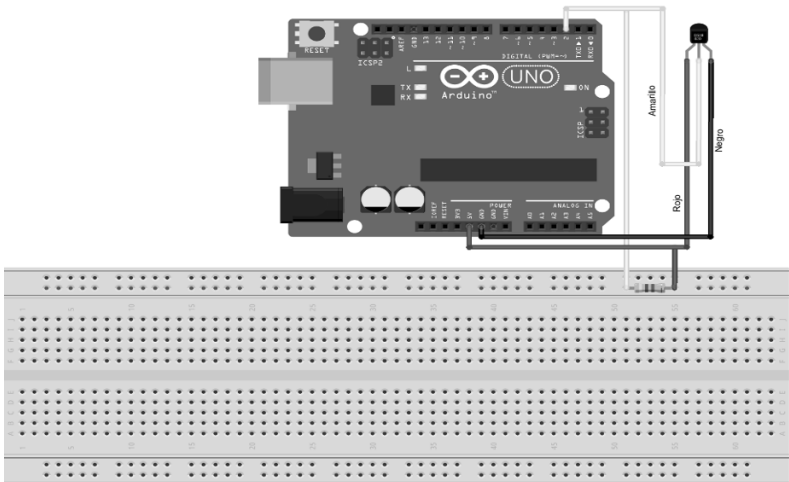
Primeramente, para el recipiente en el cual haríamos las pruebas con diversos materiales líquidos utilizamos un vaso de metal con una capacidad de 106 ml, debido a que un vaso de metal representaba la opción más segura en cuanto a la posible expansión de materiales al cambiar de estado y además ser un buen conductor térmico.

En cuanto al ensamblaje del calorímetro en sí, utilizamos los siguientes materiales:

- Arduino UNO (ATMega328P).
- Sonda DS18B20.
- Protoboard (opcional).
- Resistor de 4.7 k Ω .
- 6 Cables Dupont.

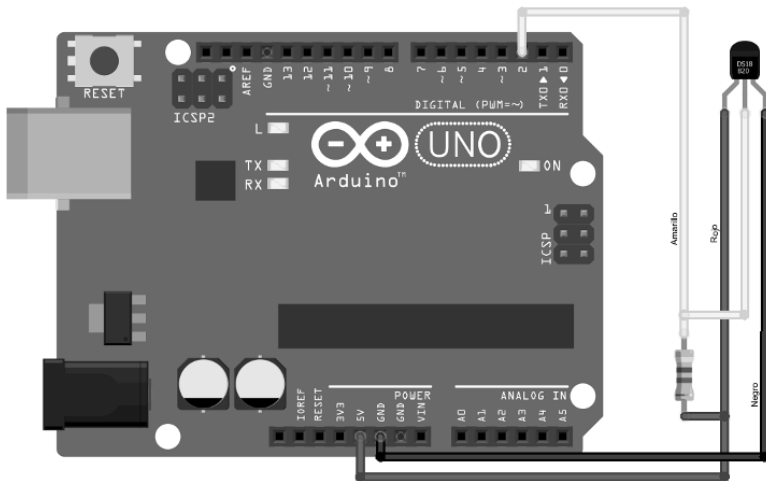
Ensamblar el calorímetro para que funcionara de manera adecuada no fue complicado, simplemente debíamos hacer que los cables estuvieran en su lugar correspondiente. El cable rojo de la sonda correspondía al cable del voltaje, el negro corresponde al cable a tierra y el amarillo a convertir los datos de análogo a digital y enviarlos a la computadora. Ya que utilizar una protoboard a pesar de ser opcional resultaba más sencillo que soldar los cables de manera inmediata, elaboramos el siguiente esquema a seguir:

Figura 1. Diagrama con protoboard (sin soldar)



Nota: Elaboración propia.

Figura 2. Diagrama sin protoboard (soldado directamente)



Nota: Elaboración propia.

El cable Dupont correspondiente al cable amarillo no solo conecta a la sonda, sino que también se encuentra detrás del resistor, el cual a su vez va conectado al cable rojo. En resumen, el cable amarillo (datos) va conectado al pin 2 del Arduino y a la resistencia, el rojo (positivo) va conectado al pin 5 V del Arduino y a la resistencia, por último, el negro (negativo) va conectado directamente al pin GND del Arduino.

Entonces, con todo esto conectado de manera correcta, podemos conectar el cable USB de la placa Arduino a la computadora y ejecutar cualquier código sin problemas utilizando el IDE de Arduino el cual se puede descargar gratuitamente en la página oficial de Arduino a través del siguiente link: <https://www.arduino.cc/en/software>

Figura 3. QR de la página de Arduino IDE



Nota: Elaboración propia.

Dentro del IDE elaboramos un código para que imprimiera el tiempo junto a la temperatura el cual se puede observar en el siguiente link: <https://github.com/uv-lmg/calorimetro>

Además, dicho código se puede modificar o utilizar gratuitamente en GitHub:

Figura 4. QR de la página Github



Nota: Elaboración propia.

Una vez que todo estuvo preparado, procedimos con la primera prueba. Utilizamos agua para demostrar su proceso de enfriamiento dentro de un refrigerador y posteriormente su calentamiento. Sin embargo, dado que una mayor cantidad de agua requiere una mayor cantidad de energía para su enfriamiento y calentamiento, optamos por utilizar solo 40 ml de agua. Esta cantidad fue medida con una probeta y luego verificada con una báscula digital.

Al ejecutar el código, este funcionó correctamente, aunque imprimía los datos de tal manera que sólo se podían visualizar dentro del propio IDE de Arduino. Esto está bien, sin embargo, el proceso de trasladar los datos manualmente a otro software para su posterior análisis suele entorpecer el proceso.

Buscando una manera de guardar los datos, nos percatamos de que estos se pueden encontrar de manera directa dentro del siguiente puerto: `/dev/ttyAMC0`, por lo que se utilizó el comando `cat` (en Linux) para escribir los datos directamente desde la consola a un archivo (.txt) de manera constante, pero esto presenta varios problemas; por ejemplo, los datos se guardaban cada segundo lo que provocaba una repetición innecesaria de datos, además, con el propósito de facilitar la recolección de datos en Windows, el cual no cuenta con dicha función `cat`, decidimos buscar otra alternativa.

Finalmente, se empleó un programa llamado «CoolTerm», un freeware diseñado para gestionar puertos y redes, lo cual resulta ideal en este caso ya que este software permite la transmisión constante de resultados y su almacenamiento inmediato en un archivo de texto.

Primero se selecciona el puerto en la parte inferior izquierda del programa, que por defecto ya viene seleccionado «COM3 (Arduino Uno)» o algo bastante similar, en caso de no encontrarlo, se puede regresar al propio IDE de Arduino el cual lo proporciona en la parte superior de la interfaz o en la sección «Tools > Port» por lo que solo hace falta seleccionarlo manualmente en CoolTerm. Después, para empezar a recibir los datos se da clic en el cuarto botón, «Connect» (alternativamente se puede presionar directamente `CTRL+K`) para conectarse y, por último, para empezar a registrar los datos en un archivo de texto (.txt) se da clic en la pestaña «Connection > Capture to Text/Binary File > Start...» o alternativamente presionando la combinación de teclas (`CTRL+R`) y al instante se inicia la captura de datos.

Aunque una vez estando seguros de que el Arduino está correctamente conectado lo más recomendable es primero realizar la captura de datos "Connection > Capture to Text/ Binary File > Start..." y finalmente presionar «Connect», pero se presentó al revés dado que es lo mejor para realizar pruebas de conexión ya que al presionar «Connect» el programa CoolTerm imprime al instante las lecturas de la sonda en pantalla y es fácil darse cuenta de que todo está funcionando correctamente.

Así pues, se determinó que todo estaba listo y se colocó el agua dentro del vaso y la sonda tocando el agua, evitando que tocara el vaso con ayuda de cinta adhesiva puesto que determinamos esto afectaría las mediciones, promediando las temperaturas entre ambas superficies (del agua y del vaso) y así obtuvimos varias gráficas, en dichas gráficas observamos un fenómeno curioso que ocurría casi siempre, un sobre-enfriamiento, lo cual decidimos seguir analizando y dedicamos una parte más adelante en el capítulo. Sin embargo, al momento de llevar a cabo el calentamiento, observamos que el hielo en algunos puntos se descongelaba más rápido que en otros, moviendo la sonda de manera que los datos obtenidos se veían afectados, a veces incluso de gran manera.

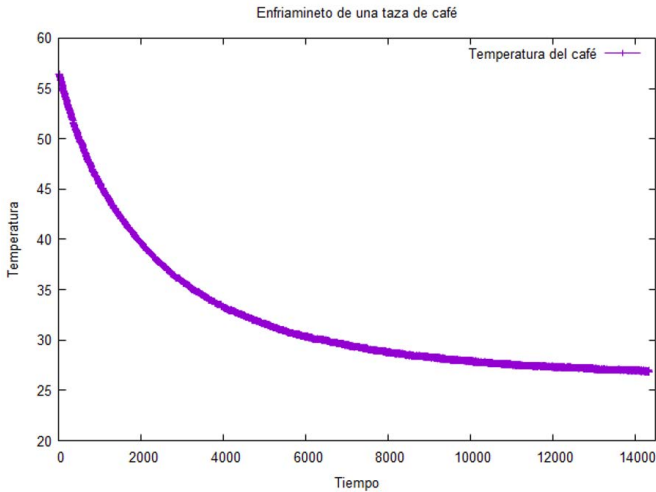
Como solución, se encontró un pedazo de espuma de polietileno el cual luego de recortarlo a la medida encajaba de manera perfecta en la boca del vaso, por lo cual fue suficiente hacer un hoyo en el centro, del tamaño de la sonda, para que se mantuviera siempre firme contra cualquier alteración de estado. Puesto que el Arduino de manera automática se ejecuta infinitamente una vez se ha ejecutado en cualquier computadora, solo debíamos abrir CoolTerm, conectar el puerto e indicarle que registre los datos, de esta manera llevamos a cabo más mediciones. Consideramos además que no es necesario mantener la computadora prendida una vez que los cambios esperados fueran medidos, por lo que también se puede utilizar un comando en Windows (shutdown -s -t) para que se apague automáticamente la computadora a partir de una cierta cantidad de segundos, en este caso 36000 segundos o 10 horas.

Observando nuevamente los resultados, nos dimos cuenta de que con la tapa de espuma de polietileno el cambio de temperatura se veía afectado y por ende no había un sobre-enfriamiento, cosa que queríamos estudiar, por lo que tuvimos que dejar de utilizarla. Entonces, optamos por una opción más simple: meter la sonda, de manera horizontal hasta el fondo del vaso. Gracias a esto, los resultados volvieron a mostrar sobre-enfriamientos, probando así que la tapa afectaba al enfriamiento. Sin embargo, mantener la sonda de esta manera también afectaba a los resultados del calentamiento, ya que la sonda al tocar el vaso promedia las temperaturas y al momento de que el hielo se descongelase en varios puntos, hacía que los datos fluctuaran de una manera extraña, pero a pesar de todo esto y para fines prácticos y de estudio, los resultados son lo suficientemente satisfactorios.

Reto 1. Estudio de la “Ley de enfriamiento de Newton”

Haciendo una breve búsqueda, es fácil obtener información de la comúnmente llamada “Ley de enfriamiento de Newton”, por ejemplo, la cual nos dice que “la tasa de pérdida de calor de un cuerpo es proporcional a la diferencia de temperatura entre el cuerpo y sus alrededores”. También nos menciona que cuando la diferencia de temperatura entre el cuerpo (T_o) y su medio ambiente (T_m) es pequeña, $\Delta T = T_o - T_m$, el calor perdido es proporcional a la diferencia de temperatura, ΔT . Isaac Newton publicó anónimamente estos resultados en 1701 en la obra «Scala graduum Caloris». *Calorum Descriptiones & signa.* en *Philosophical Transactions*.¹

Figura 5. El enfriamiento de una taza de café



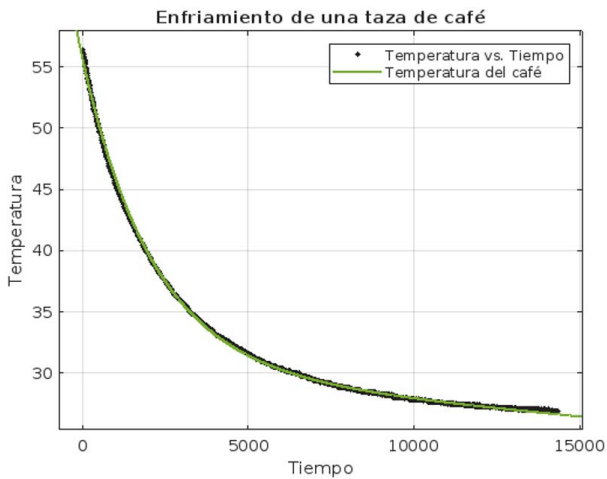
Nota: Elaboración propia.

Con los datos obtenidos se procedió a realizar una regresión lineal para ajustar una curva que describa los datos medidos con la cual obtuvimos la siguiente función exponencial

$$T(t)=(24.9330)e^{-0.0005t}+30.5759$$

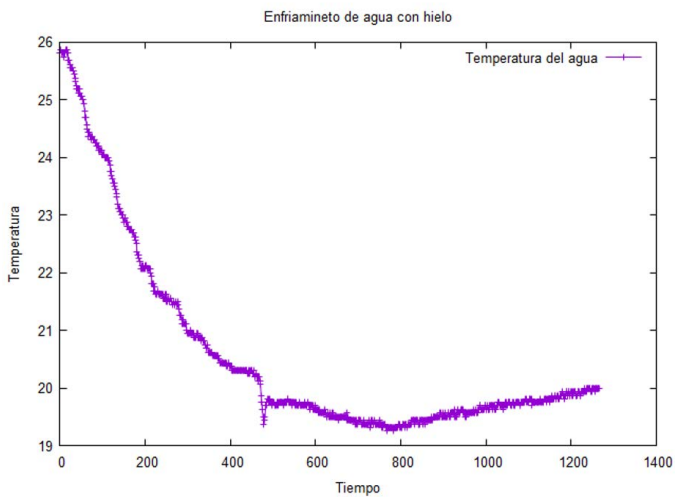
La cual, después de graficarla en el mismo plano, podemos ver que se ajusta perfectamente, demostrando que este calorímetro digital cuenta con una excelente precisión, a continuación, se muestra dicho gráfico.

Figura 6. Ajuste exponencial a los datos del gráfico anterior



Nota: Elaboración propia.

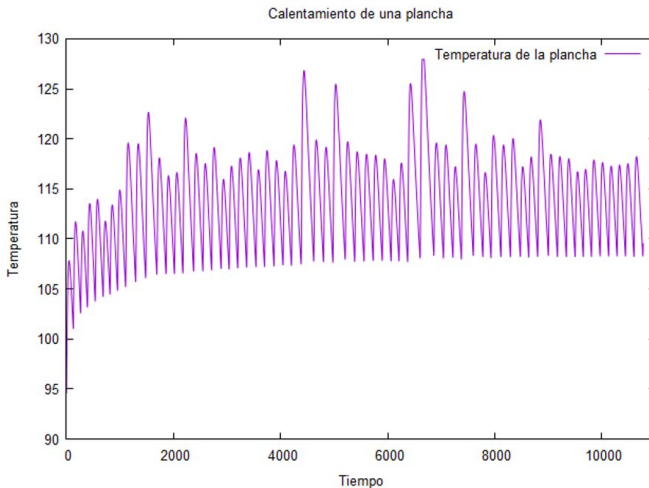
Figura 7. Enfriamiento de un vaso con agua y hielo



Nota: Elaboración propia.

De igual forma se puede notar cómo al poner un cubito de hielo en un vaso de agua (150 ml) a temperatura ambiente, el hielo comienza a enfriarla hasta que se derrite completamente, posteriormente el ambiente mismo comienza a calentar de nuevo el agua ¿puedes adivinar hasta qué temperatura se calentaría?

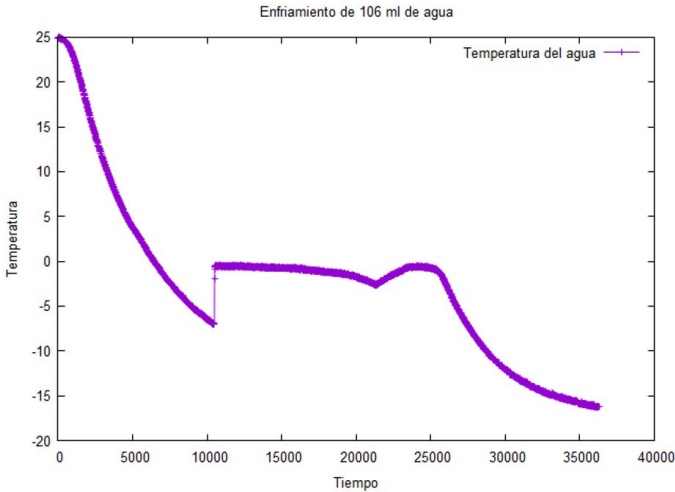
Figura 8. Calentamiento de una plancha eléctrica



Nota: Elaboración propia.

Como se puede observar también al analizar el calentamiento de una plancha de ropa se encuentra que su temperatura es variable y existe un umbral tanto superior como inferior en el cual, al llegar a una temperatura máxima, se desconecta internamente y una vez enfriada hasta el umbral inferior se conecta o activa automáticamente y así sucesivamente en ciclos.

Figura 9. Congelamiento de un hielo dentro del refrigerador



Nota: Elaboración propia.

Aquí podemos observar la disminución de la temperatura, Podemos observar también que entra en la región de líquido sobre enfriado, periodo de congelamiento y enfriamiento del solido (hielo). En esta actividad se recomienda.

Sobre-enfriamiento

Como mencionamos anteriormente, durante la elaboración del calorímetro, llegamos a observar varias veces un fenómeno conocido como sobre-enfriamiento en el cual el agua que metimos al refrigerador se enfriaba mucho más allá del cero, pero sin cambiar de estado, sin embargo, después de sufrir cualquier pequeña alteración regresaba a cero grados tal y como se esperaba. Esto nos llamó la atención así que decidimos analizarlo más a fondo.

El sobre-enfriamiento se trata de un fenómeno en el cual un material llega a una temperatura para la cual cuyo estado debería

cambiar, sin embargo, éste se mantiene. Usualmente después de una excitación las moléculas de dicho material terminan de transformarse en el estado esperado.

Sabemos que en condiciones normales, el agua hierve a los 100 °C y se congela a los 0 °C, es algo que toda la vida nos han enseñado, pero cuando ocurre el fenómeno de sobre-enfriamiento resulta que esto no se cumple, y ése simple hecho resulta interesante, puesto que cuando hay sobre-enfriamiento sucede que la temperatura baja más allá de 0° C, digamos por ejemplo a unos -5° C y sin embargo ¡El agua sigue estando líquida!, cuando sabemos que debió haberse congelado desde que llegó a 0° C, es entonces cuando nos preguntamos, ¿qué está sucediendo?, ¿en qué momento habrá transición de fase?, pues en realidad no será así para siempre, ya que estamos frente a lo que se conoce como un estado metaestable, el cual es un estado de equilibrio pero muy susceptible a romperse, lo cual como se mencionó anteriormente, quiere decir que cualquier mínima alteración en el sistema hará que colapse, en este caso el colapso significa que el agua terminará congelándose y por ende dando fin a este interesante fenómeno de sobre-enfriamiento.

Además como se puede observar más adelante en la gráfica (N. de gráfica) es muy interesante ver que al momento de romperse el estado metaestable y comenzar el proceso de solidificación del agua, la temperatura sube de -6° C a 0° C, esto quiere decir que durante el proceso de formación de cristales de hielo el agua se está calentado rápidamente 6 grados para llegar a 0° C y lograr la solidificación, lo cual parece contra intuitivo, pues nadie imaginaría que para congelar el agua se tendría que calentar, pero no es más que la muestra de que en este proceso se libera energía en forma de calor, esta liberación de energía está presente durante el tiempo que la temperatura se mantiene en 0° C durante la formación de hielo, es decir, durante la transición de fase líquido a sólido, finalmente, una vez que el agua se ha transformado en hielo, la temperatura continúa disminuyendo, ya que ahora simplemente se continua enfriando el hielo.

También es importante mencionar que el intervalo en el que la temperatura pasa por debajo de uno de sus puntos de congelación y sigue de largo hasta antes de aumentar espontáneamente y estabilizarse también se conoce como estado de sub-fusión, mientras que al ocurrir lo contrario, es decir, cuando el agua se calienta por encima de su punto de ebullición, pero sin hervir (evaporarse) se conoce como sobre-calentamiento y es mucho más raro de observar que el sobre-enfriamiento. Ambos estados son estados únicos de los líquidos y pertenecen a su propia categoría dentro de los diversos tipos de estados meta-estables que se pueden encontrar.

En los resultados obtenidos no teníamos previsto observar un sobre-enfriamiento, pero después de observarlo concluimos que tenía sentido puesto que cuando existe un exceso de refrigeración, es mucho más probable esperar observar un sobre-enfriamiento debido a que el sistema sufriendo el cambio de temperatura busca siempre mantener una presión equilibrada, al mantener un enfriamiento efectivo y constante sobre dicho sistema, las probabilidades de observar un sobre-enfriamiento aumentan exponencialmente, de la misma manera la humedad juega un papel relevante en este fenómeno.

Es por esto que además, creemos que fue lo que provocó que no se observara un sobre-enfriamiento cuando el vaso tenía la tapa de espuma de polietileno colocada, ya que al tenerla colocada, el sistema era más equilibrado tanto en presión como en humedad y el enfriamiento sería más directamente por medio del propio recipiente y la tapa que por el ambiente en sí, la distribución desigual de la temperatura llevaría a que algunas partes se calentaran o enfriaran más o menos que otras, alterando al sistema lo suficiente como para no sobre-enfriarse.

Reflexión final

Hemos descrito el proceso de creación de un calorímetro digital, el cual cuenta con muchos beneficios y posibles utilidades y ofrecemos diagramas, fotos y el código utilizado para su elaboración. De la misma manera, compartimos un interesante descubrimiento a partir del uso del calorímetro elaborado, el cual corresponde al sobre-enfriamiento.

En comparación con otras herramientas tradicionales de laboratorio creemos que este dispositivo resulta más económico, versátil y confiable, siendo ideal para la divulgación, así como para la enseñanza a diversos estudiantes ya sea compartiendo los resultados obtenidos o ayudándolos a elaborar un calorímetro por su cuenta.

El costo total del sistema completo es inferior a \$500.00 pesos. Por lo que además de ser una herramienta útil para la enseñanza de conceptos de termodinámica, este dispositivo es una excelente forma de introducir a los estudiantes en conceptos básicos de microelectrónica.

Referencias

Gomes, V., Cavaco, S., Morgado, C., Aires-de-Sousa, J., y Fernandes, J. (2020). An Arduino-Based Talking Calorimeter for Inclusive Lab Activities, *Journal of Chemical Education* 97 (6), 1677-1681.

Wikipedia. (s. f.). Ley del enfriamiento de Newton. https://es.wikipedia.org/wiki/Ley_del_enfriamiento_de_Newton

Tarira Caice, C. A., Parra-Sandoval, H., y Delgado González, M. (2020). Procesos de enseñanza de la función exponencial. Un acercamiento cualitativo, *Revista Científica UISRAEL* 7 (3), 37-50.