



**Laboratorio de Fenómenos Colectivos
Semestre 2020-1
Facultad de Ciencias**

**Dr. Martín Romero Martínez.
Fis. José Abarca Munguía.**

**Práctica 8
“Equivalente eléctrico del calor.”**

**R. Rangel.
T. Basile.
J. Gallegos.
I. Santiago.**

Grupo: 8040.

Universidad Nacional Autónoma de México.

**Fecha de elaboración: 6 y 13 de noviembre, 2019.
Fecha de entrega: 20 de noviembre, 2019.**

Resumen: Este trabajo muestra los resultados de obtener el calor específico de un calorímetro, a partir de mezclar agua a distintas temperaturas dentro de éste y calcular la cantidad de calor que recibe. Por otro lado, se introdujeron de una en una varias mezclas distintas (agua, agua con tinta, agua con arroz y agua con azúcar) al calorímetro, junto con un foco encendido (de 40W y de 60W) que transmitía calor a la mezcla. Esto para encontrar el cambio de temperatura en cada una de las mezclas como función del tiempo, y comparar los datos para las distintas mezclas.

I. Introducción.

Marco teórico.

Primera Ley de la termodinámica

La primera ley de la termodinámica, es la ley de la transformación de la energía en sistemas macroscópicos. En sistemas termodinámicos, la energía se manifiesta de dos maneras distintas. Por un lado se puede transferir energía a partir de una interacción mecánica, esta energía transferida de forma mecánica recibe el nombre de trabajo y se denota con la letra W.

Ahora bien, en termodinámica, es también necesario introducir una forma no mecánica de transferir energía a un sistema. Ésta es la transferencia de energía térmica, que recibe el nombre de calor y se denota con la letra Q.^[1]

El científico inglés Joule, observó que la energía mecánica puede transformarse en calor y viceversa. Es decir, en un sistema termodinámico, es posible transformar un tipo de energía en otro. La primera ley de la termodinámica asegura que la energía total de un sistema aislado permanecerá siempre constante, sin importar las transformaciones de energía que sucedan dentro de éste.^[2]

Calor específico

Por otro lado, se observa experimentalmente que al transferir energía en forma de calor a un sistema, la temperatura del sistema aumenta.

Empíricamente se observa que la cantidad de calor Q necesario para elevar la temperatura T_1 de una masa m de cierto material de T_1 a T_2 es aproximadamente proporcional al cambio de temperatura $\Delta T = T_2 - T_1$ y a la masa m del material. La cantidad de calor requerida también depende del material del que se trate, por ejemplo, se requieren 4.18 Joules de calor para aumentar la temperatura de un gramo de agua en un grado centígrado, mientras que para percibir el mismo cambio de temperatura en un gramo de cobre, se requiere únicamente de 0.91 Joules.^[3]

A partir de esta relación de proporcionalidad entre la masa de la sustancia y el cambio en la temperatura, se obtiene la siguiente ecuación:

$$Q = m C_e \Delta T \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde m es la masa de la sustancia, ΔT la variación de temperatura y C_e es la constante de proporcionalidad característica de cada sustancia. En termodinámica, esta constante de proporcionalidad C_e recibe el nombre de capacidad térmica específica (también llamada capacidad calorífica específica o calor específico).^[2]

Objetivos.

El objetivo general de la práctica es observar y analizar la transferencia de calor en distintas mezclas (agua, agua con tinta, agua con arroz, agua con azúcar) al introducirlas a un calorímetro y ponerlas en contacto con un foco de 60W primero y posteriormente con uno de 40W. En otras palabras, observar la transformación de energía eléctrica en energía calórica sumergiendo una resistencia en mezclas de agua dentro de un calorímetro.

Un segundo objetivo es obtener experimentalmente el calor específico de un calorímetro con ayuda de la *Ecuación (1)*, al calcular el calor cedido y ganado por dos cuerpos de agua a distintas temperaturas.

Así mismo, buscamos encontrar el tipo de relación que tiene la diferencia de temperatura de cada mezcla, con el tiempo en que tarda en aumentar esta última.

II. Desarrollo Experimental.

Materiales.

- Foco 60W, 125V, 60Hz.
- Foco 40W, 125V, 60Hz.
- Calorímetro.
- Cable con socket.
- Termómetro parcial de mercurio. (Lauka)
- Parrilla eléctrica. (Super Flama)
- Guantes de carnauba.

- Balanza granataria (Triple Beam Balance)
- Cronómetro (1/100 s) (Micronta)
- Probeta 250mL. (Pyrex)
- Vaso de precipitados de 600mL y 5mL. (Pyrex)
- Líquidos: agua, tinta china
- Arroz
- Azúcar



Ilustración 1. Materiales.

Procedimiento.

1. Pesar el calorímetro sin tapa en la balanza granataria.
2. Medir 100ml de agua con ayuda de la probeta.
3. Introducir los 100ml en el calorímetro y medir su temperatura (que es la temperatura ambiente) con el termómetro.
4. Medir otros 100 ml de agua con ayuda de la probeta, pero esta vez colocarlos en el vaso de precipitados.
5. El vaso de precipitados se pone a calentar en la parrilla eléctrica.



Ilustración 2. Parrilla eléctrica con vaso de precipitados

6. Introducir el termómetro al vaso de precipitados y esperar hasta que llegue a una temperatura de 84°C.
7. Verter el agua del vaso de precipitados al calorímetro, haciendo así que se mezcle con el agua a temperatura ambiente que ya se encontraba dentro de éste. Posteriormente tapar el calorímetro e introducir el termómetro.



Ilustración 3. Montaje Experimental

8. Esperar hasta que se llegue a la temperatura de equilibrio y registrarla. La temperatura de equilibrio es la que se alcanza después de dejar el sistema aislado por un cierto intervalo de tiempo, hasta que se note que ya no hay cambios en la temperatura.
9. Con todos los datos que obtendremos se podrá calcular el calor específico del calorímetro con la *Ecuación (1)* del Marco Teórico.

Segunda parte

Esta parte se dividirá según las distintas sustancias que se utilizarán en el experimento (agua, agua con tinta, agua con arroz, agua con azúcar).

Agua.

1. Medir 200mL de agua con ayuda de la probeta.
2. Introducir los 200mL en el calorímetro y medir su temperatura ambiente con el termómetro.

3. Colocar el foco de 60 W dentro del calorímetro y conectar el cable con socket.
4. Encender el foco una vez que éste se encuentra dentro del calorímetro



Ilustración 4. Montaje experimental

5. Colocar el termómetro dentro del calorímetro cuidando que no toque las paredes.



Ilustración 5. Montaje Experimental.

6. Observar cómo incrementa la temperatura respecto al tiempo, y registrar el tiempo transcurrido por cada cambio en un grado centígrado de la temperatura.
7. Repetir los pasos del 3 al 6 con el foco de 40W.

Agua con tinta.

1. Repetir el paso 1 del Agua.
2. Medir 5mL de tinta china con ayuda del vaso de precipitados de 5ml.



Ilustración 6. Vaso de precipitados con tinta china.

3. Mezclar los 5mL de tinta china en el calorímetro con los 200mL de agua.
4. Repetir los pasos del 3-7 del procedimiento con el agua.

Agua con arroz.

1. Repetir el paso 1 del Agua.
2. Pesar 100g de arroz en la balanza granataria.
3. Mezclar los 100g de arroz en el calorímetro con los 200mL de agua.
4. Repetir los pasos del 3-7 del procedimiento del agua.

Agua con azúcar.

1. Repetir el paso 1 del Agua.
2. Pesar 100g de azúcar en la balanza granataria.
3. Mezclar los 100g de azúcar en el calorímetro con los 200mL de agua.
4. Repetir los pasos del 3-7 del procedimiento del agua

Finalmente, registrar todos los datos obtenidos en tablas y analizar sus gráficas.

III. Resultados.

Primera parte.

Sacamos la constante del calorímetro a partir de los datos obtenidos en la primera parte del procedimiento:

Masa del calorímetro: 246.7 ± 0.05 g

Temperatura de los (100 ± 0.5) ml de agua a temperatura ambiente: 18 ± 0.5 °C.

Temperatura de (100 ± 0.5) ml de agua calentada en la parrilla: 84 ± 0.5 °C.

Temperatura final de la mezcla de los dos cuerpos de agua a distintas temperaturas, una vez alcanzado el equilibrio térmico: $48 \pm 0.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Con estos datos y tomando en cuenta que el calor específico del agua es de $1\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$, calculamos la cantidad de calor cedido por el agua caliente a partir de la *ecuación 1* del marco teórico:

$$Q = mC_e\Delta T = (100 \pm 0.5)(1)[(84 \pm 0.5) - (48 \pm 0.5)] = (100 \pm 0.5)(1)(36 \pm 1) = 3600 \pm 118 \text{ cal}$$

El calor obtenido por el agua a temperatura ambiente se calcula similarmente con la *ecuación 1* del marco teórico:

$$Q = mC_e\Delta T = (100 \pm 0.5)(1)[(18 \pm 0.5) - (48 \pm 0.5)] = (100 \pm 0.5)(1)(30 \pm 1) = - (3000 \pm 115) \text{ cal}$$

Entonces, el calor sobrante corresponde al calor ganado por el calorímetro:

$$Q_{\text{calorímetro}} = (3600 \pm 118) - (3000 \pm 115) = 600 \pm 233 \text{ cal}$$

Entonces, por la ecuación 1 del marco teórico:

$$mC_{\text{calorímetro}}\Delta T = 600 \pm 233 \text{ cal}$$

$$C_{\text{calorímetro}} = \frac{600 \pm 233}{m\Delta T} = \frac{600 \pm 233}{(246.7 \pm 0.5)(30 \pm 1)}$$

$$= 0.08 \pm 0.017 \frac{\text{cal}}{\text{g}^{\circ}\text{C}}$$

Segunda parte.

En cada caso se presentan las tablas del tiempo y la diferencia de temperatura una vez que se introdujo el foco en cada sustancia y las gráficas con estos datos.

Para el experimento primero utilizamos el foco de 60W y después el de 40 W.

Agua

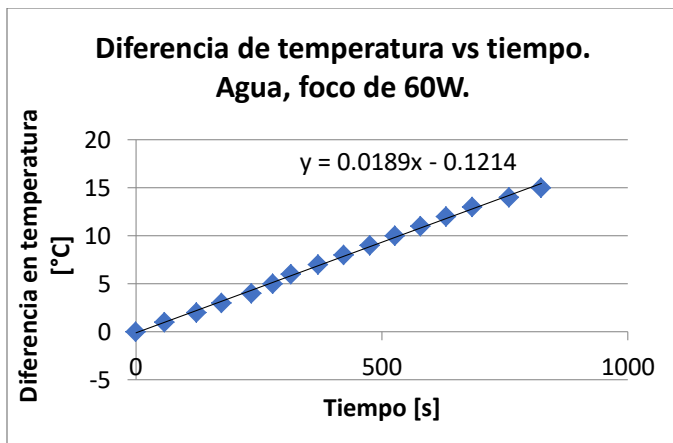
Obtuvimos los siguientes resultados de cambio en la temperatura y tiempo:

Foco de 60 W.

Agua con foco de 60 W	
Tiempo [s] ($\pm 0.005\text{s}$)	Diferencia de temperatura a partir de la temperatura inicial [$^{\circ}\text{C}$] (± 0.5)
0	0
58.09	1
123.15	2
174.81	3
235.76	4
278.27	5
315.38	6
371.64	7
423.55	8
476.19	9
527.08	10
579.99	11
631.15	12
684.65	13
758.49	14
824.44	15

Tabla 1. Tiempo y Diferencia de temperatura del agua. 60W

Con los datos pudimos obtener la gráfica, donde el eje “x” es el tiempo, mientras que el eje “y” representa a la diferencia de temperatura.



Gráfica 1. Diferencia de temperatura vs tiempo, agua. 60W

A partir de esta grafica se puede observar cómo va cambiando la temperatura respecto al tiempo y la pendiente de la recta nos indica la velocidad con la que cambia la temperatura del agua. Observamos que sigue un comportamiento lineal dado por la ecuación encontrada por el método de mínimos cuadrados:

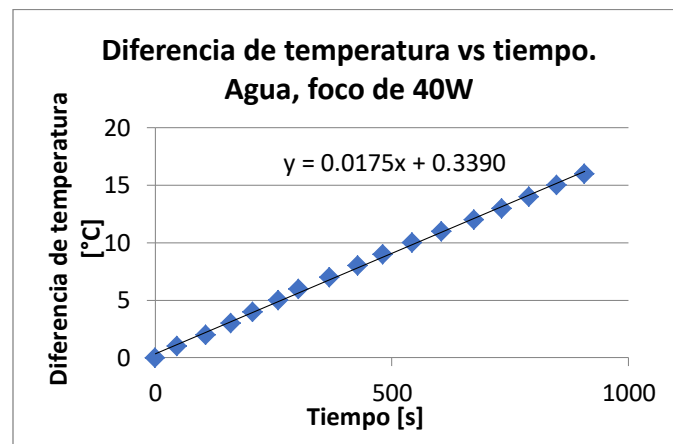
$$y = (0.0189 \pm 0.0002) x - (0.12 \pm 0.01)$$

Foco de 40 W.

Agua con foco de 40 W.	
Tiempo [s] (±0.005s)	Diferencia de temperatura a partir de temperatura inicial [°C] (±0.5)
0	0
46.12	1
107.56	2
160.66	3
206.48	4
260.97	5
303.03	6
368.21	7
428.46	8
481.75	9
543.19	10
605.05	11
673.11	12
732.24	13
790.49	14
848.68	15
907.27	16

Tabla 2. Tiempo y Diferencia de temperatura del agua.40W

Con nuestros datos pudimos obtener nuestra gráfica, donde el eje x es el tiempo, mientras que el eje y representa a la diferencia de temperatura.



Gráfica 2. Diferencia de temperatura vs tiempo, agua. 40W

A partir de esta grafica se puede observar cómo va cambiando la temperatura respecto al tiempo y la pendiente de la recta nos indica la velocidad con la que cambia la temperatura del agua. Observamos que sigue un comportamiento lineal dado por la ecuación encontrada por el método de mínimos cuadrados:

$$y = (0.0175 \pm 0.0001) x + (0.34 \pm 0.088)$$

Agua con tinta.

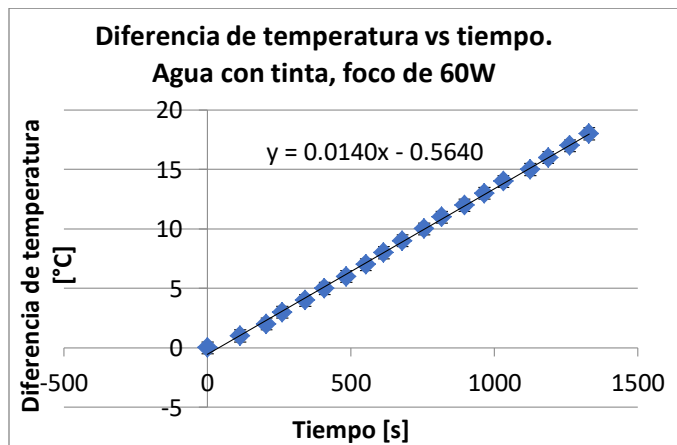
En esta parte, vertimos los 200mL de agua en el calorímetro, junto con 5 mL de tinta china. Obtenemos así los siguientes datos:

Foco de 60 W.

Agua con tinta con foco de 40 W.	
Tiempo [s] ($\pm 0.005s$)	Diferencia de temperatura a partir de temperatura inicial [°C] (± 0.5)
0	0
114.12	1
205.52	2
260.13	3
340.44	4
408.09	5
483.31	6
551.74	7
614.22	8
679.22	9
754.55	10
816.23	11
895.74	12
965.11	13
1031.22	14
1124.63	15
1187.42	16
1263.31	17
1329.92	18

Tabla 3. Tiempo y Diferencia de temperatura, agua con tinta.60W

Con los datos pudimos obtener la siguiente gráfica:



Gráfica 3. Diferencia de temperatura vs tiempo, agua con tinta.60W

A partir de esta grafica se puede observar cómo va cambiando la temperatura respecto al tiempo y la pendiente de la recta nos indica la velocidad con la que cambia la temperatura del agua con tinta. Observamos que sigue un comportamiento lineal dado por la ecuación encontrada por el método de mínimos cuadrados:

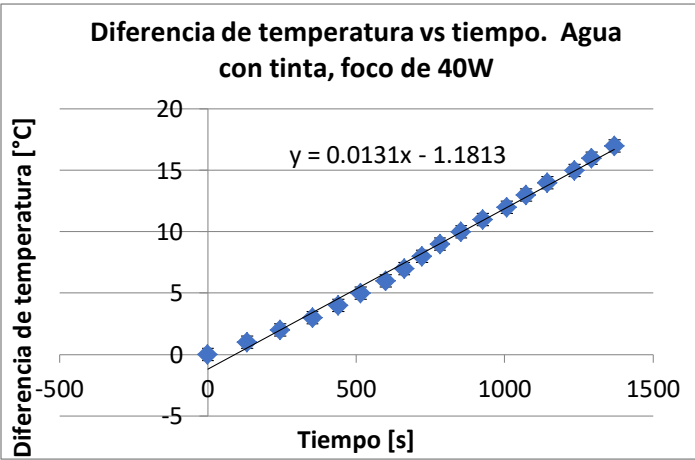
$$y = (0.0140 \pm 0.0001) x - (0.56 \pm 0.083)$$

Foco de 40 W.

Agua con tinta con foco de 40 W.	
Tiempo [s] ($\pm 0.005s$)	Diferencia de temperatura a partir de temperatura inicial [°C] (± 0.5)
0	0
114.25	1
205.66	2
260.31	3
340.45	4
408.17	5
483.91	6
551.65	7
614.81	8
680.56	9
754.47	10
816.73	11
895.08	12
965.95	13
1031.46	14
1124.53	15
1187.71	16
1263.18	17
1330.26	18

Tabla 4. Tiempo y Diferencia de temperatura, agua con tinta.40W

Con estos datos obtenemos la siguiente gráfica:



Gráfica 4. Diferencia de temperatura vs tiempo, agua con tinta.40W

A partir de esta grafica se puede observar cómo va cambiando la temperatura respecto al tiempo y la pendiente de la recta nos indica la velocidad con la que cambia la temperatura del agua con tinta. Observamos que sigue un comportamiento lineal dado por la ecuación encontrada por el método de mínimos cuadrados:

$$y = (0.0131 \pm 0.0002) x - (1.2 \pm 0.21)$$

Agua con arroz.

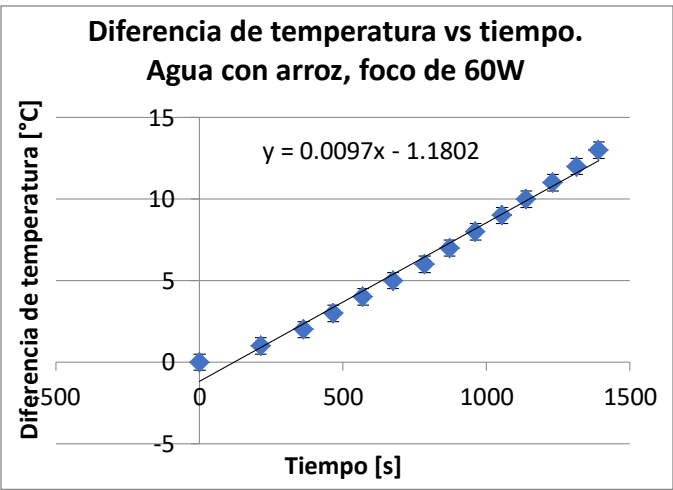
En este parte de la práctica, vertimos los 200mL de agua en el calorímetro, junto con 100g de arroz. Obtuvimos así los siguientes resultados:

Foco de 60 W.

Agua con arroz, foco de 60 W.	
Tiempo [s] (±0.005s)	Diferencia de temperatura a partir de temperatura inicial [°C] (±0.5)
0	0
213.12	1
362.51	2
466.31	3
569.84	4
674.55	5
784.45	6
871.15	7
962.13	8
1054.37	9
1138.67	10
1231.64	11
1314.68	12
1391.42	13

Tabla 5. Tiempo y Diferencia de temperatura, agua con arroz. 60W

Con estos datos, obtenemos la siguiente gráfica:



Gráfica 5. Diferencia de temperatura vs tiempo, agua con arroz.60W

A partir de esta grafica se puede observar cómo va cambiando la temperatura respecto al tiempo y la pendiente de la recta indica la velocidad con la que cambia la temperatura del agua con arroz. Observamos que sigue un comportamiento lineal dado por la ecuación encontrada por el método de mínimos cuadrados:

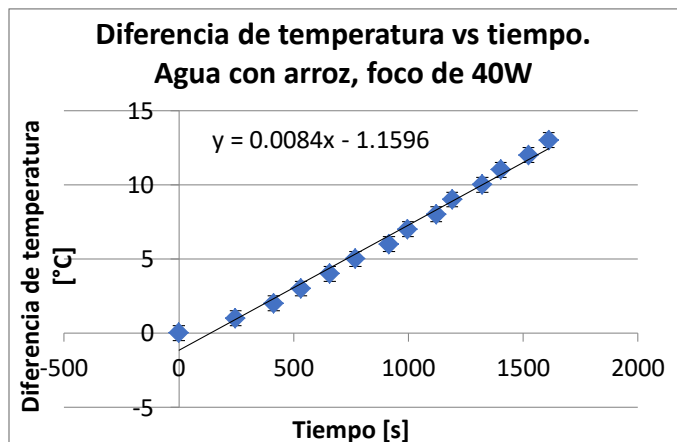
$$y = (0.0097 \pm 0.0002) x - (1.2 \pm 0.26)$$

Foco de 40 W.

Agua con arroz, foco de 40 W.	
tiempo [s] ($\pm 0.005s$)	Diferencia de temperatura a partir de temperatura inicial [°C] (± 0.5)
0	0
247.22	1
413.31	2
531.41	3
657.53	4
768.43	5
915.22	6
997.82	7
1121.06	8
1191.26	9
1321.48	10
1402.72	11
1523.13	12
1611.32	13

Tabla 6. Tiempo y Diferencia de temperatura, agua con arroz.40W

Con nuestros datos pudimos obtener nuestra gráfica:



Gráfica 6. Diferencia de temperatura vs tiempo, agua con arroz.40W

A partir de esta grafica se puede observar cómo va cambiando la temperatura respecto al tiempo y la pendiente de la recta indica la velocidad con la que cambia la temperatura del agua con arroz. Observamos que sigue un comportamiento lineal dado por la ecuación encontrada por el método de mínimos cuadrados:

$$y = (0.0084 \pm 0.0002) x - (1.16 \pm 0.26)$$

Agua con azúcar.

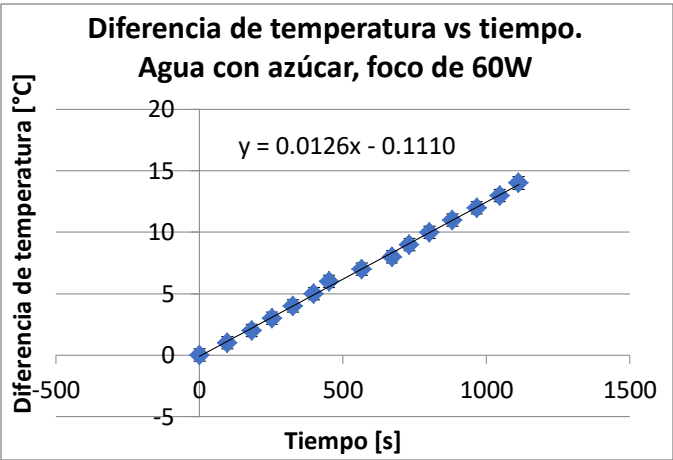
En esta parte de la práctica vertimos los 200mL de agua de la probeta y 100g de azúcar. Obtuvimos así los siguientes resultados:

Foco de 60 W.

Agua con azúcar, foco de 60 W.	
Tiempo [s] ($\pm 0.005s$)	Diferencia de temperatura a partir de temperatura inicial [°C] (± 0.5)
0	0
97.17	1
181.56	2
252.26	3
325.33	4
398.57	5
451.28	6
565.7	7
670.66	8
731.72	9
801.06	10
881.3	11
966.23	12
1046.29	13
1112.21	14

Tabla 7. Tiempo y Diferencia de temperatura, agua con azúcar.60W

Con estos datos, se obtiene la siguiente gráfica:



Gráfica 7. Diferencia de temperatura vs tiempo, agua con azúcar. 60W

A partir de esta gráfica, se puede observar cómo va cambiando la temperatura respecto al tiempo y la pendiente de la recta indica la velocidad con la que cambia la temperatura del agua con azúcar. Observamos que sigue un comportamiento lineal dado por la ecuación encontrada por el método de mínimos cuadrados:

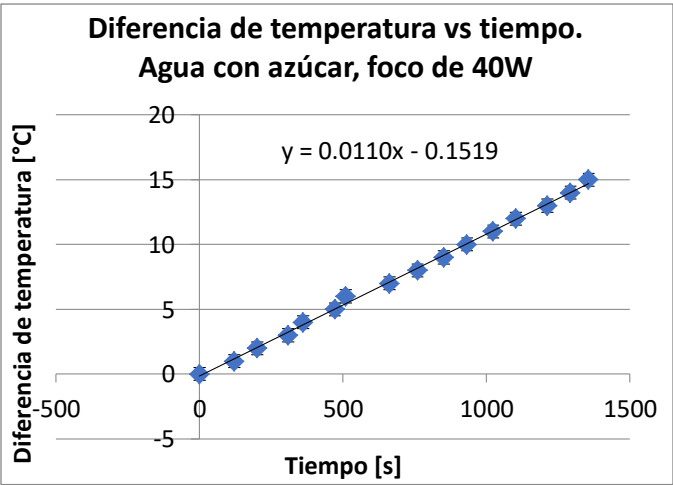
$$y = (0.0126 \pm 0.0001) x - (0.11 \pm 0.08)$$

Foco de 40 W.

Agua con azúcar, foco de 40 W.	
Tiempo [s] (±0.005s)	Diferencia de temperatura a partir de temperatura inicial [°C] (±0.5)
0	0
121.23	1
201.44	2
308.64	3
361.31	4
471.53	5
509.56	6
661.82	7
759.92	8
851.53	9
932.28	10
1023.29	11
1102.67	12
1212.37	13
1292.66	14
1356.24	15

Tabla 8. Tiempo y Diferencia de temperatura, agua con azúcar.40W

Con estos datos, se obtiene la siguiente gráfica:



Gráfica 8. Diferencia de temperatura vs tiempo, agua con azúcar.40W

A partir de esta grafica se puede observar cómo va cambiando la temperatura respecto al tiempo y la pendiente de la recta indica la velocidad con la que cambia la temperatura del agua con azúcar. Observamos que sigue un comportamiento lineal dado por la ecuación encontrada por el método de mínimos cuadrados:

$$y = (0.0110 \pm 0.0001) x - (0.15 \pm 0.01)$$

En la siguiente tabla, se resumen los resultados de la pendiente de la recta para cada una de las mezclas y focos.

Sustancia usada y potencia del foco	Valor de la pendiente de la recta de temperatura vs tiempo
Agua, 60W	0.0189 ± 0.0002
Agua, 40W	0.0175 ± 0.0001
Agua con tinta, 60W	0.0140 ± 0.0001
Agua con tinta, 40W	0.0131 ± 0.0002
Agua con arroz, 60W	0.0097 ± 0.0002
Agua con arroz, 40W	0.0084 ± 0.0002
Agua con azúcar, 60W	0.0126 ± 0.0002
Agua con azúcar, 40W	0.0110 ± 0.0001

Tabla 9.Resumen de los resultados

IV. Observaciones

Al contacto térmico del foco con cada una de las mezclas, la temperatura ascendió de forma lineal, como se observa en las *gráficas (1-8)*, cuya ecuación se obtiene directamente a partir del método de mínimos cuadrados.

En la realización del experimento nos encontramos con ciertas dificultades. En primer lugar, los cables y la base sobre la que se coloca el foco obstaculizaban la inmersión de éste en el agua, ya que la boquilla del calorímetro es muy angosta. Por la misma razón, se dificultaba colocar el termómetro y el foco en el calorímetro al mismo tiempo.

Además, el tamaño del foco de 60W impidió que fuera posible sumergirlo completamente en las mezclas, por lo cual sólo quedó parcialmente introducido. Por esta razón, una parte del calor producido por el foco escapaba al ambiente, en vez de transferirse a las mezclas.

Fue muy importante asegurarnos de que el montaje del experimento fuera exactamente el mismo para cada mezcla. Principalmente, cerciorarnos de que los focos estuvieran colocados siempre en la misma posición y con el mismo volumen sumergido. Esto para que la cantidad de calor cedida por el foco fuera la misma en cada caso y no hubiera diferencias en este aspecto.

V. Conclusiones.

Se cumplió con los objetivos propuestos al inicio de la práctica, ya que para cada caso, conseguimos la relación matemática entre el tiempo transcurrido y la diferencia de temperaturas.

Como ya se mencionó, esta relación es lineal. El valor de la pendiente corresponde a la rapidez del cambio de la temperatura con respecto al tiempo. Es decir, si un sistema tiene una mayor pendiente que otro, esto indica que el sistema en cuestión cambió su temperatura con mayor rapidez.

Con esto en mente, a partir de la *gráfica 9*, se puede ver que para cada mezcla, la rapidez con la que cambia la temperatura fue mayor en el caso del foco de 60W comparado con el de 40W. Esto es de esperarse, ya que el foco de 60W tiene una mayor potencia, por lo que transmite una mayor cantidad de energía por segundo a la mezcla, lo que resulta en incrementos más rápidos en la temperatura.

Por otro lado, el valor de esta pendiente cambia también dependiendo de la mezcla de la que se trate. Esto se debe a que algunas sustancias requieren menor cantidad de calor para cambiar de temperatura, debido a las diferencias en el valor del calor específico.

En este caso, las sustancias con mayor valor en la pendiente de temperatura vs tiempo son el agua y el agua con tinta. Lo que indica que son las que sufren cambios más rápidos en la temperatura al agregarles calor en comparación con las otras sustancias. La sustancia con menor valor en la pendiente fue el agua con arroz, lo que indica que esta mezcla no es susceptible a grandes cambios en la temperatura al agregar cantidades fijas de calor.

VI. Bibliografía.

- [1] R. Resnick, D. Halliday, Física, Continental, México, 1966.
- [2] A. Cengel Yunus, Termodinámica, Mc Graw Hill, México, 2012.
- [3] S. Zemansky, Y. Freedman, Física Universitaria, Pearson Educación, México, 2004.