

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE FÍSICA



**ARTÍCULO CIENTÍFICO DE TRABAJO DE
INVESTIGACIÓN (F.E.D.U)**

**“DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL EQUILIBRIO TÉRMICO DE DOS
SISTEMAS TERMODINÁMICOS”**

AUTORES:

INVESTIGADOR:

Dr. Lic. Norbil Homero Tejada Campos

PERSONAL DE APOYO:

Lic. Víctor Raúl Alzamora Machuca

Lic. Judith Chávez Medina

Cajamarca, abril del 2026

Determinación experimental del equilibrio térmico de dos sistemas termodinámicos

Experimental determination of the thermal equilibrium of two thermodynamic systems

¹Norbil Tejada Campos

¹Docente Principal del Departamento Académico de Física, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cajamarca.

Resumen: La investigación tuvo como objetivo general de determinar experimentalmente la temperatura del estado de equilibrio térmico de dos sistemas termodinámicos que inicialmente están a temperaturas diferentes y se encuentran en un ambiente cerrado y aislados adiabáticamente del entorno. Para lo cual, durante las pruebas experimentales se registró la variación de la temperatura en función del tiempo para ambos sistemas (masas de agua fría y caliente) debido al intercambio de calor, ya sea por ganancia o por pérdida respectivamente, hasta lograr el estado de equilibrio térmico, información que permitió elaborar las curvas de enfriamiento y de calentamiento respectivo de ambos sistemas que luego de su interpretación y análisis permitió determinar la temperatura del estado de equilibrio térmico. La importancia de la investigación radica en el aspecto académico ya que permitió comprobar experimentalmente la Ley Cero y de entender la Primera Ley de la Termodinámica o el Principio de conservación de energía mediante la realización de experimentos en el área de calorimetría, además que también se podría estimar la cantidad de calor que se transfiere de un sistema termodinámico a otro hasta alcanzar el estado de equilibrio térmico.

Palabras clave: Temperatura, calor, calorimetría, experimentos de laboratorio, equilibrio térmico, sistema termodinámico, Termodinámica.

Abstrac: The general objective of this research was to experimentally determine the temperature at thermal equilibrium of two thermodynamic systems initially at different temperatures, located in a closed environment and adiabatically isolated from the surroundings. During the experiments, the temperature variation over time was recorded for both systems (masses of cold and hot water) due to heat exchange, either by gain or loss, respectively, until thermal equilibrium was reached. This data allowed for the creation of cooling and heating curves for both systems, which, after interpretation and analysis, enabled the determination of the temperature at thermal equilibrium. The importance of the research lies in the academic aspect since it allowed experimental verification of the Zeroth Law and understanding of the First Law of Thermodynamics or the Principle of conservation of energy by carrying out experiments in the area of calorimetry, in addition to being able to estimate the amount of heat that is transferred from one thermodynamic system to another until reaching the state of thermal equilibrium.

Keywords: Temperature, heat, calorimetry, laboratory experiments, thermal equilibrium, thermodynamic system, Thermodynamics.

Introducción

El objetivo de la Física es el estudio de los componentes de la materia y sus interacciones mutuas, ya que en función de dichas interacciones se explica las propiedades de la materia en su conjunto y los fenómenos que observamos en la naturaleza (Alonso & Finn, 1970). En el tema de la termodinámica, es importante entender y explicar la tendencia de la materia de alcanzar un equilibrio térmico mediante la aplicación de principios y/o leyes de la Física.

Alcanzar el estado de equilibrio térmico en la materia físicamente está fundamentado en la Ley Cero de la Termodinámica, la Segunda Ley de la Termodinámica y la Mecánica Estadística de Boltzmann. En forma particular, el desarrollo de la investigación estará basada en la aplicación de la Ley Cero de la Termodinámica en forma experimental, siendo de importancia haber realizado lo siguiente: a) el registro de la variación de temperaturas en el tiempo durante el intercambio de calor entre dos sistemas termodinámicos que inicialmente estaban a distintas temperaturas, contenidos en un ambiente cerrado y adiabáticamente aislados; b) la elaboración y el análisis de las curvas de temperatura en función del tiempo durante el proceso de intercambio de calor entre los dos sistemas termodinámicos hasta llegar a su estado de equilibrio térmico que es el objetivo general del presente trabajo de investigación.

Materiales y Métodos

En el desarrollo de la presente investigación se aplicó el método experimental analítico teniendo como soporte los experimentos realizados en el laboratorio. El trabajo se realizó en tres fases:

Primera Fase de instalación y estudio del equipo. – 1°) Diseño e instalación del módulo experimental con los equipos, instrumentos y los sistemas termodinámicos de masas de agua fría y caliente de estudio¹ (figura 1); 2°) Estudio del manejo, calibración de sensores de temperaturas, operatividad y obtención de resultados mediante el equipo utilizando dos Mobile-CASSY 2 y una PC portátil.

Segunda Fase de laboratorio. – Se realizaron los experimentos a una temperatura ambiente promedio de 20,2 °C, depositando los dos sistemas termodinámicos de masas de agua (masa de agua fría y masa de agua caliente) en el interior del calorímetro, en el vaso de Dewar separados por un vidrio pirex, y cerrando dicho calorímetro con una tapa acondicionada con aislante térmico logrando que los sistemas termodinámicos de las masas de agua queden aislados adiabáticamente medio exterior. Una vez cerrado el calorímetro y aislados adiabáticamente los sistemas termodinámicos de las masas de agua, objetos de estudio, se procedió mediante el equipo Mobile CASSY 2 y conectado a una PC a la toma de datos y el registro en un archivo digital de la temperatura en función del tiempo en forma simultánea para ambos sistemas termodinámicos objetos de estudio. En esta fase del trabajo se obtuvieron los datos y se registró la variación de la temperatura en el tiempo para los sistemas termodinámicos, durante el proceso de calentamiento para la masa de agua fría y durante el proceso de enfriamiento para la masa de agua caliente, hasta que ambas masas de agua alcancen una misma temperatura final que es la temperatura de equilibrio térmico.

Tercera Fase de gabinete. – Se realizó el procesamiento de la información tomada y registrada en el equipo Mobile-CASSY 2, se utilizó el software Excel obteniéndose las curvas de calentamiento y enfriamiento para cada una de las

¹ Dos equipos Mobile CASSY 2; dos sensores de temperatura de cable rango -50°C a 400°C; PC portátil; calorímetro de mezclas (vaso de Dewar con tapa acondicionada de aislante adiabático), soporte universal; pinza universal de agarre; mordaza; dos sistemas termodinámicos de masas de agua fría y agua caliente en el interior del calorímetro.

masas agua (fría y caliente) experimentales del estudio, lográndose determinar la temperatura de equilibrio térmico de ambos sistemas termodinámicos en referencia.



Figura 1: Fotografía de montaje e instalación de módulo experimental, Laboratorio de Física, UNC.

Resultados y Discusión

1. De la información registrada en los experimentos de cómo es la variación de temperaturas para los sistemas termodinámicos que buscan alcanzar el equilibrio térmico se realizaron las gráficas de dependencia de la Temperatura en función del tiempo (T vs. t) para cada uno de los sistemas respectivos, cuyos resultados se muestran en las figuras y sus tablas de datos siguientes.

1° Sistema termodinámico de masa de agua fría ($m_{\text{agua fría}} = 110,70 \text{ g}$, $T_{\text{inicial}} = 22,1 \text{ °C}$), variación de Temperatura (°C) versus Tiempo (s).

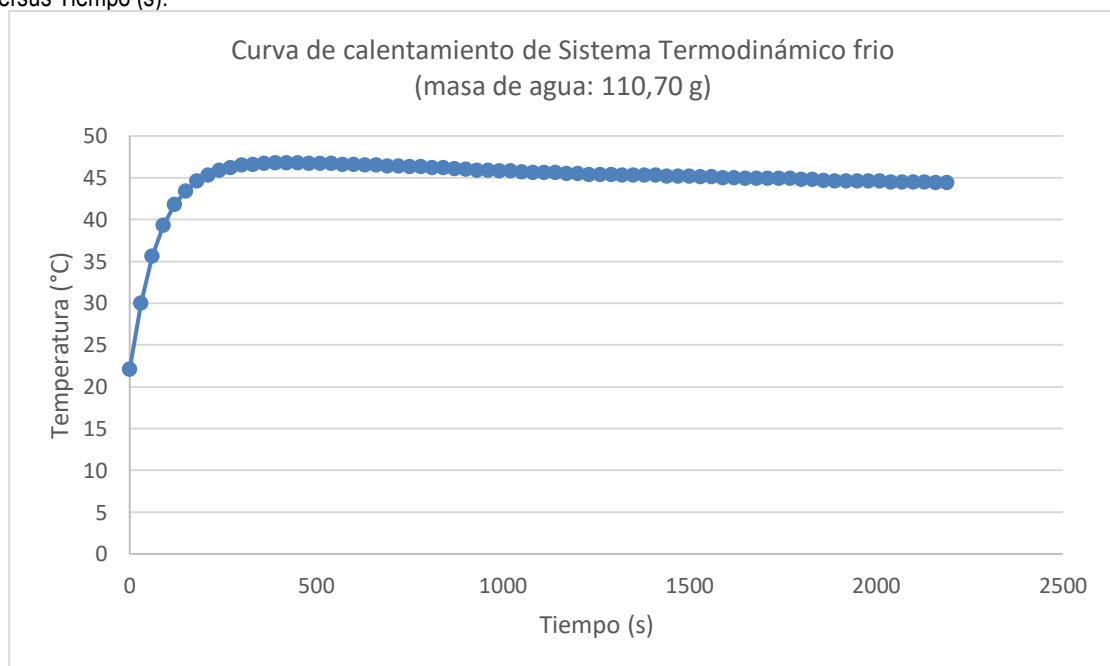


Figura 2: Gráfico de Temperatura versus Tiempo (T vs t); curva de calentamiento de masa de agua fría.

N°	t (s)	Temperatura θ_1 (°C)	N°	t (s)	Temperatura θ_1 (°C)
1	0	22.1	38	1110	45.6
2	30	30	39	1140	45.6
3	60	35.6	40	1170	45.5
4	90	39.3	41	1200	45.5
5	120	41.8	42	1230	45.4
6	150	43.4	43	1260	45.4
7	180	44.6	44	1290	45.4
8	210	45.3	45	1320	45.3
9	240	45.9	46	1350	45.3
10	270	46.2	47	1380	45.3
11	300	46.5	48	1410	45.3
12	330	46.6	49	1440	45.2
13	360	46.7	50	1470	45.2
14	390	46.8	51	1500	45.2
15	420	46.8	52	1530	45.1
16	450	46.8	53	1560	45.1
17	480	46.7	54	1590	45.0
18	510	46.7	55	1620	45.0
19	540	46.7	56	1650	44.9
20	570	46.6	57	1680	44.9
21	600	46.6	58	1710	44.9
22	630	46.5	59	1740	44.9
23	660	46.5	60	1770	44.9
24	690	46.4	61	1800	44.8
25	720	46.4	62	1830	44.8
26	750	46.3	63	1860	44.7
27	780	46.3	64	1890	44.6
28	810	46.2	65	1920	44.6
29	840	46.2	66	1950	44.6
30	870	46.1	67	1980	44.6
31	900	46.0	68	2010	44.6
32	930	45.9	69	2040	44.5
33	960	45.9	70	2070	44.5
34	990	45.8	71	2100	44.5
35	1020	45.8	72	2130	44.5
36	1050	45.7	73	2160	44.4
37	1080	45.6	74	2190	44.4

Tabla 1: Datos registrados de temperaturas (en °C) en el equipo Mobile-CASSY 2 para la generación de la curva de calentamiento del sistema termodinámico de masa de agua fría.

2° Sistema termodinámico de masa de agua caliente ($m_{\text{agua caliente}} = 86,30 \text{ g}$, $T_{\text{inicial}} = 72,8 \text{ °C}$), variación de Temperatura (°C) versus Tiempo (s).

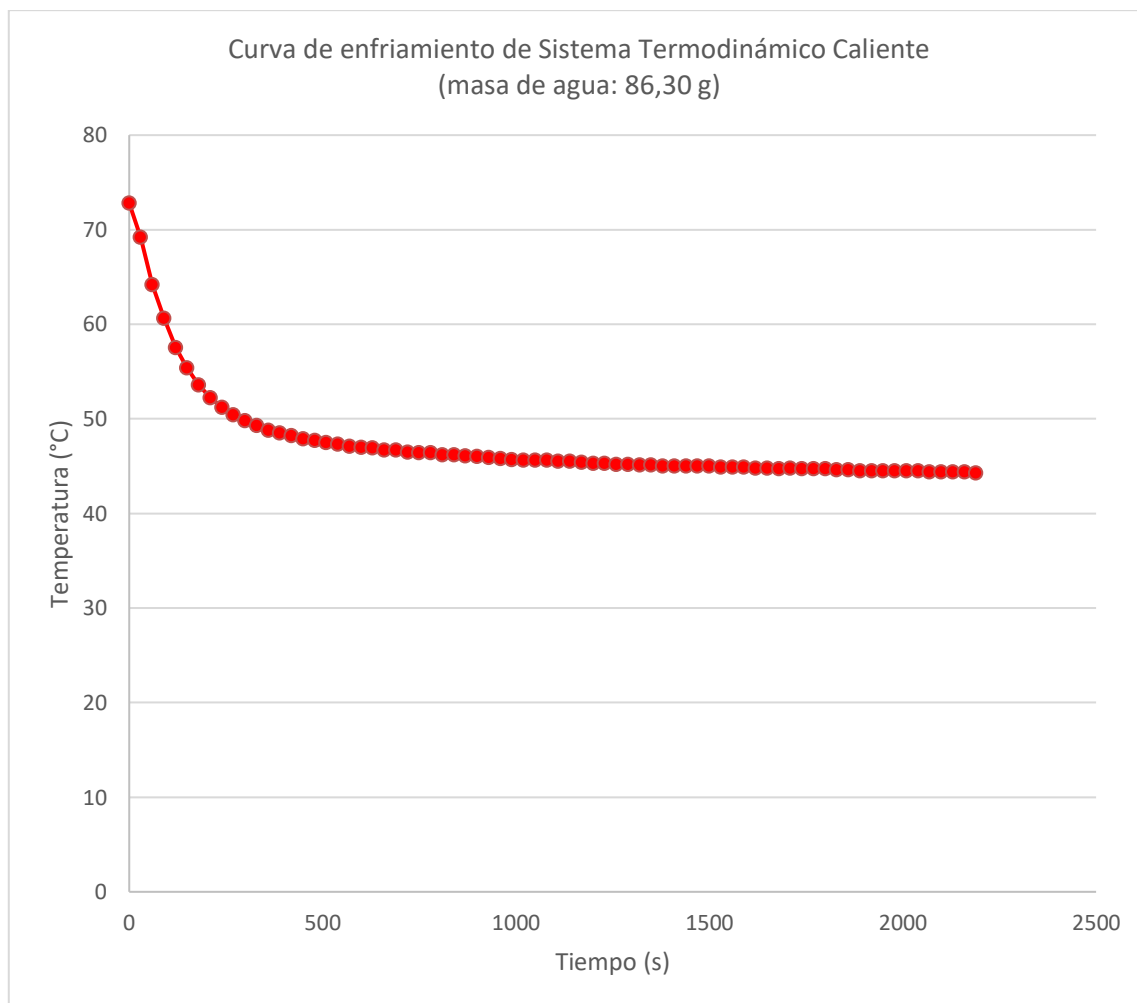


Figura 3: Gráfico de Temperatura versus Tiempo (T vs t); curva de enfriamiento de masa caliente.

N°	t (s)	Temperatura θ_1 (°C)	N°	t (s)	Temperatura θ_1 (°C)
1	0	72.8	38	1110	45.5
2	30	69.2	39	1140	45.5
3	60	64.2	40	1170	45.4
4	90	60.6	41	1200	45.3
5	120	57.5	42	1230	45.3
6	150	55.4	43	1260	45.2
7	180	53.6	44	1290	45.2
8	210	52.2	45	1320	45.1
9	240	51.2	46	1350	45.1
10	270	50.4	47	1380	45
11	300	49.8	48	1410	45
12	330	49.3	49	1440	45
13	360	48.8	50	1470	45
14	390	48.5	51	1500	45
15	420	48.2	52	1530	44.9
16	450	47.9	53	1560	44.9
17	480	47.7	54	1590	44.9
18	510	47.5	55	1620	44.8
19	540	47.3	56	1650	44.8
20	570	47.1	57	1680	44.7
21	600	47	58	1710	44.8
22	630	46.9	59	1740	44.7
23	660	46.7	60	1770	44.7
24	690	46.7	61	1800	44.7
25	720	46.5	62	1830	44.6
26	750	46.4	63	1860	44.6
27	780	46.4	64	1890	44.5
28	810	46.2	65	1920	44.5
29	840	46.2	66	1950	44.5
30	870	46.1	67	1980	44.5
31	900	46,0	68	2010	44.5
32	930	45.9	69	2040	44.5
33	960	45.8	70	2070	44.4
34	990	45.7	71	2100	44.4
35	1020	45.6	72	2130	44.4
36	1050	45.6	73	2160	44.4
37	1080	45.6	74	2190	44.3

Tabla 2: Datos registrados de temperaturas (en °C) en el equipo Mobile-CASSY 2 para la generación de la curva de enfriamiento del sistema termodinámico de masa de agua caliente.

3° Sistemas termodinámicos de masa de agua caliente ($m_{\text{agua caliente}} = 86,30 \text{ g}$, $T_{\text{inicial 2}} = \theta_2 = 72,8 \text{ °C}$) y de agua fría ($m_{\text{agua fría}} = 110,70 \text{ g}$, $T_{\text{inicial 1}} = \theta_1 = 22,1 \text{ °C}$), variación de Temperatura (°C) versus Tiempo (s).

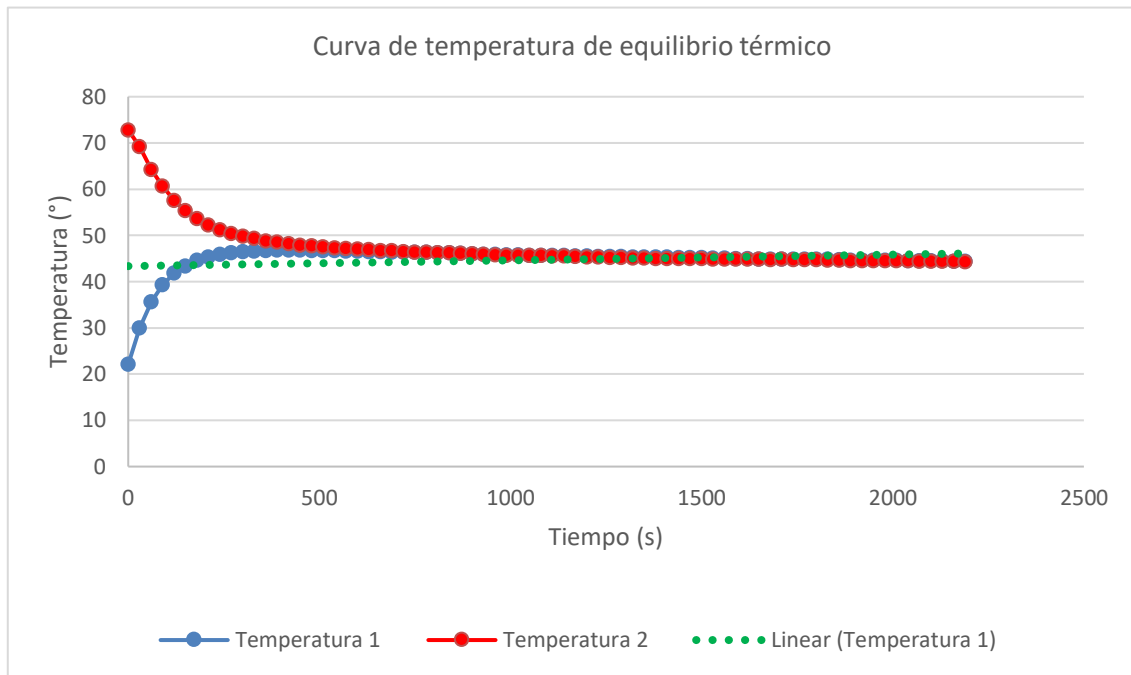


Figura 4: Gráfico de Temperatura versus Tiempo (T vs t); superposición de las curvas de enfriamiento y de calentamiento de los sistemas termodinámicos de masas de agua para determinar la temperatura de equilibrio térmico.

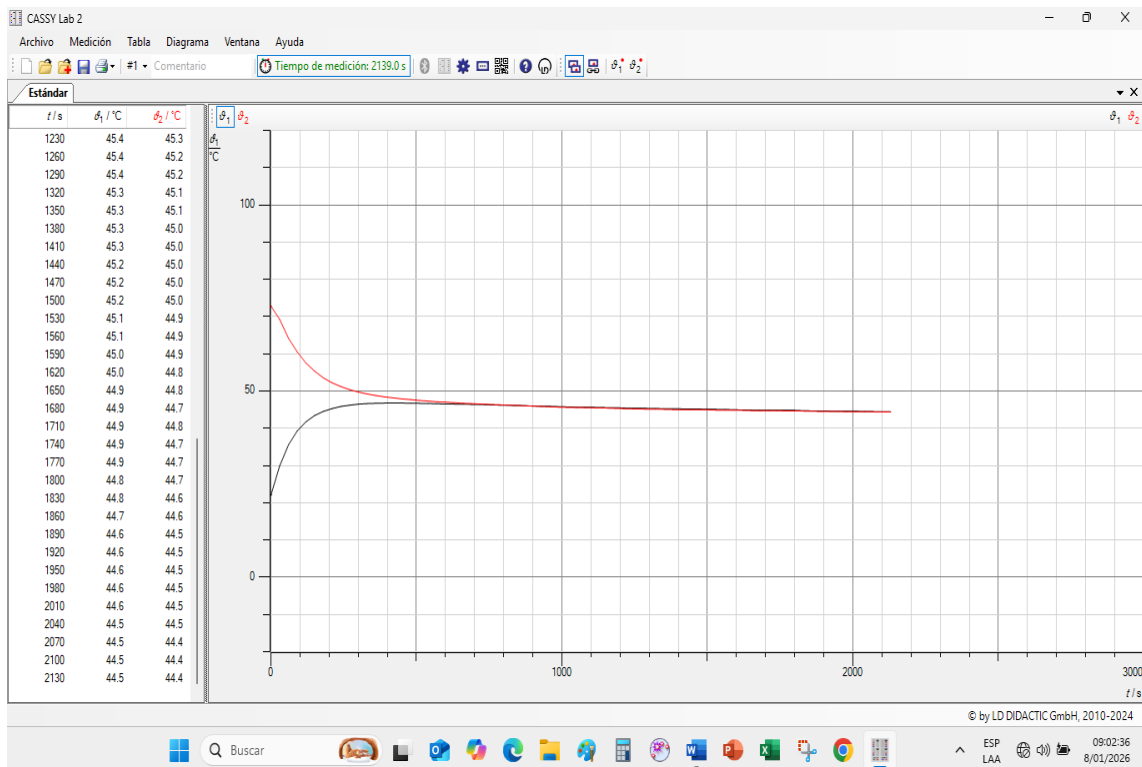


Figura 5: Gráfico de Temperatura versus Tiempo (T vs t) generado por el equipo Mobile CASSY 2; superposición de las curvas de enfriamiento y de calentamiento de los sistemas termodinámicos de masas de agua para determinar la temperatura de equilibrio térmico.

N°	t (s)	Temperatura θ1 (°C)	Temperatura θ2 (°C)	N°	t (s)	Temperatura θ1 (°C)	Temperatura θ2 (°C)
1	0	22.1	72.8	38	1110	45.6	45.5
2	30	30	69.2	39	1140	45.6	45.5
3	60	35.6	64.2	40	1170	45.5	45.4
4	90	39.3	60.6	41	1200	45.5	45.3
5	120	41.8	57.5	42	1230	45.4	45.3
6	150	43.4	55.4	43	1260	45.4	45.2
7	180	44.6	53.6	44	1290	45.4	45.2
8	210	45.3	52.2	45	1320	45.3	45.1
9	240	45.9	51.2	46	1350	45.3	45.1
10	270	46.2	50.4	47	1380	45.3	45
11	300	46.5	49.8	48	1410	45.3	45
12	330	46.6	49.3	49	1440	45.2	45
13	360	46.7	48.8	50	1470	45.2	45
14	390	46.8	48.5	51	1500	45.2	45
15	420	46.8	48.2	52	1530	45.1	44.9
16	450	46.8	47.9	53	1560	45.1	44.9
17	480	46.7	47.7	54	1590	45	44.9
18	510	46.7	47.5	55	1620	45	44.8
19	540	46.7	47.3	56	1650	44.9	44.8
20	570	46.6	47.1	57	1680	44.9	44.7
21	600	46.6	47	58	1710	44.9	44.8
22	630	46.5	46.9	59	1740	44.9	44.7
23	660	46.5	46.7	60	1770	44.9	44.7
24	690	46.4	46.7	61	1800	44.8	44.7
25	720	46.4	46.5	62	1830	44.8	44.6
26	750	46.3	46.4	63	1860	44.7	44.6
27	780	46.3	46.4	64	1890	44.6	44.5
28	810	46.2	46.2	65	1920	44.6	44.5
29	840	46.2	46.2	66	1950	44.6	44.5
30	870	46.1	46.1	67	1980	44.6	44.5
31	900	46	46	68	2010	44.6	44.5
32	930	45.9	45.9	69	2040	44.5	44.5
33	960	45.9	45.8	70	2070	44.5	44.4
34	990	45.8	45.7	71	2100	44.5	44.4
35	1020	45.8	45.6	72	2130	44.5	44.4
36	1050	45.7	45.6	73	2160	44.4	44.4
37	1080	45.6	45.6	74	2190	44.4	44.3

Tabla 3: Datos registrados de temperaturas (en °C) en el equipo Mobile-CASSY 2 para la generación de las curvas de enfriamiento y de calentamiento de los sistemas termodinámico de masa de agua y la obtención de la temperatura de equilibrio térmico (en figura 4).

2. De las curvas de calentamiento y enfriamiento de los sistemas termodinámicos. - En la parte experimental de laboratorio, los experimentos de intercambio de calor entre los sistemas termodinámicos de masas de agua caliente y agua fría fueron realizados en condiciones cerradas y aislados adiabáticamente hasta llegar al equilibrio térmico. La información registrada fueron los cambios de temperatura en función del tiempo, y se expresa en las tablas 1, 2 y 3 respectivas, con los valores de la temperatura en función del tiempo se elaboraron las gráficas de T vs. t (ver figuras 2, 3 y 4, respectivamente), resultando que estas gráficas tienen la misma forma a las obtenidas por el equipo de laboratorio durante la experimentación (ver figuras 5, respectivamente), en ellas se pueden observar los siguientes aspectos:

1º) La gráfica de enfriamiento del agua (fig. 2) tiene una pendiente ligeramente mayor a la curva de calentamiento del agua (fig. 3), eso significa que la masa del agua caliente se enfría más rápido que la masa de agua fría se calienta, esto podría ser debido a la rapidez de transmisión del calor por medio de la masa del aire atrapado en el sistema experimental, hasta llegar a la temperatura final o temperatura de equilibrio térmico de ambos sistemas termodinámicos presentes.

2º) Según la gráfica 4, y de los datos de la tabla 3, para los sistemas experimentales de agua caliente ($m_{\text{agua caliente}} = 86,30 \text{ g}$ y temperatura inicial de $72,8 \text{ }^\circ\text{C}$) y de agua fría ($m_{\text{agua fría}} = 110,70 \text{ g}$ y temperatura inicial de $22,1 \text{ }^\circ\text{C}$), se puede determinar que la temperatura final o temperatura de equilibrio térmico fue de $46,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

3º) Según la gráfica 4, y luego que los sistemas primarios de agua fría y agua caliente (y la masa de aire contenida) en el espacio cerrado del vaso experimental alcanzaran la temperatura de equilibrio térmico de $46,2 \text{ }^\circ\text{C}$ después de unos 15 minutos, éstos empiezan a bajar su temperatura lentamente llegando a bajar en promedio $2 \text{ }^\circ\text{C}$ en 20 minutos, lo cual explica que el sistema también intercambia calor con el medio externo o aire circundante que estaba a unos $20,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Conclusiones

Al aislar adiabáticamente en un recipiente cerrado dos sistemas termodinámicos compuestos por agua caliente ($m_{\text{agua caliente}} = 86,30 \text{ g}$) a temperatura inicial de $72,8 \text{ }^\circ\text{C}$ con agua fría ($m_{\text{agua fría}} = 110,70 \text{ g}$) a temperatura inicial de $22,1 \text{ }^\circ\text{C}$, dichos sistemas intercambian calor entre sí, y con la masa de aire atrapado, llegando ambos sistemas a una temperatura final o temperatura de equilibrio térmico de $46,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Agradecimiento

Mi agradecimiento muy especial a los docentes del Departamento Académico de Física de la Universidad Nacional de Cajamarca por su ayuda al permitir que la investigación se hiciera en el laboratorio y al personal de apoyo del proyecto con quienes formamos un excelente equipo de trabajo, que gracias a su apoyo y dedicación se logró desarrollar la presente investigación.

Referencias Bibliográficas

Alonso, M., & Finn, E. J., (1970). Física, vol. 1, Mecánica. México. Fondo Educativo Interamericano, S.A.

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). *Termodinámica* (8.ª ed.). México. McGraw-Hill Education.

Giancoli, Douglas C. (2008). Física para Ciencias e Ingeniería con Física Moderna. México: Pearson Educación, Inc., Cuarta edición.

Granados Samaniego, J., Tavera Romero, F., Velázquez Arcos, J. M., Cid Reborido, A., Zariñán Santiago, G., Hernández López, R. T., & Zariñán Santiago, L. I. (2017). *Dependencia temporal del equilibrio térmico de dos sistemas termodinámicos*. XXXII Congreso Nacional de Termodinámica, Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México.

Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2018). *Fundamentos de Física* (10.ª ed.). Estado Unidos. Wiley.

Holman, J. P. (2010). *Transferencia de calor* (10.ª ed.). México. McGraw-Hill.

Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2018). *Fundamentos de termodinámica técnica* (9.ª ed.). Wiley.

Rex, Andrew F., & Wolfson, Richard. (2011). *Fundamentos de Física*. Madrid, España. Pearson Educación, S.A.

Sears, F.W., Zemansky, M. W., Young, H. D. & Freedman, R. A. (2005). Física Universitaria, Volumen 1. México: Pearson Educación, Décimo primera edición.

Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2019). *Física para ciencias e ingeniería* (10.ª ed.). México. Cengage Learning.

Young, H. D., & Freedman, R. A. (2020). *Física universitaria con física moderna* (15.ª ed.). México. Pearson Educación. Segunda edición.