+Cuaderno de apuntes de Física Experimental

Academia de Física Experimental

Introducción

La asignatura Física Experimental, dentro de los planes de estudio 2015 para las carreras de Ingeniería Geofísica, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Mecatrónica, pretende como un primer intento coadyuvar en la formación científica de los alumnos al introducirlos en el estudio de algunos de los fenómenos físicos que todo estudiante de ingeniería debe conocer, comprender y saber interpretar a través de la experimentación.

En virtud de que el curso de Física Experimental fue adaptado a las necesidades propias de los alumnos de las carreras de ingeniería mencionadas en el párrafo anterior, fue necesario trabajar en este cuaderno de apuntes, que tiene la finalidad de apoyar tanto a los profesores como a los alumnos en el tratado general de los temas que se abordan en el programa de la asignatura. Este cuaderno de apuntes tiene la particularidad de definir los conceptos de forma sencilla y concreta, además de describir algunos fenómenos físicos donde la variables involucradas tienen un comportamiento lineal, y que permiten un modelado matemático sencillo, de tal suerte que esto facilita que los alumnos entiendan su comportamiento y puedan inferir la importancia de las actividades en el laboratorio: desde el diseño de los experimentos, el manejo de los instrumentos de medición para la toma de lecturas, el tratamiento y análisis de los datos experimentales, hasta la obtención de modelos gráficos, modelos matemáticos y la interpretación física que representan en el modelo teórico.

Para la realización de cualquier experimento de laboratorio, es conveniente seguir el método científico, ese que desde la educación básica se aborda en los libros de texto. En este sentido, cabe mencionar que la asignatura de Física Experimental tiene laboratorio integrado, por tanto, el mismo profesor de teoría impartirá las sesiones experimentales apoyándose de un manual de prácticas con el enfoque del método científico.

El manual de prácticas de laboratorio de Física Experimental fue diseñado con base en el contenido del programa de la asignatura y consta de doce prácticas distribuidas como se indica en la tabla de abajo.

Tema	**Prácticas**
Conceptos básicos de metrología.	Caracterización de un voltímetro analógico.
	Caracterización de un dinamómetro.
Mecánica clásica.	Movimiento uniformemente acelerado.
	Movimiento y energía en un plano inclinado.
Mecánica de fluidos.	Propiedades de las sustancias.
	Gradiente de presión.
Termodinámica.	Algunas propiedades térmicas del agua.
	Leyes de la Termodinámica.
Electromagnetismo.	Carga y corriente eléctricas.
	Fuerza magnética sobre un conductor.
Movimiento ondulatorio.	Movimiento ondulatorio.
Óptica geométrica.	Reflexión y refracción (transmisión) de la luz.

Cada una de las prácticas de laboratorio está estructurada de tal forma, que el estudiante pueda aplicar el método científico para reproducir, analizar y comprobar el comportamiento de algunos fenómenos de las diferentes áreas de la Física. El formato de las prácticas contempla, las medidas de seguridad en la ejecución de los experimentos, los objetivos de aprendizaje, la lista de materiales y equipos de medición a utilizar, las instrucciones para realizar los experimentos, los diagramas de conexión y las actividades que el alumno debe registrar y reportar en su informe de práctica, esto incluye, los modelos gráficos y matemáticos correspondientes, así como una serie de preguntas finales a manera de corroborar el aprendizaje por parte del alumno. Al final de cada práctica se incluyen algunas expresiones matemáticas relacionadas con el tema y que servirán de recordatorio durante el trabajo experimental. Por último, se sugieren algunos títulos de libros como bibliografía para que el alumno pueda profundizar en el tema de la práctica.

Debido a que el laboratorio de Física Experimental se encuentra certificado bajo la norma ISO9001:2015, en el proceso de impartición de prácticas, es importante la participación tanto del profesor como de los alumnos en las actividades que repercutan en el buen desempeño del Sistema de Gestión de la Calidad, que busca ante todo, brindar el mejor servicio a los alumnos en cuanto al buen estado de las instalaciones, la suficiencia de material y equipo y la garantía de contar siempre con el apoyo académico necesario para realizar el trabajo experimental. Todo esto en espera de ver reflejada una buena formación científica en los alumnos como parte esencial en su proceso de aprendizaje.

Profesores que apoyaron en la elaboración y revisión de estos apuntes.

Elizabeth Aguirre Maldonado
Luis Javier Acosta Bernal †
Eduardo Bernal Vargas
Juan Carlos Cedeño Vázquez
Alicia María Esponda Cascajares
Rigel Gámez Leal
Beatriz Eugenia Hernández Rodríguez
Gabriel Alejandro Jaramillo Morales
Mayverena Jurado Pineda
Lucía Yazmín Juárez de la Mora
Eduardo López Molina
M. del Carmen Maldonado Susano
María del Carmen Melo Díaz
Carlos Alberto Pineda Figueroa
María Ofelia Rodríguez Durán
Luis Andrés Suárez Hernández
Rafael Guillermo Suárez Nájera
Manuel de Jesús Vacio González
Fernando Vega Calderón
Alfredo Velásquez Márquez
Salvador Enrique Villalobos Pérez

5. Termodinámica

Objetivo: El alumno determinará experimentalmente la capacidad térmica específica de algunas sustancias, mediante la aplicación de la primera ley de la termodinámica para sistemas cerrados y aislados.

5.1 Campo de estudio de la Termodinámica Conceptos de temperatura, equilibrio térmico, calor como transferencia de energía, energía interna y capacidad térmica específica. Sistemas termodinámicos abierto, cerrado y aislado.

5.1.1 Campo de estudio de la Termodinámica

Pensemos en un día bajo el sol en el que el aumento de temperatura provoca que gotas de sudor corran por la frente, un día de invierno en el que la temperatura desciende tanto que se nos dificulta respirar, en la forma que adoptan mezclas dulces al convertirse en paletas de hielo o el vapor que durante un baño caliente empaña los espejos que se encuentran cerca. Todo ello, como consecuencia de cambios de temperatura, suministro y rechazo de calor, y cambios de fase, la cual, busca el equilibrio para poder producir energía en diferentes formas.

La termodinámica, cuyo significado etimológico proviene de dos léxicos griegos, el primero de ellos *thermo* (caliente), el siguiente *dinamis* (fuerza) y del *ico* (relativo a), estudia las transformaciones de energía y la generación de trabajo a través de las mismas. El término termodinámica, también fue acuñado por Lord Kelvin en 1854, quien lo concebía como el estudio de la "acción dinámica del calor". Su origen se encuentra en el estudio del trabajo mecánico de las máquinas de vapor como el resultado del flujo de calor.

El estudio de la Termodinámica brinda la oportunidad de estudiar los efectos que las diferencias de temperatura y la transferencia de calor provocan para poder utilizar ello como una herramienta de manipulación o generación de diversas fuentes de energía, con lo cual consecuentemente se aprovechan en mayor medida los recursos naturales o aquellos que son producidos por el hombre.

La Termodinámica es una de las áreas más importantes de la Ingeniería. Es una ciencia que comprende el estudio de las transformaciones de energía y las relaciones entre las diferentes propiedades físicas de las sustancias que sufren dichas transformaciones. Entre otras cuestiones la termodinámica se ocupa de analizar los efectos que producen los cambios de propiedades como la temperatura, la densidad, la presión, la masa, el volumen, en los sistemas a un nivel macroscópico.

5.1.2 Temperatura

La temperatura de un cuerpo es una medida de su energía molecular, respecto a cierto nivel térmico de referencia, de otro cuerpo. También se puede considerar como una magnitud física, que sirve como referencia para conocer la cantidad de energía cinética de las partículas que posee un cuerpo, una de las formas más sencillas de comprender su significado es a través de la experimentación, para ello se han desarrollado diferentes dispositivos tales como termómetros, calorímetros, entre

otros y escalas de medición que permiten distinguir el nivel de energía cinética promedio de las partículas que posee un objeto. Por ejemplo, al calentar agua contenida en una olla utilizando la estufa, se inicia con una temperatura X, conforme pasa el tiempo el cuerpo absorbe energía debido a la flama y en un tiempo posterior, el agua aumenta su temperatura, por lo que su energía no es la misma que al inicio. Entonces, ha existido un cambio energético en el cuerpo.

La temperatura no puede medirse directamente, como consecuencia, en los dispositivos de medición debe aprovecharse el efecto que la temperatura tiene sobre otras propiedades, como la dilatación térmica de los materiales o el cambio en las variables dentro de estos sistemas, por ejemplo, un aumento o disminución en la presión.

La temperatura es una cantidad intensiva, es decir, no depende de la cantidad de masa. Esto es, al medir la temperatura del agua contenida en un vaso ésta puede tener el mismo valor que el agua contenida en una alberca cuando son medidas bajo las mismas condiciones, por ejemplo, en condiciones del medio ambiente.

5.1.3 Equilibrio térmico

Seguramente has calentado líquido que al no beber al instante se "enfría", este enfriamiento ocurre porque al interactuar con el ambiente, se ha transferido energía del cuerpo con mayor temperatura hacia aquellos con menor temperatura, en este caso los de menor temperatura pudieron ser, el aire, una mesa, la misma taza que lo contiene y todo aquello que este en contacto con el líquido caliente. El equilibrio térmico es una situación en la que, si dos objetos se colocan en contacto térmico, éstos no intercambian, lo cual sucede porque ambos tienen el mismo nivel de energía cinética promedio.

Lo anterior fue plasmado en un enunciado conocido como *ley cero de la termodinámica*: Si dos objetos A y B están por separado en equilibrio térmico con un tercer objeto C, entonces A y B están en equilibrio térmico entré sí.

Considerando, por ejemplo, que el cuerpo C es un termómetro, al medir la temperatura de A con C y aparte, medir la temperatura de B con C, en equilibrio térmico, ambas lecturas deben ser iguales. Entonces, si el cuerpo A se pusiera en contacto con el cuerpo B no habría entre ellos intercambio alguno de energía, porque ellos estarían en equilibrio térmico entre sí, como se observa en la figura 5.1.

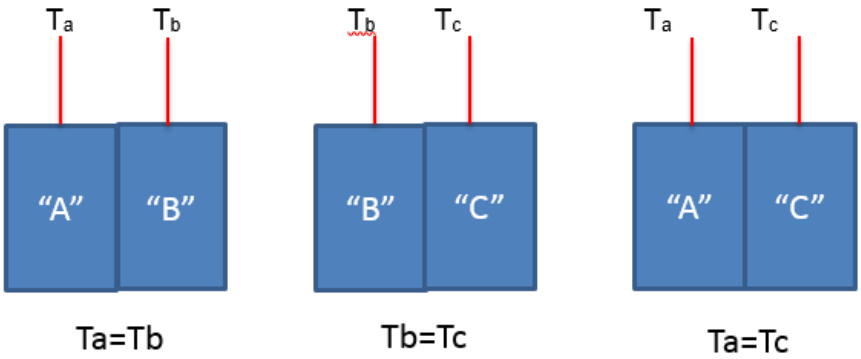


Figura 5.1. Equilibrio térmico.

5.1.4 Calor como transferencia de energía

Cuando un cuerpo se coloca en un medio que está a una temperatura diferente, la transferencia de energía tiene lugar entre el cuerpo y el medio hasta que se establece el equilibrio térmico, es decir, cuando ambos alcanzan la misma temperatura. La dirección de la transferencia de energía es siempre del cuerpo con mayor temperatura al de menor temperatura. Una vez establecida la igualdad de temperatura, termina la transferencia de energía. En este proceso se afirma que, debido a una diferencia de temperaturas, la energía se transfiere en forma de calor.

El calor se define como una forma de energía en transición, que se transfiere entre sistemas debido a una diferencia de temperatura y se reconoce sólo cuando cruza la frontera de un sistema, entonces el flujo de calor se interpreta como transferencia de energía térmica. La transferencia de calor hacia un sistema se conoce como adición de calor mientras rechazo de calor es la transferencia hacia el exterior.

Existen tres mecanismos diferentes por los cuales ocurre la transferencia de calor, como se muestra en la figura 5.2.

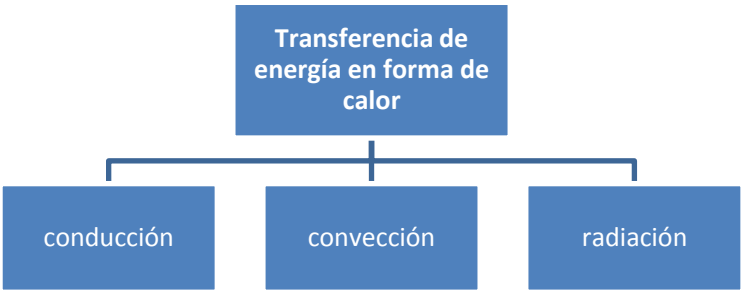


Figura 5.2. Formas de transferencia de energía.

La *conducción* comúnmente mente se lleva a cabo en solidos debido a la estrecha interacción entre las moléculas que transmiten su energía cinética a las adyacentes.

La convección ocurre entre líquidos y gases, cuando las moléculas reciben la energía de una fuente y se expanden; esto ocasiona una reducción en la densidad de tal manera que el gas o líquido tiende a subir de nivel dejando espacio para que otro volumen de gas o líquido con mayor densidad lo ocupe.

La *radiación* es la propagación en forma de ondas electromagnéticas, al existir una vibración de las moléculas de la sustancia, si una molécula vibra hasta su carga eléctrica se mueve con alta velocidad, esto genera un campo eléctrico variable en el tiempo mismo que tiene asociado a campo magnético, estableciendo así la onda electromagnética.

5.1.5 Energía interna

Las moléculas individuales de un líquido o gas se mueven de un lugar a otro, giran y vibran al desplazarse. En un sólido, las moléculas están relativamente inmóviles, aunque pueden vibrar. A consecuencia de tales movimientos, que no tienen nada que ver con el movimiento global de un objeto macroscópico, las moléculas individuales tienen energía cinética. Además, tienen energía potencial, que se relaciona con las fuerzas que actúan entre los átomos que constituyen las moléculas. La suma de los distintos tipos de energía molecular se denomina energía interna de la sustancia. La energía interna de un sistema es la suma de todas las energías cinéticas y potenciales de todos sus componentes, por lo tanto, la energía interna de un material aumenta cuando se incrementa la temperatura del material y disminuye cuando baja la temperatura.

Una manifestación de la energía interna es el calor. El calor fluye de un objeto caliente a con temperatura elevada a uno con baja temperatura. Es por ello por lo que un recipiente con agua en ebullición se siente caliente cuando se toca, en tanto que un vaso de agua helada se siente frío. Lo que sucede en esta situación es que el cuerpo de una persona mantiene su propia temperatura muy próxima a 37°C, que es menor que la temperatura del agua de ebullición, pero mayor que la del agua helada. Por lo tanto, el calor puede ser descrito como la energía que fluye de un objeto a alta temperatura a un objeto de baja temperatura, debido a la diferencia de temperaturas; entonces los cuerpos o sustancias no contienen calor, sino que contienen energía interna y el término calor hace referencia a energía en tránsito. La unidad de medida del calor en el SI es el joule (J).

La energía interna es la energía asociada a la estructura interna del sistema, es decir la suma de todas las energías contenidas en el mismo, como la energía cinética y la energía potencial gravitatoria.

5.1.6 Capacidad térmica específica

Observamos que para materiales distintos se requieren distintas cantidades de calor para elevar la temperatura de una masa dada de una temperatura 1 (T_1) a una temperatura 2 (T_2). Cuando comemos una sopa caliente, podemos notar que el líquido más cercano a las paredes del recipiente tiene una temperatura diferente con respecto del que se halla al centro o que cuando comemos un helado, lo más cercano a las paredes se derrite más rápido.

Joseph Black fue el primero en darse cuenta de que el aumento de temperatura de un cuerpo podría usarse para determinar la cantidad de calor absorbido por éste. Si una cantidad de calor (Q) produce un cambio de (ΔT) en la temperatura del cuerpo su capacidad térmica se define:

$$capacidad\ térmica\ (C) = \frac{Q}{\Delta T}$$

Sus unidades en el Sistema Internacional son $\left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{K}}\right]$

El flujo de calor es proporcional a la masa y a la variación de temperatura: $\mathrm{Q} \propto \mathrm{m}\Delta\mathrm{T}$, es decir $\mathrm{Q} = \mathrm{mc}\Delta\mathrm{T}$, donde m es la masa de la sustancia, ΔT la variación de temperatura y c es una constante de proporcionalidad característica de cada sustancia. A este tipo de energía en forma de calor que provoca un incremento en la temperatura de la sustancia se le conoce como calor sensible.

Las sustancias difieren una de las otras en la cantidad de calor que se necesita para producir una elevación de temperatura dada a una masa determinada dada. En Termodinámica, esta constante de proporcionalidad c recibe el nombre de capacidad térmica específica. De la ecuación anterior se deduce que:

$$\text{capacidad térmica específica (c)} = \frac{Q}{m\,\Delta T}$$

La capacidad térmica específica de una sustancia se define como la cantidad de calor necesaria para elevar en una unidad de temperatura de una masa unitaria de dicha sustancia. Como esta propiedad está definida para una masa fija de sustancia, quiere decir que es una propiedad intensiva. Las unidades en que se expresa la capacidad térmica específica en el Sistema Internacional son $\left[\frac{J}{kg\,K}\right]$.

Existe otra clasificación de la de energía en forma de calor en donde las sustancias cambian de fase y mientras esto ocurre, la temperatura se mantiene constante. A esta forma de energía se le conoce como calor latente y en un curso más completo de Termodinámica, se analiza con detalle.

5.1.7 Sistemas termodinámicos

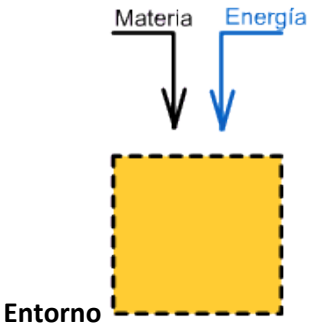
Para facilitar el análisis del medio, es necesario delimitar regiones que involucran las variables de interés que interactúan o forman parte de un objeto de estudio, por ello se han definido sistemas termodinámicos.

Un sistema se define como una cantidad de materia o región en el espacio que es elegida para su análisis. La masa o región fuera del sistema se conoce como entorno o alrededores, la superficie real o imaginaria que separa el sistema de los alrededores se llama frontera y esta puede ser fija o móvil. Existen tres diferentes formas de marcar la delimitación (los sistemas) y cuentan con las siguientes características:

Sistema abierto: también llamado volumen de control es una región elegida en el espacio en que tanto la masa como la energía cruzar la frontera e intercambiarse con su entorno. Las fronteras de un volumen de control se conocen como superficies de control y pueden ser reales o imaginarias.

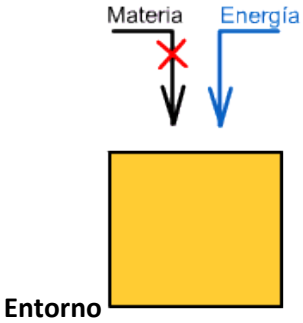
Un gran número de problemas de ingeniería están relacionados con el flujo de masa dentro y fuera del sistema y por lo tanto se modelan como volúmenes de control. En general, cualquier región arbitraria en el espacio se puede seleccionar como volumen de control, no hay reglas concretas para la selección, pero elegir una apropiada puede facilitar el análisis.

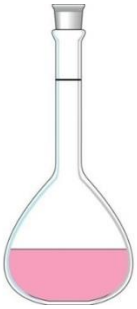
Esquema *Ejemplo*



Sistema cerrado: conocido también como masa de control, consta de una cantidad fija de masa y la energía en forma de trabajo o calor puede cruzar la frontera, es decir, es aquel en el que existe un intercambio de energía, pero no de materia con el entorno. El volumen de un sistema cerrado no necesariamente es fijo.

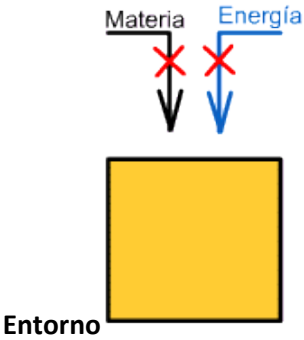
Esquema *Ejemplo*





Sistema aislado: en aquel en el que no hay intercambio de energía, ni tampoco, intercambio de materia con el entorno.

Esquema *Ejemplo*



5.1.8 Primera ley de la Termodinámica.

Se basa en el principio de conservación de la energía, relaciona el calor, la energía y el trabajo en un sistema. La primera ley indica que la energía no se puede crear ni destruir, solo cambiar de forma, por lo que por pequeña que sea una cantidad de energía presente, debe ser justificada durante el proceso.

Ningún sistema puede cambiar su cantidad de energía sin que exista algún proceso sobre él. Es por ello por lo que la cantidad de energía cambiara si existe algún elemento que los afecte, de forma concreta, la energía aumenta o disminuye si existe energía que se transite entre la frontera del sistema. El tránsito de la energía solo se puede lograr mediante el calor y el trabajo.

Lo anterior esta expresado en la primera ley de la termodinámica.

$$\boldsymbol{W + Q = E_{final} - E_{Inicial} = \Delta E}$$

donde:

$W\ representa\ el\ trabajo\ (energía\ en\ tránsito)$

$Q\ representa\ el\ calor\ (energía\ en\ tránsito)$

$E_{final}\ representa\ el\ estado\ final\ de\ energía\ del\ sistema$

$E_{inicial}\ representa\ el\ estado\ inicial\ de\ energía\ del\ sistema$

$\Delta E\ representa\ el\ cambio\ de\ energía\ en\ el\ sistema$

Otra forma de explicar la ley anteriormente descrita es mencionando que para que exista un cambio en la cantidad de energía del sistema que ha sido determinado, la energía requiere de la transferencia de energía en forma de calor o trabajo.

5.2 Registro y tabulación de las variables variación de energía interna y temperatura.

Una masa de 150 g de agua dentro de un vaso de Dewar que recibirá energía en forma de calor mediante una resistencia de inmersión integrada en la tapa, sobre la cual se introduce también un termómetro de mercurio y un agitador para homogeneizar la mezcla. Si tomamos algunas mediciones, a partir de que se cierra el circuito, se obtiene algo similar a lo siguiente:

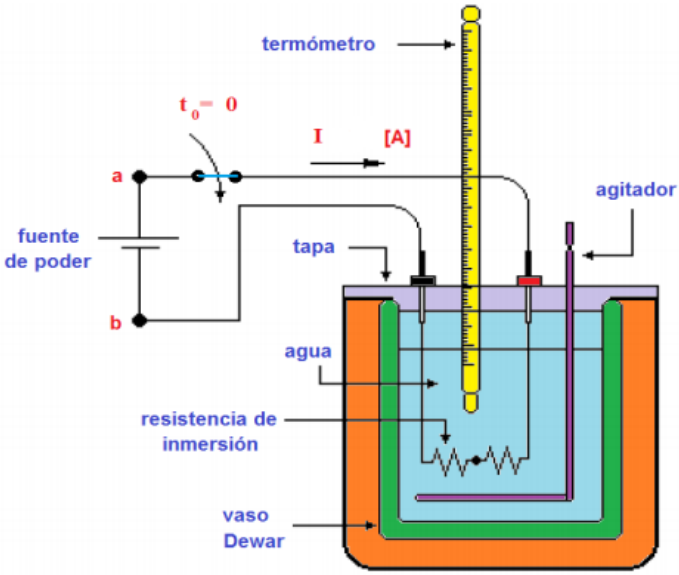


Figura 5.3. Sistema termodinámico cerrado

La expresión matemática empleada para calcular el calor suministrado en función de la potencia asociada a la resistencia de inmersión es:

$$Q_{sum} = P(\Delta t) = Vab(I)(\Delta t)$$

T [°C]	ΔT	Δt_1 [s]	Δt_2 [s]	Δt[s]	V_{ab}	I [A]	$Q_{sum}[J]$
$T_0 = 21$	0	0	0	0	5.3	2.47	0
23	2	87	105	96	5.3	2.47	1256.73
25	4	195	204	199.5	5.3	2.47	2611.65
27	6	307	317	312	5.3	2.47	4084.392
29	8	425	438	431.5	5.3	2.47	5648.76
$T_5 = 30$	10	545	555	550	5.3	2.47	7200.05

donde:

$T \triangleq$Temperatura de la masa del agua

$\Delta T \triangleq$ Incremento en la temperatura inicial del agua: $T_i - T_0$; $1 \leq i \leq 5$ debido a la energía suministrada.

$\Delta t \triangleq$ Lapso que ha transcurrido desde$t_0 = 0$ en que se cerró el interruptor del circuito hasta el instante de cada medición.

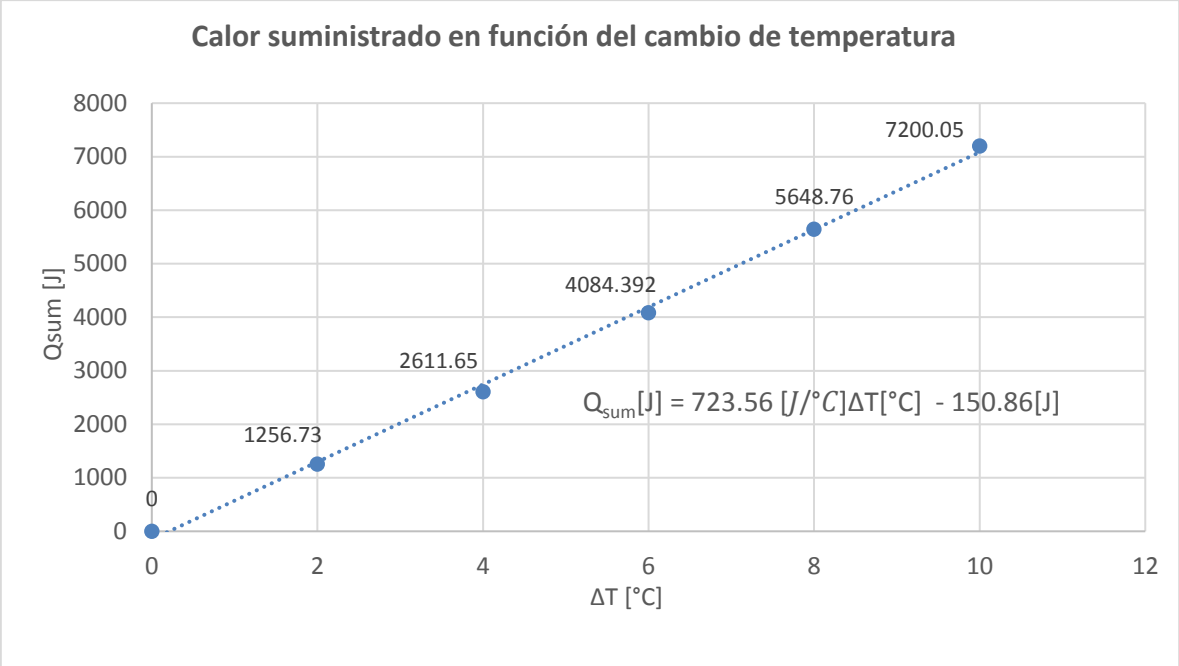
$Vab \triangleq$ Diferencia de potencial.

$I \triangleq$ Intensidad de corriente.

$Q_{sum} \triangleq$ Energía en forma de calor suministrada desde $t_0 = 0$ hasta alcanzar la temperatura T_i.

5.3 Ecuación de una línea recta que represente los valores experimentales. Significado físico de la pendiente de la recta obtenida.

Empleando los valores de ΔT y de Q_{sum} obtenidos en la tabla anterior, se observa un comportamiento lineal como se muestra en la gráfica siguiente:



Aplicando el método de la suma de cuadrados mínimos a los datos de la segunda columna (ΔT) y de la última columna que representa el calor suministrado, se obtiene el modelo matemático del calor suministrado en función del incremento de temperatura del agua, resultando:

$$Q_{sum}[J] = 723.55\left[\frac{J}{°C}\right](\Delta T[°C]) - 150.826[J]$$

El significado físico de la pendiente es la capacidad térmica, lo que significa que ésta se mantendrá constante y a partir de este valor es posible obtener la capacidad térmica específica de la sustancia que se utiliza.

5.4 Prueba del modelo y su aplicación en la determinación de la capacidad térmica específica de una sustancia y en la solución de problemas de calorimetría.

Para probar el modelo se calcula la capacidad térmica específica de la sustancia, a partir de la pendiente del modelo matemático anterior, empleando la expresión matemática siguiente:

$$Q = mc\Delta T \;\rightarrow\; c = \frac{Q}{m\,\Delta T}$$

$$c = \frac{1256.73\ [J]}{(0.15\ [kg])(296 - 294\ [K])} = 4189.1\ \left[\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{kg}\cdot\mathrm{K}}\right]$$

Bibliografía:

I. SERWAY, Raymond A. JEWETT, John W. *Capítulo 19. Temperatura*. Física para ciencias e ingeniería. Volumen 1. CENGAGE Learning.

II. *Fundamentos de termodinámica*. Universidad Autónoma de Madrid. Disponible en: <http://joule.qfa.uam.es/beta-2.0/temario/introduccion/introduccion.php>.

III. BROWN, Theodore L. *et. al. Química La ciencia central*. PEARSON Educación. Décimo primera edición. México, 2009.

IV. Equilibrio mecánico y térmico. Presión y temperatura. (GIE). Departamento de física aplicada III. Universidad de Sevilla. 14 de febrero de 2016. Formato: web. Disponible en: <http://laplace.us.es/wiki/index.php>.

V. AGUIRRE, Elizabeth, et al. Manual de prácticas de Laboratorio de Física Experimental. Disponible en: <http://dcb.ingenieria.unam.mx/index.php/coordinaciones/fisica-quimica/fisica/fisica-experimental>.