

EXPERIMENTO 10

Equivalente mecánico del calor

Objetivos

- * Estudiar la relación entre calor y trabajo mecánico.
- * Estimar el equivalente mecánico del calor.

Introducción

El experimento de Joule para determinar el *equivalente mecánico del calor* fue uno de los primeros procedimientos que permitieron posteriormente formular la primera ley de la termodinámica. Con este, Joule determinó una unidad de conversión entre Joules (asociados a energía mecánica) y calorías (asociados a energía térmica); mostrando que el trabajo ejercido en un sistema es equivalente a la energía térmica en la cual se transforma. En el experimento a desarrollar se tiene un sistema diferente al experimento de Joule para determinar el equivalente mecánico del calor, el cual consiste de una polea de aluminio o cobre que rota sobre su propio eje y se calienta por fricción al contacto con una cuerda fija atada a una masa conocida. Ver figura 10.1.

Materiales

- * Rodillo de aluminio giratorio con soporte, interfaz Arduino y termómetro incorporado
- * Dos pesas de 2 kg y una de 1 kg
- * Cuerda
- * Calibrador
- * Balanza
- * Computador con software Arduino y con LoggerPro
- * Termómetro digital

Teoría

El rodillo de metal (aluminio y cobre), considerado como el sistema termodinámico a estudiar, intercambia calor con el medio circundante y se realiza trabajo sobre él

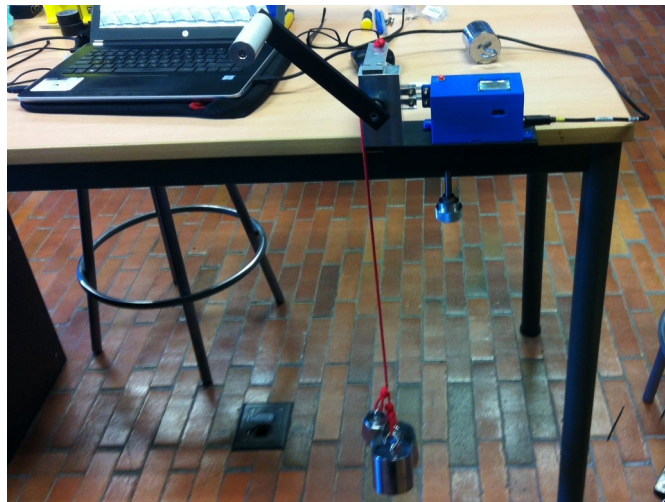


Figura 10.1: Montaje experimental.

mediante la cuerda que lo enrolla por fricción; esta cuerda genera calor que absorbe el rodillo incrementando su energía interna. Si el rodillo da N vueltas alrededor de su eje y si Q_a , W_N y ΔU_N son respectivamente el calor intercambiado con el ambiente, el trabajo realizado sobre el sistema después de dar N vueltas alrededor de su eje y el cambio de energía interna del cilindro, de acuerdo a la primera ley de la termodinámica, se tendrá que

$$\Delta U_N = Q_a + W_N. \quad (10.1)$$

Suponiendo que el calor que el sistema intercambia debido su interacción con sus alrededores se puede minimizar mediante técnicas experimentales, se puede escribir la primera ley como

$$\Delta U_N = W_N. \quad (10.2)$$

La ecuación (10.2) revela que el calor generado del trabajo hecho por la fricción de la cuerda sobre el rodillo es usado para aumentar su energía interna, reflejándose en un aumento de la temperatura. Este cambio de energía interna puede calcularse si se mide el cambio de temperatura del sistema. Entonces, si el trabajo W_N se mide en Joules y ΔU_N en calorías, un cociente entre estas dos cantidades daría el equivalente mecánico del calor (la conversión de Joules a calorías). Si se denomina al equivalente como η , entonces de su definición se tiene que

$$\eta = \frac{W_N}{\Delta U_N}. \quad (10.3)$$

Material	Calor específico [cal/g K]
Aluminio	0.215
Cobre	0.0923

Tabla 10.1: Tabla de calores específicos de algunos materiales

Note que si W_N y ΔU_N están en las mismas unidades η debería ser igual a 1. En este experimento mediremos W_N en Joules y ΔU_N en calorías, por lo que η nos daría la equivalencia entre Joules y kilogramos.

Solo resta calcular el trabajo hecho sobre el rodillo W_N y el cambio de la energía interna ΔU_N en función del número de vueltas N que da este. El trabajo en cuestión se calcula asumiendo que la tensión T de la cuerda es constante e igual al peso suspendido en ella:

$$T = Mg, \quad (10.4)$$

donde M es la masa suspendida. Si N el número de vueltas que este da alrededor de su propio eje, entonces el trabajo será igual al producto del torque desarrollado por la tensión alrededor del eje del rodillo ($MgD/2$, donde D es el diámetro del rodillo) y del desplazamiento angular neto que experimenta ($2\pi N$). Por lo tanto,

$$W_N = \pi N(Mg)D. \quad (10.5)$$

El cambio de energía interna experimentado por el rodillo se determina a partir de su capacidad calorífica y del incremento de temperatura que sufre durante el proceso. Si T_0 y T_N son las temperaturas inicial y después de que el rodillo gire N vueltas alrededor de su eje, m_r su masa y c_r su calor específico, entonces el cambio de energía interna es igual a

$$\Delta U_N = m_r c_r (T_N - T_0). \quad (10.6)$$

Procedimiento

⚠ Advertencia: Tenga cuidado de no dejar caer las pesas al suelo, pues podría lastimar sus pies o los de otra persona.

Nota: Los rodillos deben ser enfriados al menos 5°C por debajo de la temperatura ambiente antes de ser usados. Antes de acoplar el rodillo al montaje asegúrese que está seco. Revise que el rodillo entra completamente en el mecanismo y que hace contacto con las láminas de metal, estas servirán para medir la temperatura del cilindro al medir su resistencia eléctrica.


- * Enrolle la cuerda alrededor del rodillo de manera tal que dé tres vueltas.



Figura 10.2: Vista superior del mecanismo de adquisición. Se ve la pantalla con lectura de temperatura y número de vueltas. El botón rojo reinicia el contador de vueltas.

- * Mida la masa, en kilogramos, de las pesas disponibles, regístrela y cuelgue dichas pesas en el extremo de la cuerda. No supere los 2kg.

Nota: Verifique la cuerda no entre en contacto con la mesa, pues el rozamiento alteraría su experimento. Durante la toma de datos las masas no deben oscilar.

- * Mida la masa (en gramos) y el diámetro del rodillo (en milímetros) y regístrelas. Usted tendrá disponible una réplica del rodillo para ello.
- * Reinicie el contador de la interfaz de adquisición presionando el botón rojo del sistema, que se muestra en la figura 10.2.
- * Conecte el montaje al computador via USB. Ejecute el software *Arduino*  que se encuentra en el escritorio. En el software vaya a la pestaña Herramientas y verifique que en el puerto diga COM5 (Arduiono/Genuino Uno). Luego, en la misma pestaña seleccione Monitor Serie. Se desplegará una ventana en blanco en donde, a medida que usted gire la manivela registrará datos de temperatura y número de vueltas.
- * De una vuelta a la manivela para que aparezca la temperatura inicial en el programa. Verifique que esta temperatura sea correcta y de un par de vueltas más para verificar que el contador funciona correctamente.
- * *Toma de datos:* Registre la temperatura inicial T_0 del rodillo y la temperatura ambiente T_a , la temperatura inicial debe ser al menos 5°C menor que la ambiente. Comience a girar el rodillo. No lo haga ni muy rápido y tampoco lento; hágalo a un ritmo lo más constante posible. El software registrará automáticamente y en vivo el número de vueltas dadas y la temperatura del rodillo. Si ha girado el rodillo 5 vueltas

y el software no ha registrado datos, revise conexiones y/o consulte al profesor. Realice este proceso de forma continua hasta alcanzar una temperatura final $T_f = T_a + (T_a - T_0)$, es decir, si empezó a una temperatura 5°C menor al ambiente, debe llegar a una temperatura 5°C mayor a la ambiente. Registre este valor y el número total de vueltas.

Nota: La temperatura del rodillo debe subir gradualmente. Si en algún momento la temperatura tiene lecturas inesperadas, por ejemplo mayores a 50°C o negativas, siga girando el rodillo, esto se debe a que el rodillo pierde momentáneamente el contacto con las láminas de metal. Si el problema persiste por más de 10 vueltas notifique a su profesor o a un auxiliar de laboratorio.

- * Compare el valor experimental con el valor esperado de $\eta_{\text{Esperado}} = 4.184 \frac{\text{J}}{\text{cal}}$. Discuta y comente sus resultados.
- * Explique el porqué de la discrepancia entre el equivalente medido y entre el equivalente aceptado.
- * Al terminar la adquisición de datos, seleccione todos los datos (**Ctrl+A**) copie estos datos usando el comando **Ctrl+C** y péguelos en *Logger Pro* usando el comando **Ctrl+V**.

Análisis cualitativo

- * Durante el procedimiento se eligió la temperatura final como $T_f = T_a + (T_a - T_0)$. Con esto se reduce el error debido al término Q_a , el intercambio de calor del cilindro con el ambiente. Explique con detalle por qué.
- * Indique otros procesos térmicos que ocurren durante el calentamiento del rodillo.
- * Si usted girase lenta o rápidamente el rodillo, ¿cómo sería su aumento de temperatura? Responda para ambas situaciones.
- * Idee una manera para controlar el calor que el rodillo emite al exterior.

Análisis cuantitativo

- * Use la ecuación (10.5) y calcule el trabajo hecho sobre el rodillo cuando se dieron N vueltas. Para esto agregue una columna calculada. En otra columna calculada calcule la incertidumbre.
- * Use la ecuación (10.6) y calcule el cambio de energía interna experimentado por el rodillo cuando se calentó hasta llegar a T_N . Agregue una columna calculada. En otra columna calculada estime la incertidumbre de ΔU_N .
- * Haga una gráfica de trabajo contra energía interna, no olvide incluir las barras de error. Haga una regresión lineal y estime el equivalente mecánico del calor junto a su incertidumbre.