

# Física Térmica

## Práctica 3: Equivalente mecánico del calor

Jesús González Abril, Juan Antonio Molina Blázquez, Manuel Pividal Otero

Profesor Pablo de Vera

25/02/2025

### 1. Objetivos

Comprobación de la equivalencia entre trabajo y calor y medida de la relación entre caloría y Julio.

### 2. Introducción

En esta práctica se dispone de una cinta enrollada en torno a un cilindro de aluminio de radio  $R$ , estando este montado sobre un eje rotatorio  $O$ , tal y como muestra la figura. La cinta queda sujeta a la mesa por un extremo y libre por el opuesto, donde cuelga una pesa de masa  $M$ . El soporte del cilindro cuenta con un termistor (resistencia eléctrica dependiente de la temperatura) conectado a un multímetro, así como con un contador que muestra el número de vueltas dadas por el cilindro.

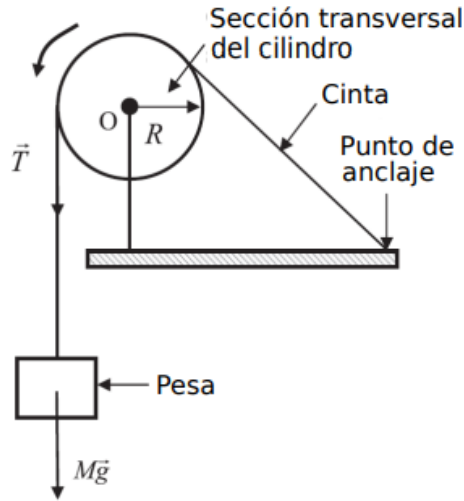


Figura 1: Esquema experimental

El trabajo  $W$  realizado por la fuerza de rozamiento  $F$  entre la cinta y el cilindro, para un desplazamiento  $\Delta l$ , viene dado por:

$$W = F\Delta l \quad (1)$$

El desplazamiento será  $\Delta l = R\theta$ , donde  $\theta$  es el ángulo recorrido por el cilindro. Si consideramos el número de vueltas, se tendrá que  $\theta = 2\pi N$ . Así mismo la fuerza de rozamiento será la debida al peso de la pesa, es decir,  $F = Mg$ . Sustituyendo:

$$W = 2\pi MgRN \quad (2)$$

Tras rotar el cilindro por un determinado tiempo, el trabajo realizado generará una cantidad equivalente de calor:

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha \frac{dW}{dt} \quad (3)$$

donde  $\alpha = 1$  si tanto el calor como el trabajo se miden en Julios. Si el calor se mide en calorías y el trabajo en Julios, entonces  $\alpha = \frac{1}{4.184}$  cal/J.

Nótese que hay que tener en cuenta también la potencia calorífica intercambiada con el laboratorio:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{dQ_{aparato}}{dt} + \frac{dQ_{laboratorio}}{dt} \quad (4)$$

donde sólo el primer término será medible directamente. El calor recibido por el dispositivo se mide como:

$$Q_{aparato} = C\Delta T \quad (5)$$

donde  $\Delta T = T - T_0$  es el aumento de temperatura con respecto a la temperatura inicial del cilindro  $T_0$ , y  $C = mc + C_{termistor} + C_{cinta}$ , siendo  $m$  la masa del cilindro y  $c$  el calor específico del aluminio. Para este experimento tenemos que  $mc \gg C_{termistor} + C_{cinta}$ , por lo que:

$$Q_{aparato} \approx mc\Delta T \quad (6)$$

Tras un tiempo  $\Delta t$  se tiene:

$$mc\Delta T + \left( \frac{dQ_{laboratorio}}{dt} \right) \Delta t = \alpha 2\pi MgRN \quad (7)$$

### 3. Dispositivo experimental y metodología

#### 3.1. Instrumentación

- Dispositivo específico para la medición del equivalente mecánico.
- Dispositivo medidor de temperatura específico para este montaje (multímetro).
- Una pesa cuya masa sea conocida.
- Un pie de rey.
- Una balanza.

#### 3.2. Montaje experimental

SO TO SPEAK

#### 3.3. Metodología

##### 3.3.1. Experiencia 1: Medida del cilindro en frío

1. El cilindro se encuentra en el congelador. Sácalo y deposítalo con cuidado en la mesa para atemperarlo ligeramente. Utiliza papel secante para limpiar el cilindro y quitarle los restos de humedad.
2. Medir  $m$  con la balanza y el diámetro  $D$  con el pie de rey. Medir  $M$  con la báscula digital.
3. Coloca con delicadeza el cilindro en el eje de rotación, enroscando el tornillo negro para fijarlo.
4. Antes de enrollar la cinta, espolvorea una pequeña cantidad de grafito en polvo sobre el cilindro y, ayudándote de papel secante, rota el cilindro para esparcir el grafito por toda la superficie. Esto evitará un rozamiento excesivo entre la cinta y el cilindro.
5. Enrolla con delicadeza la cinta alrededor del cilindro, dando unas 5 o 6 vueltas. Debes evitar en todo momento (incluyendo durante la rotación) que la cinta quede tensa en el punto de sujeción a la mesa.
6. Mientras se sujeta firmemente la manivela de rotación, se cuelga con cuidado la pesa en la arandela del extremo libre de la cinta, a una distancia de unos pocos centímetros al suelo, soltándola de manera progresiva para evitar romper la cinta.
7. Ajustar el contador de vueltas a cero.
8. Enciende el multímetro para medir su resistencia. Comprueba su temperatura mediante la tabla de calibración del termistor. Comprueba la temperatura del laboratorio en el termómetro digital disponible.
9. Comienza el experimento: inicia el cronómetro y empieza a rotar el cilindro a ritmo constante, evitando que la pesa ascienda. Mide periódicamente el tiempo transcurrido, el número de vueltas y la resistencia del termistor.
10. Se debe rotar el cilindro a ritmo constante durante el tiempo suficiente como para que la temperatura final supere a la temperatura ambiente, en una magnitud igual a la diferencia entre la temperatura ambiente y la temperatura inicial del cilindro.

##### 3.3.2. Experiencia 2: Medida del cilindro a temperatura ambiente

1. Dejar que el cilindro alcance la temperatura ambiente.
2. Repetir la experiencia anterior desde el paso 6.
3. Al finalizar el proceso de calentamiento, inicia de nuevo el cronómetro y deja enfriar el cilindro, sin extraerlo del dispositivo, por un tiempo similar al tiempo de calentamiento. Anota periódicamente el tiempo de enfriamiento transcurrido y la resistencia del termistor.

### 4. Metodología para el análisis de datos

#### 4.1. Experiencia 1

La representación del calor recibido por el cilindro  $mc\Delta T$  frente al trabajo  $2\pi MgRN$  realizado para el número de vueltas  $M$  debe dar una recta cuya pendiente permite hallar  $\alpha$ . En este caso puede omitirse el intercambio

de calor entre el cilindro y el laboratorio, ya que el calor absorbido por el cilindro cuando éste esté más frío que el ambiente será equivalente al desprendido cuando el cilindro esté más caliente que el ambiente.

## 4.2. Experiencia 2

Para estimar el segundo término a la izquierda de la (7), ahora no despreciable, pondremos:

$$\frac{dQ_{laboratorio}}{dt} \approx -mc \frac{dT_e}{dt} \quad (8)$$

donde  $T_e$  es la temperatura relativa al enfriamiento. Aunque  $\frac{dT_e}{dt}$  no es constante, puede aproximarse como tal sustituyéndola con el valor de la pendiente de la regresión linear de la curva de enfriamiento durante periodos de calentamiento no demasiado largos o, lo que es lo mismo, para diferencias de temperatura no demasiado altas. Corregir cada dato multiplicando la (8) por el relativo  $\Delta t$  y volver a calcular  $\alpha$ .

## 5. Medidas y análisis de los datos

### 5.1. Experiencia 1

Subida de temperatura desde cilindro recién sacado del frigo. Los datos de temperatura se han obtenido a partir de la tabla de equivalencias del resistor aplicando interpolación lineal.

Tabla 1: Datos registrados de la resistencia del cilindro a tiempo y número de vueltas determinadas

Medida	Vueltas	t / s	R / $k\Omega$	T / $^{\circ}C$
1	0	0	300.0	2.94
2	40	60	292.1	3.45
3	80	122	350.0	0.06
4	120	187	230.1	8.01
5	160	255	183.4	12.48
6	200	330	182.0	12.64
7	240	402	157.0	15.61
8	280	468	152.5	16.20
9	320	530	142.8	17.54
10	360	591	145.7	17.13
11	400	660	125.5	20.21
12	440	716	118.4	21.43
13	480	772	113.5	22.32
14	520	825	115.4	21.96
15	560	886	105.6	23.84
16	600	946	104.7	24.02
17	640	1003	103.0	24.38
18	680	1060	113.4	22.34
19	720	1111	108.6	23.25
20	760	1168	104.2	24.12
21	800	1218	99.7	25.07
22	840	1272	95.3	26.03
23	880	1321	91.3	26.96
24	920	1372	87.6	27.86
25	960	1421	84.2	28.72
26	1000	1470	81.0	29.57
27	1040	1520	78.1	30.38
28	1080	1570	75.4	31.15
29	1120	1618	72.8	31.93
30	1160	1665	70.5	32.65
31	1200	1713	68.4	33.32

A partir de las medidas experimentales hacemos un ajuste de acuerdo a la ecuación (3)

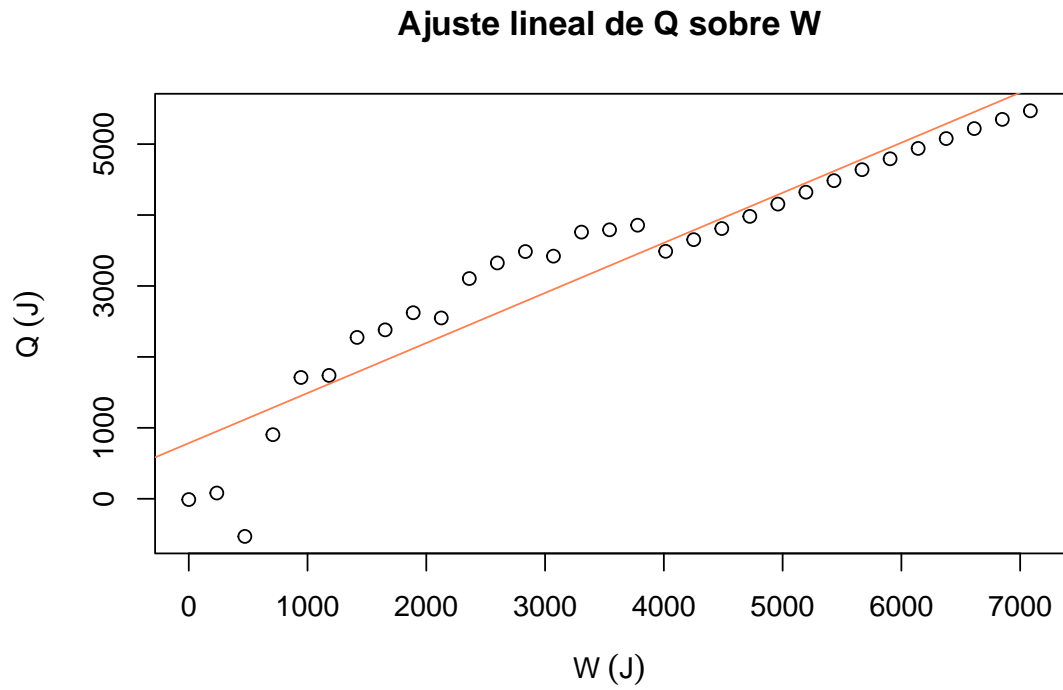


Figura 2: Ajuste lineal

obtiendo los siguientes resultados:

- Pendiente:  $\alpha = 0.7059571$
- Incertidumbre pendiente:  $\Delta\alpha = 0.044718$

Expresándolo correctamente:

$$\alpha = 0.71 \pm 0.045$$

## 5.2. Experiencia 2

Datos registrados en la bajada

Tabla 2: Datos registrados de la resistencia del cilindro durante el enfriamiento hasta la temperatura ambiente

Medida	t / s	R / $\Omega$	T / $^{\circ}\text{C}$
1	60	70.2	32.74
2	120	72.0	32.18
3	180	73.6	31.69
4	240	75.3	31.18
5	300	76.9	30.72
6	360	78.4	30.29
7	420	79.8	29.90
8	480	81.2	29.52
9	540	82.6	29.14
10	600	83.9	28.80
11	660	85.1	28.49
12	720	86.3	28.19
13	780	87.4	27.91
14	840	88.6	27.62
15	900	89.7	27.35

Sacamos la pendiente  $\frac{dT_c}{dt}$  que, si bien no es constante, puede aproximarse como tal sustituyéndola con el valor de la pendiente de la regresión linear de la curva de enfriamiento durante periodos de calentamiento no demasiado largos o, lo que es lo mismo, para diferencias de temperatura no demasiado altas (a altas temperaturas la dependencia deja de ser lineal y pasa a ser exponencial...)

A partir de las medidas experimentales hacemos un ajuste de acuerdo a la ecuación (-),

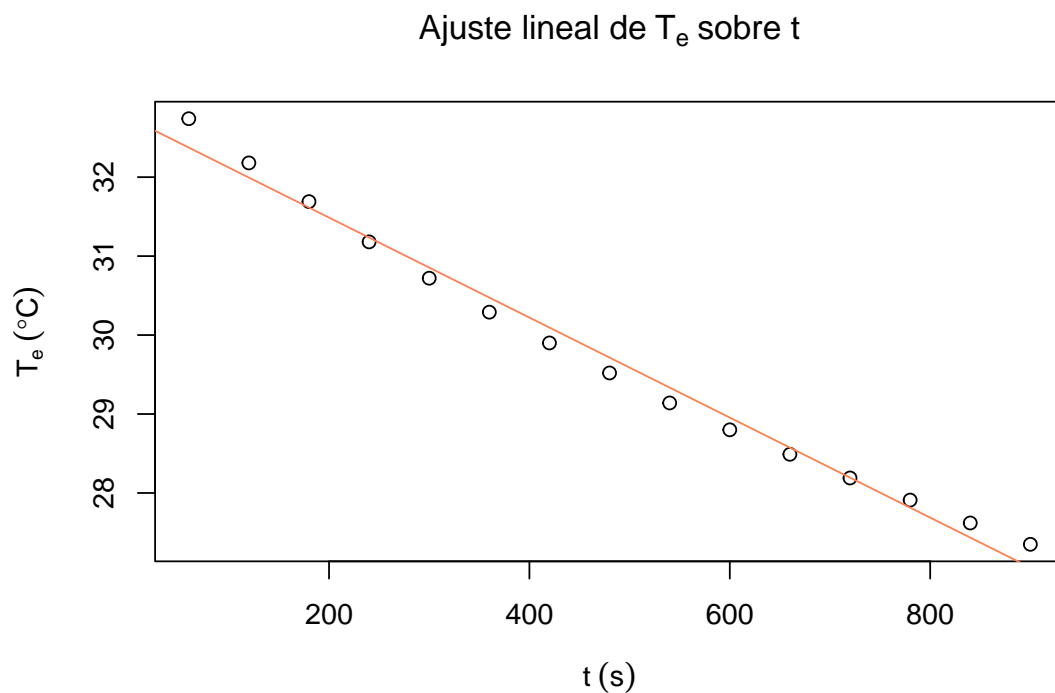


Figura 3: Ajuste de Y sobre X

obteniendo los siguientes resultados:

- Pendiente:  $\frac{dT_e}{dt} = -0.0063321 \text{ K/s}$
- Incertidumbre pendiente:  $\Delta \frac{dT_e}{dt} = 1.9614958 \times 10^{-4} \text{ K/s}$

Volvemos a tomar medidas para la subida de temperatura mediante trabajo mecánico

Tabla 3: Datos registrados de la resistencia del cilindro a tiempo y vueltas dadas

Medida	Vueltas	t / s	R / $\Omega$	T / °C
1	0	0	89.5	27.40
2	40	42	85.8	28.31
3	80	88	82.3	29.22
4	120	134	78.8	30.18
5	160	178	75.7	31.06
6	200	222	72.9	31.90
7	240	264	70.2	32.74
8	280	307	67.7	33.56
9	320	349	65.4	34.33
10	360	390	63.3	35.07
11	400	430	61.1	35.87
12	440	473	59.5	36.48
13	480	515	57.7	37.18
14	520	558	56.2	37.78

A partir de las medidas experimentales hacemos un ajuste de acuerdo a la ecuación (7)



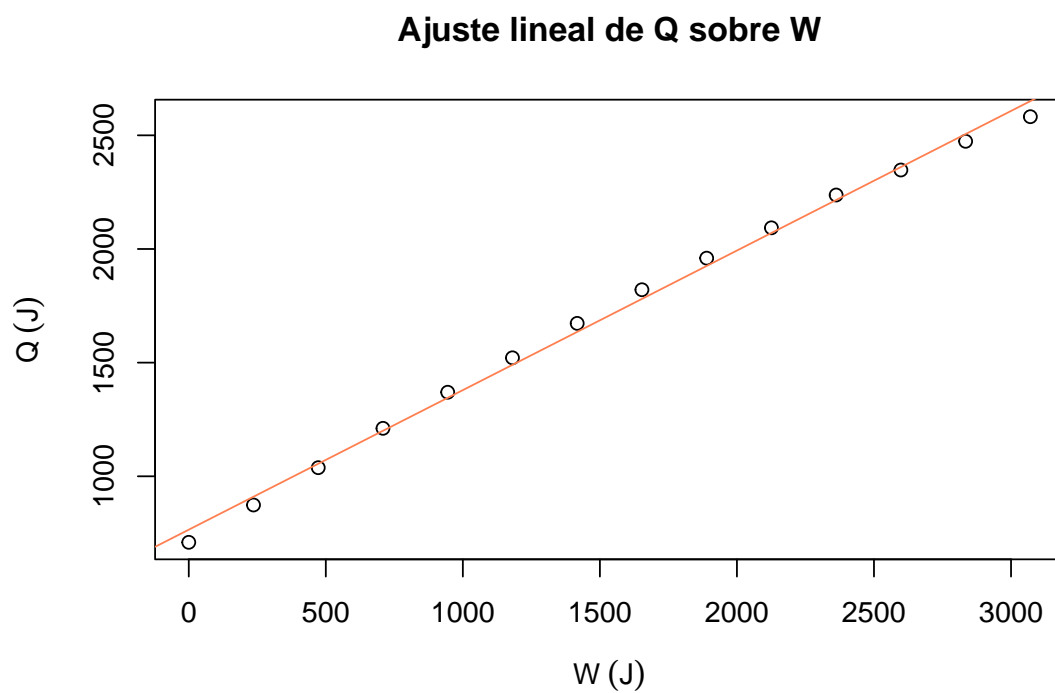


Figura 4: Ajuste lineal

obtiendo los siguientes resultados:

- Pendiente:  $\alpha = 0.6140588$
- Incertidumbre pendiente:  $\Delta\alpha = 0.0107154$

Expresandolo correctamente:

$$\alpha = 0.61 \pm 0.011$$

## 6. Resultados

SO TO SPEAK

## 7. Discusión y conclusiones de los resultados

Piden: Obtener  $\alpha$  por ambos métodos, incluyendo el análisis de incertidumbre y error con respecto al valor de referencia. Comparar la efectividad de cada procedimiento.

- AL PRINCIPIO MEDIDAS SIN SENTIDO
- CONSIDERAR LA CORRECCIÓN DE LA PERDIDA DE CALOR EN LA SEGUNDA EXPERENCIA LINEAL
- INTERPOLACION PARA LAS T ASOCIADAS A LAS R EN LA TABLA