

# Caracterización de un Contador Geiger-Müller

## 1. tablas preliminar

Tensión (V)	Cuentas	Bq
700	0	0
720	0	0
740	6	0,067
760	5049	56,1
780	5173	57,478
800	5283	58,7
820	5347	59,412
840	5500	61,111
860	5689	63,211
880	5817	64,633

Tabla 1: Curva característica obtenida

	$A'_1$	$A'_2$	$A'_3$	Fondo
Cuentas 1	5037	6905	1892	47
Cuentas 2	5022	6871	1839	67
Cuentas 3	5070	6777	1883	59
Cuentas 4	5094	6727	1909	43
Promedio	5055,75	6820	1880,75	54
Bq	56,18	75,78	20,90	0,60

Tabla 2: Medidas para el método de las dos fuentes

## 2. Objetivos de la práctica

En esta práctica estudiaremos el fundamento del efecto fotoeléctrico y determinaremos experimentalmente la constante de Planck  $h$ . Nuestros objetivos serán:

1. Analizar la energía cinética de los electrones en el efecto fotoeléctrico como una función de la frecuencia de la radiación.
2. Comprobar que la energía cinética de los electrones es independiente de la intensidad de la radiación.
3. Determinar experimentalmente la constante de Planck.

## 3. Resumen teórico

Se denomina **efecto fotoeléctrico** a la emisión de electrones desde una superficie por la acción de la luz que ocurre cuando una radiación de cierta longitud de onda incide sobre una superficie metálica. La energía cinética de los electrones depende de la frecuencia de la radiación incidente  $\nu$  y es independiente de su intensidad, la cual solo determina el número total de electrones liberados por el metal. Para cada superficie existe una frecuencia de corte característica  $\nu_0$  a partir de la cual tiene lugar el efecto fotoeléctrico, sea cual sea la intensidad de vibración.

En 1905, Einstein propuso una nueva teoría explicando este fenómeno, según la cual la luz consiste en un flujo de partículas, *fotones*, cuya energía  $E$  es directamente proporcional a la frecuencia:

$$E = h\nu$$

siendo la constante  $h$  la *constante de Planck*.

En este proceso fotoeléctrico, un fotón es completamente absorbido por un electrón, que escapa del metal con energía cinética  $K$ , satisfaciendo:

$$K = h\nu - W$$

donde  $W$  es el trabajo necesario para sacar al electrón del metal, que se usa para superar los campos atractivos de los átomos en la superficie y para superar las pérdidas de energía cinética por las colisiones internas del electrón. Los electrones de enlaces más débiles y que no sufren pérdidas internas emergen del metal con la energía cinética máxima:

$$K_{mx} = h\nu - W_0$$

siendo  $W_0$  una energía característica de cada metal llamada *función de trabajo* o *trabajo de extracción*.

## 4. Procedimiento experimental.

Podemos determinar la constante de Plank exponiendo una célula fotoeléctrica a luz monocromática y midiendo la energía cinética de los electrones liberados, usando que

$$K_{mx} = hv - W_0$$

Para ello utilizaremos un sistema en el cual haremos pasar la luz a través de un anillo de platino que funcionará como ánodo, y que incide sobre una superficie de potasio, que constituye el cátodo. Por la baja función de trabajo de los metales alcalinos, los fotones liberan electrones desde el cátodo y algunos llegan al ánodo. Si conectamos un circuito externo podemos registrar una corriente producida por los electrones capturados por el ánodo, que se llama *corriente fotoeléctrica*. Si se establece un potencial  $V$  entre el ánodo y el cátodo, los fotoelectrones experimentarán una fuerza en dirección opuesta a su desplazamiento hacia el ánodo, y al aumentar ese potencial, la corriente irá disminuyendo hasta anularse a cierto valor  $V_0$  (el *potencial de frenado*).

En este el voltaje  $V$  será producido por un condensador  $C$  que se va cargando por los fotoelectrones capturados hasta que la diferencia de potencial entre sus placas llega a  $V_0$ .

Podemos expresar la energía cinética máxima como el producto de la carga del electrón por el potencial de modo que:

$$eV_0 = hv - W_0$$

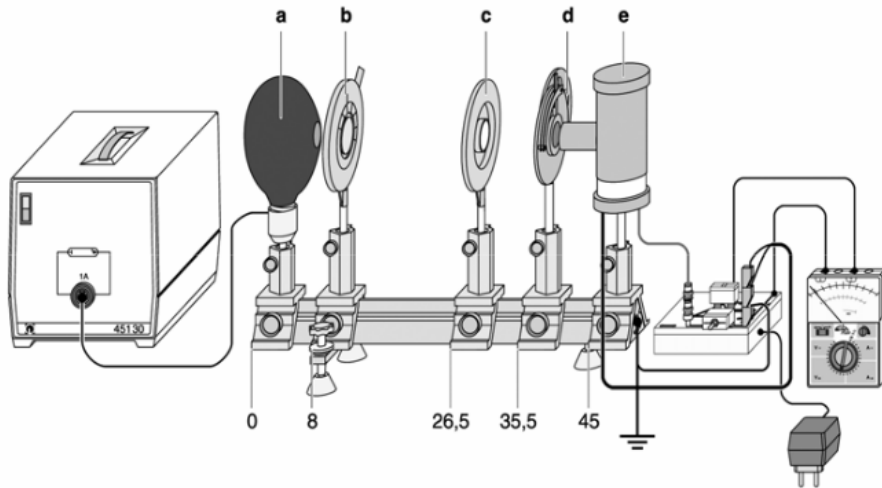


Figura 1: Esquema del dispositivo experimental

Nuestro dispositivo se compone de una lámpara de mercurio de alta presión (a), alimentada por una fuente de alto voltaje; un diafragma (b) para controlar la intensidad de luz; una lente convergente (c) de 100 mm de distancia focal; un revólver (disco giratorio)(d), con diferentes filtros interferenciales de distintas longitudes de onda, de modo que puede rotarse para cambiar el filtro; y una célula fotoeléctrica (e), conectada a un voltímetro (DC) a través de un circuito amplificador externo, donde está el condensador C.

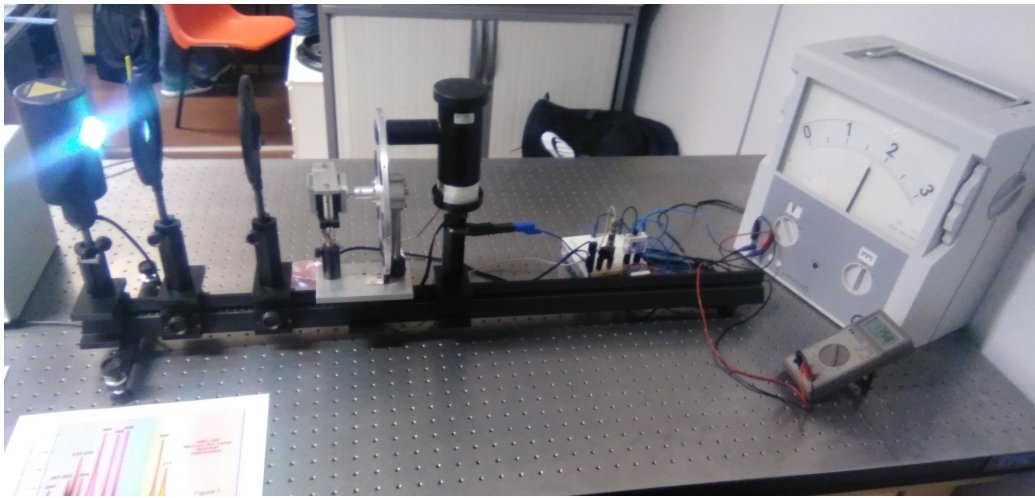


Figura 2: Fotografía del dispositivo utilizado

Para cada filtro, tomaremos las medidas del voltaje de frenado indicadas en el voltímetro, y repetiremos esto para dos aberturas distintas del diafragma, de modo que podremos comprobar el efecto de la intensidad en las medidas.

De uno de los filtros se desconoce su longitud de onda, de modo que la deduciremos a partir de la constante de Plank estimada.

Adicionalmente tomaremos una medida con el diafragma casi cerrado, de modo que la intensidad sea mínima, y compararemos con las medidas de otras intensidades.

## 5. Tablas de medidas.

Cada tabla de medidas deberá contener un pie de tabla, numerado, donde brevemente se detallen los datos presentados. Cada medida deberá ir acompañada de su incertidumbre. Se llevará a cabo el tratamiento de incertidumbre de las medidas directas y la propagación de incertidumbre para las medidas

indirectas. Se añadirán columnas adyacentes que recojan la incertidumbre de las magnitudes.

### 5.1. Experiencia 1

- Peso vacío:  $43,05 \pm 0,01\text{g}$
- $c_{\text{agua}}$ :  $4,18 \pm 0,01\text{Jg}^{-1}\text{C}^{-1}$

	TEST 1		TEST 2		TEST 3	
Dato	Valor	Error	Valor	Error	Valor	Error
$T_i$ (C)	23,7	0,1	23,0	0,1	22,4	0,1
$T_R$ (C)	0,79	0,01	0,6	0,01	0,62	0,01
Peso (g)	482,33	0,01	482,18	0,01	436,73	0,01
$T_{eq}$ (C)	1,4	0,01	1,35	0,01	1,38	0,01
$C$ (J/C)	55,2	1,4	69,8	1,5	66,0	1,5

Tabla 3: Capacidad calorífica  $C$  del calorímetro

En esta tabla hemos obtenido el valor de  $T_{eq}$  observando la temperatura a la que se estabilizaba el sistema agua+calorímetro durante el intercambio, la evolución de la temperatura en el tiempo para las tres pruebas está representada en la Figura ??.

La capacidad calorífica  $C$  se obtiene mediante la expresión

$$C = \frac{c_{\text{agua}} \cdot m_{\text{agua}} \cdot (T_{eq} - T_R)}{T_i - T_{eq}}$$

siendo  $m_{\text{agua}}$  la masa de agua correspondiente, calculada restando el peso del calorímetro a su peso en vacío.

El error de  $C$  ha sido obtenido mediante propagación de errores:

$$\Delta C = \left| \frac{\partial C}{\partial m} \right| \Delta m + \left| \frac{\partial C}{\partial c} \right| \Delta c + \left| \frac{\partial C}{\partial T_{eq}} \right| \Delta T_{eq} + \left| \frac{\partial C}{\partial T_R} \right| \Delta T_R + \left| \frac{\partial C}{\partial T_i} \right| \Delta T_i$$

Donde  $\Delta m$ ,  $\Delta c$ ,  $\Delta T_{eq}$ ,  $\Delta T_R$ , y  $\Delta T_i$  son las incertidumbres en las mediciones de  $m$ ,  $c$ ,  $T_{eq}$ ,  $T_R$ , y  $T_i$ , respectivamente.

Calculando las derivadas parciales correspondientes y sustituyendo estas en la fórmula obtenemos:

$$\Delta C = \left| \frac{c(T_{eq}-T_R)}{T_i-T_{eq}} \right| \Delta m + \left| \frac{m(T_{eq}-T_R)}{T_i-T_{eq}} \right| \Delta C + \left| \frac{mc}{(T_i-T_{eq})^2} + \frac{m(T_R-T_{eq})}{T_i-T_{eq}} \right| \Delta T_{eq} + \left| \frac{mc}{T_i-T_{eq}} \right| \Delta T_R + \left| \frac{mc(T_{eq}-T_R)}{(T_i-T_{eq})^2} \right| \Delta T_i$$

A partir de estos tres valores obtenidos para  $C$ , podemos obtener la media con su error asociado  $\left( \Delta C = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta C_i^2}{n(n-1)}} \right)$ :

$$C = 63,7 \pm 0,9(\text{J/C})$$

## 5.2. Experiencia 2

- $m_{agua}$ :  $460,13 \pm 0,01\text{g}$
- $c_{agua}$ :  $4,18 \pm 0,01\text{Jg}^{-1}\text{C}^{-1}$

Tenemos que calcular la capacidad térmica total del calorímetro y la masa de agua introducida mediante:

$$C_T = C + m_{agua} \cdot c_{agua}$$

y su correspondiente error, que vendrá dado por

$$\Delta C_T = \Delta C + |c_{agua}| \cdot \Delta m_{agua} + |m_{agua}| \cdot \Delta c_{agua}$$

Obtenemos:

$$C_T = 1987 \pm 6\text{J/C}$$

Ahora, a partir de los datos de la temperatura, calcularemos el calor absorbido por el ambiente a lo largo del tiempo,  $Q_{amb}$

$$Q_{amb}(t) = C_T \cdot (T(t) - T_o)$$

y su correspondiente error

$$\Delta Q_{amb} = \left| \frac{\partial Q_{amb}}{\partial C_T} \right| \Delta C_T + \left| \frac{\partial Q_{amb}}{\partial T} \right| \Delta T + \left| \frac{\partial Q_{amb}}{\partial T_o} \right| \Delta T_o$$

donde  $\Delta C_T$ ,  $\Delta T$  y  $\Delta T_o$  son los errores asociados a las variables  $C_T$ ,  $T$  y  $T_o$  respectivamente. Desarrollando las derivadas parciales:

$$\Delta Q_{amb} = |T - T_o| \cdot \Delta C_T + |C_T| \cdot \Delta T + |-C_T| \cdot \Delta T_o$$

Teniendo en cuenta que

- $T_o = 0,93 \pm 0,01^\circ\text{C}$

tiempo (s) $\pm 1$	T ( $^\circ\text{C}$ ) $\pm 0,01$	$T - T_o$	$Q_{amb}$ (J)	$\Delta Q_{amb}$
180	1,33	0,4	794,82	41,96
300	1,52	0,59	1172,36	43,01
441	1,8	0,87	1728,73	44,56
476	1,85	0,92	1828,08	44,84
576	2,03	1,1	2185,75	45,83
622	2,1	1,17	2324,84	46,22
722	2,29	1,36	2702,38	47,28
816	2,45	1,52	3020,31	48,16
900	2,59	1,66	3298,49	48,94
916	2,6	1,67	3318,36	48,99
969	2,71	1,78	3536,94	49,60
1085	2,9	1,97	3914,48	50,65
1175	3,06	2,13	4232,40	51,54
1201	3,1	2,17	4311,88	51,76
1209	3,12	2,19	4351,63	51,87
1348	3,37	2,44	4848,39	53,26
1420	3,45	2,52	5007,35	53,70
1500	3,59	2,66	5285,54	54,48
1616	3,79	2,86	5682,94	55,59
1680	3,9	2,97	5901,52	56,19
1751	4	3,07	6100,22	56,75
1780	4,04	3,11	6179,70	56,97
1800	4,07	3,14	6239,32	57,14

Tabla 4: Calor absorbido por el ambiente. Nótese que  $Q_{amb}$  y su error están expresados con dos decimales, y no con sus cifras significativas

Los datos de esta tabla podemos verlos representados en la Figura ??, en la que hemos realizado una regresión lineal que nos permite obtener la tasa de calor absorbida por el ambiente:

$$q_{amb} = \frac{dQ_{amb}(t)}{dt}$$

### 5.3. Experiencia 3

- $m'$ :  $486,71 \pm 0,01\text{g}$

- $c_{agua}: 4,18 \pm 0,01 \text{Jg}^{-1}\text{C}^{-1}$

La nueva capacidad calorífica del sistema será

$$C'_T = C + m' \cdot c_{agua}$$

siendo  $m'$  la nueva masa de agua. Su error, igual que en la sección anterior,

$$\Delta C'_T = \Delta C + |c_{agua}| \cdot \Delta m' + |m'| \cdot \Delta c_{agua}$$

Por tanto

$$\boxed{C'_T = 2098 \pm 6 \text{J/C}}$$

Ahora obtendremos el calor absorbido total mediante

$$Q_{total}(t) = C'_T \cdot (T(t) - T'_o)$$

y su error

$$\Delta Q_{total} = |T - T'_o| \cdot \Delta C'_T + |C'_T| \cdot \Delta T + |-C'_T| \cdot \Delta T'_o$$

- $T'_o = 3,00 \pm 0,01^\circ\text{C}$



tiempo(s) $\pm 1$	$T_{up}(^{\circ}\text{C})$ $\pm 0,1$	$T_{down}(^{\circ}\text{C})$ $\pm 0,1$	$T_{agua}(^{\circ}\text{C})$ $\pm 0,01$	$T_{up} - T_{down}$	$Q_{total}$	$\Delta Q_{tot}$
20	51,5	18,3	3,3	33,2	629,44	43,71
40	51,5	18,6	3,26	32,9	545,52	43,47
60	51,5	19,2	3,47	32,3	986,13	44,69
80	51,5	19,2	3,67	32,3	1405,76	45,85
100	51,4	19	3,81	32,4	1699,50	46,67
120	51,4	19	3,97	32,4	2035,20	47,60
140	51,4	19,1	4	32,3	2098,15	47,77
160	51,4	19,2	4,19	32,2	2496,80	48,88
180	51,4	19,3	4,44	32,1	3021,33	50,33
200	51,5	19,1	4,54	32,4	3231,15	50,91
220	51,5	19,4	4,67	32,1	3503,91	51,66
240	51,5	19,3	4,9	32,2	3986,48	53,00
260	51,5	19,4	4,91	32,1	4007,46	53,06
280	51,5	19,7	5,26	31,8	4741,81	55,09
300	51,6	19,8	5,28	31,8	4783,78	55,21
320	51,6	19,9	5,56	31,7	5371,26	56,83
340	51,6	19,7	5,73	31,9	5727,94	57,82
360	51,7	19,5	5,88	32,2	6042,67	58,69
380	51,7	19,3	6,04	32,4	6378,37	59,62
400	51,7	19,2	6,2	32,5	6714,07	60,55

Tabla 5: Calor  $Q_{total}$  absorbido por el agua debido a la barra y al ambiente, en función del tiempo. Una vez más el calor y su error representados con dos decimales

Obtenemos la Figura ??, y de la regresión lineal, su pendiente nos proporciona la tasa de calor absorbida en total:

$$q_{total} = \frac{dQ_{total}(t)}{dt}$$

## 6. Gráficas.

$t_1$	$\Delta t_1$	$T_1$	$\Delta T_1$	$t_2$	$\Delta t_2$	$T_2$	$\Delta T_2$	$t_3$	$\Delta t_3$	$T_3$	$\Delta T_3$
37	1	1,55	0,01	34	1	1,59	0,01	36	1	1,48	0,01
38	1	1,45	0,01	37	1	1,45	0,01	38	1	1,4	0,01
41	1	1,41	0,01	39	1	1,37	0,01	41	1	1,37	0,01
43	1	1,38	0,01	41	1	1,32	0,01	43	1	1,35	0,01

46	1	1,36	0,01	43	1	1,29	0,01	45	1	1,32	0,01
50	1	1,35	0,01	45	1	1,28	0,01	47	1	1,29	0,01
52	1	1,33	0,01	47	1	1,27	0,01	49	1	1,28	0,01
55	1	1,32	0,01	51	1	1,27	0,01	51	1	1,27	0,01
60	1	1,33	0,01	53	1	1,28	0,01	57	1	1,27	0,01
73	1	1,32	0,01	55	1	1,29	0,01	59	1	1,26	0,01
76	1	1,31	0,01	58	1	1,31	0,01	65	1	1,28	0,01
91	1	1,32	0,01	62	1	1,31	0,01	67	1	1,31	0,01
93	1	1,33	0,01	67	1	1,29	0,01	69	1	1,33	0,01
94	1	1,36	0,01	68	1	1,28	0,01	74	1	1,34	0,01
95	1	1,4	0,01	73	1	1,27	0,01	78	1	1,35	0,01
98	1	1,44	0,01	77	1	1,27	0,01	85	1	1,35	0,01
100	1	1,47	0,01	82	1	1,28	0,01	88	1	1,36	0,01
103	1	1,48	0,01	84	1	1,29	0,01	90	1	1,37	0,01
105	1	1,49	0,01	87	1	1,32	0,01	92	1	1,39	0,01
107	1	1,48	0,01	89	1	1,33	0,01	94	1	1,4	0,01
108	1	1,46	0,01	92	1	1,34	0,01	102	1	1,39	0,01
110	1	1,45	0,01	96	1	1,33	0,01	115	1	1,4	0,01
112	1	1,43	0,01	99	1	1,32	0,01	120	1	1,4	0,01
114	1	1,4	0,01	104	1	1,32	0,01	128	1	1,39	0,01
117	1	1,39	0,01	112	1	1,33	0,01	131	1	1,38	0,01
119	1	1,37	0,01	116	1	1,34	0,01	133	1	1,39	0,01
120	1	1,36	0,01	119	1	1,36	0,01	139	1	1,4	0,01
122	1	1,35	0,01	120	1	1,37	0,01	145	1	1,41	0,01
124	1	1,34	0,01	122	1	1,38	0,01	147	1	1,42	0,01
126	1	1,33	0,01	125	1	1,39	0,01	151	1	1,43	0,01
129	1	1,32	0,01	127	1	1,4	0,01	154	1	1,44	0,01
133	1	1,32	0,01	132	1	1,39	0,01	157	1	1,45	0,01
136	1	1,32	0,01	138	1	1,38	0,01	162	1	1,46	0,01
138	1	1,31	0,01	142	1	1,37	0,01	164	1	1,47	0,01
142	1	1,31	0,01	144	1	1,36	0,01	170	1	1,49	0,01
147	1	1,31	0,01	149	1	1,35	0,01	176	1	1,5	0,01
153	1	1,32	0,01	157	1	1,36	0,01	178	1	1,51	0,01
155	1	1,33	0,01	161	1	1,37	0,01	182	1	1,52	0,01
158	1	1,34	0,01	164	1	1,38	0,01	184	1	1,53	0,01
161	1	1,34	0,01	167	1	1,39	0,01	186	1	1,54	0,01
164	1	1,35	0,01	171	1	1,41	0,01	192	1	1,55	0,01
168	1	1,37	0,01	177	1	1,42	0,01	197	1	1,56	0,01

171	1	1,37	0,01	180	1	1,43	0,01	203	1	1,57	0,01
175	1	1,38	0,01	183	1	1,44	0,01	207	1	1,58	0,01
179	1	1,38	0,01	185	1	1,45	0,01	215	1	1,59	0,01
182	1	1,39	0,01	186	1	1,46	0,01	217	1	1,6	0,01
188	1	1,4	0,01	188	1	1,47	0,01	219	1	1,59	0,01
192	1	1,41	0,01	196	1	1,49	0,01	223	1	1,6	0,01
196	1	1,42	0,01	198	1	1,5	0,01	229	1	1,61	0,01
199	1	1,43	0,01	204	1	1,51	0,01	233	1	1,63	0,01
200	1	1,44	0,01	206	1	1,52	0,01				
202	1	1,45	0,01	211	1	1,53	0,01				
206	1	1,46	0,01								
209	1	1,47	0,01								
211	1	1,48	0,01								
214	1	1,5	0,01								
216	1	1,51	0,01								
220	1	1,52	0,01								
224	1	1,53	0,01								
227	1	1,54	0,01								
234	1	1,55	0,01								
237	1	1,57	0,01								

Tabla 6: Datos de la Figura ??

La regresión lineal

$$f(x) = Ax + B$$

siendo

$$A = 3,38 \pm 0,02\text{J/s}$$

$$B = 230 \pm 20\text{J}$$

Coefficiente de determinación:  $R^2 = 0,999519196641728$

tiempo (s)	Error t	Calor (J)	Error Q
180	1	794,82	41,96
300	1	1172,36	43,01
441	1	1728,73	44,56
476	1	1828,08	44,84
576	1	2185,75	45,83
622	1	2324,84	46,22
722	1	2702,38	47,28
816	1	3020,31	48,16
900	1	3298,49	48,94
916	1	3318,36	48,99
969	1	3536,94	49,6
1085	1	3914,48	50,65
1175	1	4232,4	51,54
1201	1	4311,88	51,76
1209	1	4351,63	51,87
1348	1	4848,39	53,26
1420	1	5007,35	53,7
1500	1	5285,54	54,48
1616	1	5682,94	55,59
1680	1	5901,52	56,19
1751	1	6100,22	56,75
1780	1	6179,7	56,97
1800	1	6239,32	57,14

Tabla 7: Datos de la Figura ??

La regresión lineal

$$f(x) = Ax + B$$

siendo

$$A = 16,5 \pm 0,10 \text{ J/s}$$

$$B = 10 \pm 20 \text{ J}$$

Coefficiente de determinación:  $R^2 = 0,99432262503481$

t(s)	Error t	$Q_{tot}$ (J)	Error $Q_{tot}$
20	1	629,44	43,71
40	1	545,52	43,47
60	1	986,13	44,69
80	1	1405,76	45,85
100	1	1699,5	46,67
120	1	2035,2	47,6
140	1	2098,15	47,77
160	1	2496,8	48,88
180	1	3021,33	50,33
200	1	3231,15	50,91
220	1	3503,91	51,66
240	1	3986,48	53
260	1	4007,46	53,06
280	1	4741,81	55,09
300	1	4783,78	55,21
320	1	5371,26	56,83
340	1	5727,94	57,82
360	1	6042,67	58,69
380	1	6378,37	59,62
400	1	6714,07	60,55

Tabla 8: Datos de la Figura ??

## 7. Discusión de resultados.

A partir de las regresiones de las figuras ?? y ?? hemos podido obtener que

$$q_{amb} = 3,38 \pm 0,02 \text{ J/s}$$

$$q_{total} = 16,5 \pm 0,10 \text{ J/s}$$

Podemos obtener la tasa de calor a través de la barra:

$$q_{barra} = q_{total} - q_{amb}$$

y su correspondiente error:

$$\Delta q_{barra} = \Delta q_{total} + \Delta q_{amb}$$

$$q_{barra} = 13,12 \pm 0,12 \text{ W}$$

Y con ello podemos calcular el valor experimental de la conductividad térmica de la barra:

$$k_{barra} = \frac{q_{barra} \cdot L}{\Delta T_{barra} \cdot S}$$

siendo su error

$$\delta k_{barra} = \left| \frac{L}{\Delta T \cdot S} \right| \delta q_{barra} + \left| \frac{q_{barra}}{\Delta T \cdot S} \right| \Delta L + \left| \frac{-q \cdot L}{\Delta T^2 \cdot S} \right| \delta \Delta T + \left| \frac{-q \cdot L}{\Delta T \cdot S^2} \right| \delta S$$

Con los siguiendes datos medidos:

- $L = 0,280 \pm 0,001\text{m}$
- $\Delta T_{barra} = 32,2 \pm 0,4\text{K}$
- $S = (4,91 \pm 0,01) \cdot 10^{-4}\text{m}^2$

$k_{barra} = 232 \pm 6\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$

Según el "Handbook of Chemistry and Physics"(100th Edition, CRC Press, 2019), la conductividad térmica del aluminio es de  $237\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  a  $25^\circ\text{C}$ , aunque distintas fuentes proporcionan diferentes valores para la conductividad, en el rango de 200 a  $240\text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ .

En cualquier caso, la oxidación del aluminio en algunas zonas de la barra es algo que podría causar incertidumbres en la experimentación, aunque no parece ser el caso.

## 8. Conclusiones.

En esta práctica hemos realizado el estudio de un sistema térmico con una barra de aluminio y agua en un calorímetro, calculando las tasas de calor absorbido por el ambiente y por el sistema, y hemos podido determinar experimentalmente la conductividad térmica de este aluminio, que ha quedado en torno a los  $237\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  que nos indica la literatura.