

Efectos termoeléctricos

Nieto González, Jaime

20 de marzo de 2023

Índice

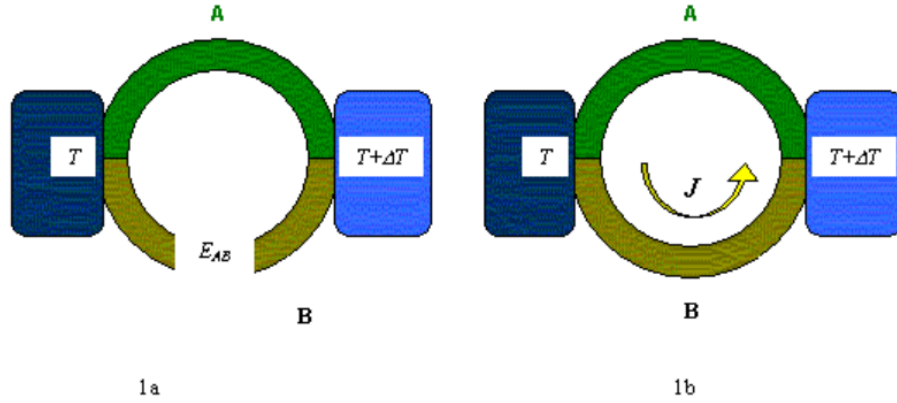
1. Introducción y objetivos	3
1.1. Efecto Seebeck	3
1.2. Efecto Peltier	4
2. Material empleado	5
3. Proceso experimental	5
3.1. Primer día	6
3.2. Segundo día	6
4. Resultados experimentales	6
4.1. Obtención de la resistencia calefactora	6
4.2. Efecto Seebeck	7
4.2.1. Primer estacionario ($V=125V$)	8
4.3. Coeficiente Seebeck del primer estacionario	10
4.3.1. Segundo estacionario ($V=150V$)	11
4.3.2. Coeficiente Seebeck del primer estacionario	12
4.4. Tercer estacionario	13
4.4.1. Coeficiente Seebeck del tercer estacionario	14
4.5. Conjunto de estacionarios	15
4.6. Efecto Peltier	15
4.6.1. Primer estacionario ($I=0,5A$)	16
4.6.2. Segundo estacionario ($I=1,0A$)	17
4.6.3. Tercer estacionario ($I=1,5A$)	18
4.6.4. Cuarto estacionario ($I=2,0A$)	19
4.6.5. Cuarto estacionario ($I=2,5A$)	20
4.6.6. Cuarto estacionario ($I=3,0A$)	21
4.6.7. Conjunto de estacionarios	22
4.6.8. Coeficiente Peltier	22

5. Conclusión	23
6. Tablas de datos	24
6.1. Seebeck	24
6.2. Peltier	25

1. Introducción y objetivos

1.1. Efecto Seebeck

En el primer día de laboratorio estudiaremos el efecto Seebeck. El objetivo es obtener el coeficiente Seebeck de un dispositivo termoelectrico. Según este efecto, dos materiales conductores A y B conectados entre si a diferente temperatura T y $T + \Delta T$ generan una fuerza electromotriz ε :



Teniendo en cuenta que la fuerza electromotriz ε es proporcional a la diferencia de temperaturas (ΔT), y siendo la constante de proporcionalidad el coeficiente de Seebeck (S) objeto de estudio:

$$\varepsilon = S\Delta T \quad (1)$$

Nuestro dispositivo termoelectrico a estudiar consta de 142 pares de conductores A y B (un semiconductor dopado tipo p y un semiconductor dopado tipo n). Los 142 pares A y B o termopares se encuentran unidos en uno de sus extremos a una unión fría refrigerada por el agua del grifo, mientras que en su otro extremo se encuentran unidos a una unión caliente que tiene asociada una resistencia calefactora R_C que proporciona a la unión una potencia W_{R_C} .

Llamaremos T_2 a la temperatura de la unión fría, la cual, más o menos, se mantendrá constante al estar regulada por el agua del grifo. No obstante, T_1 , la temperatura de la unión caliente evolucionará de forma exponencial con el tiempo como se deriva de la ecuación de balance energético establecida para esta unión:

$$C \frac{dT_1}{dt} = W_{R_C} - \lambda_T(T_2 - T_1) \quad (2)$$

De la anterior ecuación definiremos C , la capacidad calorífica del dispositivo termoelectrico, el segundo término a la derecha de la igualdad corresponde a la pérdida de energía sufrida por la unión caliente debida al efecto Fourier entre las dos uniones del dispositivo, cuya conductividad térmica es λ_T . Una vez hayamos logrado el estado estacionario, $\frac{dT_1}{dt} = 0$, en la Ec. 2 obtenemos:

$$W_{R_C} = \lambda_T(T_2^\infty - T_1) \quad (3)$$

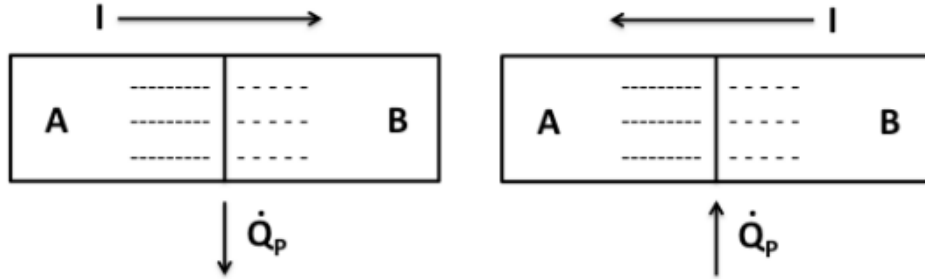
Teniendo en cuenta que en la anterior ecuación T_1^∞ es la temperatura de la unión caliente una vez obtenido el estado estacionario. Ahora, uniendo la Ec.3 y la Ec.2, separando variables T_1 y t en esta última ecuación e integrando obtenemos:

$$T_1(t) = T_1^\infty - (T_1^\infty - T_1^0)e^{-t\frac{\lambda_T}{C}} \quad (4)$$

Tenemos que definir T_1^0 , ya que es la temperatura de la unión caliente en el instante inicial, es decir, $t=0$. . Es decir, esperamos que la temperatura de la unión caliente evolucione en el tiempo de forma exponencial hacia su valor asintótico T_1^∞ . Como explicaremos más adelante, durante la sesión de laboratorio nosotros tomaremos valores de $T_1(t)$. Un tratamiento correcto de estos valores implicará su ajuste a la Ec.4 para así obtener T_1^∞ , valor que emplearemos para obtener $\Delta T = (T_1^\infty)$ en la Ec.1 y por tanto determinar S, que es el objetivo principal de esta práctica.

1.2. Efecto Peltier

Esta práctica se reliazará posteriormente a la práctica de efecto Seebeck (TS). El principal objetivo es la obtención del coeficiente Peltier del mismo módulo termoelectrico que estudiamos en TS. El efecto Peltier nos asegura que, dos materiales conductores A y B, con distinta densidad electrónica y que se encuentran unidos a la misma temperatura, emiten o absorben en su unión un calor (Peltier) \dot{Q}_P cuando son sometidos a la circulación de una corriente de intensidad I:



El calor de Peltier, en cuanto a la intensidad I, es directamente proporcional, por lo que la constante de proporcionalidad es el coeficiente de Peltier π_{AB} , principal objetivo de esta práctica:

$$\dot{Q}_P = \pi_{AB} I \quad (5)$$

Observando la imagen anterior vemos que el efecto Peltier es reversible, ya que dependiendo del sentido de la intensidad I, \dot{Q}_P será emitido o absorbido.

En cuanto al montaje, tenemos el mismo dispositivo termoelectrico y la misma nomenclatura para las temperaturas.

Una vez obtenido \dot{Q}_P y obtenida la intensidad I, emplearemos la Ec. 5 para obtener el coeficiente de Peltier. \dot{Q}_P lo obtendremos a partir de la ecuación de balance energético de la unión caliente:

$$C \frac{dT_1}{dt} = W_{RC} - \lambda_T(T_1 - T_2) + \frac{1}{2} I^2 r_i \pm \dot{Q}_P \quad (6)$$

Los únicos términos que son nuevos (el resto están explicados en TS) son el tercer y cuarto término. Son consecuencia de la circulación de la corriente I por el dispositivo: corresponden al calor Peltier y a la energía disipada por efecto Joule en el dispositivo termoelectrico debido a su resistencia interna $r_i, I^2 r_i$. Realizaremos la suposición de que esta energía se distribuye de manera equitativa entre la unión caliente y la unión fría, de ahí el factor $\frac{1}{2}$ que aparece en la Ec.6

El signo que precede a \dot{Q}_P depende si la unión caliente absorbe el calor Peltier (+) o si se emite (-). Nosotros haremos que se emita, tratando de enfriar la unión mediante al efecto Peltier. Llegamos a la siguiente ecuación sabiendo que en estado estacionario $\frac{dT_1}{dt} = 0$, obtendremos \dot{Q}_P tal que:

$$\dot{Q}_P = W_{RC} - \lambda_T(T_1 - T_2) + \frac{1}{2}I^2 r_i \quad (7)$$

Definiendo T_1^∞ y T_1^0 como en Seebeck y realizando los mismos pasos obtenemos:

$$T_1(t) = T_1^\infty - (T_1^\infty - T_1^0)e^{-t\frac{\lambda_T}{C}} \quad (8)$$

2. Material empleado

- Fuentes de corriente alterna y continua
- Termómetro
- Resistencia variable
- Resistencia calefactora
- Tubo de agua
- Polímetro
- Módulo termoelectrico

El objetivo principal de estudio es el módulo termoelectrico. Consta de dos placas, cada una unida a cada foco, una al caliente y otra al frío. Entre cada placa hay semiconductores organizados en pares que permiten el movimiento de los electrones entre placas. Un material aislante recubrirá todo el módulo de tal forma que la temperatura no fluctúe y lleva incorporados dos sensores de termómetro para conocer en todo momento la temperatura de los focos.

3. Proceso experimental

Dividiremos la práctica en dos días, dedicando el primero a medir la resistencia del calefactor y al efecto Seebeck, y el segundo mediremos el efecto Peltier.

3.1. Primer día

Para empezar mediremos la resistencia del calefactor, R_C . Para ello, el generador de corriente alterna lo alimentará, de esta forma, mediremos diferentes tensiones e intensidades, para obtener la resistencia como pendiente de la recta $V(I)$. Debemos colocar para medir en corriente alterna el voltímetro (en paralelo) y el amperímetro (en serie). Una vez obtenido el voltaje, conoceremos la producción de calor de Joule como $\dot{Q}_J = \frac{V^2}{R_C}$.

A continuación podremos empezar con el efecto Seebeck, administrando un voltaje de 125V al calefactor. Tomaremos valores de temperatura del módulo cada minuto. Pararemos en el momento que no suba más de 0.1K, en dos minutos, la temperatura del foco caliente, llegando así, de manera aproximada, al estado estacionario.

La fuerza electromotriz será medida con el voltímetro, en corriente continua, en un circuito abierto. Para cerrar el circuito usaremos una resistencia variable y medimos la caída de potencial en esta, además de a intensidad que recorre el circuito para los diferentes valores de la resistencia (al desconocer los valores de la resistencia y es regulada por una rueda, tomaremos los menores valores que podamos en diferentes posiciones separadas por cuartos de vuelta). Calcularemos a la resistencia interna del circuito y la fuerza electromotriz Seebeck del módulo ya que la fuerza electromotriz del módulo puede medirse de manera directa o cerrando el circuito con el módulo y una resistencia variable, de tal forma que la caída de potencial en la resistencia variable, ΔV , será la misma que dentro del módulo, tal que:

$$\Delta V_{R_x} = \varepsilon - I r_i \quad (9)$$

Las dos caídas de potencial son debidad a r_i , la resistencia interna del módulo termoelectrico y a la resistencia variable R_x . A continuación, obteniendo pares de datos $(\Delta V_{R_x}, I)$ podremos calcular ε y r_i . Ahora repetimos el proceso anterior a 150V hasta obtener el estado estacionario y, en caso de tener tiempo, a 175V también.

3.2. Segundo día

Empezaremos eligiendo la dirección de la corriente, de tal forma que enfríe el foco caliente. Para esto, aplicaremos una intensidad de 1 A mediante la fuente continua. Debemos comprobar que el foco deseado se enfría. De no ser el caso, debemos cambiar el sentido de la corriente y ya tendremos el montaje listo. Una vez hayamos realizado el montaje correctamente, conectaremos el calefactor a unos 150V de alterna y la pasaremos por el módulo en torno a 0,5 A de corriente continua. Iremos midiendo las temperaturas de ambos focos, el tiempo así como la intensidad del módulo para luego establecer la temperatura de los focos en el estacionario.

El proceso será repetido aumentando cada vez en 0,5 A, teniendo en cuenta que la temperatura del foco no debe bajar de $5^\circ C$, ya que así evitaremos el riesgo de que se congele el foco.

4. Resultados experimentales

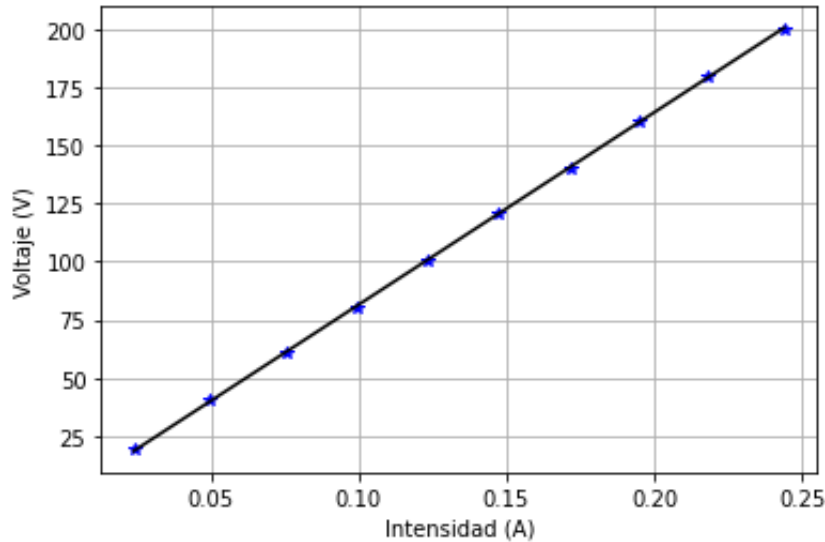
4.1. Obtección de la resistencia calefactora

Para empezar, mediremos la resistencia del calefactor para poder conocer el calor Joule. Hemos obtenido los siguientes resultados:

$V(V)$	$s(V)(V)$	$I(mA)$	$s(I)(mA)$
19,2	0,1	23,9	0,1
40,1	0,1	49,7	0,1
60,8	0,1	75,6	0,1
80,4	0,1	99,5	0,1
100,2	0,1	123,0	0,1
120,3	0,1	147,5	0,1
140,3	0,1	171,4	0,1
160,2	0,1	195,1	0,1
179,8	0,1	218	1
200	1	244	1

Cuadro 1: Medidas del voltaje y la intensidad para hallar la resistencia del calefactor.

De los valores recogidos en el cuadro 1 podemos realizar una reresión lineal ponderada sin término independiente tal que $V = R_C I$, ya que de esta forma la pendiente coincide con el valor de la resistencia:



a	$s(a)$	b	$s(b)$	r
-1,309	0,073	827,29	0,53	0,99996

Cuadro 2: Resultados obtenidos

Podemos observar que el valor obtenido de a en comparación a la magnitud de los voltajes empleados es insignificante, por lo que nuestra resistencia tiene el siguiente valor:

$$R_C = (827,28 \pm 0,53)\Omega$$

4.2. Efecto Seebeck

Estudiaremos tres curvas de calentamiento, a $V=125, 150$ y 175 V. Ajustaremos la temperatura del foco caliente frente a t a una función exponencial de tipo $y = A + Be^{-Cx}$, siendo el parámetro $C = \lambda/\bar{C}$.

También representaremos T_f , para ver que su comportamiento es prácticamente constante y realizaremos un ajuste a una recta del tipo $y = A + Bx$.

Cabe destacar que los datos de las tablas correspondientes a cada estacionario están al final de la práctica, en la sección Tablas Seebeck, ya que ocupan bastante debido a la cantidad de datos y esto supondría una peor lectura de la memoria.

4.2.1. Primer estacionario ($V=125V$)

a	$s(a)$	b	$s(b)$	c	$s(c)$
306,020	0,078	-14,034	0,066	0,0006560	$8,9e - 06$

Cuadro 3: Parámetros obtenidos del foco caliente

a	$s(a)$	b	$s(b)$
286,772	0,033	0,00036	$1,8e - 05$

Cuadro 4: Parámetros obtenidos del foco frío

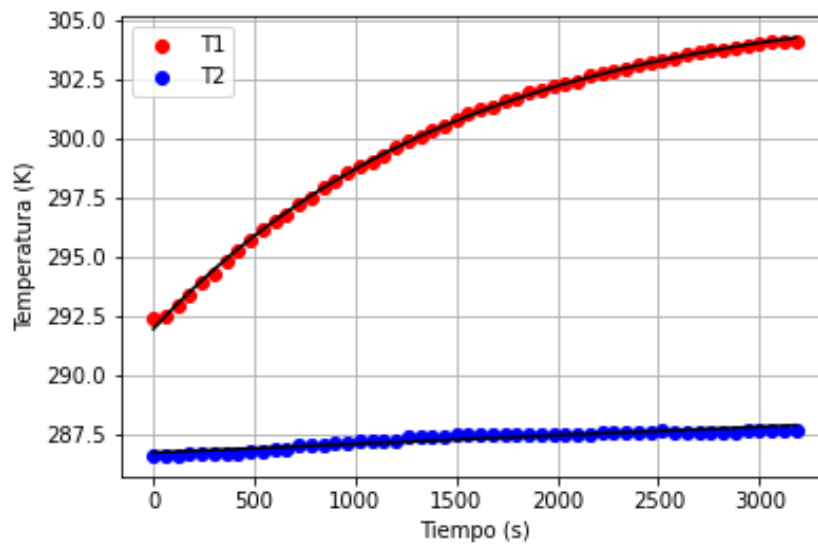


Figura 1: Temperaturas foco caliente (T_1) y foco frío (T_2) a $V = 125V$

Observando la gráfica, la temperatura del foco frío se mantiene prácticamente lineal, presentando pequeñas alteraciones. Estas, son debidas al calor traspasado del foco caliente y que el agua tarda unos segundos en eliminar. Teniendo en cuenta el ajuste lineal escogido:

$$y = A + Bx \Rightarrow T_2(t) = T_0 + mt$$

$$T_0 = (286,772 \pm 0,078)K \quad m = (36 \pm 1,8) \cdot 10^{-5} K/s$$

Consideraremos que se mantiene constante. Teniendo en cuenta que todas las incertidumbres de las temperaturas son las mismas, realizaremos una media aritmética para obtener la temperatura media

del foco frío. Para ello, realizaremos la desviación típica de la media para calcular la incertidumbre de la media como suma cuadrática de la desviación típica y la incertidumbre de la medida.

$$\begin{aligned}\bar{T}_2 &= (287, 36)K \\ s_a(\bar{T}_2) &= \sqrt{\frac{\sum_i (T_{2i} - \bar{T}_2)^2}{n(n-1)}} \quad s(\bar{T}_2) = 0,1K \\ s(\bar{T}_2) &= \sqrt{s_a^2 + s_b^2}\end{aligned}$$

Quedándonos finalmente:

$$\bar{T}_2 = (287, 36 \pm 0, 11)K$$

En cuanto al foco caliente, podemos observar que, al pasar el tiempo, va aproximándose asintóticamente a una temperatura de equilibrio T_1^∞ , por lo que intentamos buscar esa temperatura mediante el ajuste realizado.

Identificando los parámetros de nuestro ajuste con los de la expresión anterior:

$$y = A + Be^{-Cx} \Rightarrow T_1(t) = T_1^\infty - (T_1^\infty - T_1^0)e^{-\frac{\lambda}{C}t}$$

Así obteniendo:

$$T_1^\infty = (306, 020 \pm 0, 078)K$$

Teniendo en cuenta la expresión de λ y su incertidumbre:

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{V^2}{R_c(T_1^\infty - \bar{T}_2)} \\ s(\lambda) &= \sqrt{\left(\frac{\partial \lambda}{\partial V}\right)^2 \cdot s^2(V) + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial R_c}\right)^2 \cdot s^2(R_c) + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial T_1^\infty}\right)^2 \cdot s^2(T_1^\infty) + \left(\frac{\partial \lambda}{\partial \bar{T}_2}\right)^2 \cdot s^2(\bar{T}_2)}\end{aligned}$$

Obteniendo:

$$\lambda_1 = (1, 0121 \pm 0, 0072)W/K$$

Finalmente, la capacidad calorífica del primer calentamiento es obtenida, recordando las expresiones explicadas anteriormente:

$$\bar{C} = \frac{\lambda}{C} \quad s(\bar{C}) = \sqrt{\left[\frac{1}{C} \cdot s(\lambda)\right]^2 + \left[-\frac{\lambda}{C^2} \cdot s(C)\right]^2}$$

Y teniendo en cuenta que:

$$C = 0,0006561 \pm 0,0000091$$

Obteniendo:

$$\bar{C}_1 = (1542 \pm 24)J/K$$

4.3. Coeficiente Seebeck del primer estacionario

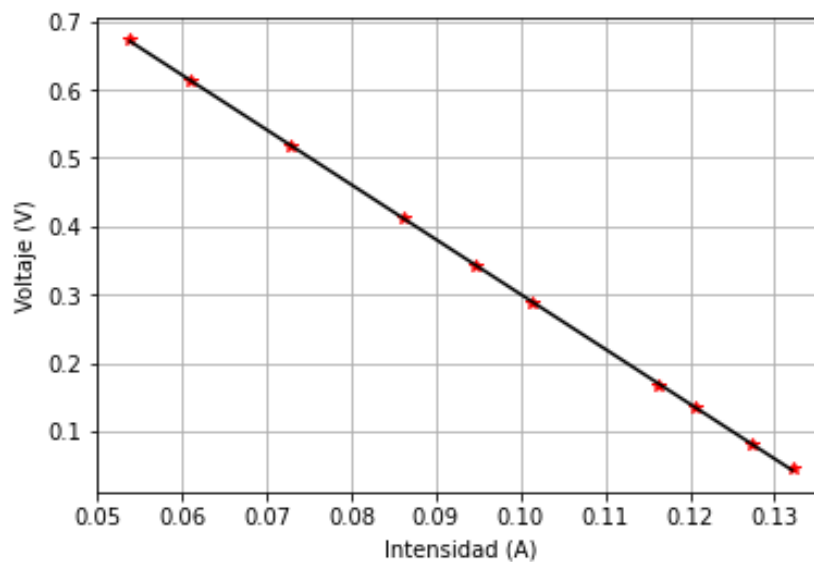
Conectando el voltímetro en los bornes del módulo en un circuito abierto, obtenemos la fuerza electromotriz de Seebeck en circuito abierto de:

$$\varepsilon_{ab} = (1,112 \pm 0,001)V$$

Este valor de f.e.m. es obtenido por el método directo. Para obtenerla por el método indirecto , cerraremos el circuito con la resistencia variable y tomamos pares de valores (I,V), tal que:

$V(V)$	$s(V)(V)$	$I(mA)$	$s(I)(mA)$
0,045	0,001	132,1	0,1
0,082	0,001	127,4	0,1
0,135	0,001	120,6	0,1
0,168	0,001	116,3	0,1
0,287	0,001	101,3	0,1
0,341	0,001	94,8	0,1
0,411	0,001	86,1	0,1
0,519	0,001	72,8	0,1
0,614	0,001	61,1	0,1
0,673	0,001	53,9	0,1

Cuadro 5: Datos para el cálculo de R_i



a	$s(a)$	b	$s(b)$	r
1,1041	0,0023	-8,036	0,022	0,99997

Recordando la Ec. 9 :

$$V = \varepsilon - r_i I$$

$$\varepsilon_1 = a = (1,1041 \pm 0,0023)V \quad r_i = -b = (8,036 \pm 0,022)$$

La fuerza electromotriz resultante es muy semejante a la esperada. Ahora, realizaremos una media ponderada de ambos valores:

$$\varepsilon_{s_1} = \frac{\frac{\varepsilon_{ab}}{s^2(\varepsilon_{ab})} + \frac{\varepsilon_1}{s^2(\varepsilon_1)}}{\frac{1}{s^2(\varepsilon_{ab})} + \frac{1}{s^2(\varepsilon_1)}} \quad s(\varepsilon_{s_1}) = \sqrt{\frac{1}{s^2(\varepsilon_{ab})} + \frac{1}{s^2(\varepsilon_1)}}$$

Obteniendo:

$$\varepsilon_{s_1} = (1,11076 \pm 0,00092)V$$

Ahora, estaremos en disposición de obtener el coeficiente de Seebeck del primer estacionario:

$$S_1 = \frac{\varepsilon_{s_1}}{T_1^\infty - \bar{T}_2}$$

$$s(S_1) = \sqrt{\left[\frac{s(\varepsilon_{s_1})}{T_1^\infty - \bar{T}_2} \right]^2 + \left[\frac{\varepsilon_{s_1}}{T_1^\infty - \bar{T}_2} \cdot s(\bar{T}_2) \right]^2}$$

Obteniendo:

$$S_1 = (0,05949 \pm 0,00043)V/K$$

4.3.1. Segundo estacionario (V=150V)

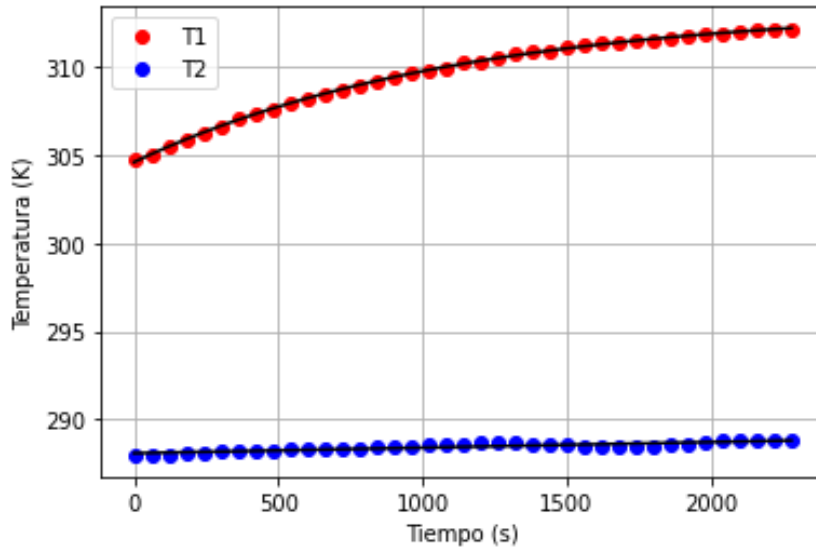


Figura 2: Temperaturas foco caliente (T_1) y foco frío (T_2) a $V = 150V$

a	$s(a)$	b	$s(b)$	c	$s(c)$
313,388	0,053	-8,778	0,045	0,00089	$1,2e - 05$

Cuadro 6: Parámetros obtenidos del foco caliente

a	$s(a)$	b	$s(b)$
288,057	0,034	0,000318	0,000025

Cuadro 7: Parámetros obtenidos del foco frío

Realizando los mismos cálculos que en el apartado anterior, obtenemos:

$$\bar{T}_2 = (288,42 \pm 0,11)K \quad T_1^\infty = (313,388 \pm 0,053)$$

$$\lambda_2 = (1,0892 \pm 0,0061)W/K \quad C = (1225 \pm 19)J/K$$

4.3.2. Coeficiente Seebeck del primer estacionario

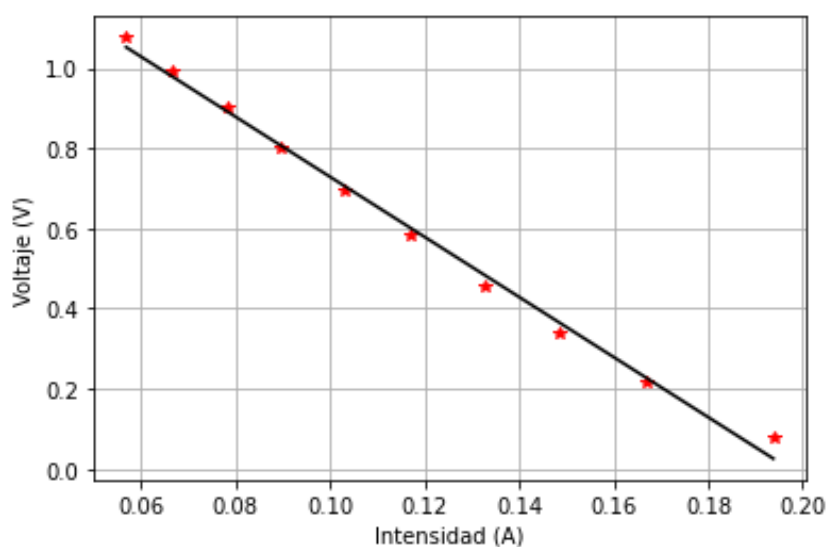
Tomándolo de forma directa:

$$\varepsilon_{ab} = (1,558 \pm 0,001)V$$

De forma indirecta:

$V(V)$	$s(V)(V)$	$I(mA)$	$s(I)(mA)$
0,078	0,001	193,8	0,1
0,218	0,001	166,9	0,1
0,338	0,001	148,4	0,1
0,457	0,001	132,6	0,1
0,581	0,001	116,9	0,1
0,692	0,001	103,3	0,1
0,803	0,001	89,8	0,1
0,903	0,001	78,2	0,1
0,991	0,001	66,8	0,1
1,076	0,001	56,9	0,1

Cuadro 8: Datos para el cálculo de R_i



a	$s(a)$	b	$s(b)$	r
1,4789	0,025	-7,50	0,20	0,9997

De tal forma que obtenemos:

$$\varepsilon_2 = a = (1,4789 \pm 0,025)V \quad R_i = -b = (7,50 \pm 0,20)\Omega$$

Realizando la media de los valores experimental y teórico de ε :

$$\bar{\varepsilon}_{s_2} = (1,5579 \pm 0,0010)$$

Pudiendo calcular ahora el coeficiente de Seebeck, tal que:

$$S_2 = (0,06150 \pm 0,00022)$$

4.4. Tercer estacionario

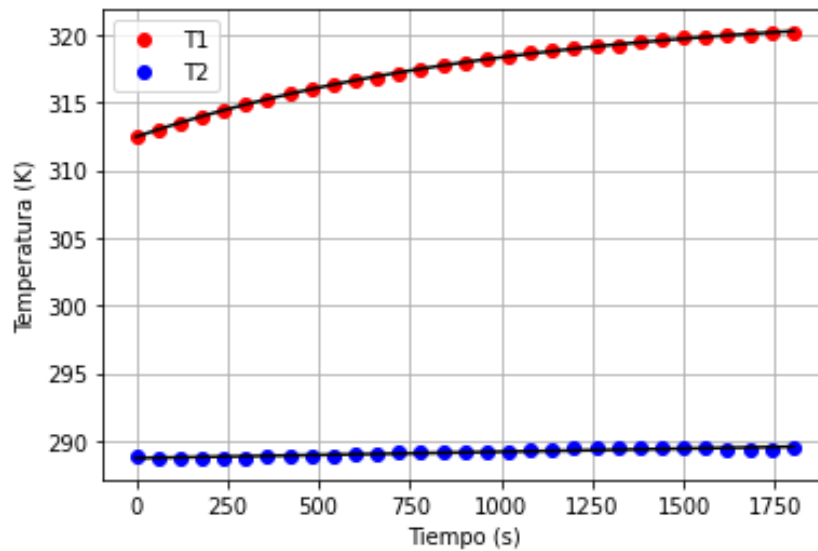


Figura 3: Temperaturas foco caliente (T_1) y foco frío (T_2) a $V = 175V$

a	$s(a)$	b	$s(b)$	c	$s(c)$
321.905	0.089	-9.451	0.075	0.000971	0,000020

Cuadro 9: Parámetros obtenidos del foco caliente

a	$s(a)$	b	$s(b)$
288,740	0,035	0,00046	0,000047

Cuadro 10: Parámetros obtenidos del foco frío

Realizando los mismos cálculos que en primer apartado:

$$\bar{T}_2 = (289,16 \pm 0,11)K \quad T_1^\infty = (321,905 \pm 0,089)$$

$$\lambda_3 = (1,1305 \pm 0,0051)W/K \quad C = (1165 \pm 19)J/K$$

4.4.1. Coeficiente Seebeck del tercer estacionario

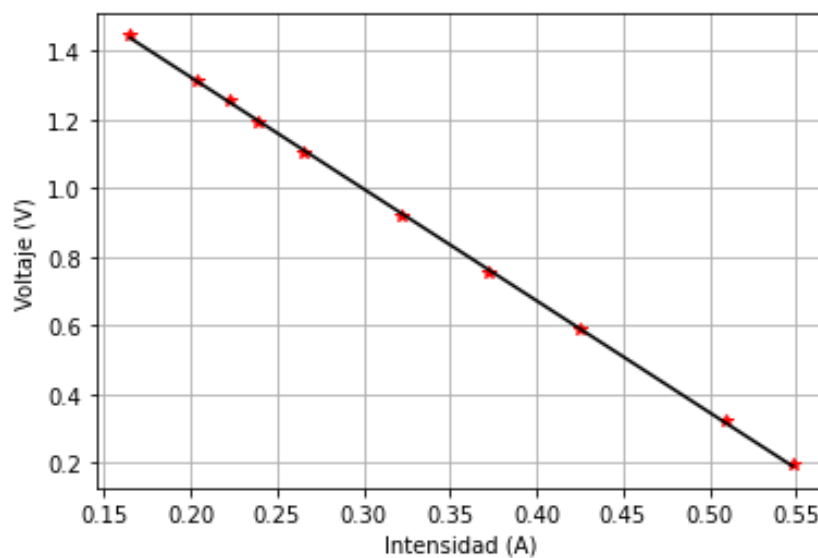
De forma directa:

$$\varepsilon_{ab} = (2,050 \pm 0,001)V$$

Indirectamente:

$V(V)$	$s(V)(V)$	$I(mA)$	$s(I)(mA)$
0,195	0,001	548	1
0,322	0,001	509	1
0,59	0,001	425	1
0,756	0,001	372	1
0,921	0,001	322	1
1,105	0,001	265	1
1,194	0,001	239	1
1,255	0,001	222	1
1,316	0,001	204	1
1,446	0,001	165	1

Cuadro 11: Datos para el cálculo de R_i



a	$s(a)$	b	$s(b)$	r
1,9756	0,0053	-3,258	0,015	0,99991

De tal forma que obtenemos:

$$\varepsilon_3 = a = (1,9756 \pm 0,0053)V \quad R_i = -b = (3,258 \pm 0,015)\Omega$$

Realizando la media de los valores experimental y teórico de ε :

$$\bar{\varepsilon}_{s3} = (2,0474 \pm 0,0098)V$$

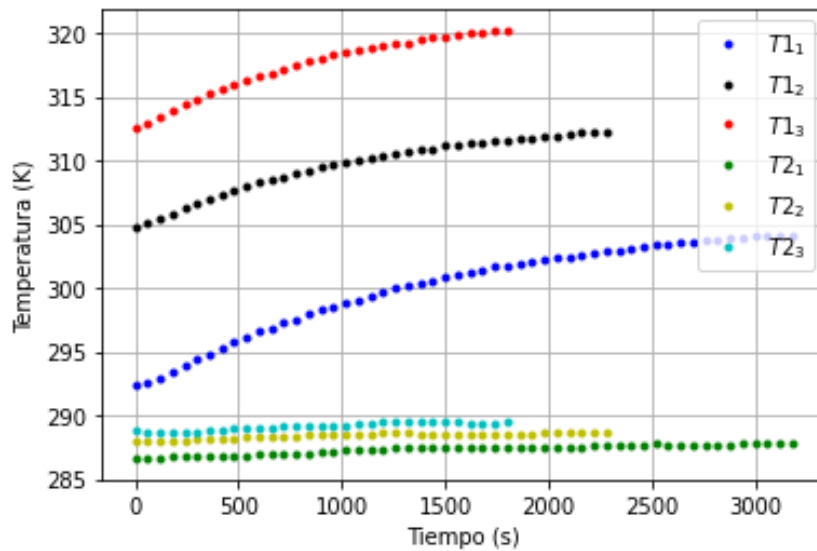
Obteniendo el coeficiente Seebeck, tal que:

$$S_3 = (0,062525 \pm 0,00040)V/K$$

Realizaremos ahora una media ponderada de los valores obtenidos para la capacidad calorífica para emplear ese valor en el siguiente apartado. Aplicando para esta magnitud las expresiones empleadas para obtener \bar{T}_f , obteniendo:

$$\bar{C}_m = (1295 \pm 13)J/K$$

4.5. Conjunto de estacionarios



4.6. Efecto Peltier

En este caso, la finalidad es obtener el coeficiente Peltier del mismo módulo termoeléctrico. Para conseguirlo, mantendremos el voltaje aplicado al módulo constante ($V = (150 \pm 0,1)V$) y variaremos la intensidad que lo atraviesa. De esta forma estudiaremos diversos estados estacionarios. Reescribiendo la Ec. 7:

$$\dot{Q}_P = \frac{V^2}{R_c} - \lambda_T(T_2 - T_1) + \frac{1}{2}I^2r_i$$

Siendo R_c la resistencia calefactora obtenida al principio de la práctica. Cada estacionario tendrá su diferencia de temperatura propia, así como su respectiva conductividad térmica. R_i lo obtuvimos realizando la media ponderada anteriormente. Los valores que emplearemos en esta práctica obtenidos anteriormente son:

$$R_c = (827,28 \pm 0,53)\Omega \quad \bar{R}_i = (4,695 \pm 0,013)\Omega \quad \bar{C}_m = (1295 \pm 13)J/K$$

4.6.1. Primer estacionario ($I=0,5A$)

Las tablas de valores recogidos en el laboratorio están al final de la práctica, para facilitar la lectura de esta. Como antes, realizaremos los dos mismos ajustes, obteniendo:

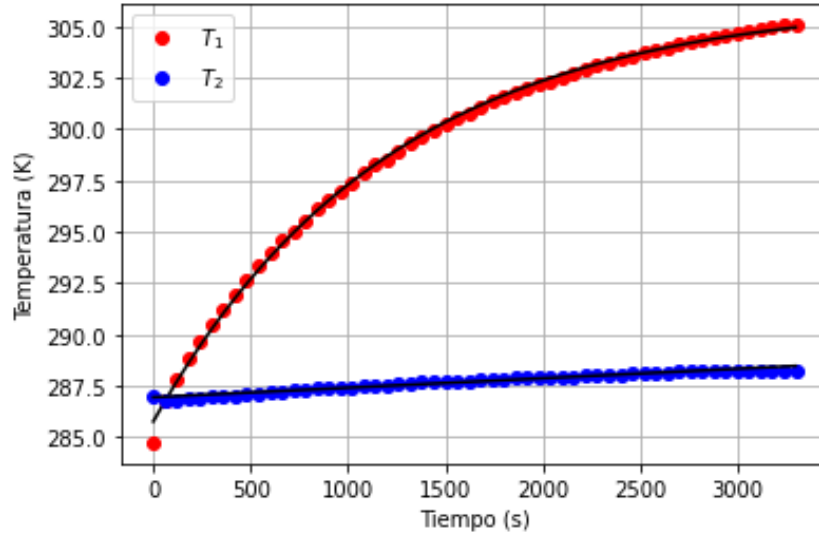


Figura 4: Temperaturas foco caliente (T_1) y foco frío (T_2) a $I = 0,5A$

a	$s(a)$	b	$s(b)$	c	$s(c)$
306,30	0,10	-20,53	0,098	0,000824	0,000012

Cuadro 12: Parámetros obtenidos del foco caliente

a	$s(a)$	b	$s(b)$
286,953	0,029	0,000461	0,000015

Cuadro 13: Parámetros obtenidos del foco frío

Empleando la ecuación del ajuste obtenemos una ecuación similar a la de Seebeck:

$$T_1(t) = T_1^\infty - (T_1^\infty - T_1^0)e^{\frac{\lambda_T}{C}t}$$

$$T_1^\infty = a = (306,30 \pm 0,10)K$$

La temperatura de la unión fría será calculada realizando una media, ya que se mantiene más o menos constante. Para la incertidumbre realizaremos su incertidumbre combinada, obteniendo:

$$\bar{T}_2 = (287,71 \pm 0,12)K$$

Obtendremos λ_T de la siguiente forma:

$$C = \frac{\lambda_T}{\bar{C}} \Rightarrow \lambda_T = C \cdot \bar{C}$$

$$s(\lambda_T) = \sqrt{C^2 s^2(\bar{C}) + \bar{C}^2 s^2(C)}$$

Tal que:

$$\lambda_T = (1,067 \pm 0,019)W/K$$

Empleando las expresiones del principio, la fórmula de la incertidumbre del calor Peltier es:

$$s(\dot{Q}_P) = \sqrt{\frac{V^2 \cdot 4}{R_C^2} s^2(V) + \frac{V^4 \cdot 4}{R_C^4} s^2(R_C) + I^2 \bar{r}_i^2 s^2(I) + \frac{I^4}{4} s^2(\bar{r}_i) + (T_1^\infty - \bar{T}_2)^2 s^2(\lambda_T) + \lambda_T^2 s^2(T_1^\infty) + \lambda_T^2 s^2(\bar{T}_2)}$$

Obteniendo:

$$\dot{Q}_P = (7,94 \pm 0,45)J/s$$

Repetiremos este proceso tantas veces como estacionarios haya, por lo que simplemente pondremos los resultados obtenidos.

4.6.2. Segundo estacionario (I=1,0A)

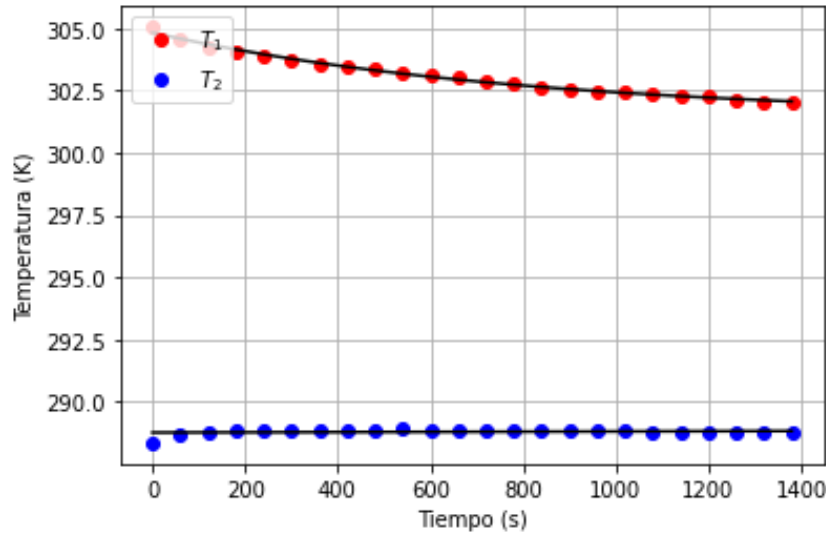


Figura 5: Temperaturas foco caliente (T_1) y foco frío (T_2) a $I = 1,0A$

a	$s(a)$	b	$s(b)$	c	$s(c)$
301,47	0,14	3,36	0,12	0,00125	0,00011

Cuadro 14: Parámetros obtenidos del foco caliente

a	$s(a)$	b	$s(b)$
288.76	0.046	0,000571	0,000045

Cuadro 15: Parámetros obtenidos del foco frío

$$\begin{aligned} \bar{T}_2 &= (288,79 \pm 0,10)K & T_1^\infty &= (301,47 \pm 0,0046)K \\ \lambda_T &= (1,62 \pm 0,14) & \dot{Q}_P &= (9,0 \pm 1,8)J/s \end{aligned}$$

4.6.3. Tercer estacionario ($I=1,5A$)

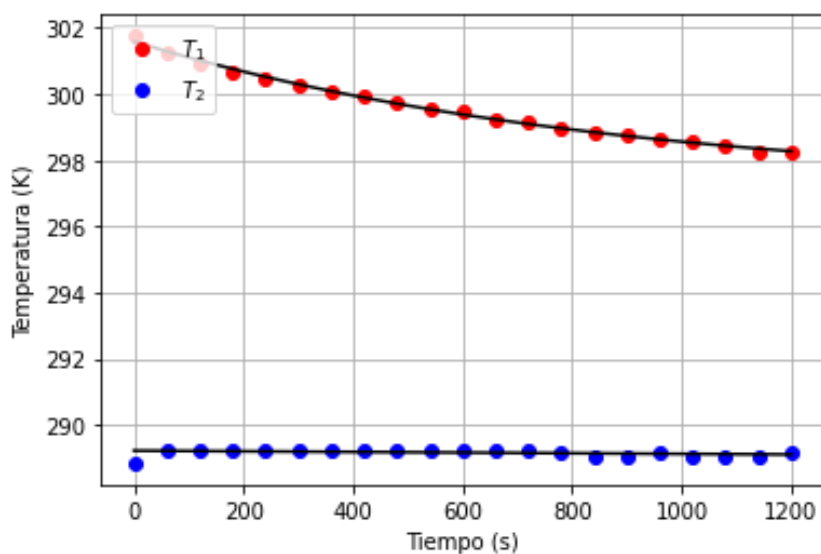


Figura 6: Temperaturas foco caliente (T_1) y foco frío (T_2) a $I = 1,5A$

a	$s(a)$	b	$s(b)$	c	$s(c)$
297,14	0,20	4,44	0,18	0,001141	0,000094

Cuadro 16: Parámetros obtenidos del foco caliente

a	$s(a)$	b	$s(b)$
289,227	0,046	-0,000097	0,000066

Cuadro 17: Parámetros obtenidos del foco frío

$$\begin{aligned} \bar{T}_2 &= (289,17 \pm 0,10)K & T_1^\infty &= (297,14 \pm 0,20)K \\ \lambda_T &= (1,48 \pm 0,12) & \dot{Q}_P &= (20,7 \pm 1,3)J/s \end{aligned}$$

4.6.4. Cuarto estacionario ($I=2,0A$)

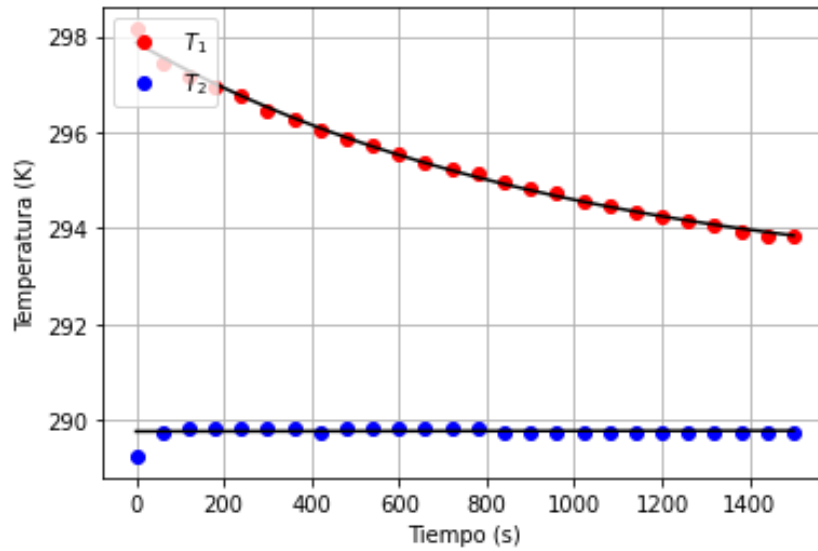


Figura 7: Temperaturas foco caliente (T_1) y foco frío (T_2) a $I = 2A$

a	$s(a)$	b	$s(b)$	c	$s(c)$
292,72	0,19	5,15	0,16	0,001010	0,000071

Cuadro 18: Parámetros obtenidos del foco caliente

a	$s(a)$	b	$s(b)$
289,766	0,046	0,000091	0,00000052

Cuadro 19: Parámetros obtenidos del foco frío

$$\bar{T}_2 = (289,77 \pm 0,10)K \quad T_1^\infty = (292,72 \pm 0,19)K$$

$$\lambda_T = (1,308 \pm 0,093) \quad \dot{Q}_P = (32,7 \pm 1,0)J/s$$

4.6.5. Cuarto estacionario ($I=2,5A$)

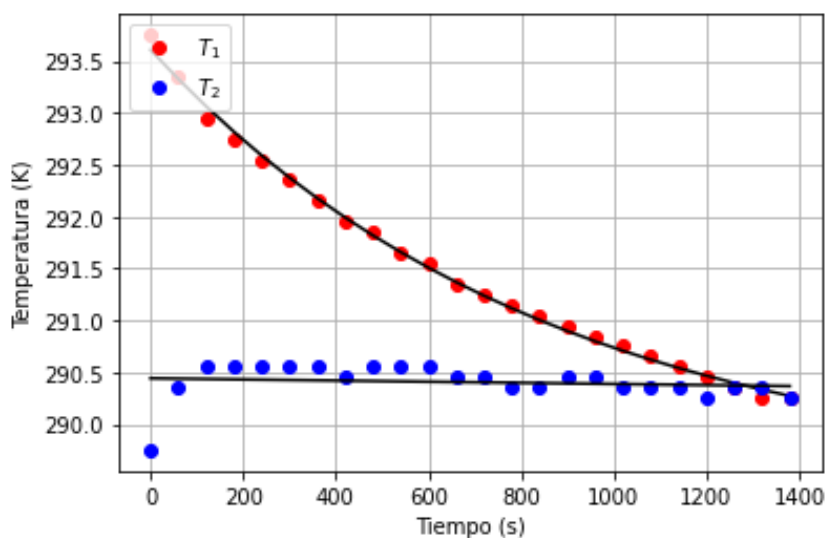


Figura 8: Temperaturas foco caliente (T_1) y foco frío (T_2) a $I = 2,5A$

a	$s(a)$	b	$s(b)$	c	$s(c)$
289,44	0,12	4,17	0,10	0,001169	0,000067

Cuadro 20: Parámetros obtenidos del foco caliente

a	$s(a)$	b	$s(b)$
290,442	0,069	-0,0000545	0,0000086

Cuadro 21: Parámetros obtenidos del foco frío

$$\begin{aligned} \bar{T}_2 &= (290,40 \pm 0,11)K & T_1^\infty &= (289,44 \pm 0,12)K \\ \lambda_T &= (1,515 \pm 0,088) & \dot{Q}_P &= (43,4 \pm 1,2)J/s \end{aligned}$$

4.6.6. Cuarto estacionario ($I=3,0A$)

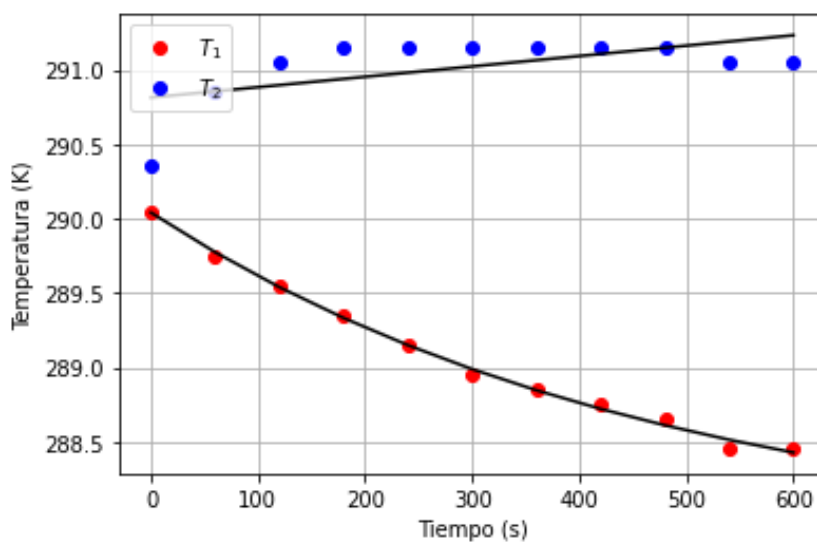


Figura 9: Temperaturas foco caliente (T_1) y foco frío (T_2) a $I = 3,0A$

a	$s(a)$	b	$s(b)$	c	$s(c)$
287,79	0,16	-0,0000545	0,0000086	0,00210	0,00026

Cuadro 22: Parámetros obtenidos del foco caliente

a	$s(a)$	b	$s(b)$
290,81	0,12	0,00070	0,00033

Cuadro 23: Parámetros obtenidos del foco frío

$$\begin{aligned} \bar{T}_2 &= (291,02 \pm 0,12)K & T_1^\infty &= (287,79 \pm 0,16)K \\ \lambda_T &= (2,72 \pm 0,34) & \dot{Q}_P &= (57,1 \pm 1,9)J/s \end{aligned}$$

4.6.7. Conjunto de estacionarios

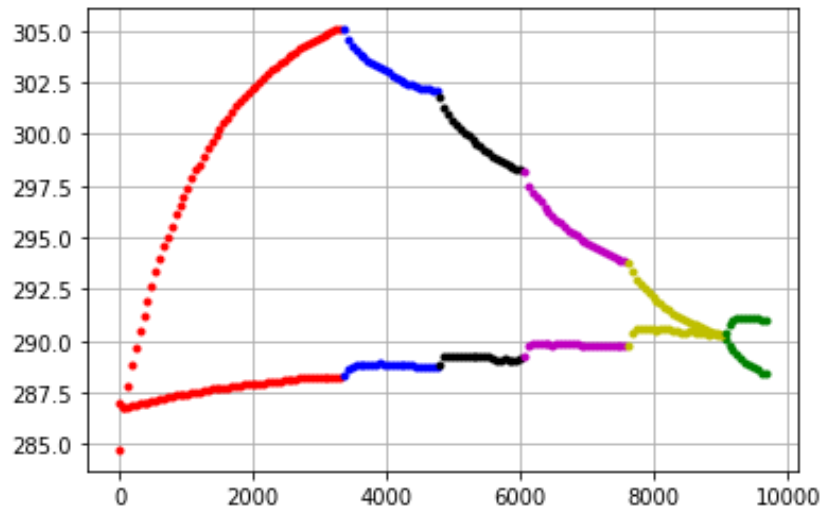


Figura 10: Estacionarios

4.6.8. Coeficiente Peltier

$I(A)$	\dot{Q}_P	$s(\dot{Q}_P)$
0,5	7,94	0,45
1,0	9,00	1,8
1,5	20,7	1,3
2,0	32,7	1,0
2,5	43,4	1,2
3,0	57,1	1,9

Cuadro 24: Intensidades y calores de los estacionarios

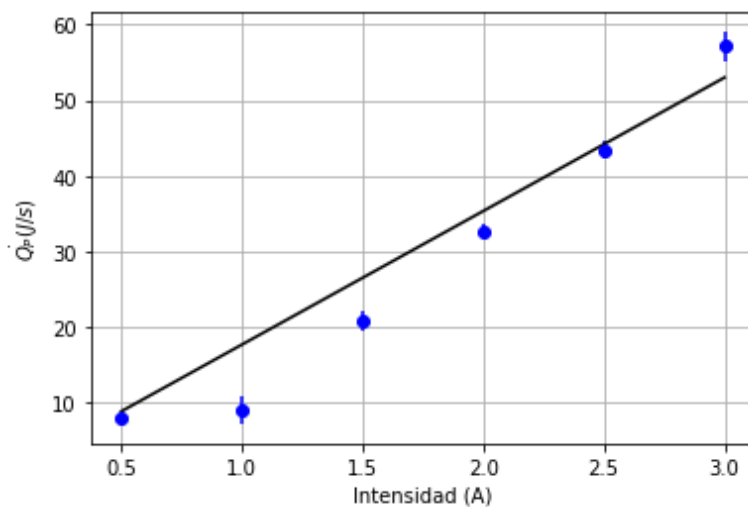


Figura 11: Calores Peltier de cada estacionario

Obtenemos que la pendiente de la recta, que coincide con el coeficiente de Peltier, por lo que:

$$\pi_{ab} = (17,7 \pm 1,2)W/A$$

5. Conclusión

Hemos ido razonando los resultados a lo largo de la práctica. En general, podemos decir que fueron satisfactorios.

Podemos observar que, el ajuste de las curvas de calentamiento de Seebeck, comparadas con las de Peltier, son más precisas. Puede deberse a diversos factores, como que hayamos tomado más medidas en Seebeck, que no llegamos a los 5 grados centígrados, ya que esto no fue logrado en el laboratorio.

6. Tablas de datos

6.1. Seebeck

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
0	19,3	13,5
1	19,4	13,5
2	19,8	13,5
3	20,3	13,6
4	20,8	13,6
5	21,2	13,6
6	21,7	13,6
7	22,1	13,6
8	22,6	13,7
9	23,0	13,7
10	23,4	13,8
11	23,7	13,8
12	24,1	13,9
13	24,4	13,9
14	24,8	13,9
15	25,1	14,0
16	25,4	14,0
17	25,7	14,1
18	25,9	14,1
19	26,2	14,1
20	26,5	14,1
21	26,8	14,3
22	27,0	14,3
23	27,2	14,3
24	27,4	14,3
25	27,7	14,4
26	27,9	14,4

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
27	28,1	14,4
28	28,2	14,4
29	28,5	14,4
30	28,6	14,4
31	28,8	14,4
32	28,9	14,4
33	29,1	14,4
34	29,2	14,4
35	29,3	14,4
36	29,5	14,4
37	29,6	14,5
38	29,7	14,5
39	29,8	14,5
40	30,0	14,5
41	30,1	14,5
42	30,2	14,6
43	30,3	14,5
44	30,4	14,5
45	30,5	14,5
46	30,6	14,5
47	30,6	14,5
48	30,7	14,5
49	30,8	14,6
50	30,9	14,6
51	31,0	14,6
52	31,0	14,6
53	31,0	14,6

Cuadro 25: Primer estacionario

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
0	31,6	14,8
1	31,9	14,8
2	32,3	14,8
3	32,7	14,9
4	33,1	14,9
5	33,5	15,0
6	33,9	15,0
7	34,2	15,0
8	34,5	15,0
9	34,8	15,1
10	35,1	15,1
11	35,3	15,1
12	35,6	15,2
13	35,8	15,2
14	36,1	15,3
15	36,3	15,3
16	36,5	15,3
17	36,7	15,4
18	36,8	15,4
19	37,1	15,4

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
20	37,2	15,5
21	37,4	15,5
22	37,6	15,5
23	37,7	15,4
24	37,8	15,4
25	38,0	15,4
26	38,1	15,3
27	38,2	15,3
28	38,3	15,3
29	38,4	15,3
30	38,4	15,3
31	38,5	15,4
32	38,6	15,4
33	38,7	15,5
34	38,8	15,6
35	38,9	15,6
36	39,0	15,6
37	39,0	15,6
38	39,0	15,6

Cuadro 26: Segundo estacionario

6.2. Peltier

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
0	11,6	13,9
1	13,6	13,6
2	14,7	13,6
3	15,7	13,7
4	16,5	13,7
5	17,3	13,8
6	18,1	13,8
7	18,8	13,9
8	19,5	14,0
9	20,2	14,0
10	20,8	14,1
11	21,4	14,1
12	21,9	14,2
13	22,4	14,2
14	23,0	14,3
15	23,4	14,3
16	23,8	14,3
17	24,2	14,3
18	24,7	14,4
19	25,1	14,4
20	25,4	14,4
21	25,8	14,5
22	26,2	14,5
23	26,5	14,6
24	26,8	14,6
25	27,1	14,6
26	27,4	14,6
27	27,6	14,6

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
28	27,9	14,7
29	28,2	14,7
30	28,4	14,7
31	28,6	14,8
32	28,8	14,8
33	29,0	14,8
34	29,2	14,8
35	29,4	14,8
36	29,6	14,8
37	29,8	14,9
38	30,0	14,9
39	30,1	14,9
40	30,3	14,9
41	30,4	15,0
42	30,6	15,0
43	30,7	15,0
44	30,8	15,0
45	31,0	15,1
46	31,1	15,1
47	31,2	15,1
48	31,3	15,1
49	31,4	15,1
50	31,5	15,1
51	31,6	15,1
52	31,7	15,1
53	31,8	15,1
54	31,9	15,1
55	31,9	15,1

Cuadro 27: Primer estacionario

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
0	31,9	15,2
1	31,4	15,5
2	31,1	15,6
3	30,9	15,7
4	30,7	15,7
5	30,6	15,7
6	30,4	15,7
7	30,3	15,7
8	30,2	15,7
9	30,1	15,8
10	30,0	15,7
11	29,9	15,7

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
12	29,7	15,7
13	29,6	15,7
14	29,5	15,7
15	29,4	15,7
16	29,3	15,7
17	29,3	15,7
18	29,2	15,6
19	29,1	15,6
20	29,1	15,6
21	29,0	15,6
22	28,9	15,6
23	28,9	15,6

Cuadro 28: Segundo estacionario

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
0	28,6	15,7
1	28,1	16,1
2	27,8	16,1
3	27,5	16,1
4	27,3	16,1
5	27,1	16,1
6	26,9	16,1
7	26,8	16,1
8	26,6	16,1
9	26,4	16,1
10	26,3	16,1

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
12	29,7	15,7
11	26,1	16,1
12	26,0	16,1
13	25,8	16,0
14	25,7	15,9
15	25,6	15,9
16	25,5	16,0
17	25,4	15,9
18	25,3	15,9
19	25,1	15,9
20	25,1	16,0

Cuadro 29: Tercer estacionario

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
0	25,0	16,1
1	24,3	16,6
2	24,0	16,7
3	23,8	16,7
4	23,6	16,7
5	23,3	16,7
6	23,1	16,7
7	22,9	16,6
8	22,7	16,7
9	22,6	16,7
10	22,4	16,7
11	22,2	16,7
12	22,1	16,7

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
12	29,7	15,7
13	22,0	16,7
14	21,8	16,6
15	21,7	16,6
16	21,6	16,6
17	21,4	16,6
18	21,3	16,6
19	21,2	16,6
20	21,1	16,6
21	21,0	16,6
22	20,9	16,6
23	20,8	16,6
24	20,7	16,6
25	20,7	16,6

Cuadro 30: Cuarto estacionario

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
0	20,6	16,6
1	20,2	17,2
2	19,8	17,4
3	19,6	17,4
4	19,4	17,4
5	19,2	17,4
6	19,0	17,4
7	18,8	17,3
8	18,7	17,4
9	18,5	17,4
10	18,4	17,4
11	18,2	17,3

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
12	18,1	17,3
13	18,0	17,2
14	17,9	17,2
15	17,8	17,3
16	17,7	17,3
17	17,6	17,2
18	17,5	17,2
19	17,4	17,2
20	17,3	17,1
21	17,2	17,2
22	17,1	17,2
23	17,1	17,1

Cuadro 31: Quinto estacionario

$t(min)$	$T_1(^{\circ}C)$	$T_2(^{\circ}C)$
0	16,9	17,2
1	16,6	17,7
2	16,4	17,9
3	16,2	18,0
4	16,0	18,0
5	15,8	18,0
6	15,7	18,0
7	15,6	18,0
8	15,5	18,0
9	15,3	17,9
10	15,3	17,9

Cuadro 32: Sexto estacionario