

Entrega Final

María José Rojas, Miguel Casallas

I. RESULTADO DE LAS PRUEBAS, ANÁLISIS Y COMPARACIÓN CON ESPECIFICACIONES

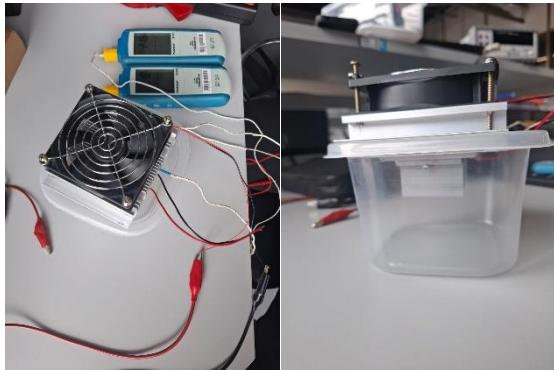


Fig. 1. Sistema diseñado

A partir del sistema diseñado (Figura 1) se realizaron las siguientes pruebas:

Prueba 1: comprobación del punto óptimo encontrado teóricamente.

Para la realización de esta prueba se tomaron valores de temperatura para ambos lados de la celda según la corriente aplicada, esto con el fin de encontrar la diferencia de temperatura entre ambos.

TABLA 1
DATOS PARA LA CURVA CARACTERÍSTICA

Corriente (A)	T Lado Caliente (°C)	T Lado Frio (°C)	ΔT (°C)
0,25	23,60	21,30	2,30
0,50	24,10	18,40	5,70
0,75	24,50	16,30	8,20
1,00	25,00	13,50	11,50
1,25	25,50	10,70	14,80
1,50	26,10	8,20	17,90
1,75	26,70	6,40	20,30
2,00	27,50	4,80	22,70
2,25	28,30	3,50	24,80
2,50	29,20	2,60	26,60
2,75	30,20	2,20	28,00
3,00	31,30	2,10	29,20
3,25	32,40	1,90	30,50
3,50	34,40	2,00	32,40
3,75	34,50	2,10	32,40

4,00	36,00	2,40	33,60
4,25	36,40	2,50	33,90
4,50	37,70	3,30	34,40
4,75	40,50	5,90	34,60
5,00	42,50	7,30	35,20

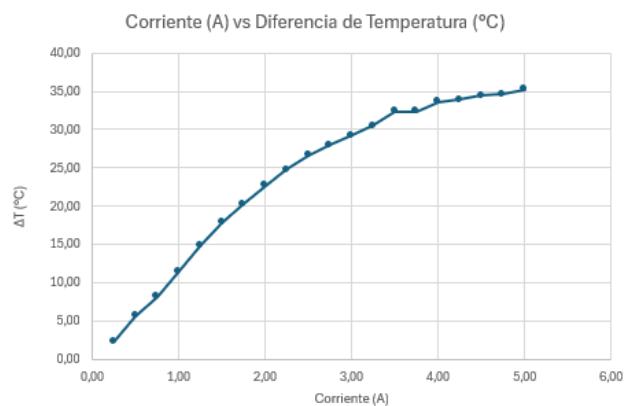


Fig. 2. Curva característica de la celda Peltier

Al evaluar el comportamiento de la celda para una corriente entre 0,25A y 2A, se observa una relación directamente proporcional prácticamente lineal entre la corriente y la diferencia de temperatura hasta aproximadamente 2,5A (donde se encuentra el punto óptimo). Es en este punto donde los valores tienden a estabilizarse debido a que el efecto Joule, conocido como el calentamiento por resistencia eléctrica [1], comienza a ser dominante. Es por esto por lo que, en valores de corriente superiores la tasa de aumento del ΔT disminuye, es decir que la disipación de calor del lado caliente se hace menos eficiente incrementando la temperatura en ese lado y, por eso mismo, el lado frío deja de enfriarse con la misma proporción. Por esta razón se hizo uso del disipador y del ventilador, ya que, sin estos gracias al efecto Joule ya mencionado, la temperatura se elevaría rápidamente disminuyendo la diferencia de la temperatura entre las placas, lo que generaría la pérdida de la eficiencia en el proceso de condensación y es lo que se quiere evitar, ya que se buscaba mantener ese efecto Peltier. El valor de corriente para el punto óptimo (alrededor de los 2,5A) concuerda con el hallado teóricamente en la fase 2 del reto.

Prueba 2: Medición de temperatura en ambos lados de la celda.

Para esta prueba se tienen en cuenta las condiciones ambientales, ya que, de la humedad relativa y la temperatura

ambiental son factores determinantes en la tasa de condensación del agua.



Fig. 3. Condiciones ambientales

Bajo estas condiciones, se tomaron datos por 1h y 23min, obteniendo finalmente 1mL de agua condensada. Este resultado es coherente con el gradiente de temperatura obtenido y confirma la capacidad del sistema de condensar agua.

TABLA 2
DATOS OBTENIDOS

Tiempo (s)	T Lado Caliente (°C)	T Lado Frio (°C)
0	24,5	22,8
10,4	24,5	21,6
20,55	25	19,5
30,15	25,7	17,6
40,97	26,4	15,8
50,48	27	14,5
60	27,5	13,1
66	27,9	11,8
72	28,2	10,8
78	28,4	9,9
84	28,5	9
90	28,7	8,4
120	28,8	7,9
126	28,9	7,4
132,6	29	6,8
138,6	29,1	6,3
144,6	29,1	6,1
150,6	29,2	5,8
156,6	29,2	5,5
162,6	29,2	5,5
168,6	29,2	5,3
174,6	29,2	5,1
180,6	29,2	5

186,6	29,3	4,9
192,6	29,3	4,8
198,6	29,3	4,8
204,6	29,3	4,7
210,6	29,3	4,6
216,6	29,3	4,6
222,6	29,3	4,6

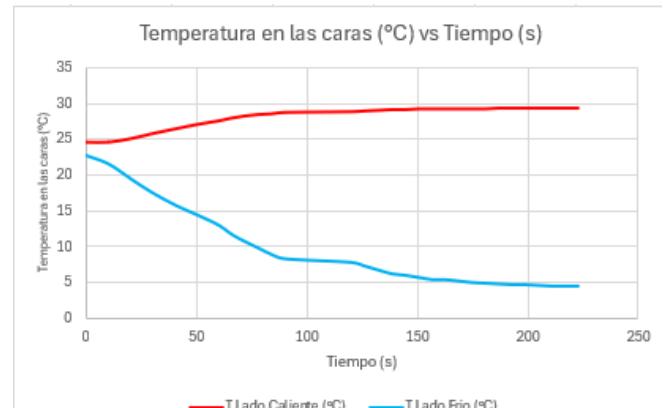


Fig. 4. Temperatura en las caras (°C) vs Tiempo (s)

A partir de la Tabla 2, se grafica la temperatura en cada lado vs el tiempo (Figura 4). Se observa que ambos lados empiezan cerca de la temperatura ambiente, luego el lado caliente aumenta su temperatura hasta aproximadamente 29°C donde se estabiliza, es decir, donde llega al régimen térmico estable. Por otro lado, el lado frío disminuye su temperatura rápidamente, hasta que también se estabiliza cerca de los 4°C, es aquí donde se logra la mayor diferencia de temperatura entre los lados. Por tanto, el sistema alcanza su régimen permanente en menos de 3 minutos, donde el gradiente de temperatura está entre los 23 y 24°C. Estos valores se encuentran dentro del rango típico para celdas Peltier bajo condiciones de disipación moderada. De igual forma a partir de los datos obtenidos se puede obtener la eficiencia de la celda como bomba de calor (enfriamiento):

$$COP = \frac{Q_{frío}}{P_{eléctrica}}$$

Para obtener $Q_{frío}$, se realiza el siguiente procedimiento, con datos tomados de la hoja de especificaciones de la celda Peltier [2] a un diferencial de temperatura de 25 grados y empleando interpolación lineal:

$$Q_{frío} \text{ a } 1.5A = 10W$$

$$Q_{frío} \text{ a } 3A = 20W$$

Entonces

$$Q_{frío} \text{ a } 2.5A \approx 16.67W$$

Para la potencia eléctrica se tiene que:

$$P = V \cdot I$$

Usando el valor del voltaje obtenido de 6.46 V, se calcula la siguiente potencia:

$$P = 6.46 \text{ V} \cdot 2.5 \text{ A} = 16.15 \text{ W}$$

Por último, se calcula el valor de la COP:

$$COP = \frac{16.67 \text{ W}}{16.15 \text{ W}} = 1.03$$

Este valor significa que por cada vatio de energía eléctrica que se consume, se está extrayendo 1.03 vatios de calor del lado frío. Este valor nos indica que la celda Peltier trabajando bajo estas condiciones específicas, está funcionando como un transportador de calor efectivo.

De igual forma, se puede encontrar la potencia en el punto máximo de rendimiento.

$$\begin{aligned} P &= V \cdot I \\ P &= 8.4 \text{ V} \cdot 3.2 \text{ A} = 26.88 \text{ W} \end{aligned}$$

Esta es la máxima potencia que se puede aplicar antes de que el efecto Joule domine y se vea afectada la eficiencia del sistema. Además, se tomó el máximo gradiente de temperatura que el sistema puede sostener de manera eficiente.

$$\Delta T = 34.2^\circ\text{C} - 2^\circ\text{C} = 32.2^\circ\text{C}$$

Analizando a su vez la temperatura de elevación sobre el ambiente:

$$34.2^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C} = 17.2^\circ\text{C}$$

Como el aumento no es demasiado, se demuestra que el sistema de disipación (ventilador y disipador) es eficaz. Si el valor fuera muy alto indicaría que el disipador es inadecuado y limitaría el rendimiento del sistema.

Además, se puede calcular el COP en este punto, primero empleando la interpolación lineal se obtiene:

$$Q_{frío} \approx 3.2 \text{ A} \approx 12 \text{ W}$$

$$COP = \frac{12 \text{ W}}{26.88 \text{ W}} = 0.45$$

De esta forma se observa que el COP se redujo respecto al punto óptimo, lo que evidencia que el efecto Joule se ha vuelto dominante.

II. MEJORAS POSIBLES

Para optimizar el proceso, en este caso, obtener una mayor cantidad de agua condensada, se pueden realizar los siguientes cambios:

1. Mejorar la disipación del lado caliente: esto implicaría el uso de un disipador con mayor superficie o un ventilador de mayor caudal.
2. Aislamiento del lado frío: como existen pérdidas por convección al estar expuesto directamente al

ambiente, el aislamiento de este lado mejoraría el proceso de condensación.

III. CÓMO SE PUEDE EMPLEAR EL EQUIPO DISEÑADO PARA LA APLICACIÓN IDENTIFICADA EN LA FASE UNO

En la fase uno se había planteado como aplicación un calentador/enfriador de bebidas. El sistema diseñado se puede aplicar de la siguiente forma:

- Modo enfriador: Como se demostró en las pruebas, el lado frío de la celda puede alcanzar temperaturas bajas (cerca de los 4°C) que es donde se estabiliza, esto lo hace en aproximadamente 3 minutos. Para enfriar una lata o una botella, esta se colocaría en contacto térmico con el lado frío, de esta forma, el sistema extraería el calor de la bebida de manera eficiente.
- Modo calentador: El mismo sistema usaría el lado caliente para calentar la bebida, o al cambiar la polaridad de la corriente se intercambiarían los lados de la celda. En este caso podría aumentarse la corriente, ya que, de este modo se llegaría a una temperatura cerca de los 43°C. La eficiencia en el calentamiento es incluso mayor debido al efecto Joule, que en este modo contribuye al objetivo.

En cuanto a aplicaciones en la industria o en productos puntuales el principio Peltier se puede ver aplicado para condensar agua en:

- **Deshumidificadores:** este aspira el aire húmedo y se enfriá para así condensar el agua presente, esta se almacena en un depósito. Posteriormente, el aire ya seco se calienta directamente y se devuelve al ambiente [3].

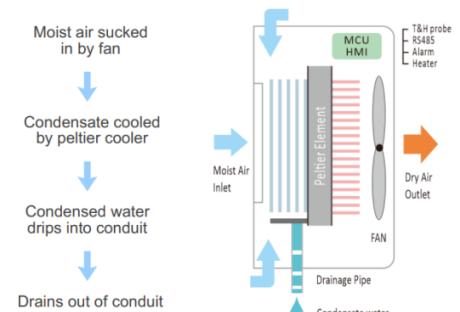


Fig. 5. Funcionamiento deshumidificador

- **Generadores de agua atmosférica:** empresas como Watergen crean máquinas que extraen la humedad del aire y condensan el agua para luego purificarla y convertirla en agua potable [4].

Para enfriar/calentar bebidas en:

- **Dispensadores de agua:** algunos dispensadores de agua utilizan la celda Peltier para así enfriar o calentar el agua respectivamente [5].

Y en otras aplicaciones:

- **Enfriamiento de CPU:** se usa el principio Peltier donde el lado frío de la célula se coloca sobre el procesador con pasta térmica, y un disipador grande se usa en el lado caliente para disipar el calor que se ha transferido [6]

IV. CONCLUSIONES

- El sistema cumplió el objetivo de generar un gradiente de temperatura significativo cuando la corriente se encuentra en el punto óptimo de operación alrededor de los 2.5A, punto que fue comprobado experimentalmente en la Prueba 1 a partir del obtenido teóricamente.
- La Prueba 2 demostró que el sistema es capaz de alcanzar un régimen permanente estable en menos de 3 minutos, con un diferencial de temperatura máximo de aproximadamente 24°C, logrando una temperatura mínima de 4°C. El cálculo del COP arrojó un valor de 1.03, lo que confirma que la celda funciona como un transportador de calor efectivo, extrayendo más energía térmica de la que consume en energía eléctrica.
- El sistema cumplió con su funcionamiento al condensar 1 mL de agua de la humedad ambiental. De igual forma, se observa que el equipo es perfectamente aplicable para la finalidad inicial planteada en la Fase Uno: un calentador/enfriador portátil de bebidas.
- Se comprobó la importancia de un subsistema de disipación de calor, compuesto por disipador y ventilador, en el lado caliente para contrarrestar el efecto Joule y mantener la eficiencia del efecto Peltier

REFERENCIAS

- [1] Caloryfrio, M. I. (2020, 23 junio). *¿Qué es el Efecto Joule? Aplicaciones para calefacción.* caloryfrio.com. <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/que-es-el-efecto-joule-aplicaciones-para-calefaccion.html>
- [2] HB Corporation, *TEC1-12706 Thermoelectric Cooler*, [Datasheet], Rev 2.03, n.d.
- [3] Blue Jay. (2024, 7 agosto). What are industrial enclosure dehumidifier types - Blue Jay. <https://cqbluejay.com/what-are-industrial-enclosure-dehumidifier-types/#:~:text=deshumidificador%20enfriador%20Peltier,->
- [4] Watergen. (2025, 29 septiembre). Atmospheric Water Generator | Water From Air by Watergen. <https://watergen.com/>
- [5] Aprendiendo con Alicia. (2022, 10 mayo). *Despachadores de agua diferencias entre sistema peltier y compresor* [Vídeo]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=qCB4QcHG2y8>
- [6] Limitado, S. I. I. C. (2025, 20 octubre). *¿Cómo funciona el enfriador de CPU Intel Peltier en una configuración de múltiples GPU?* - Blog. Innolead. <https://es.innolead.net/blog/how-does-intel-peltier-cpu-cooler-perform-in-a-multi-gpu-setup-1482049.html>