



**Institución Universitaria**

# **Sistema de autorregulación térmica basado en celdas de peltier**

Emmanuel Morales  
Sebastian Hernandez  
Samuel Lopez

Docente encargado: Diego Alejandro Herrera Jaramillo

Facultad de Ingeniería, Instituto Tecnológico Metropolitano

# 1 Objetivo

Se busca un sistema que permita mantener baterías de plomo en un punto de operación (temperatura ambiente) óptima para emplearlas en experimentos.

## 2 cálculos y estimaciones de el circuito

La conexión en paralelo, permite una corriente idónea en cada rama, para suplir con la condición de evaluar como se comporta este circuito en el tiempo, simplemente se resuelve la ecuación diferencial para un circuito  $RL$ :

$$L \frac{dI}{dt} + RI = V$$

Para trabajar con esta ecuación simplemente se simplifica el circuito haciendo la respectiva resistencia equivalente, entre las 3:

$$Rx = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R} + \frac{1}{R}}$$

que es lo mismo que tener:

$$Rx = \frac{R}{3}$$

lo cual nos permite visualizar un circuito en serie el cual es resoluble con la ecuación diferencial de el principio, pasando entonces con esta última:

$$L \frac{dI}{dt} + RI = V, I_{(0)} = I_0$$

$$L \frac{dI}{dt} = V - RI$$

$$\frac{dI}{V - RI} = \frac{dt}{L}$$

$$\int \frac{dI}{V - RI} = \int \frac{dt}{L}$$

$$-\frac{1}{R} \ln |V - RI_{(t)}| = \frac{t}{L} + k$$

$$\ln |V - RI_{(t)}| = \frac{-Rt}{L} + k$$

$$e^{\ln |V - RI_{(t)}|} = e^{\frac{-Rt}{L} + k}$$

$$V - RI_{(t)} = ke^{\frac{-Rt}{L}}$$

$$I_{(t)} = \frac{V}{R} - ke^{\frac{-Rt}{L}}$$

$$I_{(0)} = \frac{V}{R} - ke^0$$

$$I_0 = \frac{V}{R} - k$$

$$k = \frac{V}{R} - I_0$$

Remplazando:

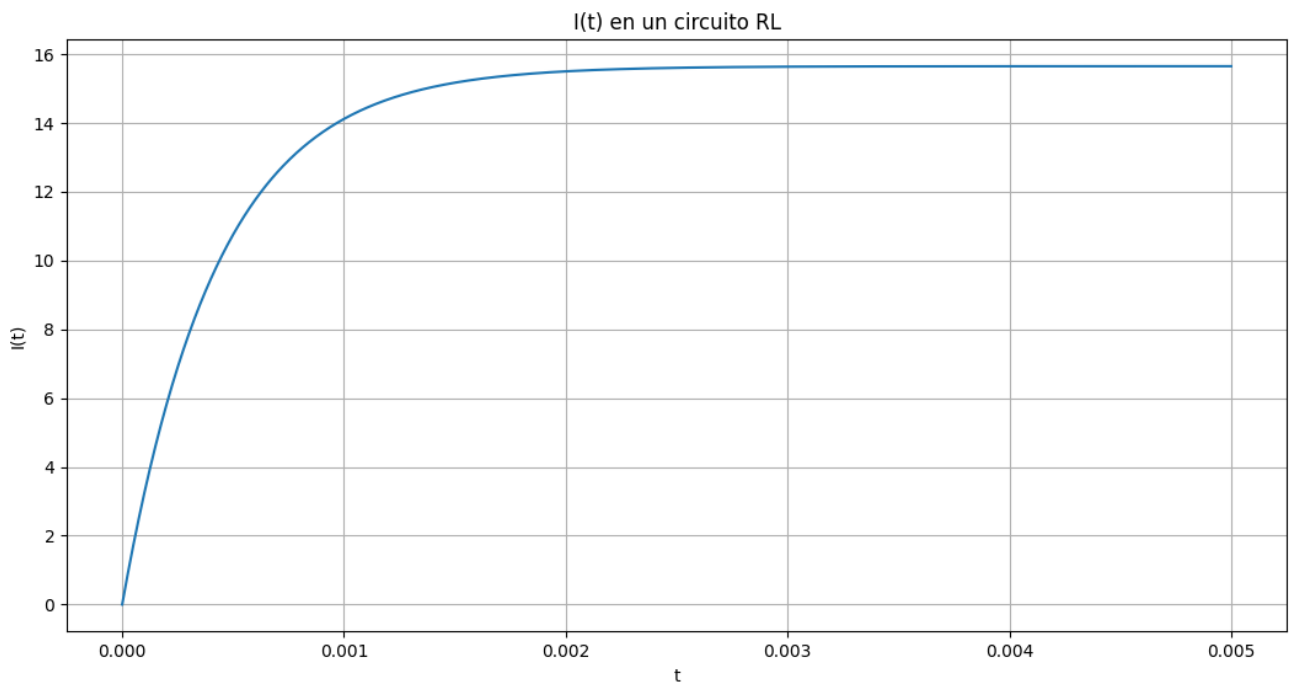
$$I_{(t)} = \frac{V}{R} - \left(\frac{V}{R} - I_0\right)e^{\frac{-Rt}{L}}$$

$$I_{(t)} = \frac{V}{R}(1 - e^{\frac{-Rt}{L}}) + I_0 e^{\frac{-Rt}{L}}$$

Remplazando R por Rx, para obtener el modelo final:

$$I_{(t)} = \frac{3V}{R}(1 - e^{\frac{-Rt}{3L}}) + I_0 e^{\frac{-Rt}{3L}}$$

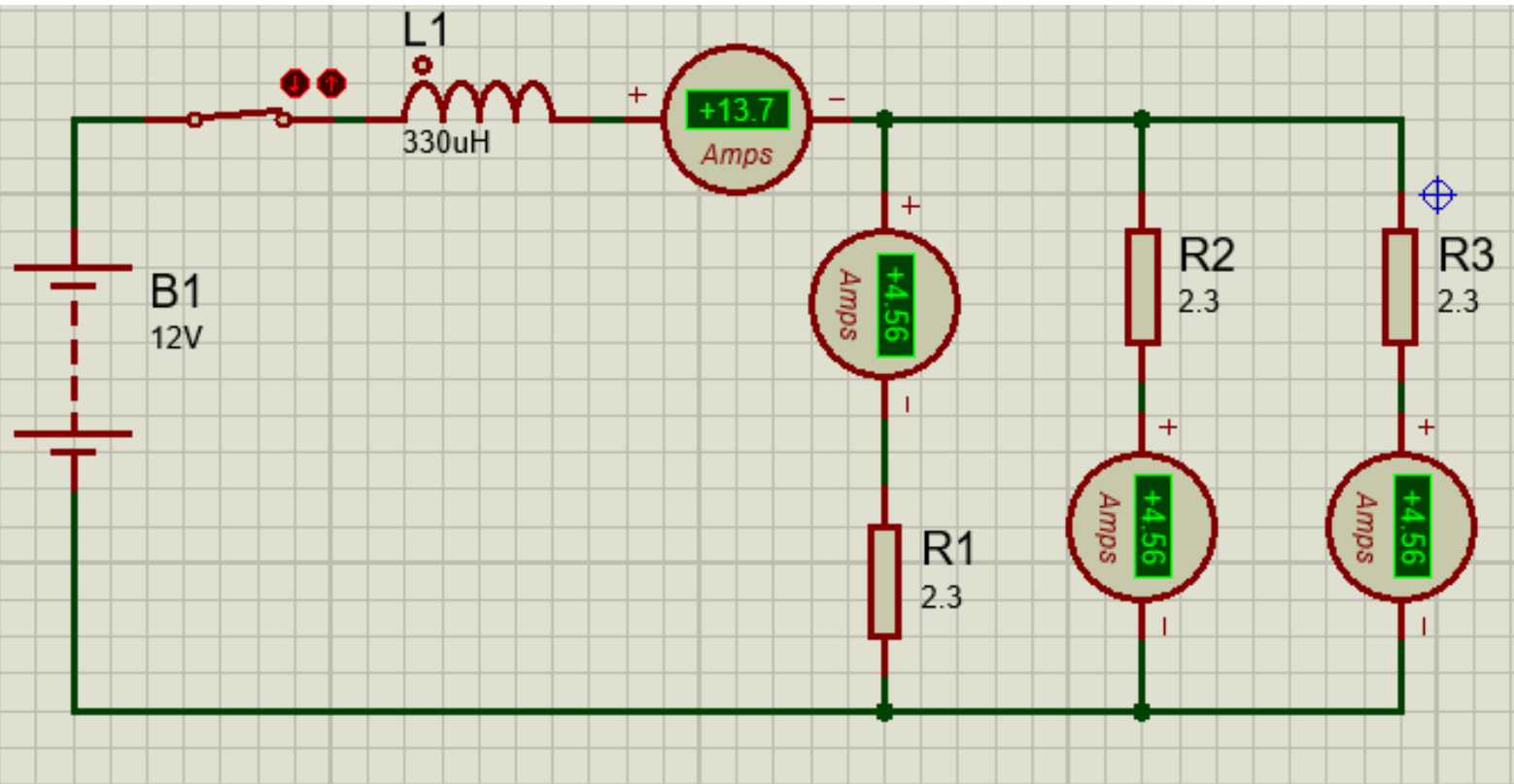
Las celdas peltier poseen  $2.3\Omega$ , usando un inductor de  $330\mu H$  y un voltaje  $12V$ , se obtiene la siguiente gráfica:



Se puede observar como el inductor permite un arranque mas suave, haciendo de "filtro" de manera transitoria.

El modelo indica que la corriente máxima evaluada en régimen permanente es de aproximadamente 15.6 amperios, lo cual indica que para cada celda corresponden 5.2 amperios.

Por otro lado la simulación da las siguientes medidas:



haciendo el calculo de error correspondiente:

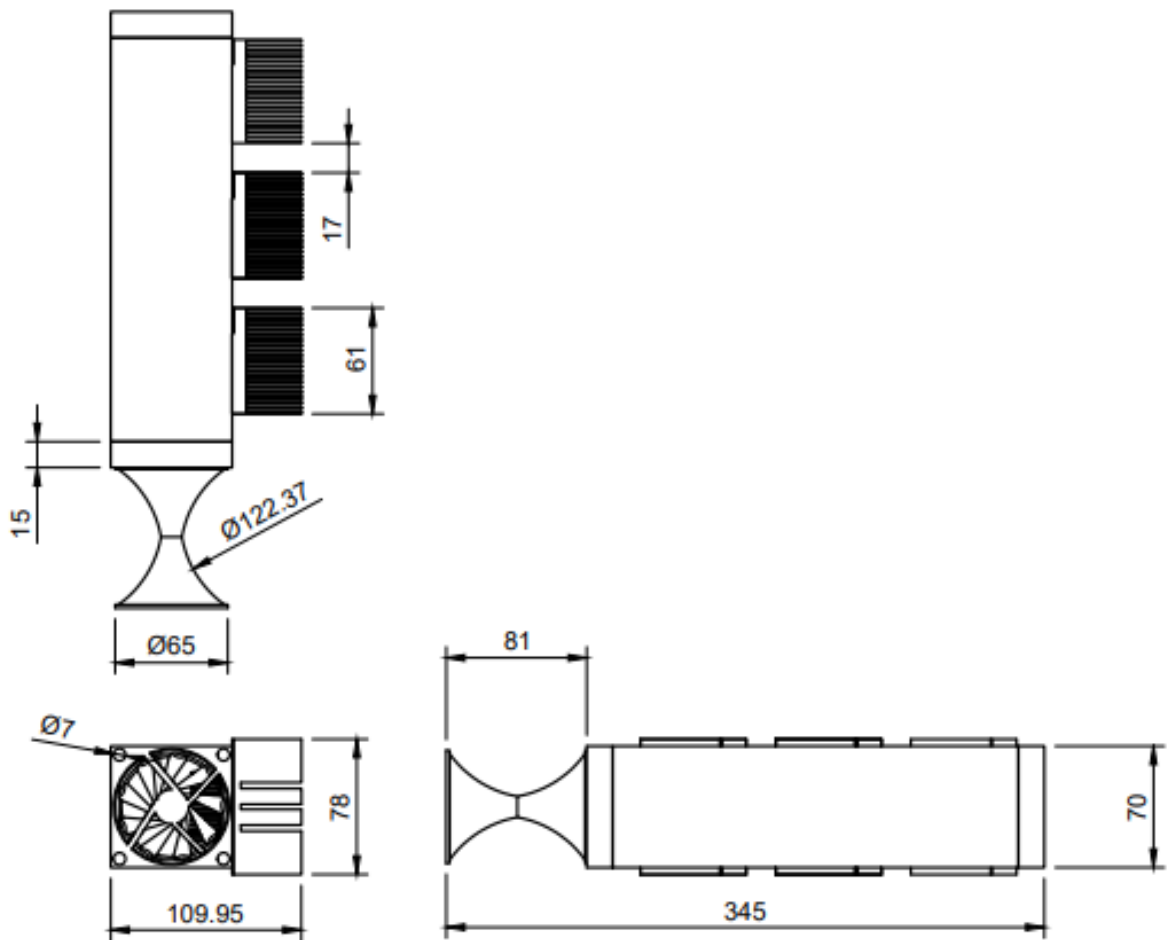
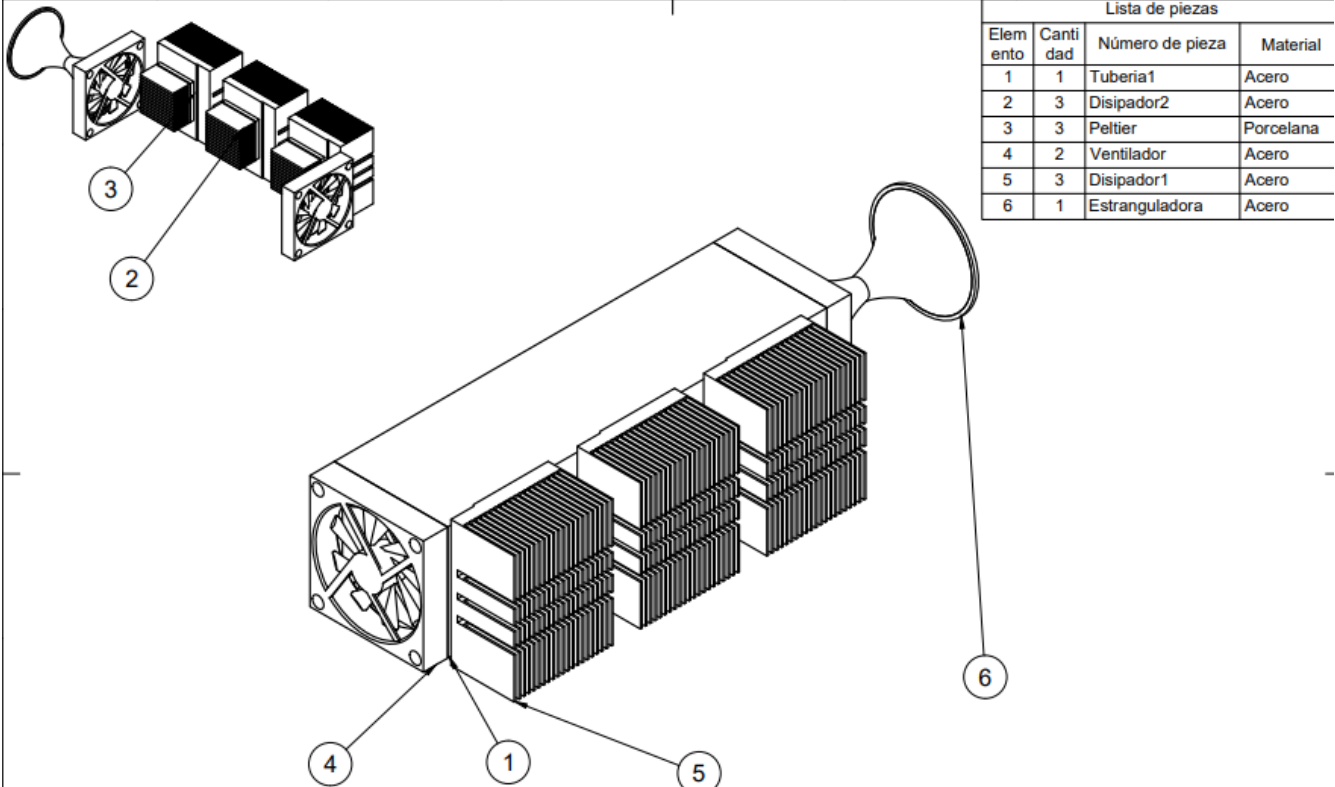
$$\epsilon = \frac{|13.7 - 15.6|}{15.6} * 100 = 12.2\%$$

Las no idealidades de el circuito atribuyen al error porcentual calculado.

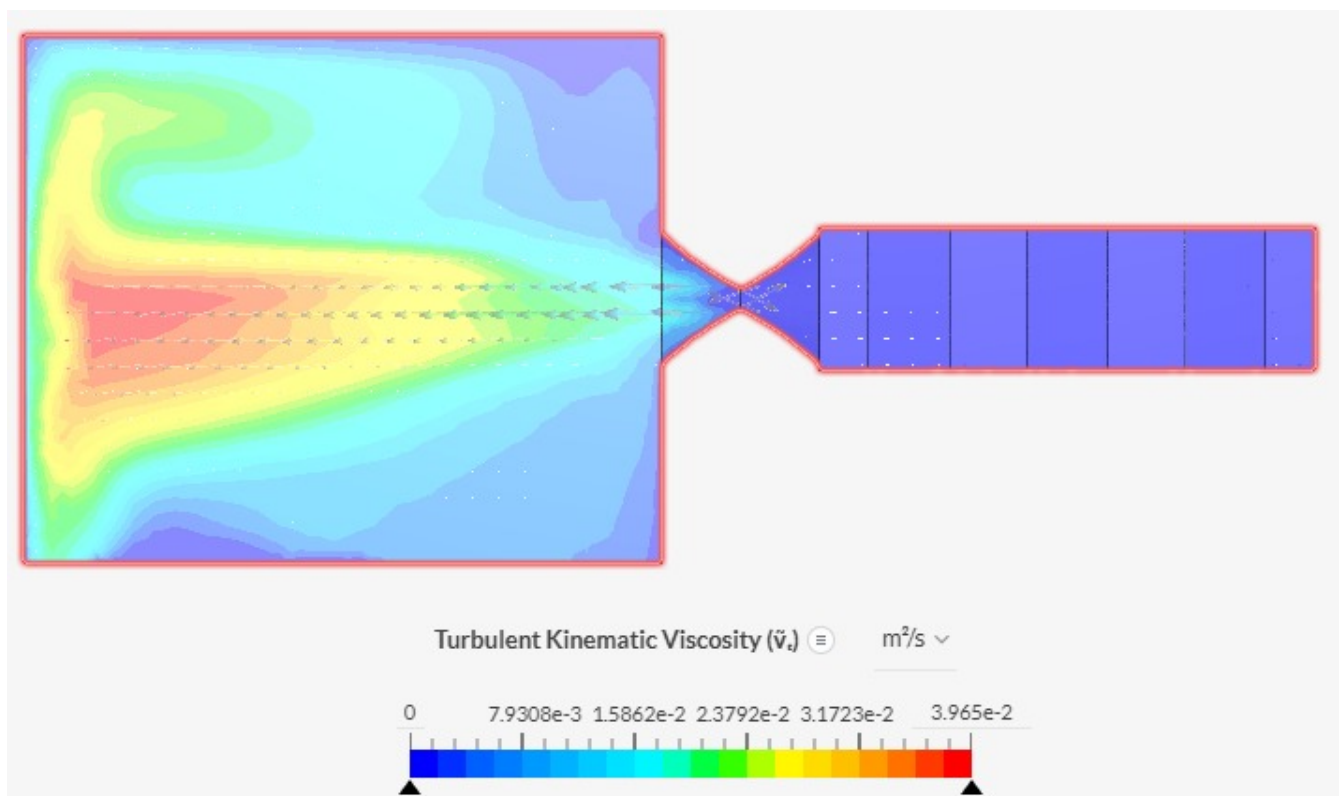
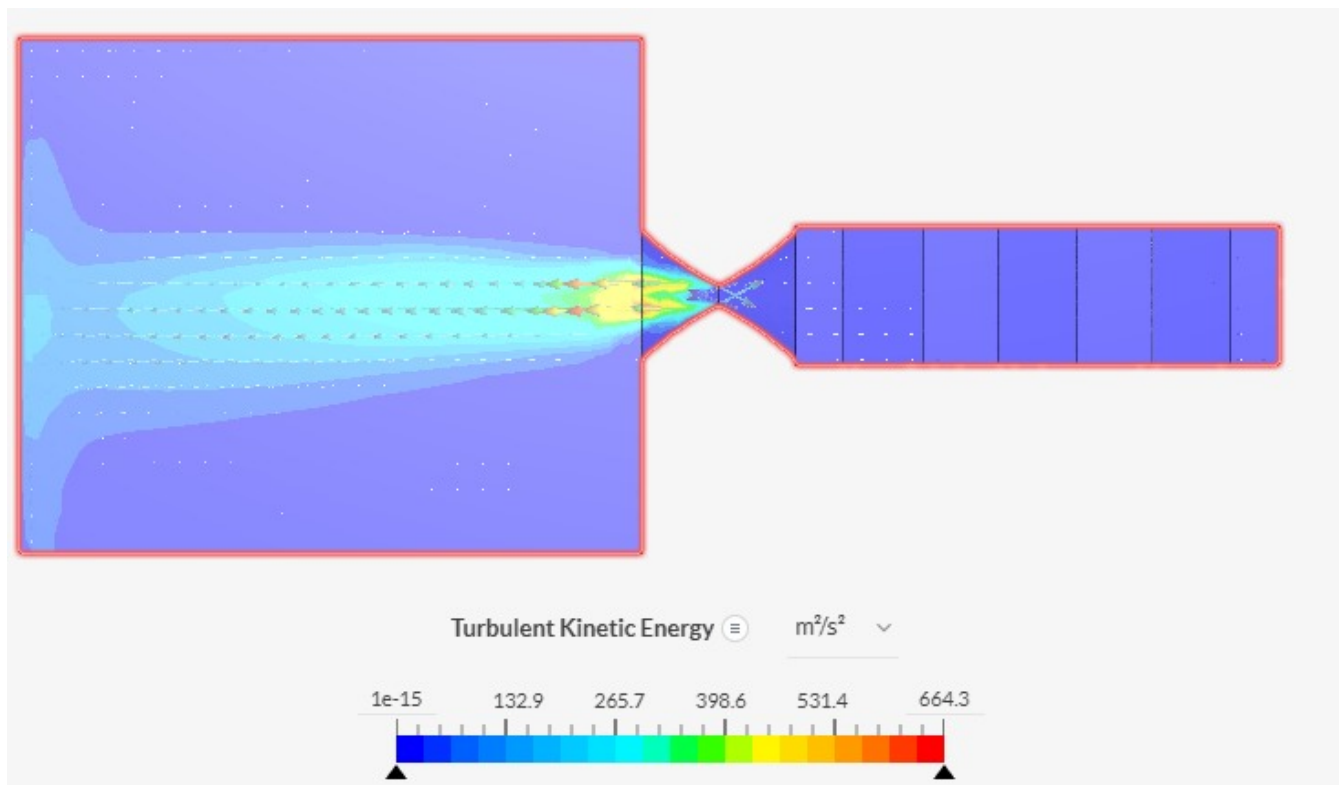
Se propone como solución al problema la siguiente configuración:

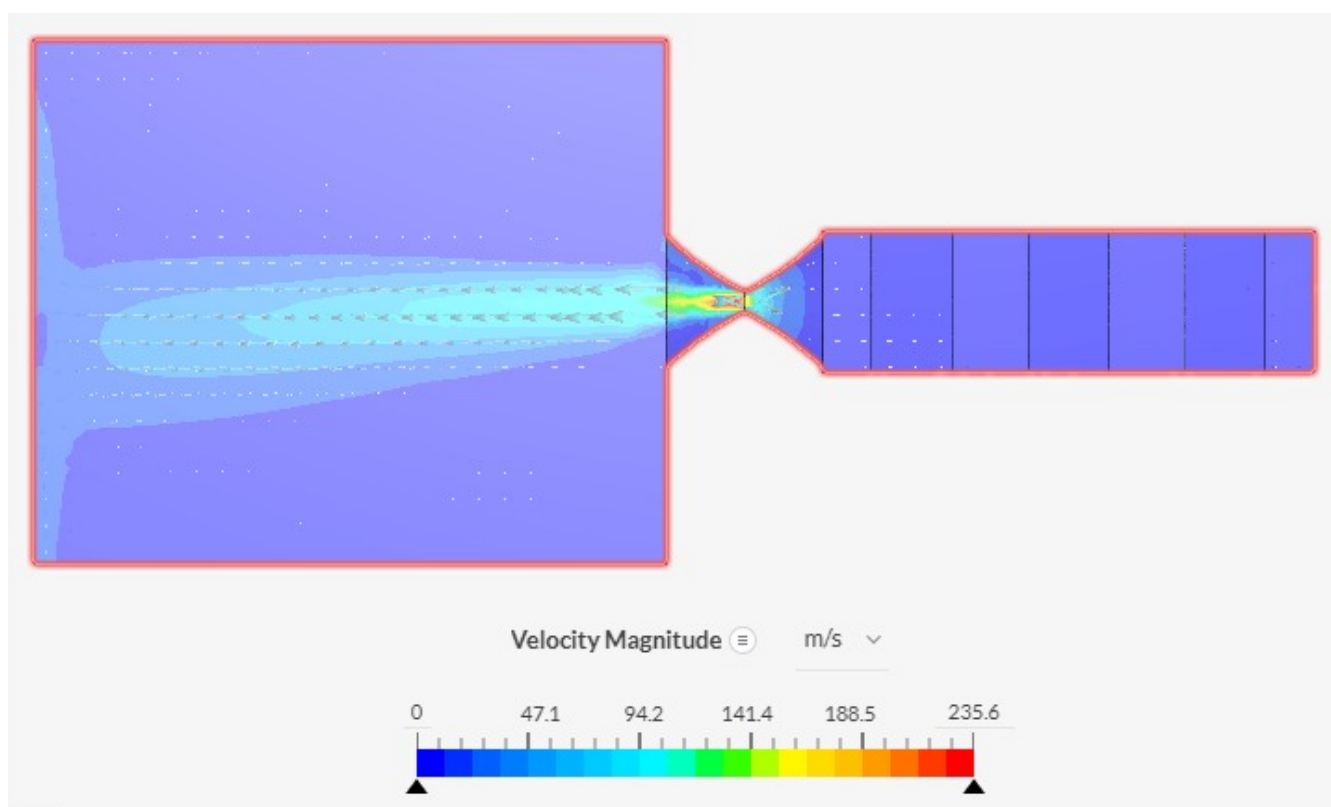
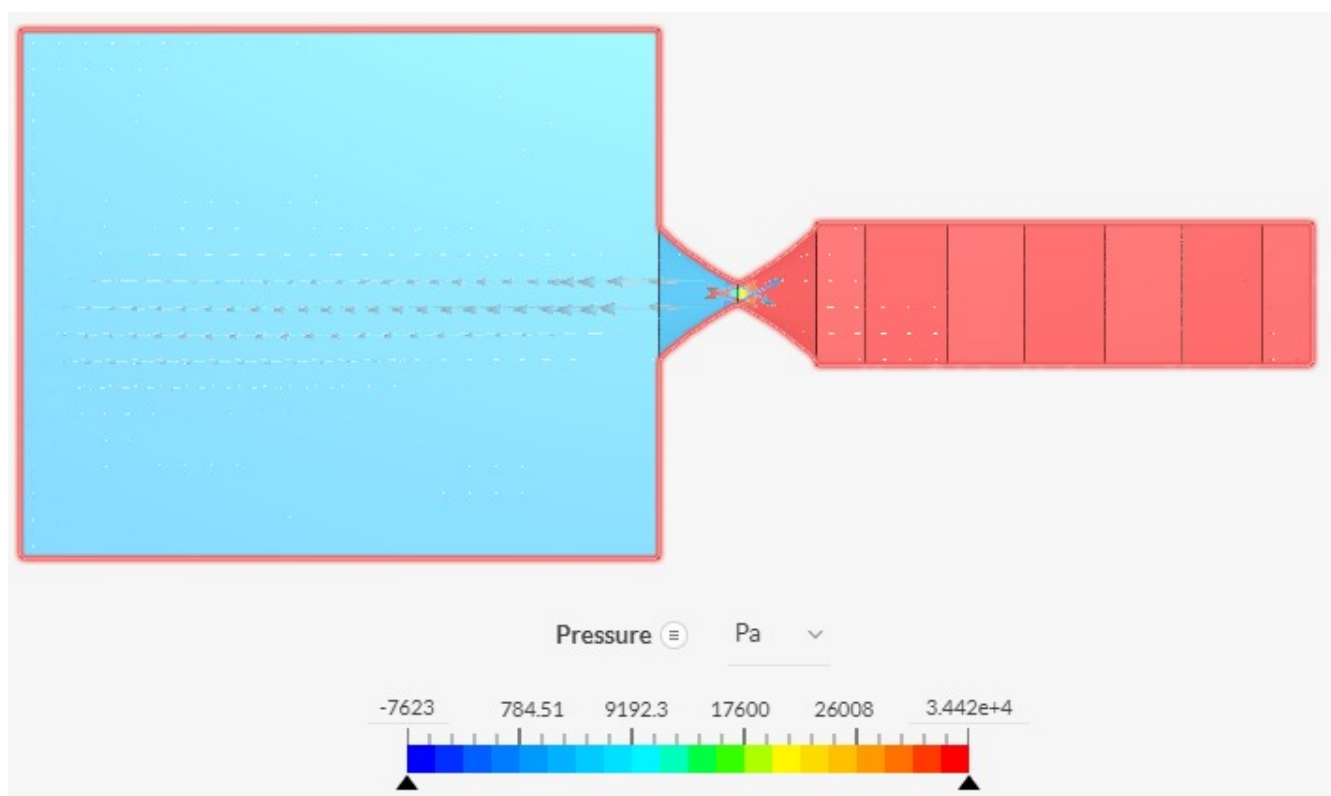
Sistema de refrigeración a base de celdas peltier con disipadores de "frio", el aire entra por el ventilador , circula por los disipadores internos, para posteriormente ir a la válvula de estrangulación, de manera que el aire se comprima y salga con mayor velocidad, como se muestra en el CFD, la configuración a usar es relativa de que tanto flujo de aire se requiera, por ende se proponen las siguientes configuraciones.

Tener en cuenta que para cada simulación se tomaron de valores base, que la entrada de el aire son  $3m/s$ , que es lo generado por un ventilador pequeño de uso común, como el de los computadores, y como salida de presión se usaron  $0Pa$ , porque se supone que el aire debe salir con presión ambiente.



Configuración 1: Tubo de enfriamiento en mitad de la caja, el aire entra, y la salida es perpendicular al tubo:

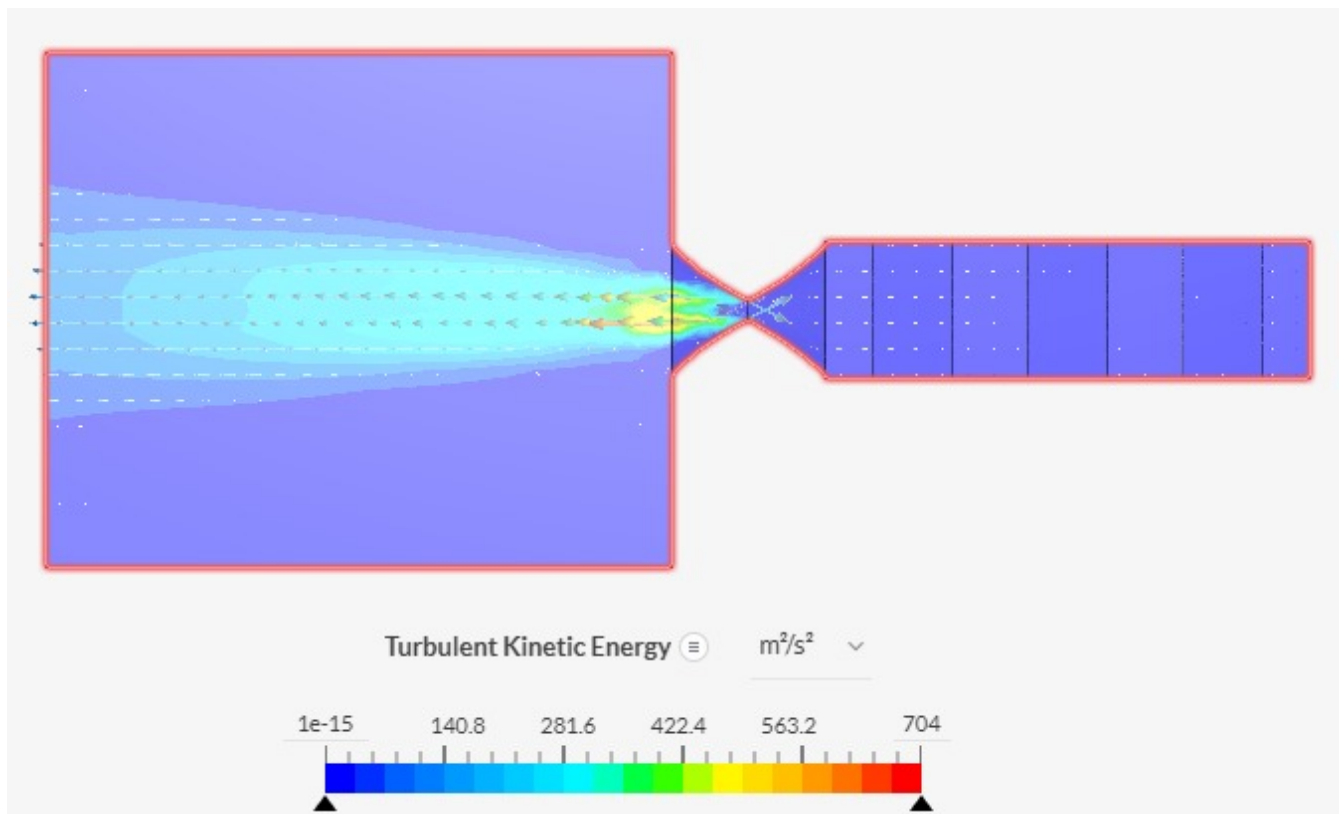




Pese a que el aire requiere una mayor trayectoria para poder salir de la caja, no se presentan pérdidas muy grandes de energía en el sistema, lo cual permite una distribución idónea del aire, tal como muestra la segunda imagen. La presión podría mejorar si se aumentase la velocidad del aire de entrada, y aunque es contradictorio a lo anterior, el sistema presenta una velocidad adecuada, como muestra la cuarta imagen, donde se evidencia que la válvula de estrangulación cumple con lo dictaminado, que es acelerar el aire de una manera eficiente.

Además, es de notar que los vectores indican que no hay evidencias de zonas muertas muy presentes en el interior de la caja, lo cual es un punto a favor.

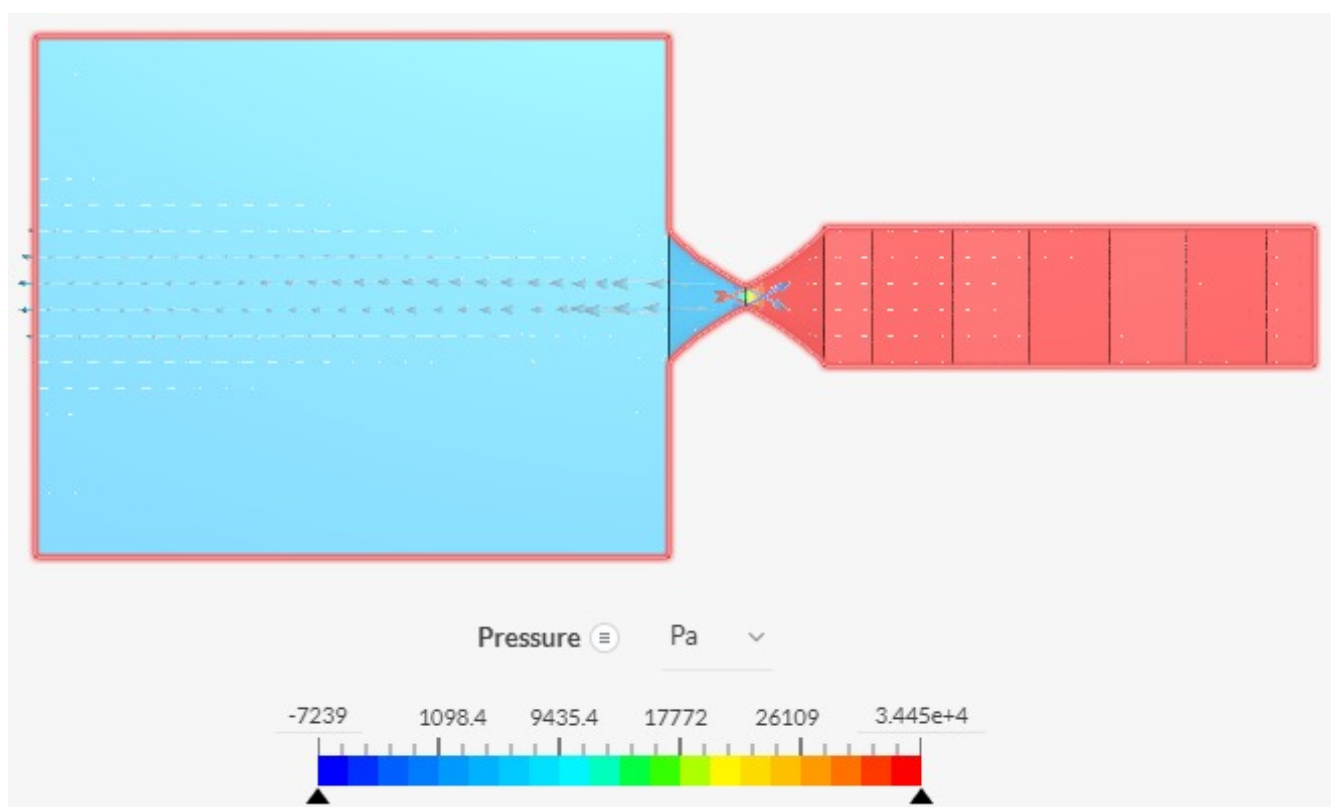
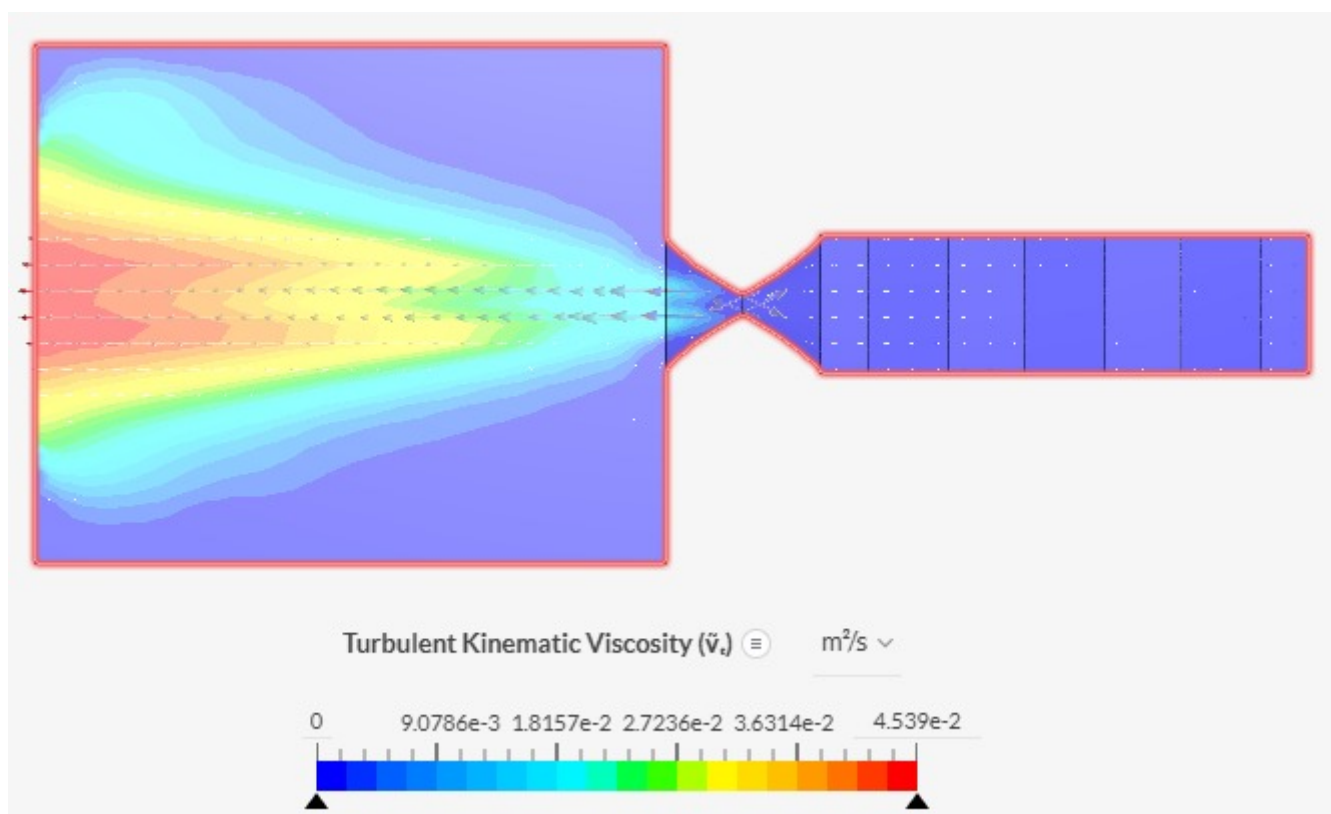
Configuración 2: Tubo de enfriamiento en mitad de la caja, el aire entra, y la salida es lineal al tubo:

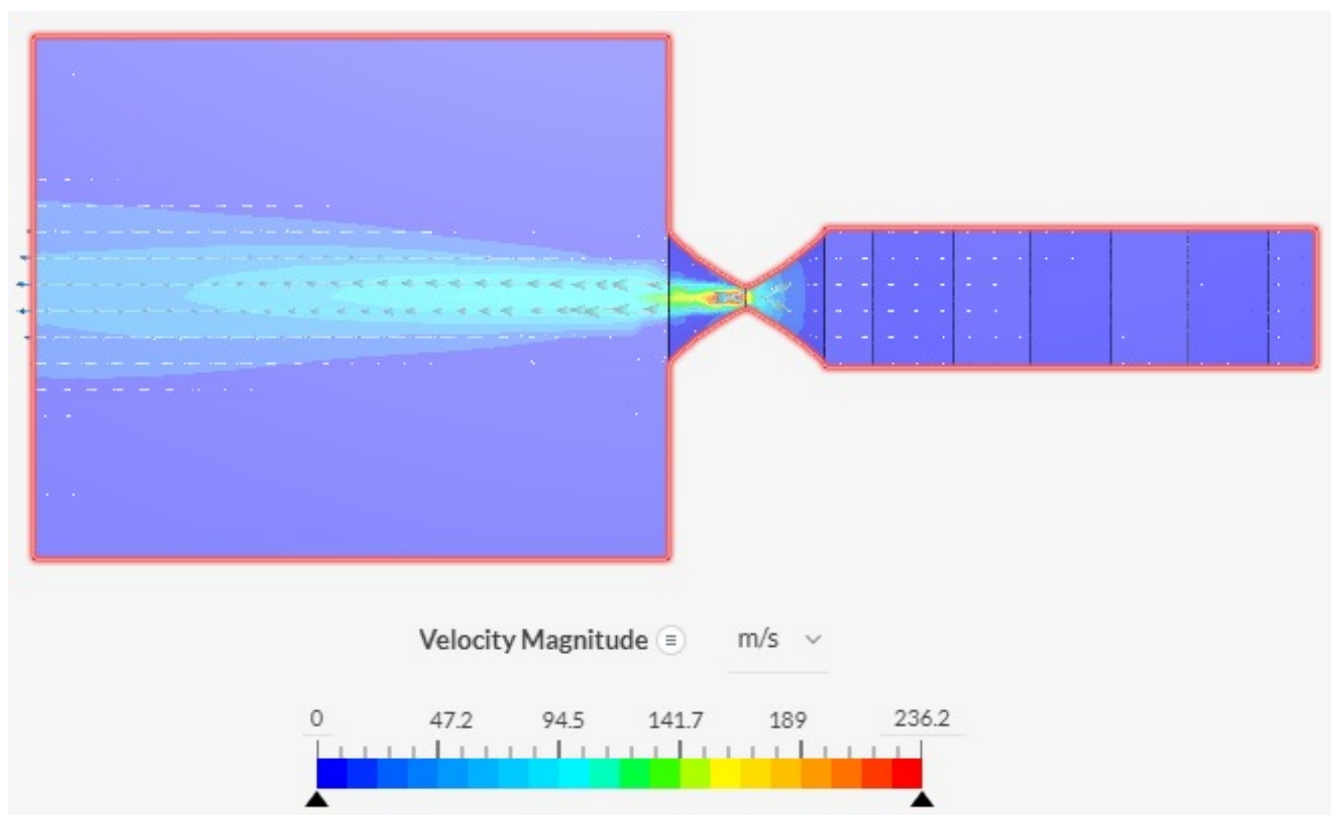


En esta configuración se puede observar que el aire ya no rebota contra la pared sino que sigue directamente hacia la salida, lo cual tiene como efecto, un menor esparcimiento de aire en la caja, pero un aumento en el chorro de aire que recibe la batería, además de lo dicho anteriormente los valores no cambian mucho, la diferencia más "notoria", es la distribución de espacios muertos.

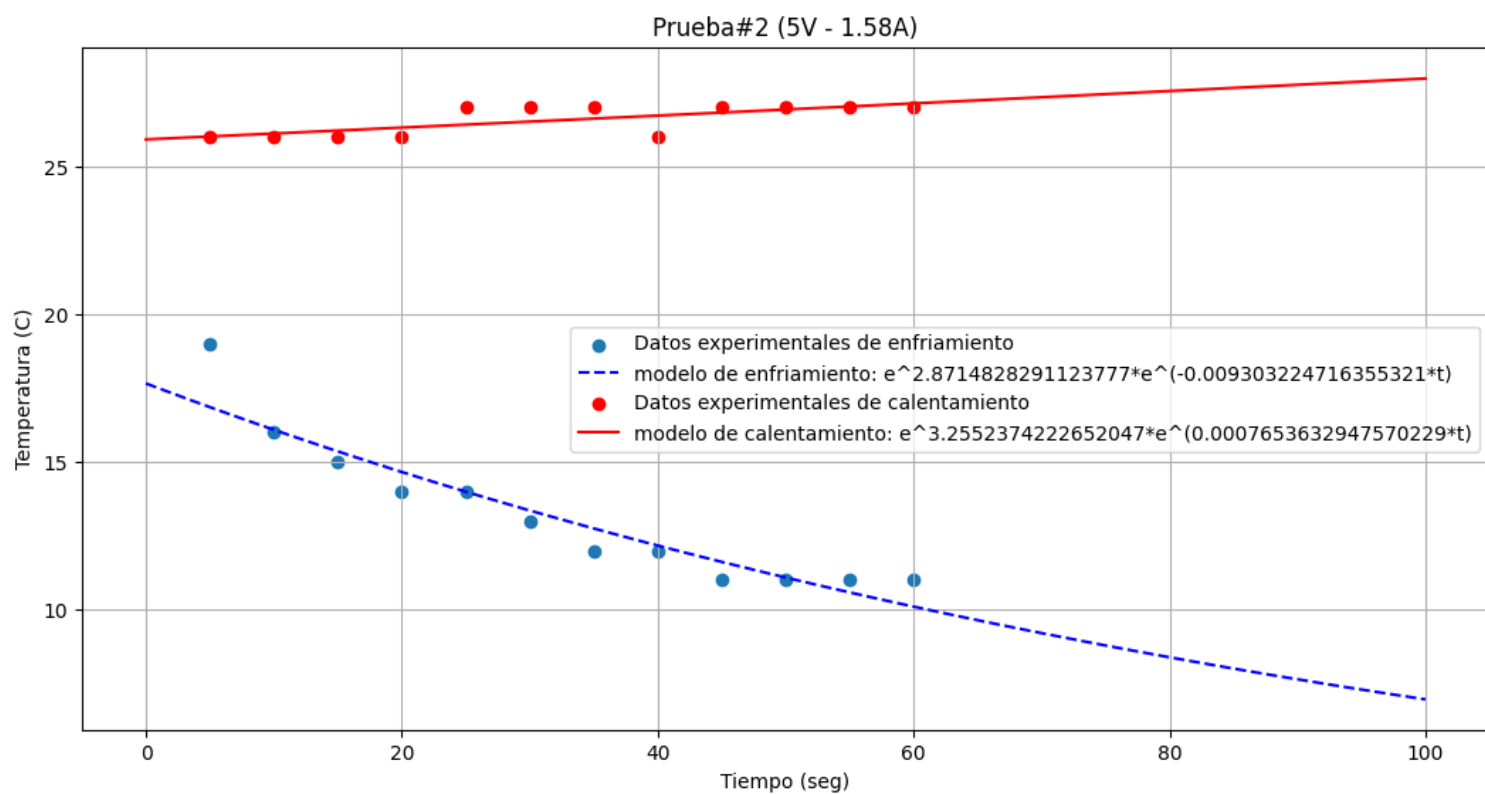
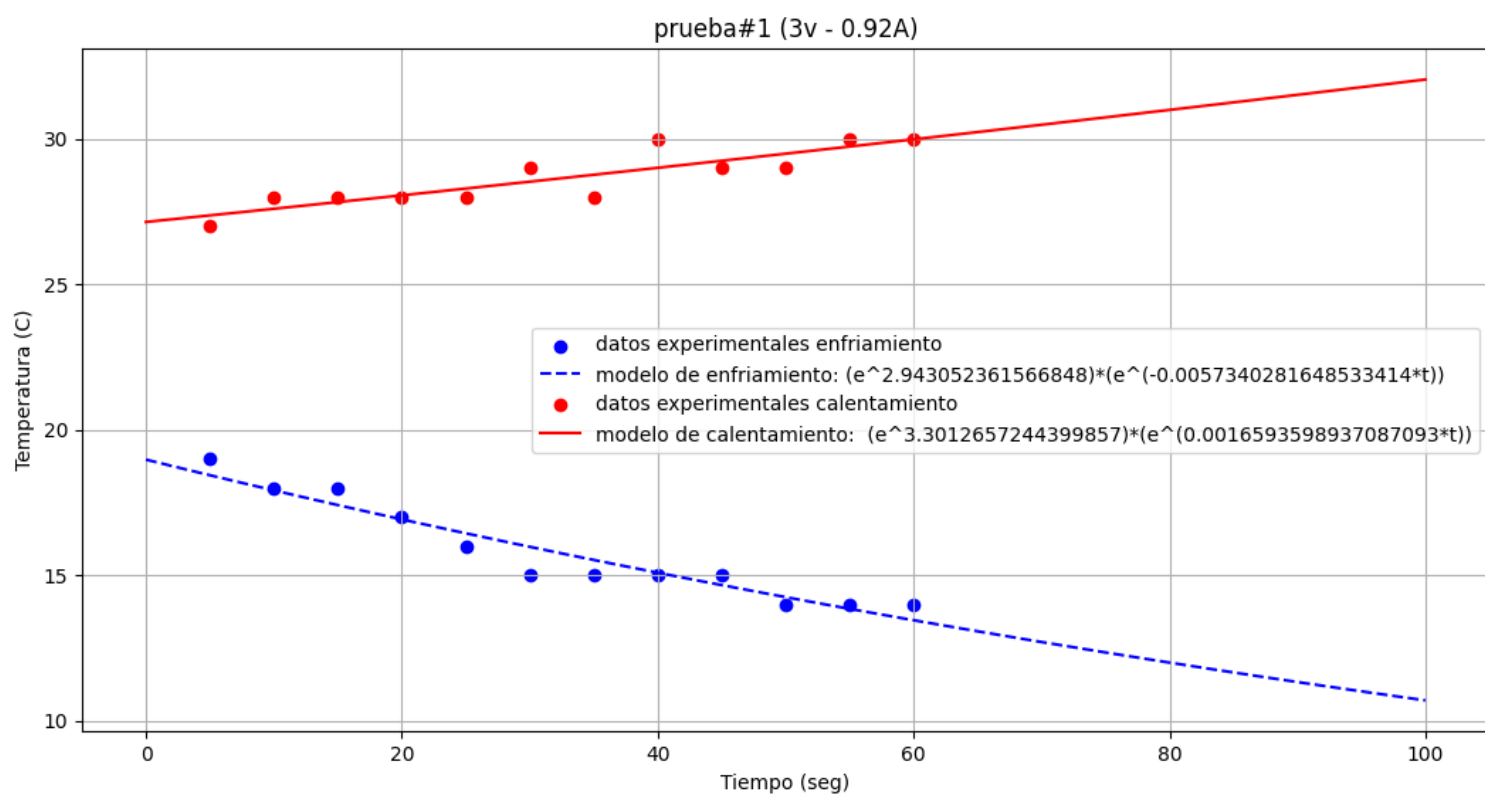
posteriormente, se experimentó diversamente, con el enfriamiento y calentamiento de las celdas de peltier y se obtuvo la siguiente tabla de valores para el enfriamiento y calentamiento usando tres valores distintos de voltaje y corriente evaluados en el tiempo, posterior a esto, se obtuvieron las siguientes gráficas:

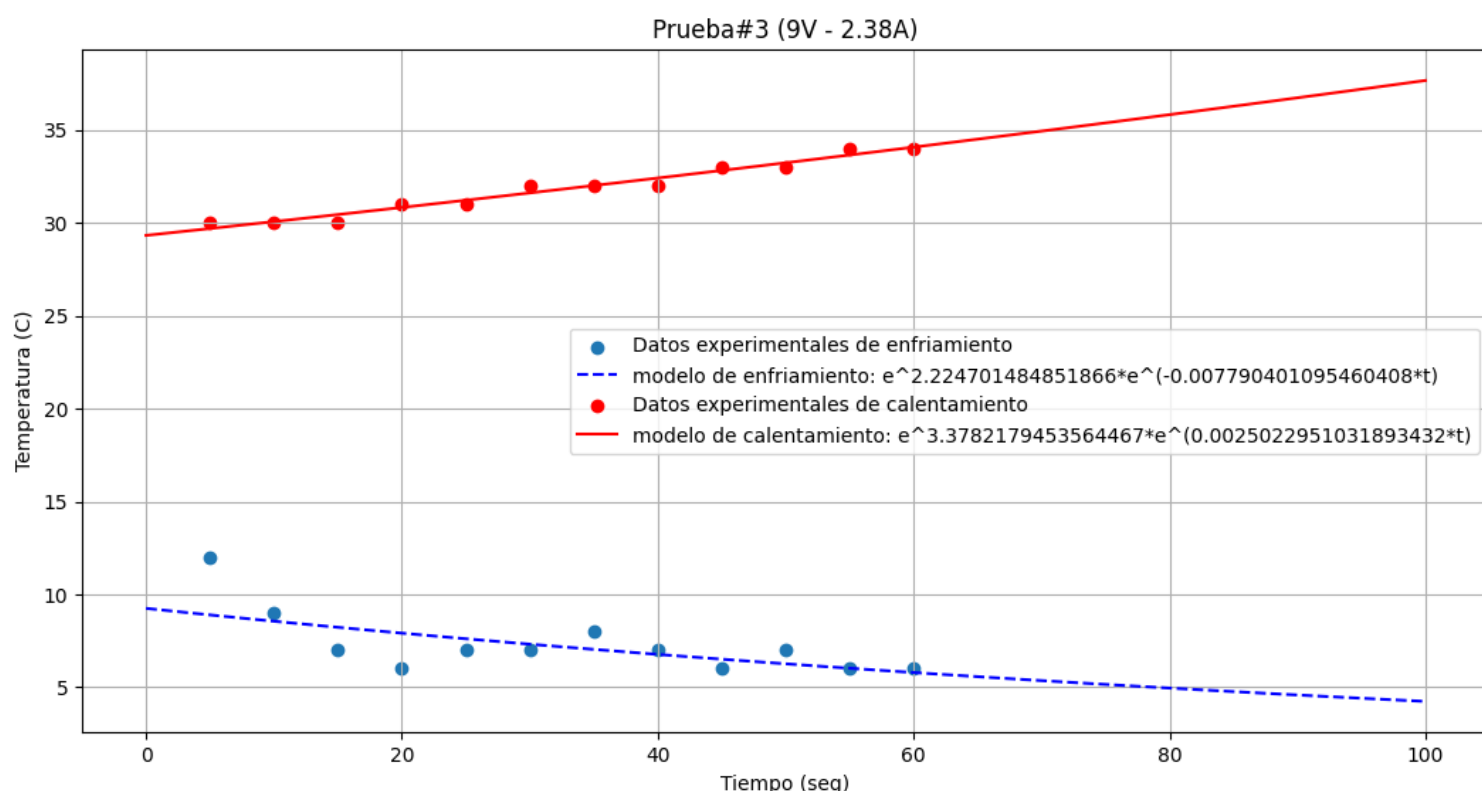






	prueba#1 (3V - 0.92A)											
tiempo s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
T.frio	19	18	18	17	16	15	15	15	15	14	14	14
T.caliente	27	28	28	28	28	29	28	30	29	29	30	30
	prueba#2 (5V - 1.58A)											
tiempo s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
T.frio	19	16	15	14	14	13	12	12	11	11	11	11
T.caliente	26	26	26	26	27	27	27	26	27	27	27	27
	prueba#3 (9V - 2.38A)											
tiempo s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
T.frio	12	9	7	6	7	7	8	7	6	7	6	6
T.caliente	30	30	30	31	31	32	32	32	33	33	34	34





En un régimen no estacionario se toman como valores de frontera para este estudio, el ultimo comportamiento medido en el tiempo (en el laboratorio), quiere decir, la temperatura más alta y la as baja registrada hasta el primer minuto en cada tabla, paralelo a esto la simulación sigue siendo un caso aproximado de un estado transitorio, lo que implica que puede subir o bajar su gradiente de temperatura con el tiempo, por lo tanto, se presentan los siguientes resultado obtenidos:

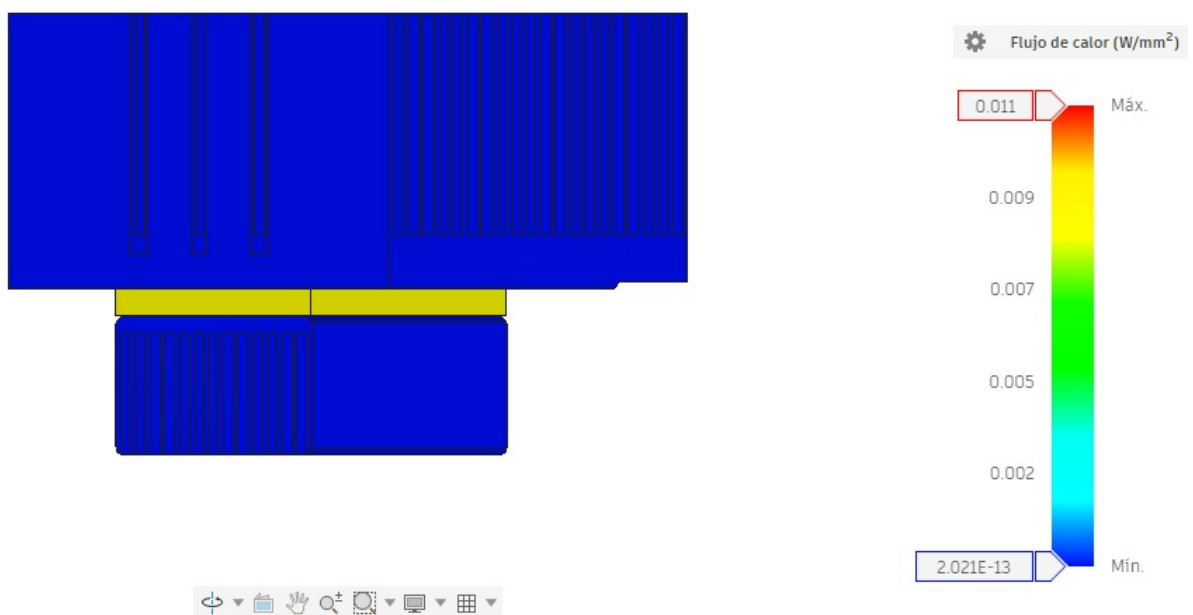
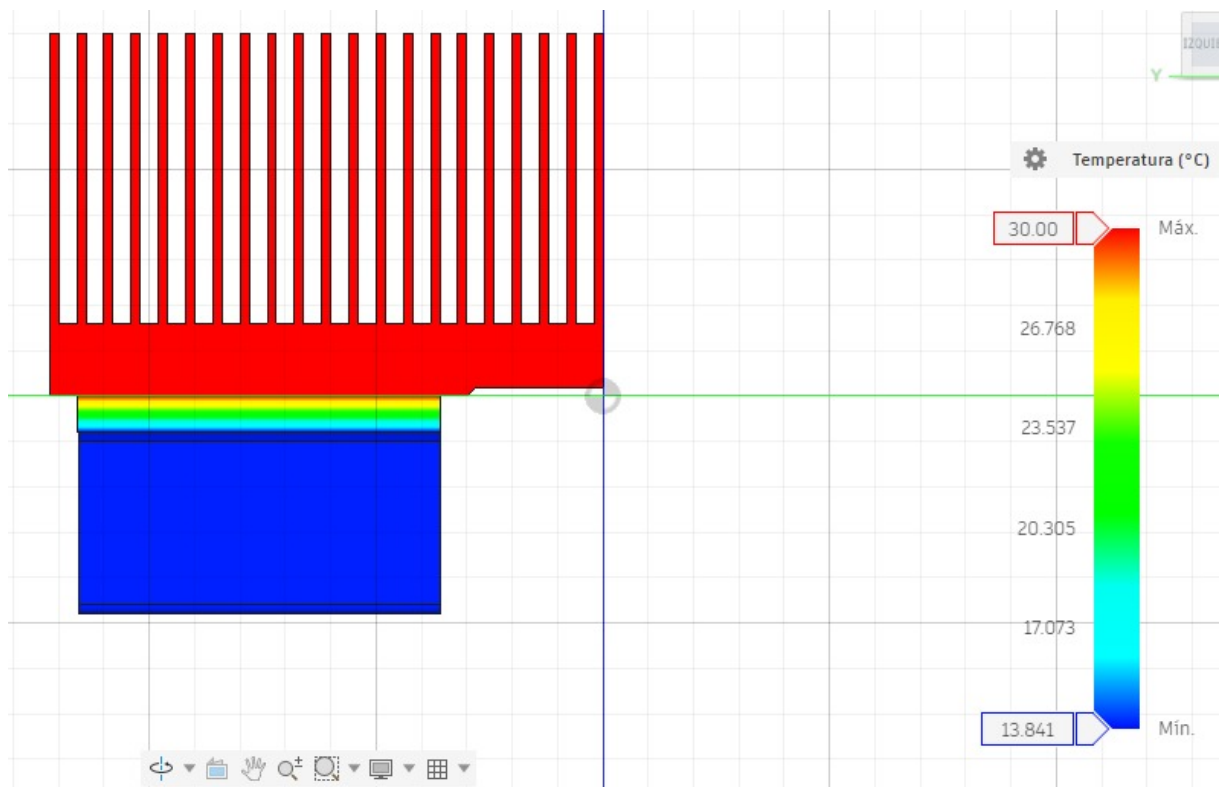
Se puede observar en todos los gradiente de temperatura que la superficie conduce correctamente el calor de manera eficiente, permitiendo que el "disipador de frio" alcance una temperatura optima, mientras que el disipador de calor logre su máximo en este punto; ademas en-la segunda imagen se logra observar que el flujo de calor por  $mm^2$  es conducido de manera idónea por todo el sistema.

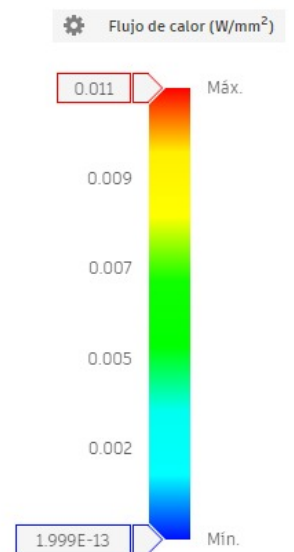
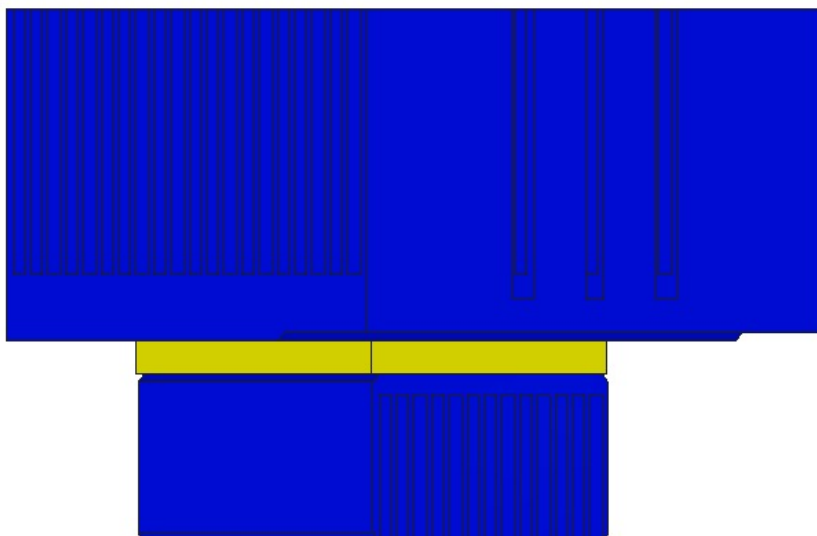
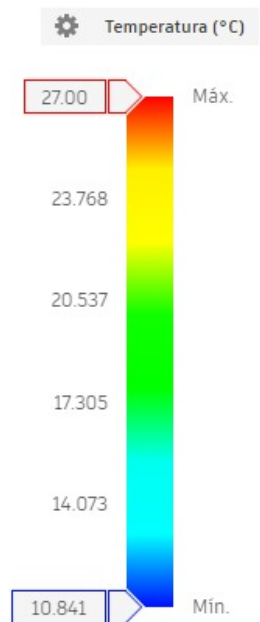
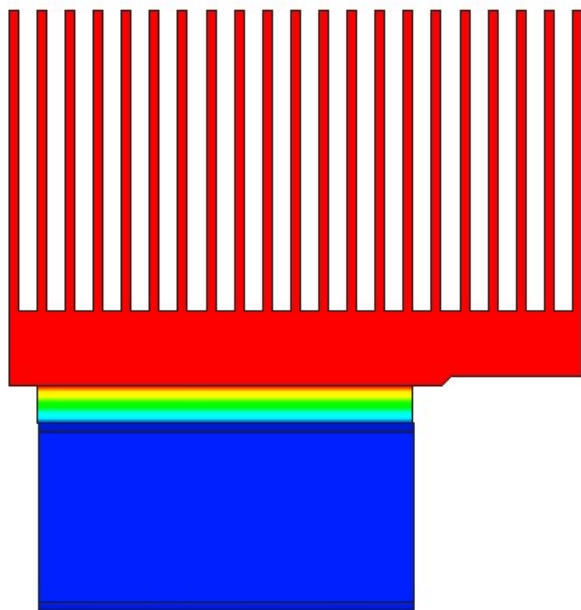
**3 prueba#1 (3V - 0.92A) Imagen 1-2**

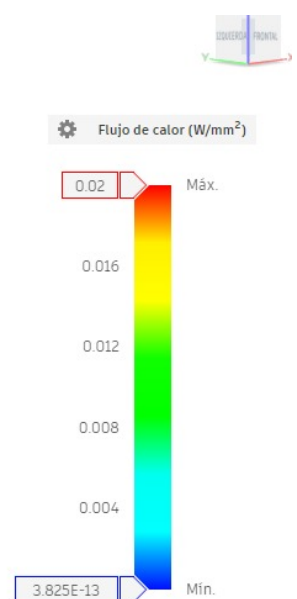
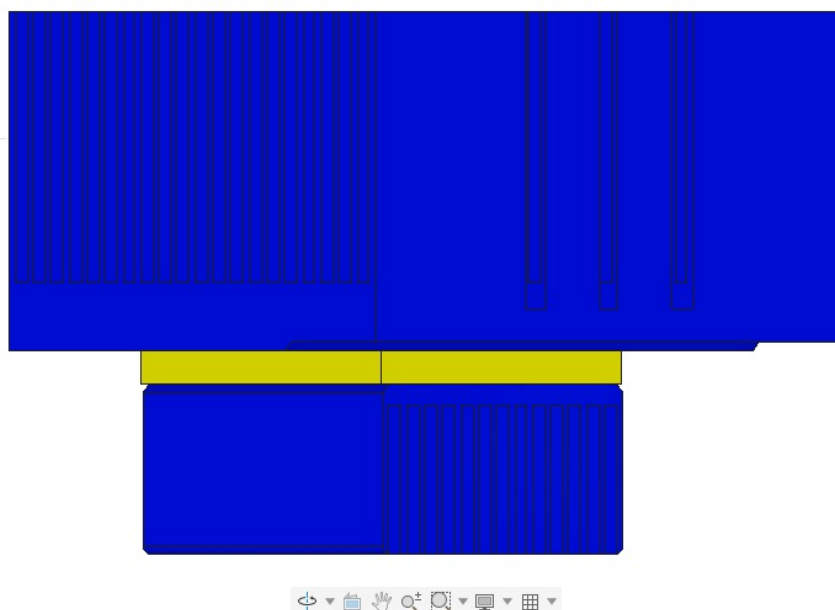
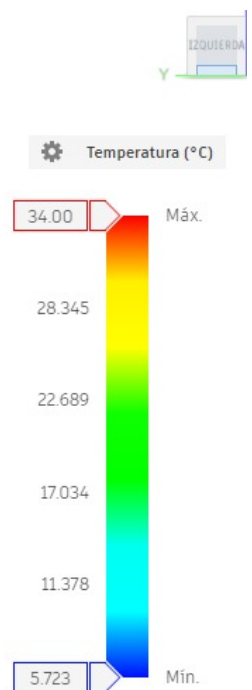
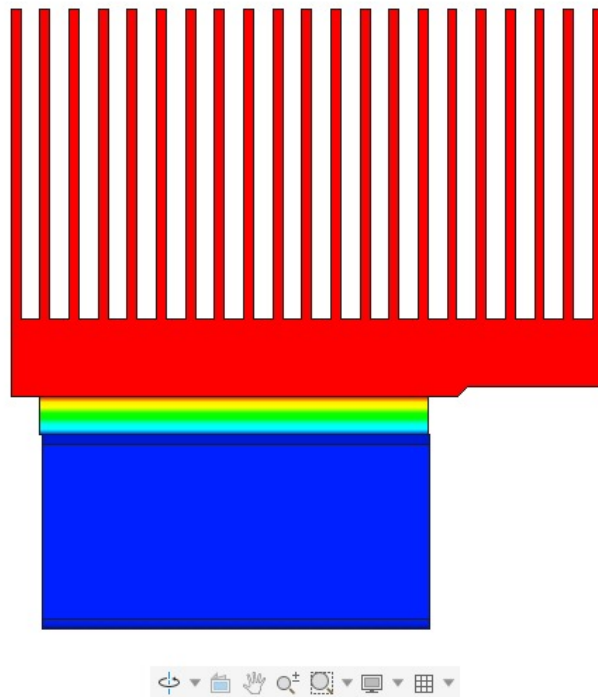
**4 prueba#2 (5V - 1.58A) imagen 3-4**

**5 prueba#3 (9V - 2.38A) imagen 5-6**

Posterior a el análisis de los anteriores estudios, se busco un modelo optimo entre los 3 estudios hechos, por lo que de la tabla dada se saco un promedio



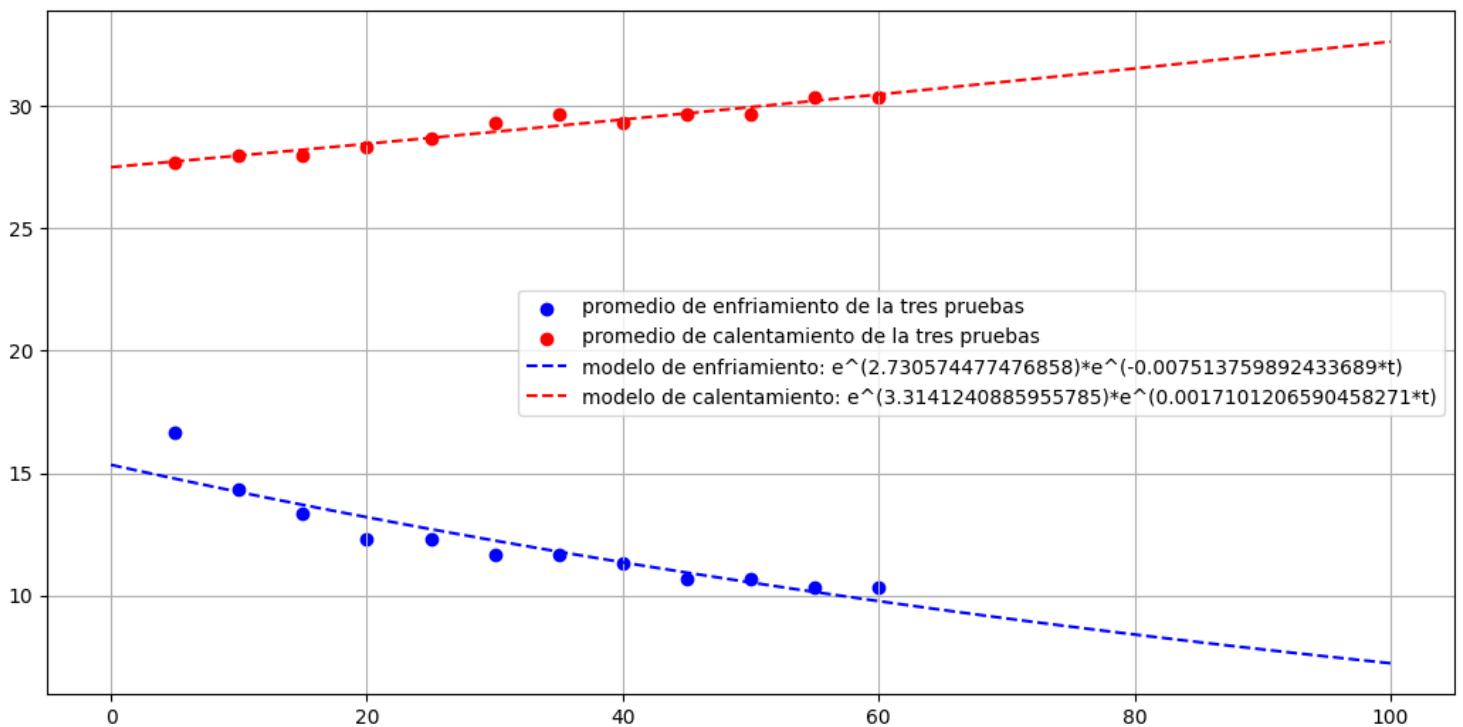




columna a columna de los datos de enfriamiento y calentamiento, así como un promedio de los voltajes y uno de las corrientes hechos en los tres estudios, y se obtuvieron los siguientes resultados:

	Promedio columna a columna de la tres pruebas (5.6V - 1.62A)											
tiempo s	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tf(t).prom	16.67	14.33	13.33	12.33	12.33	11.67	11.67	11.33	10.67	10.67	10.33	10.33
Tc(t).prom	27.67	28	28	28.33	28.67	29.33	29.67	29.33	29.67	29.67	30.33	30.33

Posteriormente se busco un modelo matemático que describiera el sistema y se gráfico para su análisis

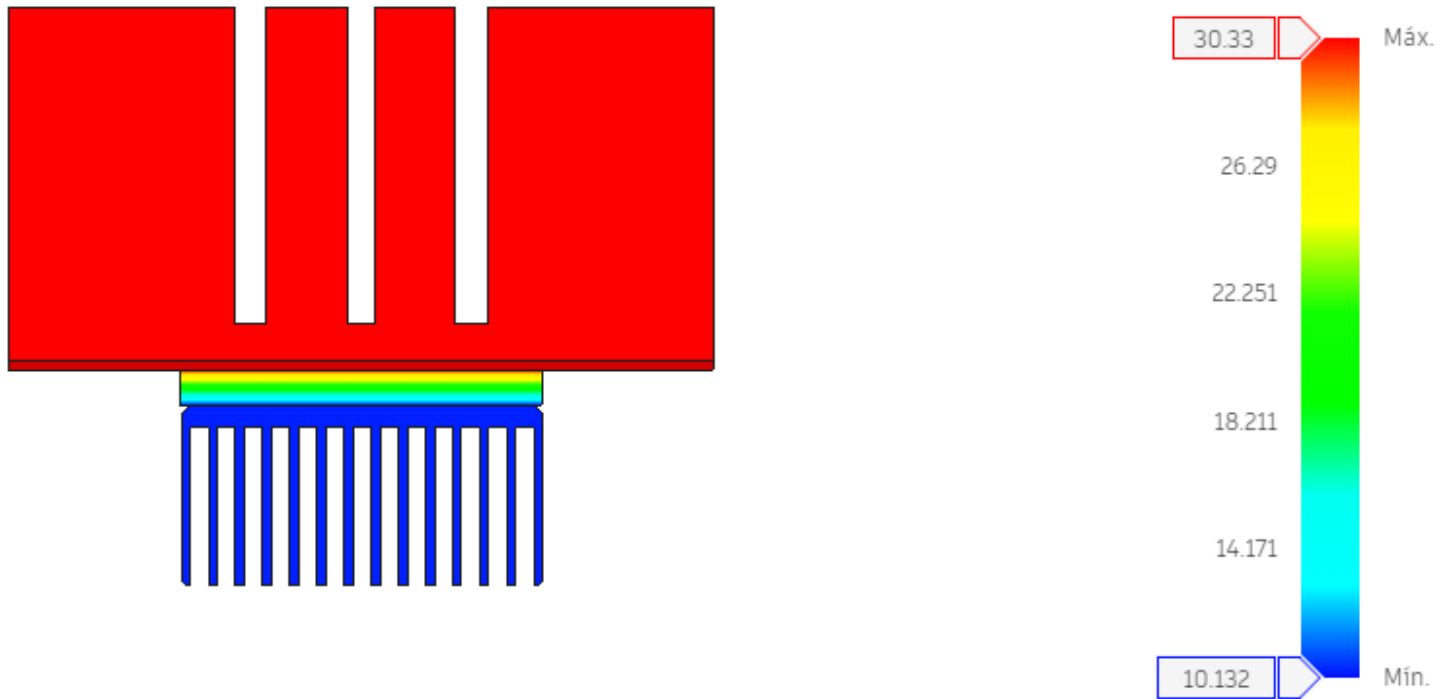


Se puede observar que se logra un punto optimo de las cuatro variables a tener en cuenta, un voltaje optimo, una corriente que no supera el limite permitido por las celdas, un calentamiento coherente con lo que se busca en este proyecto, y un enfriamiento que en régimen transitorio, cumple con los resultados esperados.

Nuevamente para el estudio térmico se toma un punto en estado no transitorio de el sistema, que es la ultima medición promedio, marcada en la tabla; se obtiene que la disipación de calor por parte de el disipador grande es ideal, y teniendo en cuenta que el sistema no esta activo todo el tiempo, amplifica



las posibilidades de una mayor disipación térmica dentro de la caja, causando así que las baterías puedan mantener su punto optimo de operación por un periodo mas prolongado; tener presente que es un modelo aproximado, es susceptible a claras variaciones del sistema, pero aun así sigue sirviendo como aproximación operativa.



Después de poner a prueba los modelos experimentales, se observaron discrepancias "leves" primordialmente en el modelo de enfriamiento (1 a 3 grados Celsius), además de un leve aumento en la predicción de la corriente respecto a el promedio hecho, por lo que se decidió ajustar la curva característica de este modelo, tomando datos de laboratorio, presentes en la siguiente tabla:

	datos reales: ( 5.6v - 1.78A )											
t	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
Tf(t)	20	15	12	11	9	9	8	8	7	8	8	8
Tc(t)	27	27	27	27	28	28	27	28	28	28	29	29

Posterior a este análisis, se proponen como modelos de funcionamiento simple, las siguientes curvas (Tener en cuenta que es un modelo muy ideal donde no se tienen en cuenta perdidas o discrepancias externas al régimen de el sistema, que se hace de esta manera, porque no esta en operación permanente)

Posterior a la gráfica presentada, se puede concluir que el error relativo entre las muestras tomadas y la predicción hecha por el modelo, disminuye y muestran datos de manera más coherente, además, se dejó el modelo ya hecho de el calentamiento, dado que las discrepancias entre lo visto y lo predicho; no difieren mucho.

Finalmente el planteamiento de el sistema queda así:

