

**TECNOLOGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ
MAESTRÍA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA MECATRÓNICA**

TESIS

Modelado del gradiente de temperatura en espacios cúbicos
controlados

Presenta:

Ing. Juan Antonio Gutiérrez

Director de tesis:

Dr. Jorge Luis Camas Anzueto

Revisores:

Dr. Madaín Pérez Patricio

Dr. Rubén Grajales Coutiño

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas, México a 31 de enero de 2020.

Resumen

El laboratorio de Optoelectronica del Tecnológico de México Campus Tuxtla Gutiérrez tiene en las funciones realizar medición de propiedades en el comportamiento de materiales en aplicaciones ópticas.

La temperatura cumple una función importante al realizar las medidas de características en los materiales, esto demanda diferentes temperaturas y un comportamiento estable.

En esta investigación se estudia una propuesta experimental para enfriar espacios cúbicos de cualquier dimensión utilizando un sistema de enfriamiento Peltier.

Se comprobó la relación que existe en los materiales que se realiza el espacio a refrigerar, la temperatura dentro del espacio y temperatura ambiente donde se lleva a cabo el sistema peltier.

Los espacios cúbicos realizados tienen baja conductividad térmica, para evitar la transferencia de calor exterior del exterior al interior aféctelos resultados del modelo que se espera con condiciones sugeridas.

Se tomarán periódicamente valores de la temperatura en los espacios cúbicos. El banco de prueba consistirá en un microcontrolador arduino, disipadores de calor y módulos Peltier.

Se compararon los valores que se obtengan en cada volumen, y se determinara el uso de mayor cantidad de celdas peltier, optimizando el tiempo de enfriamiento.

Abstract

The Optoelectronics laboratory of the Tecnológico de México Campus Tuxtla Gutiérrez has the functions of measuring properties in the behavior of materials in optical applications. The temperature fulfills an important function when making the characteristic measurements in the materials, this demands different temperatures and a stable behavior. In this investigation an experimental proposal is studied to cool cubic spaces of any dimension using a Peltier cooling system. The relationship that exists in the materials that the space to be cooled is verified, the temperature within the space and the ambient temperature where the peltier system is carried out will be checked. The cubic spaces made have low thermal conductivity, to avoid the transfer of external heat from the exterior to the interior, attach the results of the expected model with suggested conditions.

Temperature values will be taken periodically in the cubic spaces. The test bench will consist of an arduino microcontroller, heat sinks and Peltier modules. The values obtained in each volume will be compared, and the use of more peltier cells will be determined, optimizing the cooling time.

INDICE GENERAL

Lista de Símbolos	XII
1. Caracterización del proyecto	14
1.1. Introducción	14
1.2. Antecedentes.....	14
1.3. Estado del arte.....	15
1.4. Definición del problema	21
1.5. Objetivos.....	22
1.5.1. General	22
1.5.2. Específicos	22
1.6. Justificación	22
1.7. Hipótesis	23
2. Fundamento teórico	24
2.1. Acondicionamiento del aire.....	24
2.2. Sistemas de acondicionamiento de aire.....	26
2.2.1. Sistemas autónomos	26
2.2.2. Sistema todo refrigerante.....	27
2.2.3. Sistemas todo agua.....	27
2.2.4. Sistema todo aire.....	28
2.2.5. Sistemas aire-agua.....	29
2.3. Termoelectricidad.....	30
2.4. Efecto Seebeck	30
2.5. Efecto Joule	31
2.6. Efecto peltier	32
2.7. Efecto Thomson.....	32
2.8. Celdas peltier	33
2.9. Estructura de un módulo peltier	36
2.10. Estrés térmico.....	37
2.11. Ventajas y desventajas de Sistemas peltier	37

2.12.	Sistemas de refrigeración	38
2.13.	Transferencia de calor por conducción	39
2.14.	Conductividad térmica.....	41
2.15.	Transferencia de calor por convección.....	41
2.16.	Transferencia de calor por radiación	42
2.17.	Espacio	43
2.18.	Ajuste de curvas.....	45
2.18.1.	Regresión por mínimos cuadrados	47
2.18.2.	Regresión Múltiple	47
2.19.	Interpolación	47
2.19.1	Interpolación lineal.....	47
3.1.	Diseño y construcción del prototipo.....	49
3.1.1.	Diseño conceptual del sistema	49
3.2.	Construcción del equipo	50
3.3.	Arreglo experimental.....	51
3.4.	Caracterización del comportamiento en espacio cúbicos	54
4.	Análisis de resultados	64
	Conclusiones.....	94
	Referencias	95
	Anexos	98
A.	Código de lectura de datos.....	98
B.	Código de interfaz.....	100

Índice de figuras

<i>Figura 2.1: Acondicionamiento del aire en un cuarto</i>	25
<i>Figura 2.2: Procesos del acondicionamiento del aire</i>	25
<i>Figura 2.3: Sistema autónomo.</i>	26
<i>Figura 2.4: Diagrama de un sistema todo refrigerante</i>	27
<i>Figura 2.5: Diagrama de un sistema toda agua.</i>	28
<i>Figura 2.6 Diagrama de un sistema todo aire.</i>	29
<i>Figura 2.7: Imagen de un sistema aire-agua</i>	29
<i>Figura 2.8: Termoelectricidad & Termodinámica</i>	30
<i>Figura 2.8: Generador termoeléctrico</i>	31
<i>Figura 2.9: Efecto peltier</i>	32
<i>Figura 2.10: Efecto Thomson</i>	33
<i>Figura 2.11: Celda peltier Tec1.12706</i>	34
<i>Figura 2.12: Celda peltier Thorlab</i>	34
<i>Figura 2.13: Estructura de una celda peltier</i>	34
<i>Figura 2.14: Sistema peltier con disipadores y ventilador.</i>	36
<i>Figura 2.15: El estrés térmico provocado por la temperatura, afecta las propiedades del material</i>	37
<i>Figura 2.16: Los sistemas peltier duraderos y poco mantenimiento, sus aplicaciones a pequeños volúmenes</i>	38
<i>Figura 2.17: Los sistemas peltier funcionan como refrigeración o bomba de calor.</i>	39
<i>Figura 2.18: Conducción del calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área A.</i>	39
<i>Figura 2.19: Diagrama que muestra la dirección del flujo de calor</i>	40
<i>Figura 2.20: Enfriamiento de un huevo por convección forzada y convección natural</i>	42
<i>Figura 2.21: La radiación que provoca el calor del foco es transmitido</i>	

<i>sin importar el medio en el cual se encuentra.</i>	43
<i>Figura 2.22: Plano tridimensional a un espacio (Anchura, longitud y profundidad)</i>	45
<i>Figura 2.23: Tres intentos de ajustar la mejor curva a través de los cinco datos</i>	
<i>a) regresión con mínimos cuadrados, b) Interpolación lineal,</i>	
<i>c) interpolación curvilínea.</i>	46
<i>Figura 3.1: Sistema manufacturado</i>	51
<i>Figura 3.2: Arreglo experimental del sistema peltier</i>	52
<i>Figura 3.3: Escala de espacios cúbicos</i>	53
<i>Figura 3.4: Caracterización del sistema con una celda peltier.</i>	54
<i>Figura 3.5: Sistema con una celda TECH3s, espacio de 1000cm³ y material de PVC.</i>	54
<i>Figura 3.6: Sistema con una celda TECH3s, espacio de 1000cm³ material de PVC y aislante de poliuretano</i>	
<i>Figura 3.7: Sistema con una celda TECH3s, espacio de 3375cm³ material de PVC</i>	56
<i>Figura 3.8: Sistema con una celda TECH3s, espacio de 3375cm³ material de PVC y aislante de poliuretano</i>	57
<i>Figura 3.9: Sistema con una celda TECH3s, espacio de 8000cm³ material de PVC</i>	58
<i>Figura 3.10: Sistema con una celda TECH3s, espacio de 8000 cm³ material de PVC y aislante de poliuretano</i>	58
<i>Figura 3.11: Sistema con una celda TECH4, espacio de 1000 cm³ material de PVC</i>	59
<i>Figura 3.12: Sistema con una celda TECH4, espacio de 1000 cm³ material de PVC y aislante de poliuretano</i>	60
<i>Figura 3.13: Sistema con una celda TECH4, espacio de 3375cm³ material de PVC</i>	61
<i>Figura 3.14: Sistema con una celda TECH4, espacio de 3375 cm³ material de PVC y aislante de poliuretano</i>	62
<i>Figura 3.15: Sistema con una celda TECH4, espacio de 8000 cm³ material de PVC</i>	62
<i>Figura 3.16: Sistema con una celda TECH4, espacio de 8000 cm³ material de PVC y aislante de poliuretano</i>	64
<i>Figura 4.1. Análisis de sistemas con una celda modelo TECH3s, espacios con material PVC</i>	65

<i>Figura 4.2. Análisis por ajuste de curvas del sistema de una celda peltier modelo Tech3s con material de PVC</i>	66
<i>Figura 4.3. Análisis de sistema de dos celdas peltier modelo TECH3s, espacios cúbicos con material PVC.</i>	67
<i>Figura 4.4. Análisis por ajuste de curvas del sistema de dos celdas peltier modelo Tech3s con material de PVC</i>	67
<i>Figura 4.5. Análisis de sistema de tres celdas peltier modelo TECH3s, espacios cúbicos con material PVC</i>	68
<i>Figura 4.6. Análisis por ajuste de curvas del sistema de tres celdas peltier modelo Tech3s con material de PVC</i>	69
<i>Figura 4.7. Análisis de sistema de una celda peltier modelo TECH3s, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano</i>	70
<i>Figura 4.8. Análisis por ajuste de curvas del sistema de una celda peltier modelo Tech3s con material de PVC y aislante de poliuretano</i>	71
<i>Figura 4.9. Análisis de sistema de dos celdas peltier modelo TECH3s, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano</i>	72
<i>Figura 4.10. Análisis por ajuste de curvas del sistema de dos celdas peltier modelo Tech3s con material de PVC y aislante de poliuretano</i>	72
<i>Figura 4.11. Análisis de sistema de tres celdas peltier modelo TECH3s, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano</i>	73
<i>Figura 4.12. Análisis por ajuste de curvas del sistema de tres celdas peltier modelo Tech3s con material de PVC y aislante de poliuretano</i>	74
<i>Figura 4.13. Análisis de sistema de una celda peltier modelo TECH4,</i>	

<i>espacios cúbicos con material PVC.</i>	75
<i>Figura 4.14. Análisis por ajuste de curvas del sistema de una celda peltier modelo Tech4 con material de PVC.</i>	76
<i>Figura 4.15. Análisis de sistema de dos celdas peltier modelo TECH4, espacios cúbicos con material PVC.</i>	77
<i>Figura 4.16. Análisis por ajuste de curvas del sistema de dos celdas peltier modelo Tech4 con material de PVC.</i>	77
<i>Figura 4.17. Análisis de sistema de tres celdas peltier modelo TECH4, espacios cúbicos con material PVC.</i>	78
<i>Figura 4.18. Análisis por ajuste de curvas del sistema de tres celdas peltier modelo Tech4 con material de PVC.</i>	79
<i>Figura 4.19. Análisis de sistema de una celda peltier modelo TECH4, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano.</i>	80
<i>Figura 4.20. Análisis por ajuste de curvas del sistema de una celda peltier modelo Tech4 con material de PVC y aislante de poliuretano.</i>	81
<i>Figura 4.21. Análisis de sistema de dos celdas peltier modelo TECH4, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano.</i>	81
<i>Figura 4.22. Análisis por ajuste de curvas del sistema de dos celdas peltier modelo Tech4 con material de PVC y aislante de poliuretano.</i>	82
<i>Figura 4.23. Análisis de sistema de tres celdas peltier modelo TECH4, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano.</i>	82
<i>Figura 4.24. Análisis por ajuste de curvas del sistema de tres celdas peltier modelo Tech4 con material de PVC y aislante de poliuretano.</i>	83

<i>Figura 4.25. Análisis de sistema de una celda peltier modelo 12706, espacios cúbicos con material PVC.</i>	84
<i>Figura 4.26. Análisis por ajuste de curvas del sistema de una celda peltier modelo 12706 con material de PVC.</i>	85
<i>Figura 4.27. Análisis de sistema de dos celdas peltier modelo 12706, espacios cúbicos con material PVC.</i>	86
<i>Figura 4.28. Análisis por ajuste de curvas del sistema de dos celdas peltier modelo 12706 con material de PVC.</i>	86
<i>Figura 4.29. Análisis de sistema de tres celdas peltier modelo 12706, espacios cúbicos con material PVC.</i>	87
<i>Figura 4.30. Análisis por ajuste de curvas del sistema de tres celdas peltier modelo 12706 con material de PVC.</i>	88
<i>Figura 4.31. Análisis de sistema de una celda peltier modelo 12706, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano.</i>	89
<i>Figura 4.32. Análisis por ajuste de curvas del sistema de una celda peltier modelo 12706 con material de PVC y aislante de poliuretano</i>	90
<i>Figura 4.33. Análisis de sistema de dos celdas peltier modelo 12706, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano</i>	90
<i>Figura 4.34. Análisis por ajuste de curvas del sistema de dos celdas peltier modelo 12706 con material de PVC y aislante de poliuretano.</i>	91
<i>Figura 4.35. Análisis de sistema de tres celdas peltier modelo 12706, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano</i>	92
<i>Figura 4.36. Análisis por ajuste de curvas del sistema de tres celdas peltier modelo 12706 con material de PVC y aislante de poliuretano.</i>	92

Lista de Símbolos

T - Temperatura

CPU- Unidad central de procesos

LED- Diodo emisor de luz

COP- Coeficiente de rendimiento

On/off- Encendido/Apagado

TEC- Elemento termoeléctrico

Q = Energía (Calor)

I = Intensidad corriente

R = Resistencia del conductor

t - tiempo en segundos

α – Coeficiente de seebeck

P_e - Potencia eléctrica

k – Conductividad térmica

ΔT - Gradiente de temperatura

Δx - Espesor de pared

h - coeficiente de transferencia de calor por convección

A – Area

q - Calor cedido

σ - Constante de proporcionalidad de botlzman

C_1 - Constante de Henderson 1

C_2 - Constante de Henderson 2

X_i – Variables en x

Y_i - Variables en y

Kg- Kilogramo

PVC- poli cloruro de vinilo

Capítulo 1

1. Caracterización del proyecto

1.1. Introducción

Por medio del presente se tiene la intención de aprovechar el funcionamiento de la tecnología termoeléctrica, tomando como punto de partida el comportamiento de espacios cúbicos lineales, tomado en cuenta para proyectos relacionado a la temperatura en volúmenes definidos.

Los efectos termoeléctricos tienen como correlación corriente eléctrica y voltaje contra temperatura y transferencia de calor, es lo que da cabida a la termoelectricidad en el mundo de la refrigeración. A continuación, se describe los procesos con efecto termoeléctrico.

En variedad de dispositivos optoelectrónicos si la temperatura es cambiante provoca una inestabilidad, afectando la intención de funcionamiento para cada dispositivo que depende directamente de una temperatura estable.

Es por esta razón que se propone realizar una investigación sobre el comportamiento del gradiente de temperatura utilizando celda peltier en espacios controlados, con el fin de observar el comportamiento de la temperatura y tiempo que emplea la celda peltier en alcanzar una temperatura deseada.

1.2. Antecedentes

La aplicación de la termoelectricidad parte de un principio físico desarrollado anteriormente basado en postulados físicos como es el efecto Seebeck y el efecto Thomson, esta aplicación de la termoelectricidad ha sido poco aprovechado por empresas con intenciones en tecnología, ya

que es difícil obtener el comportamiento o el patrón de funcionamiento predecible de tal tecnología.

Efecto Seebeck: Es el efecto que se produce en la conversión directa de gradiente de temperatura a voltaje eléctrico. El dispositivo termoeléctrico crea voltaje cuando existe un gradiente de temperatura a cada lado.

Efecto Peltier: Es la creación de un gradiente de temperatura debida a un voltaje eléctrico. Este efecto pasa cuando una corriente circula por dos semiconductores conectados. Esta corriente propicia una transferencia de calor de una junta a otra, una se enfría y la otra se calienta.

En la actualidad el enfriamiento con celdas peltier se ha convertido en tema fundamental para el desarrollo de nuevas tecnologías en laboratorios donde se requieren sistemas convencionales y prácticos para uso con tecnologías que requieren un sistema que ocupe poco espacio y ruido en las aplicaciones.

Centrándose en el tema termoeléctrico define que, son bombas de calor de estado sólido que se utiliza en aplicaciones donde se requiere estabilización de temperatura, ciclos de temperatura o enfriamiento por debajo de la temperatura ambiente. El efecto peltier es uno de los tres efectos termoeléctricos, los otros dos son conocidos como el efecto Seebeck y el efecto Thomson. Si se desconoce la resistencia térmica del disipador de calor, las estimaciones del aumento de temperatura aceptable por encima de la temperatura ambiente son: Convección natural (20 °C – 40 °C), convección forzada (10 °C-15 °C) y enfriamiento líquido (2 °C-5 °C) [1].

El estudio del modelado de celdas peltier es proporcional a la variación de intensidad de corriente, se aprecia tal variabilidad en el tiempo de respuesta, existe un factor tal vez despreciable como la temperatura ambiente, se aprecia que la temperatura disminuye conforme mayor sea la intensidad de corriente.

1.3. Estado del arte

Las aplicaciones de los elementos termoeléctricos pueden estar conectados para generar refrigeración y para generar energía con el diferencial de temperatura, Hacen referencia a su

trabajo en celdas peltier, que compara un elemento termoeléctrico y un termo generador, en este trabajo se modela el grafico a diferentes voltajes y esto es utilizado para visualizar en la celda peltier, el comportamiento y aprovechamiento del calor disipado por el elemento termoeléctrico [2].

La importancia de los modelos matemáticos de las celdas peltier representado en transferencia de calor es la base para comprender el funcionamiento del comportamiento del lado frio y el lado caliente, presenta un modelo siempre de la dinámica de transferencia de calor en dispositivos termoeléctricos, se siguió el modelado microscópico a través de paquete de software con análisis de elementos finitos[3].

Comúnmente conocida como tecnología de refrigeración, tiene la ventaja de ser altamente confiable, sin partes móviles mecánicas, compacto, peso ligero y sin ningún fluido de trabajo. Posee la ventaja que puede ser alimentado con fuente de corriente continua, tales como fotovoltaicas, células de combustible y fuentes de corriente de vehículos. Las principales desventajas del sistema termoeléctrico de enfriamiento es el alto costo y la baja eficiencia energética, esto ha reducido su aplicación en los casos donde el costo y la eficiencia energética son más importantes, también hace relevancias en la parte que el disipador de calor en la parte del lado caliente es más importante que el disipador del lado frio debido a la densidad de flujo de calor es mayor. También revisa el desarrollo del enfriamiento termoeléctrico en la última década a partir de aspectos en los materiales, modelado y aplicaciones [4].

Para la aplicación de la tecnología termoeléctrica cada fabricante especifica las curvas de rendimiento y varios valores límite. Se presenta un método para calcular las características físicas de un módulo termoeléctrico [5].

En el tema termoeléctrico define que, son bombas de calor de estado sólido que se utiliza en aplicaciones donde se requiere estabilización de temperatura, ciclos de temperatura o enfriamiento por debajo de la temperatura ambiente. El efecto peltier es uno de los tres efectos termoeléctricos, los otros dos son conocidos como el efecto Seebeck y el efecto Thomson. Si se desconoce la resistencia térmica del disipador de calor, las estimaciones del aumento de temperatura aceptable por encima de la temperatura ambiente son: Convección natural (20 °C-40 °C), convección forzada (10 °C-15 °C) y enfriamiento liquido (2 °C-5 °C) [6].

El comportamiento de la termoelectricidad da camino para buscar aplicaciones auxiliares en procesos de refrigeración ya existente estudia la integración de la refrigeración termoeléctrica en un sistema de refrigeración en una sala de profesores. El área estudiada se encuentra encapsulada en pared, techo, piso y ventanas de vidrio. El Modulo termoeléctrico se colocó en la ventana de cristal. El prototipo se diseñó utilizando un contenedor como cabina. Con este estudio se analiza el tipo de elemento termoeléctrico y la cantidad de módulos a utilizar, se refleja el rendimiento del enfriamiento dando la posibilidad de integrar un elemento termoeléctrico a un sistema de enfriamiento para minimizar el trabajo de compresión de aire acondicionado por compresión. Siendo el objetivo principal derivar un modelo matemático que sea capaz de relacionar el uso de elementos termoeléctricos y el trabajo de compresión del aire acondicionado [7].

La importancia que tiene la disipación de calor en el lado caliente de una celda peltier lo ha llevado a investigaciones donde el diseño y desarrollo del sistema esta acoplado a un tubo auxiliar para mejorar la disipación de calor del lado caliente. se construyó un experimento de cámara climática, la capacidad de enfriamiento, la temperatura del aire de entrada y salida se comparó con la de disipado de calor de aluminio [8]. La capacidad de enfriamiento se mejoró en un 73.54%. Analiza las condiciones de diseño optimas del elemento termoeléctrico en un sistema con intercambiadores de calor, con el cual se obtiene el máximo rendimiento bajo un gradiente de temperatura constante y carga de calor constante. Menciona que se ha demostrado la degradación del intercambiador de calor del lado caliente tiene mayor efecto sobre la degradación del lado frio. Aunque el intercambiador del lado frio afecta el rendimiento del sistema, el lado caliente afecta el rendimiento y el rango de corriente de operación [9].

El estudio de las aplicaciones se ha enfocado en tecnologías embebidas como lo hizo Aplicando el sistema de enfriamiento del CPU de una computadora embebida por medio de una celda peltier, proponiendo el modelo matemático para determinar la temperatura del CPU. El resultado obtenido se compara con trabajos realizados anteriormente, ya que, si es cierto que el sistema peltier demanda más energía eléctrica que una computadora, concluye que puede disminuir hasta 30° la temperatura del procesador [10].

El desarrollo que ha pasado y la importancia de los elementos termoelectricos en el desarrollo tecnologico e industrial, desde un punto de vista cientifico y matematico, su funcionamiento, los elementos que lo componen y como es aprovechado de forma eficiente. Se compara el esquema investigativo elaborado hasta la actualidad, explica de manera teorica el funcionamiento y destaca la produccion de algunos modelos matematicos, el cual aclara que es un elemento poco explotado por las empresas que fabrican tecnologia electronica debido a la dificultad de obtener un comportamiento estructurado o detallar un patron de funcionamiento [11].

Las aplicaciones de celdas peltier tiene como principal aplicacion elementos con volumen definido, tal como proponen y disenian a nivel estructural y en forma de transferencia de calor, un dispositivo para almacenamiento y conservacion de vacunas sostenibles, que sea amigable con el medio ambiente. El elemento peltier juega un papel importante, ya que se encarga de extraer el calor del interior de la camara. Dado los resultados y prueba del equipo considera factible la construccion del equipo, junto con el modelo teorico del mismo se obtiene resultados factibles para la operacion [12].

La etapa de la aplicacion se empieza a considerar importante cuando el comportamiento de una celda peltier es adecuado para lo que es requerido segun Se centra en el control de la temperatura al interior de una camara de transporte de organos. Dicha respuesta en temperatura presenta un comportamiento y lo representa segun la ecuacion para el comportamiento y adquisicion del control [13].

Desarrolla un modelo de elemento termoelectrico con elemento finito para incluir los efectos transitorios tridimensionales. Este modelo se integra y se usa para determinar; tiempo potencia requeridos para alcanzar la temperatura objetivo deseada, energia de estado estable requerida para mantener la temperatura [14].

Los dispositivos termoelectricos de estado solido que convierten directamente la energia termica en energia electrica y viceversa. En el pasado reciente, se ha realizado un gran esfuerzo para mejorar el rendimiento y tambien la potencia generada por un dispositivo termoelectrico. Esto se hace colocando disipadores de calor en ambos lados del dispositivo. Los elementos termoelectricos se utilizan principalmente en la aplicacion de enfriamiento electronico, donde

la calefacción sirve como objetivo que necesita ser enfriado mientras que el aire actúa como un disipador de calor de convección natural. La termoeléctrica se define como la generación de electricidad a partir de un gradiente de temperatura [15].

Si es calentado un extremo del conductor, los electrones de la unión caliente fluirán a la parte fría donde su energía disminuirá, es la manera en que la transferencia de calor a través de los metales, está acompañada por la acumulación de cargas negativas en la unión fría, a partir de la cual se crea la diferencia de potencial entre ambos extremos del conductor. La diferencia de potencial se mantendrá, hasta que llegue a un equilibrio dinámico entre los electrones que fluyen a través del gradiente de temperatura [16].

El sistema de enfriamiento de un elemento termoeléctrico para un dispositivo 2x15 W LED. El uso de la potencia con los elementos termoeléctricos se debe considerar un sistema de enfriamiento con un elemento para el enfriamiento de 30W mas el LED de potencia. Si se usan sistema de refrigeración pasivos para enfriar el LED de alta potencia, sus volúmenes y capacidades debería potenciarse de manera significativa. Este aumento de capacidad podría dar lugar a dificultades tales como una gran cantidad de volumen que ocupe, dificultades asociadas al montaje y una apariencia estética deficiente [17].

En el estudio que hace. El enfriador termoeléctrico produjo una proporción de 2:1, que es el calor producido dos veces, comparando solo una proporción en el lado frío. Se necesita un disipador de calor y ventilador de corriente continua para mejorar la eficiencia del refrigerador termoeléctrico y un mejor resultado de la adquisición de datos. La corriente máxima que puede conducir el enfriador termoeléctrico es de 6A, comprueba el comportamiento del módulo peltier reacciona a un valor específico de corriente y tiempo. La corriente mínima para el refrigerador termoeléctrico para la temperatura mínima es de 3A, donde la temperatura mínima es de 15.43 °C, el sistema peltier puede lograr dentro del rango de temperatura deseado a través de una corriente de 3A pero toma más tiempo y necesita más de 20 min, la temperatura puede alcanzar menos de 15 °C y se mantuvo hasta 7.62 °C en un área cerrada pequeña con una corriente de 3.45A para que la caja del enfriador funcione de 5 °C a 15 °C, también muestra que a mayor corriente, más rápido será la caída de temperatura [18].

Las características de comportamiento térmico y potencia de enfriamiento de tres elementos termoeléctricos han sido investigados y representados numéricamente con el objetivo de

conocer el desempeño del elemento termoelectrico en presencia/ausencia del efecto Thomson. Tres módulos diferentes por individual, se incrusta 8, 20 y 40 elementos TECs, la disminución en escala y el aumento en elementos TECs es una forma adecuada para mejorar la capacidad a la bomba de calor de un sistema peltier a enfriamiento. Debido al efecto peltier es linealmente proporcional a la eléctrica teniendo en cuenta la condición de relación fija entre el área trasversal y las características físicas de un elemento termoelectrico, los resultados indican el incremento de la potencia y el COP del módulo [19].

En la investigación se ha propuesto y diseñado a nivel estructural en transferencia de calor, un dispositivo portátil para el almacenamiento y conservación de vacunas sostenible y amigable con el medio ambiente. Las placas termoelectricas juegan un papel fundamental en el enfriamiento del sistema, ya que es el único elemento del sistema encargado de extraer calor del interior de la cámara. Con los resultados obtenidos son considera factible la construcción y prueba del equipo propuesto en modelo teórico, se obtuvo resultados que señalan factible a nivel construcción y operación; es posible obtener dispositivos comerciales adecuados y con garantía de condiciones de operación que permitan el suministro de la energía requerida para el funcionamiento del equipo [20].

En este trabajo, se utiliza un modelo computacional, para estudiar sistemas de control alternativos. Se trata de un nuevo sistema basado en voltajes inactivos; cuando el refrigerador alcanza su límite inferior en temperatura, los módulos termoelectricos no se desconectan, sino que reciben un voltaje mínimo. Los resultados del sistema demuestran que este sistema reduce el consumo de energía eléctrica del refrigerador en al menos un 40% con respecto al obtenido con los sistemas de control de on/off, y el coeficiente de rendimiento aumenta muy cerca del máximo en su sistema [21].

Presenta una cámara de temperatura controlada enfriada con elemento termoelectrico. El diseño nos facilita una solución aplicable para el control de temperatura en dispositivos ópticos.

El resultado final del diseño se divide en tres áreas. Cada área incluye un generador de señal digital, un controlador y la estructura del disipador de calor. El generador de señal utiliza un controlador Peltier basado en modo conmutado que se encuentra comercialmente. Un controlador de error de retroalimentación compensa al conductor por el control de temperatura.

El sistema se implementa con un microcontrolador. El ensamble del disipador de calor del espacio volumétrico está diseñado específicamente para manejar la energía térmica generada por el enfriador termoeléctrico [22].

Un dispositivo portátil con celdas solares, utilizando en tiempos específicos durante el día. Las células solares se aplican para alimentar el refrigerador en el día. Se utiliza una batería de almacenamiento, asistida por un rectificador, es utilizada para días lluviosos, nublados. Los resultados del experimento demuestran que la unidad puede mantener la temperatura en el refrigerador a 5–10 ° C y tener un COP de aproximadamente 0.3. el refrigerador tiene la capacidad de almacenar los alimentos y las bebidas en áreas remotas o en aplicaciones al aire libre donde no hay suministro de energía eléctrica [23].

Se presenta un modelo computacional para refrigeradores termoeléctricos y simula la transferencia de calor que ocurre en el sistema de celdas peltier, intercambiadores de calor, compartimentos aislados y depósitos fríos y calientes. Se implementan los principios Peltier, Seebeck, Thomson y Joule que interactúan y dependen de la temperatura. Se construye para verificar la simulación del sistema. Tiene un error de acierto en $\pm 10\%$. Cada resultado nos da una lectura con desviación más alta que las obtenidas de la dependencia de la temperatura, tienen un margen de error que no permite comparar la simulación y el funcionamiento real.

1.4. Definición del problema

En variedad de dispositivos optoelectrónicos si la temperatura es cambiante provoca una inestabilidad, afectando la intención de funcionamiento para cada dispositivo que depende directamente de una temperatura estable.

Es por esta razón que se propone realizar una investigación sobre el comportamiento del gradiente de temperatura utilizando celda peltier en espacios controlados, con el fin de observar el comportamiento de la temperatura y tiempo que emplea la celda peltier en alcanzar una temperatura deseada.

1.5. Objetivos

1.5.1. General

Obtener un modelo matemático, mediante la caracterización del gradiente de temperatura en espacios cúbicos basado en celdas peltier para lograr la temperatura deseada y su propio escalamiento.

1.5.2. Específicos

- Construir espacios cúbicos con escalamiento lineal.
- Desarrollar un diseño electrónico basado en el sensor de temperatura.
- Desarrollar el prototipo de enfriamiento para celdas peltier
- Seleccionar la fuente que se va a utilizar para lograr la estabilidad variable.
- Ajustar la interfaz de usuario que permita tener el control del sensor de temperatura y de la fuente de corriente.
- Caracterizar la dependencia de la temperatura en función a: espacio cúbico, tiempo de alcance de la temperatura deseada, corriente que circula por el elemento TEC y número de elementos TEC.
- Identificar la relación de variables para su medición.
- Desarrollar el modelo matemático con fundamento a los datos obtenidos.

1.6. Justificación

La presente investigación tiene como objetivo principal encontrar un modelo matemático del gradiente de temperatura en un espacio controlado. Esto será útil para el diseño de futuros espacios controlados en temperatura para asegurar estabilidad de dispositivos optoelectrónicos y experimentos físicos de caracterización de materiales donde se requiere control de temperatura con variación menor a ± 0.5 °C. Esto fortalece a futuro, este modelo matemático puede proporcionar diseño de espacios con dimensiones cúbicas.

1.7. Hipótesis

El modelo matemático obtenido representará la variación del gradiente de la temperatura en función al escalamiento del espacio cúbico, tiempo de alcance de temperatura, corriente y número de elemento Tec.

Capítulo 2

2. Fundamento teórico

2.1. Acondicionamiento del aire

Proceso o procesos que actúan sobre el aire atmosférico, convirtiendo el aire adecuado para uso de aplicaciones determinadas, que requieren condiciones predefinidas. Las condiciones llegan a ser necesarias para obtener beneficios en forma de bienestar fisiológico de animales, plantas, personas o ciertas aplicaciones [24] .

Las condiciones del aire que se obtienen en el proceso de acondicionamiento vendrán dadas por unos valores determinados de temperatura y humedad. Los sistemas cuales se utilizan en el acondicionamiento van dirigidos para obtener condiciones específicas.

Disponiendo de la circulación del aire por determinados dispositivos de tratamiento se consigue el cambio adecuado a las propiedades del aire, por consiguiente, el cumplimiento a las condiciones del aire que se requieren.

Dentro de los procesos acondicionamiento del aire se puede incluir: calentamiento simple, enfriamiento simple, humidificación y des humidificación. En algunos casos se requieren de dos o más procesos para lograr aire específico que tenga temperatura y humedad deseado.

Para el acondicionamiento del aire se necesita que el sistema permita modificar las condiciones termodinámicas del aire que se encuentra ubicado en el volumen específico a acondicionar.

En la figura 2.1 se ilustra el recorrido que típicamente sigue el aire a través de los instrumentos de tratamiento que existen en los sistemas de aire acondicionado común. En esta figura se muestra operando en modo de enfriamiento.

En la figura 2.2 se ilustra la carta psicométrica de procesos en acondicionamiento del aire mencionando, así como sus variantes

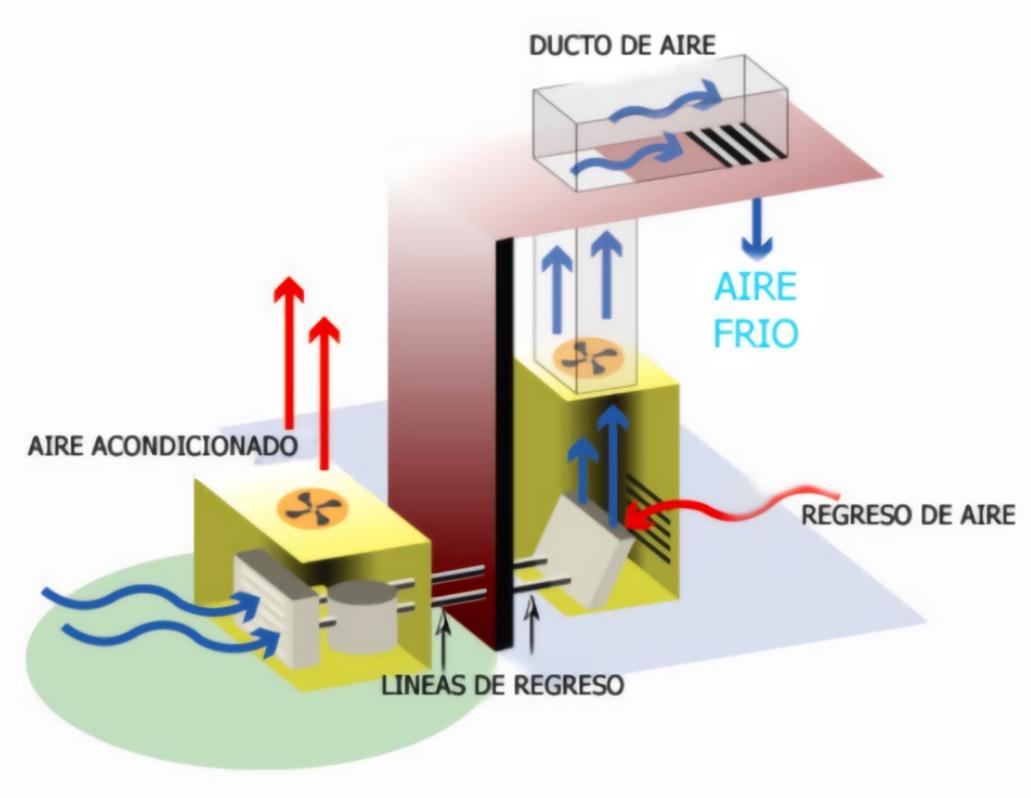


Figura 2.1: Acondicionamiento del aire en un cuarto.

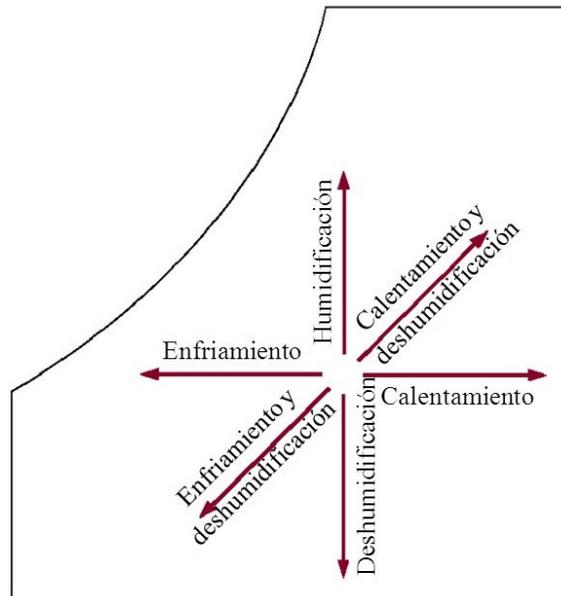


Figura 2.2: Procesos del acondicionamiento del aire.

2.2. Sistemas de acondicionamiento de aire

Los sistemas de acondicionamiento del aire se clasifican en el tipo de acondicionamiento que experimentan, mediante esta clasificación se agrupan a través del cual se consigue enfriamiento o calentamiento según el caso que se quiera.

2.2.1. Sistemas autónomos

Es un sistema compacto de expansión. Son sistemas que se instalan en paredes sobre lado superior no se emplean conductos, para la distribución del aire se utilizan rejillas figura 2.3. Para la calefacción se utilizan dispositivos de calefacción como una bomba de calor o resistencias eléctricas.

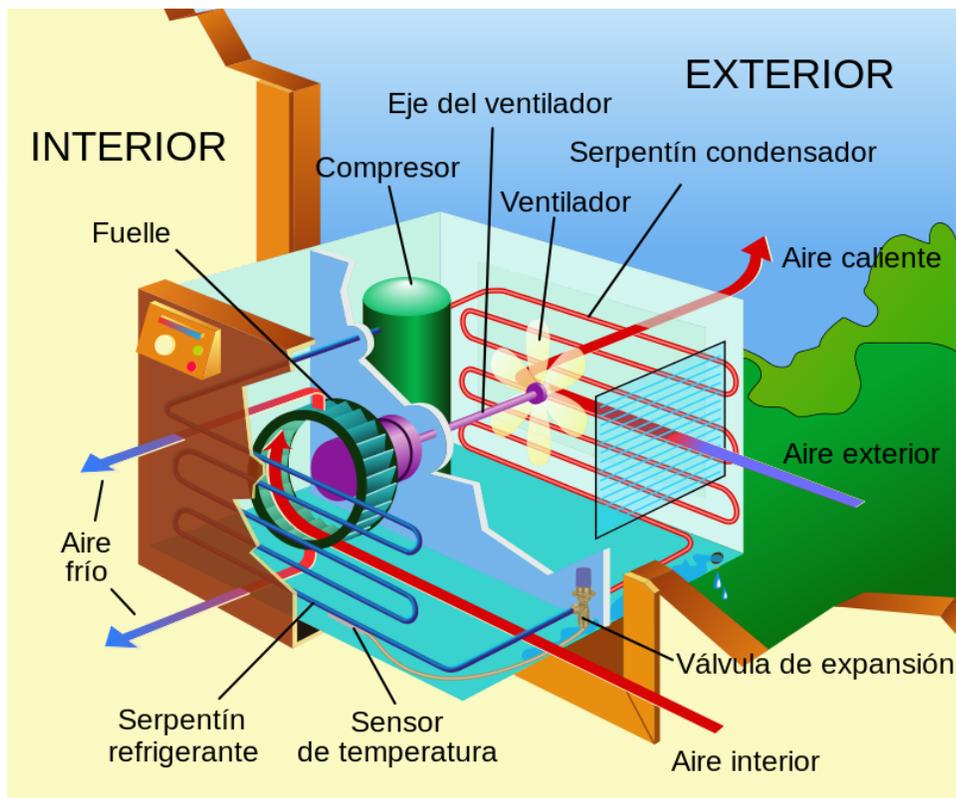


Figura 2.3: Sistema autónomo.

2.2.2. Sistema todo refrigerante

Sistema refrigerante que comúnmente es llamado “Split system”, su construcción está determinada por dos unidades empaquetadas, una unidad evaporadora y una unidad condensadora. La unidad evaporadora constituida por serpentín de expansión directa y ventilador de suministro que recircula el aire que se encuentra dentro. La unidad condensadora se alimenta de refrigerante que será trasladado por medio de ductos desde esta unidad hacia la unidad evaporadora. La unidad condensadora se encuentra ubicada en la zona exterior. En la figura 2.4 se muestra el sistema todo refrigerante operando en modo de enfriamiento.



Figura 2.4: Diagrama de un sistema todo refrigerante.

2.2.3. Sistemas todo agua

Es un sistema para la calefacción o refrigeración de uno o varios recintos. Se encarga de distribuir agua caliente o agua fría según el caso, desde un parte central hasta las unidades de enfriamiento o calentamiento. El agua caliente o enfría a un equipo de calefacción o

refrigeración respectivamente, mediante una bomba hace circular agua caliente o fría, hasta cada recinto mediante el empleo de tuberías, al interior de cada parte se encuentra instalada una unidad ventilador-serpentín que se encarga de realizar el intercambio de calor. El agua por sus propiedades mayores que el aire, permite que se necesite menor volumen de refrigerante para conseguir para conseguir la misma cantidad de transferencia de calor posibilite el adecuado acondicionamiento figura 2.5.

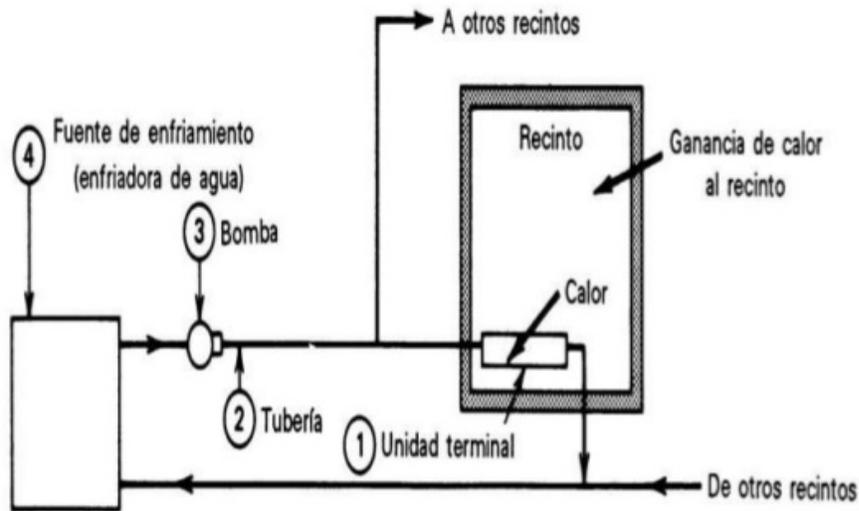


Figura 2.5: Diagrama de un sistema toda agua.

2.2.4. Sistema todo aire

La característica principal de este sistema es la unidad de tratamiento de aire, está ubicada fuera del recinto que se desea acondicionar. El fluido que ingresa al recinto es el aire que ha sido previamente acondicionado. El aire se traslada por todo el sistema mediante tuberías de ingreso y retorno.

Las desventajas se pueden centrar en las dimensiones del equipo y que se posiciona alejada al sitio a refrigerar, los costos de operatividad aumentan considerablemente debido al tipo de instalación figura 2.6.

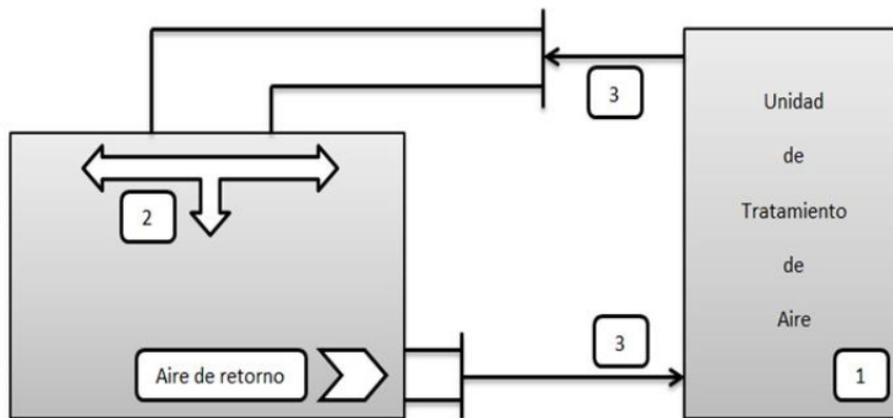


Figura 2.6 Diagrama de un sistema todo aire.

2.2.5. Sistemas aire-agua

En la figura 2.7 muestra un sistema de aire-agua operando en calentamiento o enfriamiento para la calefacción o refrigeración.

En este sistema, la distribución tanto del agua como del aire acondicionado, provienen desde el equipo central, mediante sistema de tubería.

El equipo central: una planta de acondicionamiento y una unidad de tratamiento para el aire acondicionado. Dentro de cada recinto se encuentra una unidad terminal que cumple la función de calentar o enfriar cada habitación.

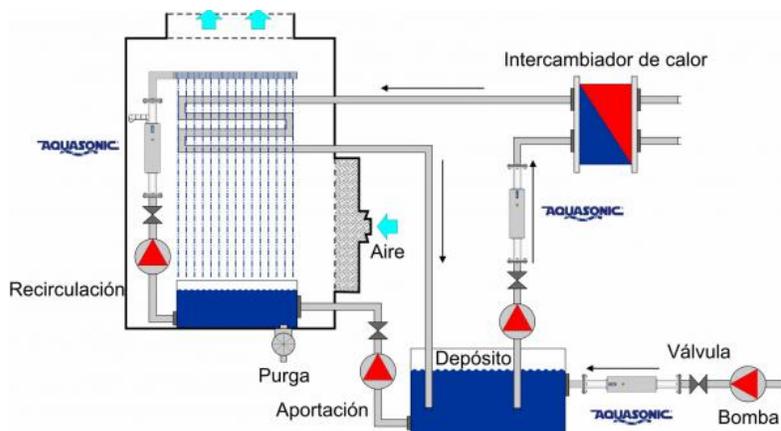


Figura 2.7: Imagen de un sistema aire-agua

2.3. Termoelectricidad

La termoelectricidad se considera como la rama de la termodinámica, en la figura 2.8 nos muestra la relación de la termoelectricidad y la termodinámica, paralela a la electricidad donde se estudian fenómenos en los que intervienen el calor y la electricidad.

El fenómeno más conocido es el de la generación de electricidad mediante la aplicación de calor en la unión de dos materiales diferentes. Este fenómeno fue observado por primera vez en 1821 por el físico alemán Thomas Seebeck, y se conoce como efecto Seebeck.

Thomas Seebeck accidentalmente descubrió calentaba una de las uniones manteniendo la otra a temperatura ambiente, aparecería un campo magnético en las inmediaciones de los alambres. A la pareja de conductores que llegan a formar un circuito termoelectrico se llama termopar, si unimos dos aleaciones metálicas el diferencial de potencial generado al calentar la unión depende de las propiedades de los materiales de las aleaciones y la temperatura alcanzada en la unión.

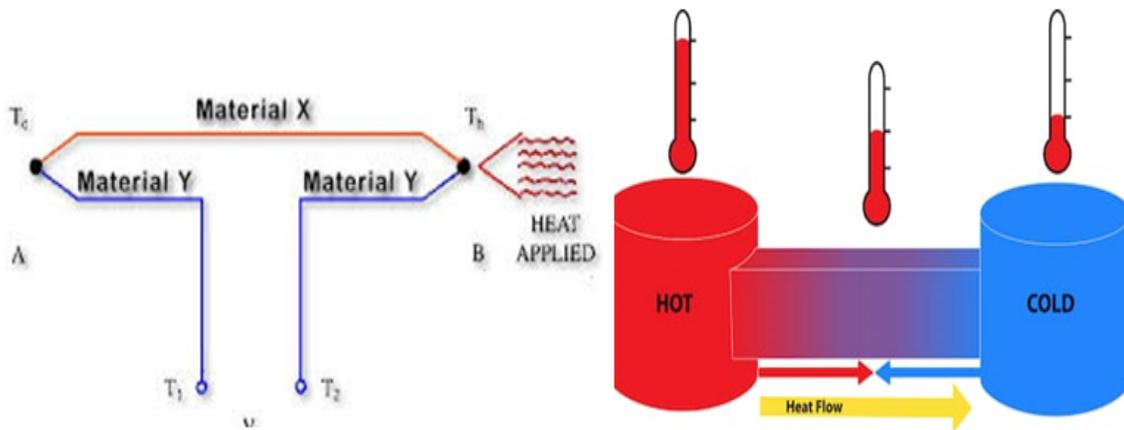


Figura 2.8: Termoelectricidad & Termodinámica

2.4. Efecto Seebeck

El efecto Seebeck también constituye la base de la generación de potencia termoelectrica. En la figura 2.8 el esquema de un generador termoelectrico.

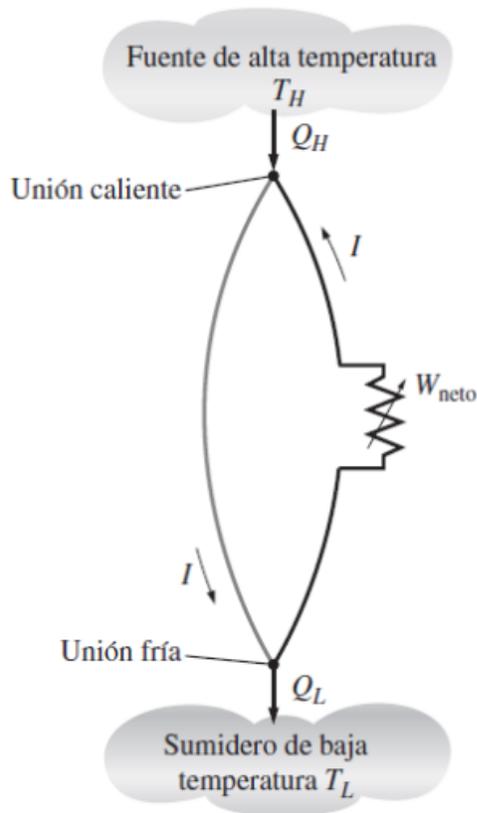


Figura 2.8: Generador termoeléctrico.

La desventaja de los generadores termoeléctricos es su baja eficiencia, el desarrollo de esta tecnología depende directamente del descubrimiento de materiales con características más convenientes, a pesar de la desventaja que presenta tienen ventajas como el peso y confiabilidad esto ha ayudado a llevarlo a aplicaciones rurales y espaciales.

2.5. Efecto Joule

El fenómeno por el cual circula un conductor de corriente eléctrica, parte de la energía cinética de los electrones se transforma en calor debido a los choques que sufren con los átomos del material conductor por el que circulan, elevando la temperatura del mismo. El nombre del efecto

en honor a James Prescott Joule quien descubriera el comportamiento. Esta energía proporcionada por los electrones se disipa en forma de calor y define la ecuación 2.1.

$$Q = I^2 R t \quad 2.1$$

Donde Q es energía o calor desprendido por la corriente, I es la intensidad de la corriente que circula, R es la resistencia eléctrica y t tiempo.

2.6. Efecto peltier

El efecto peltier es la base de la refrigeración termoeléctrica, se emplean materiales semiconductores [25]. Se absorbe el calor y se libera hacia el ambiente caliente, la diferencia entre ambas cantidades es el trabajo eléctrico neto que necesita suministrarse en Figura 2.9. se muestra el efecto. En la actualidad los sistemas de refrigeración termoeléctricos no compiten con los sistemas de refrigeración por compresión de vapor debido al bajo coeficiente de desempeño. Debido al tamaño, simplicidad, confiabilidad y silenciosos tiene mayor preferencia en algunas aplicaciones.

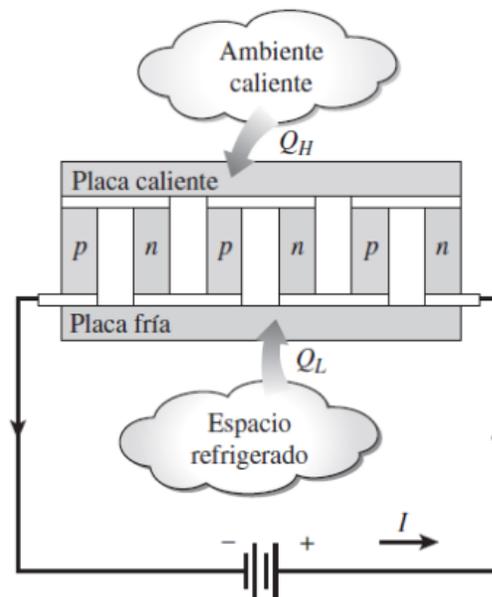


Figura 2.9: Efecto peltier

2.7. Efecto Thomson

El efecto Thomson consiste en la absorción o liberación de calor por parte de un conductor eléctrico homogéneo, con una distribución de temperaturas no homogéneas, por el que circula una corriente. El flujo neto de potencia calorífica por unidad de volumen, en un conductor de resistividad, con diferencia longitudinal de temperatura, por el que circula corriente. En la figura 2.10 se muestra la liberación de calor que se produce en el conductor donde la temperatura no es homogénea [26].

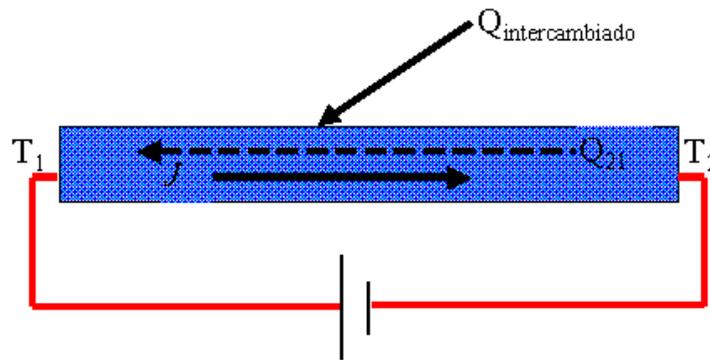


Figura 2.10: Efecto Thomson

2.8. Celdas peltier

Está compuesta por materiales semiconductores, entre los materiales; bismuto tipo N y el otro telurio tipo P para ser tipo P o N, buenos conductores de electricidad y malos conductores de calor unidos entre sí por una lámina de cobre. Si el lado del material N se aplica el polo positivo de una fuente de alimentación de corriente continua y en el lado del material P el polo negativo, la placa de cobre de la parte superior se enfría, mientras que la inferior se calienta. Si en esta misma celda, se invierte la polaridad de alimentación, se invierte el efecto de la temperatura. Los elementos de un módulo peltier son bloques de 1mm cubico [27]. En la figura 2.11 muestra una celda peltier comercial con una eficiencia de transferencia de calor baja, en la figura 2.12 nos muestra una celda peltier de laboratorio con una eficiencia de transferencia de calor más alta comparada con la anterior.

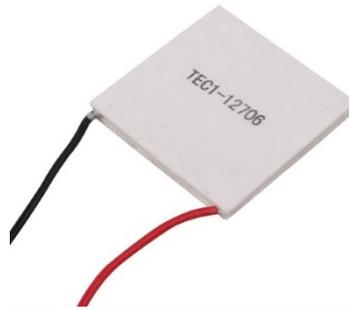


Figura 2.11: Celda peltier Tec1.12706

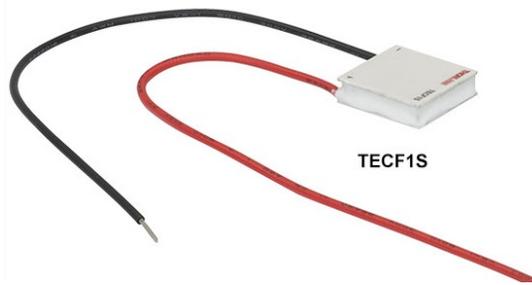


Figura 2.12: Celda peltier Thorlab

Estructuralmente la celda peltier, está formada por un conjunto de elementos semiconductores p-n formados por telurio-bismuto agrupados de tal forma que consolidan una estructura de celda, figura 2.13.

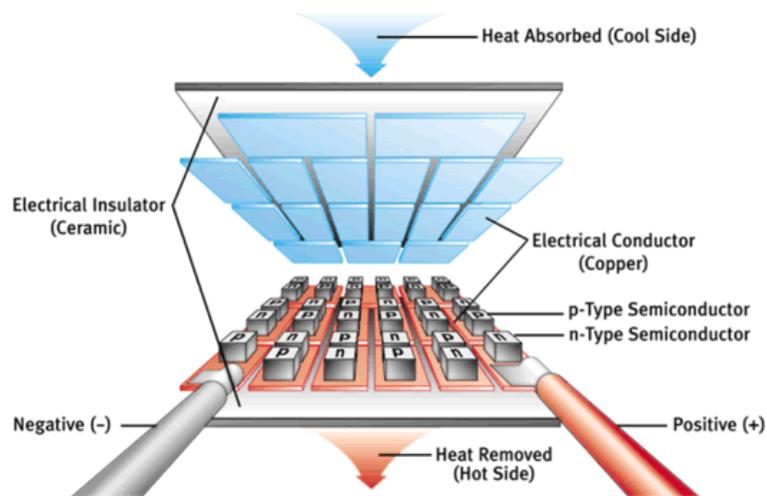


Figura 2.13: Estructura de una celda peltier

Al aplicar una diferencia de potencial sobre la celda peltier, genera un flujo de calor por unidad de tiempo en la cara caliente, esto se puede determinar mediante la ecuación 2.1.

$$Q_{pc} = \alpha T_c I \quad 2.2$$

Donde T_c (Kelvin) es la temperatura de la cara caliente, α ($\frac{\mu V}{K}$), es el coeficiente Seebeck e I (Amperes) la corriente que atraviesa al circuito.

Bajo el mismo efecto, la absorción del calor por unidad de tiempo o potencia calorífica en la cara fría está dada por la ecuación 2.2.

$$Q_{pf} = \alpha T_f I \quad 2.3$$

Siendo T_f (kelvin) la temperatura de la cara fría.

Si se consideran las pérdidas por efecto joule, las cuales se supone que se reparten partes iguales para cada cara de la celda peltier, esta queda expresada por la ecuación 2.3.

$$Q_j = \frac{1}{2} I^2 R \quad 2.4$$

Donde I (amperes) es la corriente eléctrica y R (ohms) es la resistencia eléctrica de la celda peltier. La diferencia de temperatura entre ambas caras producirá un efecto de conducción térmica entre la cara caliente y la cara fría, cuantificable mediante la ecuación 2.4.

$$Q_{CT} = \frac{T_c - T_f}{R_{TH}} I^2 R \quad 2.5$$

Donde R_{TH} es la resistencia térmica que existe entre el lado frío y el lado caliente, el flujo que existe en el calor absorbido por la cara fría, será haciendo el balance energético por medio de la ecuación 2.5.

$$Q_F = Q_{PF} - Q_J - Q_{CT} = \alpha T_f I - \frac{1}{2} I^2 R - \frac{T_c - T_f}{R_{TH}} I^2 R \quad 2.6$$

El calor cedido que será disipado a través de la cara caliente será como la ecuación 2.6.

$$Q_F = Q_{PC} + Q_J - Q_{CT} = \alpha T_C I + \frac{1}{2} I^2 R - \frac{T_C - T_F}{R_{TH}} \quad 2.7$$

Aplicando principio de termodinámica, la potencia eléctrica suministrada será la diferencia de disipación y absorción obteniendo la ecuación 2.7.

$$P_e = Q_C - Q_F = \alpha(T_C - T_F)I + I^2 R = \alpha \Delta T I + I^2 R \quad 2.8$$

2.9. Estructura de un módulo peltier

Un sistema peltier consiste de elementos peltier acoplados y disipadores acoplados térmicamente, la potencia eléctrica aplicada las bombas se convierte en calor, debe ser disipada de manera correcta, así mismo los elementos peltier bombean calor de un lado a otro según el sentido de la corriente eléctrica aplicada, por un lado, se consigue captación de calor y por lo consiguiente en otro se consigue captación. El intercambio térmico debe realizarse con disipadores de diferentes dimensiones que se ajustan a ambos lados el elemento peltier y por lo general los ventiladores evacuan o generan la transferencia de calor por convección forzado al aire caliente o frio Figura 2.14.

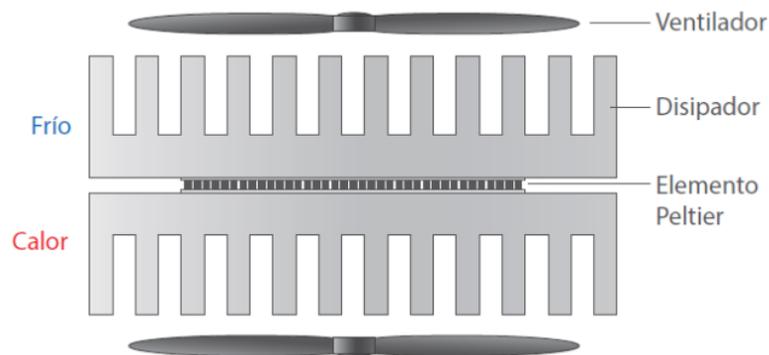


Figura 2.14: Sistema peltier con disipadores y ventilador.

2.10. Estrés térmico

Siendo posible controlar el sistema de refrigeración peltier invirtiendo polaridad, es necesario conocer las consecuencias. Al invertir sentido de la corriente eléctrica, se ejerce un enorme estrés térmico sobre el componente. Los fabricantes invierten la polaridad y ponen a prueba la resistencia cíclica de sus productos, es posible mejorar la resistencia cíclica mediante modificaciones.



Figura 2.15: El estrés térmico provocado por la temperatura, afecta las propiedades del material

2.11. Ventajas y desventajas de Sistemas peltier

Los sistemas peltier son muy fiables, duraderos y se requiere poco mantenimiento, ya que existen pocas piezas de desgaste móvil. Funcionan sin provocar ruidos y vibraciones, tamaños pequeños incluso cuando se agrupa en varios módulos, su fabricación resulta económica, no contienen refrigerantes inflamables, así se suprime todo circuito eléctrico de un compresor, en la figura 2.16 nos muestra una aplicación a una CPU. Al igual de ventajas, los sistemas peltier presentan ciertas desventajas comparados con otros sistemas de refrigeración, tal como el lado caliente y frío estén muy cerca, generando esto una pérdida de energía y poca eficiencia [28].



Figura 2.16: Los sistemas peltier duraderos y poco mantenimiento, sus aplicaciones a pequeños volúmenes

2.12. Sistemas de refrigeración

Los sistemas de refrigeración tienen importancia en la vida cotidiana. La bomba de calor se ha comenzado a utilizar como calefacción y para procesos industriales en la producción de calor figura 2.17. Otro de los ejemplos de los usos comerciales e industriales de la refrigeración es la obtención de oxígeno y nitrógeno líquido, la licuefacción de gas natural y la producción de hielo. Los principales ciclos de refrigeración son compresión de vapor, absorción, brayton invertido y termoeléctricos [29].

Para los diferentes sistemas de refrigeración varios aspectos de la transferencia de calor se ven involucrados en el desempeño y eficiencia de cada proceso.

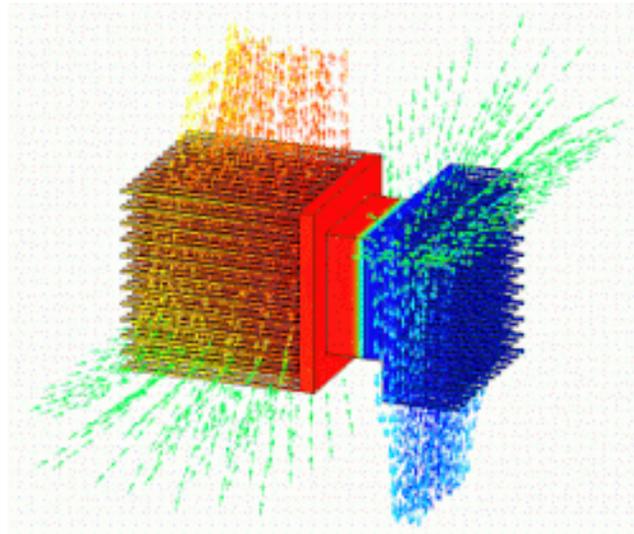


Figura 2.17: Los sistemas peltier funcionan como refrigeración o bomba de calor.

2.13. Transferencia de calor por conducción

Cuando en un cuerpo existe un gradiente de temperatura, la experiencia muestra que hay una transferencia de energía desde la región a alta temperatura hacia la región de baja temperatura como lo muestra la Figura 2.18. la energía se ha transferido por conducción y el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura e introduciendo la constante de proporcionalidad es representada por la ecuación 2.9 [30].

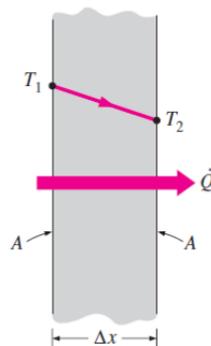


Figura 2.18: Conducción del calor a través de una pared plana grande de espesor Δx y área A .

Donde q es el flujo de calor y $\frac{\Delta T}{\Delta x}$ es el gradiente de temperatura de un punto a otro en dirección del flujo de calor. La constante k se denomina conductividad térmica del material donde ocurre la transferencia de energía y aunado al signo negativo por la segunda ley de la termodinámica; el calor debe fluir hacia la temperatura más baja, como lo muestra la figura 2.12.

$$q = -kA \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.9)$$

Se llama ley de Fourier por conducción de calor, en honor al físico-matemático francés Joseph Fourier. Es importante señalar que la ecuación 2.19 define la conductividad térmica, k tiene unidades de vatios por metro y por grado Celsius en un sistema de unidades en el flujo de calor se expresa en vatios.

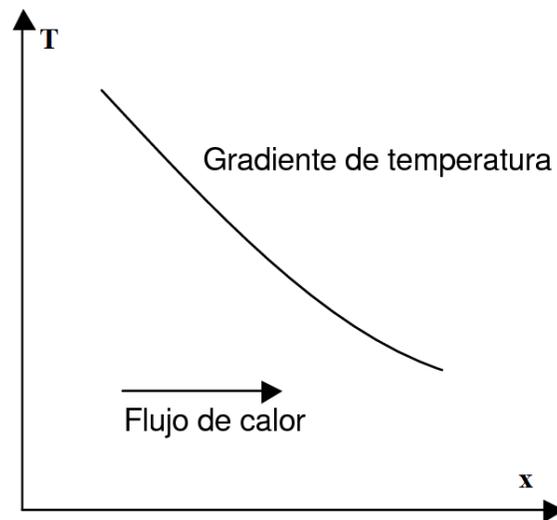


Figura 2.19: Diagrama que muestra la dirección del flujo de calor

2.14. Conductividad térmica

Expresa el flujo de calor que pasa a través de una superficie definida, infinita caras paralelas y espesor de material cuando existe un gradiente de temperatura.

Es una de las propiedades físicas de los materiales, capacidad que tienen de conducir el calor al transferir la energía cinética de un material a otros adyacentes, por ejemplo, al tocar la mesa o el aire. Lo contrario a esta propiedad se llama resistividad térmica, que es mayor cuanto más se oponga un material al paso del calor, la forma de aislar el calor.

Los materiales que conducen el calor de manera efectiva, tienen un coeficiente de conductividad térmica muy alto y son buenos conductores, por ejemplo, radiadores, mientras materiales con valores bajos, son aislantes y son buenos para mantener el calor o el frío según sea el caso.

2.15. Transferencia de calor por convección

Es la forma en que se puede manifestar la transferencia de energía entre una superficie sólida y líquido o gas adyacente que están en movimiento y comprende los efectos combinados de la conducción y el movimiento de fluidos. Entre más rápido el movimiento, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de movimientos de fluido, la transferencia de calor es por conducción pura. La presencia de movimiento en el fluido acrecienta la transferencia de calor de la superficie sólida y líquida, pero complica determinar las razones de esa transferencia, agregando variables a la transferencia de energía que se produce, como la muestra la Figura 2.20, donde se ve los tipos de convección forzada y natural en huevo caliente.

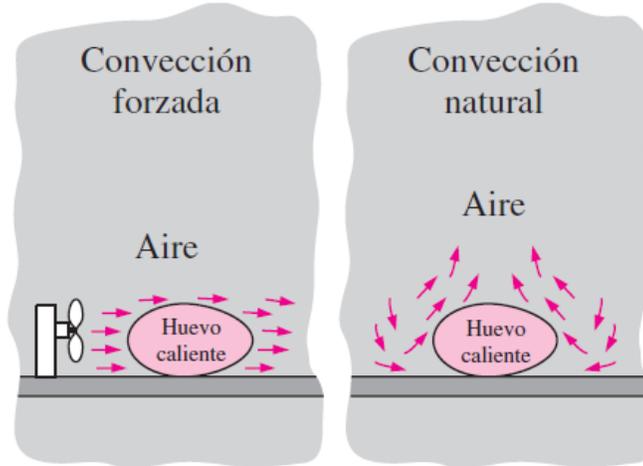


Figura 2.20: Enfriamiento de un huevo por convección forzada y convección natural

Para expresar el efecto global de la convección, se utiliza la ley de Newton del enfriamiento:

$$q = hA(T_p - T_\infty) \quad 2.10$$

En la ecuación 2.1 explica el flujo de calor transferido se relaciona con la diferencia global de temperaturas entre pared, fluido y área (A). La magnitud h se denomina (coeficiente de transferencia de calor por convección). Para algunos casos se pueden hacer cálculos analíticos del coeficiente de calor por convección, en algunos casos se denomina conductancia de película, por la relación con el proceso de conducción en una delgada capa de la superficie.

La transferencia de calor por convección depende de la viscosidad del fluido, las propiedades térmicas del fluido donde ocurre el fenómeno como conductividad térmica, calor específico y densidad. La viscosidad del fluido influye en las velocidades del flujo de energía en la región próxima donde ocurre el fenómeno de transferencia de calor.

2.16. Transferencia de calor por radiación

Es la energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones) como resultado de los cambios en las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. La transferencia de calor por radiación no requiere la presencia de un medio interviniente. La transferencia de calor por radiación es más rápida y no sufre atenuación en el vacío, como lo muestra en la Figura 2.21, donde la radiación no requiere ningún medio para la transferencia, ya que esto se realiza por ondas electromagnéticas [31].



Figura 2.21: La radiación que provoca el calor del foco es transmitido sin importar el medio en el cual se encuentra.

Las consideraciones termodinámicas muestran un radiador térmico ideal o cuerpo negro emitirá energía de manera proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta del cuerpo y directamente al área de la superficie:

$$q_{emitida} = \sigma AT^4 \quad 2.11$$

Donde σ es la constante de proporcionalidad, se denomina constante de Stefan-Boltzman que tiene valor de $5.669 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$. La ecuación 2.11 se denomina Ley de Boltzman de la radiación y se aplica exclusivamente a cuerpos negros. Esta ecuación solo aplica para radiación térmica.

2.17. Espacio

Es el área donde se encuentran los objetos y en el que los eventos que ocurren tienen una posición y dirección relativa. El espacio físico es habitualmente concebido con tres dimensiones lineales, aunque los físicos modernos usualmente lo consideran, con el tiempo, como de cuatro dimensiones y lo denominan espacio-tiempo. El espacio ya fue definido por Aristóteles, como aquello que es implicado por los cuerpos, o sea, el lugar que ocupan éstos, su límite inmóvil, siendo la suma de los espacios ocupados por los cuerpos, el espacio total, eliminando el concepto de vacío. Todo espacio contenía un cuerpo. Fue una de las categorías Kantianas a priori junto

con el tiempo, que daban forma a la materia sensible. Newton acercó el concepto de espacio como sustancia inmaterial, inmóvil e infinita donde los objetos materiales flotaban. Los cuerpos físicos observables se sitúan entonces, en un medio universal que recibe el nombre de espacio. Muchas veces se hace referencia al espacio, como al universo exterior, fuera de la atmósfera terrestre, considerándolo como infinito. Así cuando se habla de astronautas que viajan al espacio, se hace alusión a esta acepción. También se usa en astronomía el término para considerar la distancia entre galaxias (espacio intergaláctico) o entre estrellas (espacio interestelar). La geometría espacial es una rama de la geometría cuyo objeto de estudio son las figuras geométricas, en cuanto a sus medidas y propiedades en el espacio tridimensional. La rama de la matemática que estudia el espacio vectorial o lineal se denomina álgebra lineal.

- Se llama espacio aéreo al lugar en la atmósfera, donde las aeronaves circulan, perteneciente al estado que sobrevuelan.
- Se llama espacio urbano al ocupado por ciudades, y espacio rural donde se desarrollan las labores agropecuarias.
- Espacio público comprende los lugares que pueden usar todos los pobladores, pues pertenecen al *populus* o pueblo, como una plaza.
- Espacio radial, gráfico o televisivo, es el que disponen los comunicadores para expresar sus ideas.
- Se denomina en física, espacio-tiempo, a las cuatro dimensiones, tres de ellas espaciales, y una temporal, en la que los acontecimientos se consideran en forma matemática, llamándose suceso a un punto en el espacio-tiempo.

De acuerdo con la Teoría de la Relatividad, el espacio-tiempo es la entidad geométrica en la cual se desarrollan todos los eventos físicos del Universo. Parte, del supuesto estado de movimiento del observador y sus consecuencias, que se traduce en la diferencia relativa entre componentes espaciales y temporales. En el espacio tridimensional, se requieren tres coordenadas espaciales, es decir cada uno de sus puntos puede ser localizado especificando tres números dentro de un cierto rango, Figura 2.22. (anchura, longitud y profundidad).

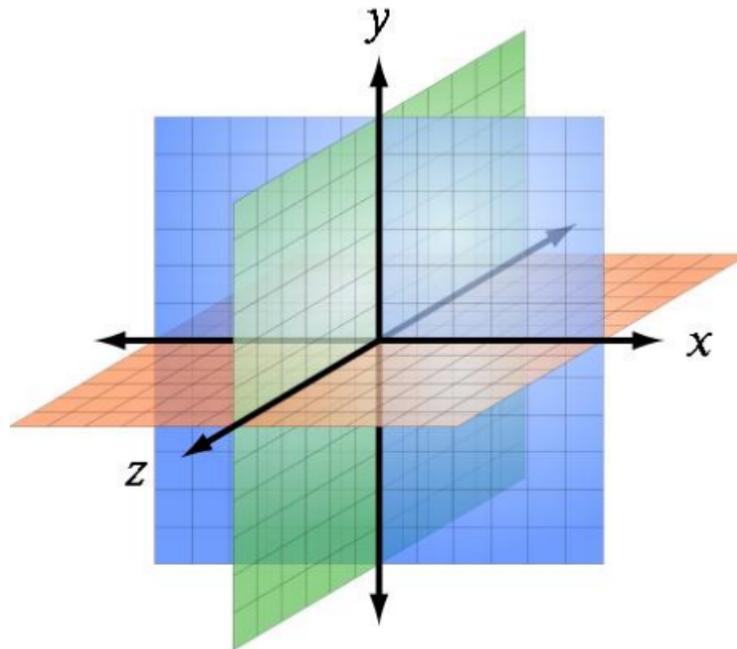


Figura 2.22: Plano tridimensional a un espacio (Anchura, longitud y profundidad)

2.18. Ajuste de curvas

El método consiste en ajustar una curva a un conjunto de datos es el de trazar los puntos y unirlos con una línea recta. Aunque esta es una alternativa válida y se utiliza cuando se requiere hacer estimaciones rápidas, los resultados son dependientes, desde un punto de vista subjetivo, de la persona que traza la curva.

Por ejemplo, en la figura 2.23 se muestran diferentes trazos sobre un mismo conjunto de datos.

A) No conecta los puntos, caracteriza el crecimiento de los datos mediante una línea recta o interpolación lineal en la conexión de los puntos. b) Esta técnica es muy común. Si los valores se acercan realmente al caso lineal y están espaciados muy cerca entre sí, entonces esta aproximación ofrece una estimación adecuada en muchos cálculos, sin embargo, donde la relación subyacente es altamente curvilínea o donde los datos están muy separados, se puede introducir errores significativos en la interpolación lineal. c) Muestra curvas que intentan capturar el comportamiento sugerido por los datos.

Aunque muchas de las fórmulas utilizadas ampliamente ya han sido tabuladas, existe otra gran cantidad de los que no tienen aplicación al hacerlas de esta forma. Los casos especiales y los problemas nuevos de contexto requieren a menudo que se obtengan datos propios y que se desarrollen relaciones predictivas, también propias. Se puede encontrar, en general, dos tipos de aplicaciones cuando se ajustan datos experimentales: el análisis de tendencias y la prueba de hipótesis.

El análisis de tendencias representa el proceso de usar el patrón de los datos y hacer predicciones. Para los casos en que los datos se miden con alta precisión, se pueden usar polinomios de interpolación. Los datos imprecisos, en general, se analizan con regresión de mínimos cuadrados.

El análisis de tendencias se puede usar para predecir o pronosticar valores de la variable dependiente. Esto a veces involucra extrapolar más allá de los límites de los datos observados o interpolar dentro del rango de datos.

El ajuste de curvas experimentales es la prueba de hipótesis. Aquí se compara un modelo matemático con los datos medidos. Se los coeficientes del modelo se desconocen, a veces es necesario determinar valores que se ajusten mejor a los datos observados. Por otro lado, si las estimaciones de los coeficientes del modelo se encuentran disponibles puede ser apropiado comparar los valores predichos del modelo con los valores observados y así probar la eficiencia del método. A menudo, se compara modelos alternos y se selecciona “el mejor” con base a observaciones empíricas [32].

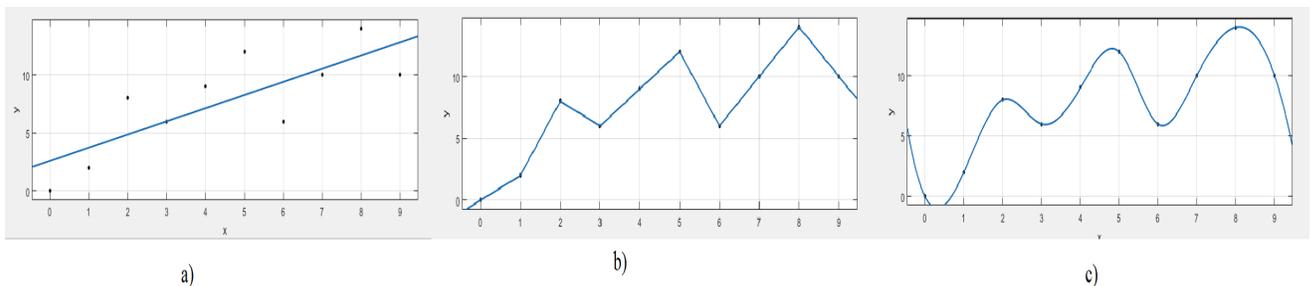


Figura 2.23: Tres intentos de ajustar la mejor curva a través de los cinco datos a) regresión con mínimos cuadrados, b) Interpolación lineal, c) interpolación curvilínea.

2.18.1. Regresión por mínimos cuadrados

En este método se pretende trazar la recta que más se ajuste a los datos, a esto se le llama “línea recta de regresión” que se expresa:

$$Y = C_1x + C_2 + Error \quad 2.12$$

El valor de C_1 , C_2 y el Error, se puede calcular:

$$C_1 = \frac{n \sum X_i Y_i - \sum X_i \sum Y_i}{n \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}, C_2 = \frac{\sum Y_i}{n} - C_1 \frac{\sum X_i}{n} \text{ y } error = \sum (Y_i - C_2 - C_1 X_i)^2$$

El error se encuentra en términos a la suma de los cuadrados de la diferencia entre el valor maestro y el valor calculado con la recta de la regresión.

2.18.2. Regresión Múltiple

Cuando se tienen muchos datos de n variables independientes y una dependiente, no es posible ajustar los datos por medio de una recta, para estos casos es necesario usar un plano n -dimensional para hacer una aproximación. Para el caso de dos variables se tendría la ecuación 2.12.

$$Y = C_0 + C_1 X_1 + C_2 X_2 + Error \quad 2.13$$

El error se calcula restando a los valores de la variable dependiente y el valor estimado usando la ecuación.

2.19. Interpolación

Calcular valor aproximado de una magnitud en un intervalo cuando se conocen algunos valores que toman uno y otro del intervalo.

Este método se usa cuando se desea conocer valores intermedios de una serie de datos.

2.19.1 Interpolación lineal

Se aproximan los datos por medio de línea recta, para el cual se necesita conocer dos puntos $(x_0, f(x_0))$ y $(x_1, f(x_1))$. La ecuación queda representada:

$$f(x) - f(x_0) = m(x - x_0) \quad 2.14$$

Siendo m la pendiente y sustituyendo en la ecuación 2.14, tenemos:

$$f_1(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}(x - x_0) \quad 2.15$$

Capítulo 3

3.1. Diseño y construcción del prototipo

En este capítulo, se explica las partes necesarias para la construcción del sistema peltier, las cuales van desde el concepto e implementación física del prototipo. Se identifica la transferencia del sistema, información acerca de la dinámica del sistema, permitirá especificar los parámetros que se diseñan y se miden.

3.1.1. Diseño conceptual del sistema

Se ha propuesto realizar una investigación sobre el comportamiento del gradiente de temperatura utilizando celdas Peltier en espacios.

Fase 1: En esta fase se realizó el estudio de los trabajos enfocados a dispositivos con efecto peltier, sus aplicaciones y modelos de referencia al comportamiento de la temperatura que sea generado por un elemento termoeléctrico.

Fase 2: En esta fase se seleccionó un material con baja conductividad térmica, resistente a la deformación, siendo de una estructura sólida donde se realizó cortes a la estructura del espacio donde se aplicará la refrigeración con celdas peltier, se acopló las partes necesarias para formar el cubo de estudio y acoplable al dispositivo peltier, se construyó 9 modelos de 3 escalas diferentes.

Fase 3: Al haber realizado los espacios se adecua para la lectura del sensor TH100PT, este debe tener el espacio para que la lectura sea correcta, el cableado queda hermético para no provocar fugas de refrigeración. La señal del sensor será transmitida por el MAX31865 al microcontrolador arduino, esta señal la recauda el equipo portátil.

Fase 4: Al tener los espacios cúbicos acoplados con el sensor para lectura, se adquirió los datos de los experimentos para cada modelo, graficando el comportamiento de cada espacio cubico.

Fase 5: Al tener la caracterización y comportamiento de cada espacio cubico, se analizó para las variables deseadas, determinando cada variable para corriente, voltaje, dimensión del espacio y número de elementos peltier.

Fase 6: Se presenta la caracterización de cada espacio cubico, y analizar el comportamiento para n espacios.

Fase 7

Con las ecuaciones obtenidas, el comportamiento para cada espacio, se analizará y expondrá las ecuaciones que mejor se comportan y determine el comportamiento del gradiente de temperatura para n espacio cubico.

3.2. Construcción del equipo

Se presenta todos los elementos necesarios para la obtención del prototipo físico, en el diseño se tomó en cuenta todas las variables a analizar.

El prototipo se formó por elementos comerciales y manufacturados en el laboratorio. Los elementos son los siguientes:

4 Ventiladores de 12 Vcd

3 Sensores de temperatura TH100PT

6 Celdas peltier TECH3s

6 Celdas peltier TECH4

6 Celdas peltier TEC1-12706

2 Disipador de calor

3 Microcontroladores arduino nano

2 Fuentes de alimentación variable

2 Modulo transmisor MAX31865

3 Láminas de PVC 1.8 m x .8 m

3 Kg de Espuma de poliuretano

En la figura 3.1 se muestra el prototipo manufacturado:

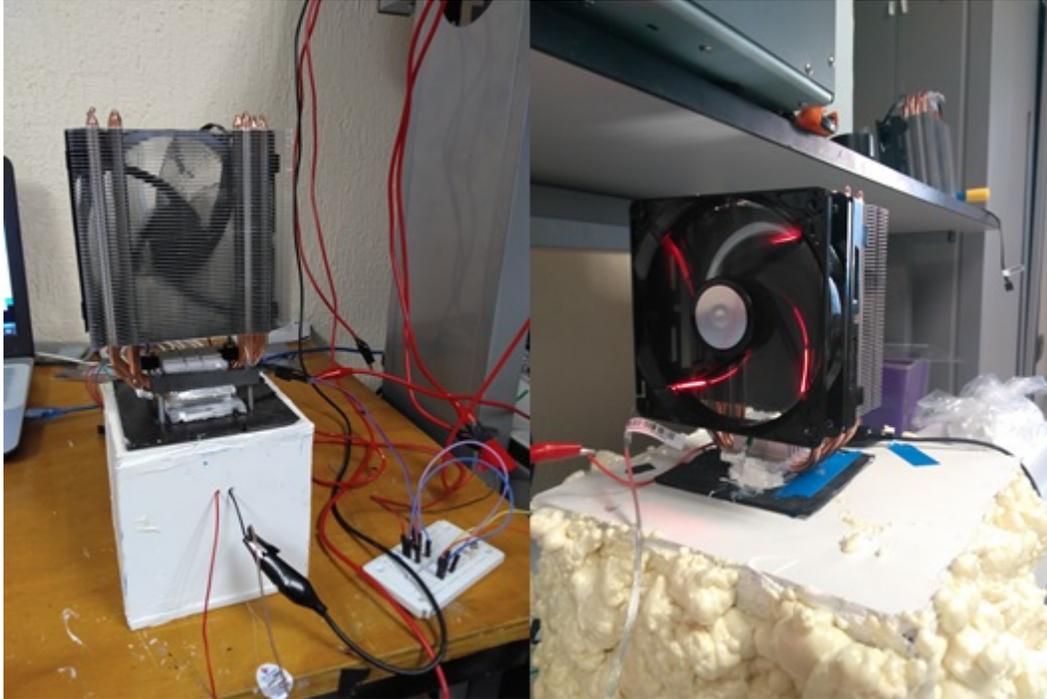


Figura 3.1: Sistema manufacturado

3.3. Arreglo experimental

El arreglo experimental consta de una fuente de C.D., un sensor de RTD (Detector de Resistencia por Temperatura) modelo TH100PT, un arduino, espacio cubico realizado con material de PVC, Espacio cubico realizado con material PVC & aislante de poliuretano, celda peltier tech3s, celda peltier tech4, celda peltier TEC1-12706, disipador de aluminio para lado frio, disipador de aluminio para lado caliente, ventilador C.D. como se observa en la figura 3.2.

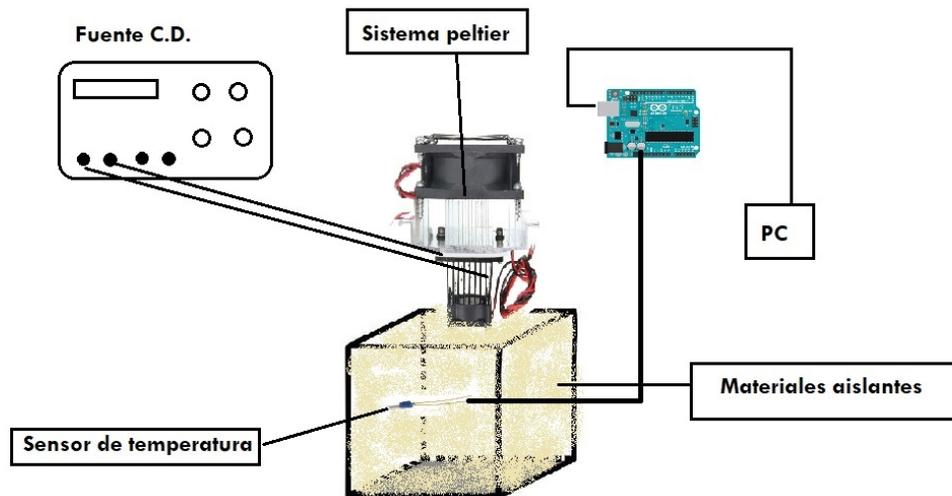
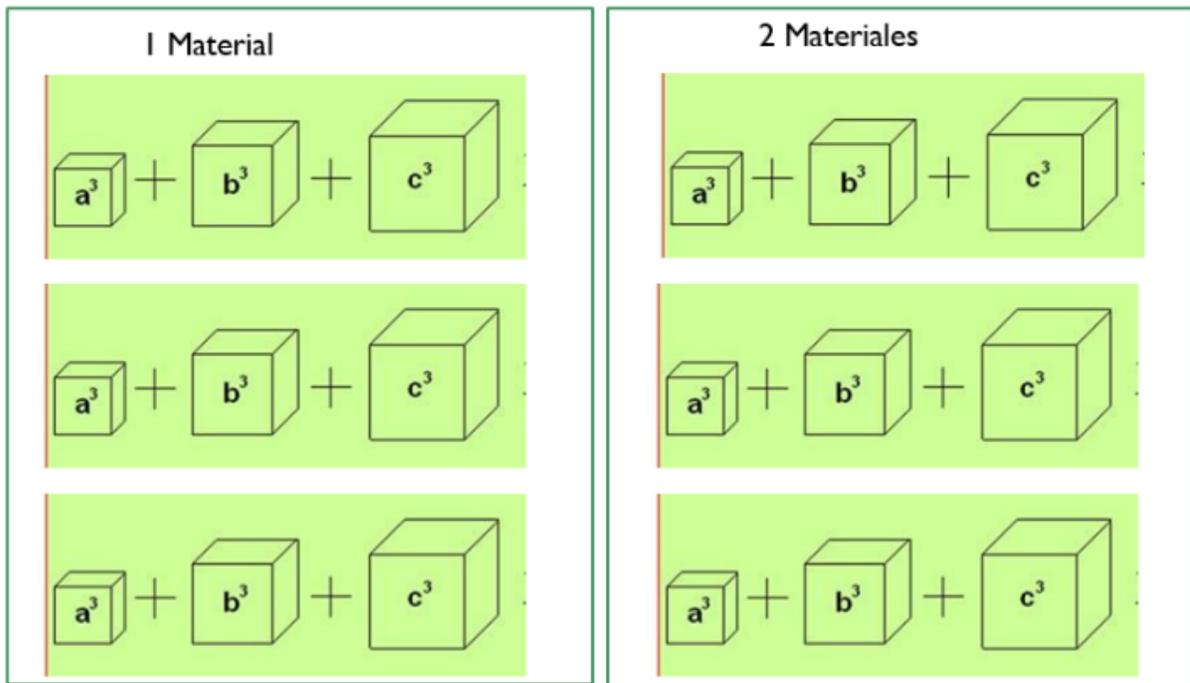


Figura 3.2: Arreglo experimental del sistema peltier.

El espacio volumétrico se construyó con materiales aislantes de PVC y poliuretano, para diferentes experimentos y de diferentes tamaños, sellado con pegamento industrial y baja conductividad térmica, en el interior de cada espacio volumétrico se ubicó un sensor de temperatura a $\frac{1}{4}$ de la parte base del espacio volumétrico, el sensor conectado a un módulo transmisor MAX31865, recolecta los datos por medio de un microcontrolador arduino y los envía a la computadora para su análisis. El enfriamiento por un sistema con celda peltier, en el lado frío a un disipador de aluminio con un ventilador de 1", en el lado caliente con un disipador de aluminio y un ventilador de 2 $\frac{1}{2}$ ", conectados a una fuente de corriente directa, donde se manipula el voltaje para modelar el comportamiento del enfriamiento dentro del espacio volumétrico con un sistema peltier.

Realizamos experimentos con cada celda peltier en tres diferentes espacios cúbicos, se realizó experimentos con dos y tres celdas peltier y en tres diferentes espacios cúbicos para cada sistema, como se aprecia en la figura 3.3: Cada espacio sirvió para experimentos en diferentes números de celdas peltier, conectadas en serie cuando se realizó experimentos de dos y tres celdas peltier.



a) PVC

b) PVC + Poliuretano

Figura 3.3: Escala de espacios cúbicos.

La obtención de los datos de cada sistema se realizó con experimentos, aplicando el voltaje al sistema que se construyó, se aplicó voltaje de 1,2,3,4,5,6,8,9,10 y 11 a cada espacio cubico, se empezó a observar que en el voltaje aplicado de 1-10 V la temperatura descendía de manera constante, siempre que la temperatura ambiente se mantuviera y no sufriera afectaciones externa o cambios bruscos de temperatura, se empezó a observa que de 10-13 V la temperatura descendía de forma inconsistente Figura 3.5.

Al obtener los datos y caracterizar cada espacio, nos dimos cuenta que en espacios cúbicos de PVC figura 3.6 la temperatura mínima alcanzada era menor, ya que con dos materiales aislante beneficiaba a la conservación de temperatura y disminuía la transferencia de calor por convección del ambiente a las paredes de los espacios cúbicos figura 3.6, la transferencia de calor por conducción de las paredes al interior de los espacios cúbicos.

3.4. Caracterización del comportamiento en espacio cúbicos

En este punto se presenta como se caracterizó los datos que se vienen tomando para cada espacio.

Se muestra cómo se comporta una celda peltier, a detalle para dos modelos diferentes en el sistema (TECH3s y TECH4) y con tres espacios cúbicos diferentes figuras 3.4, explicamos cómo se comporta los datos y la decisión de tomar los parámetros para modelar con ajuste de curvas las ecuaciones que nos serán de utilidad.

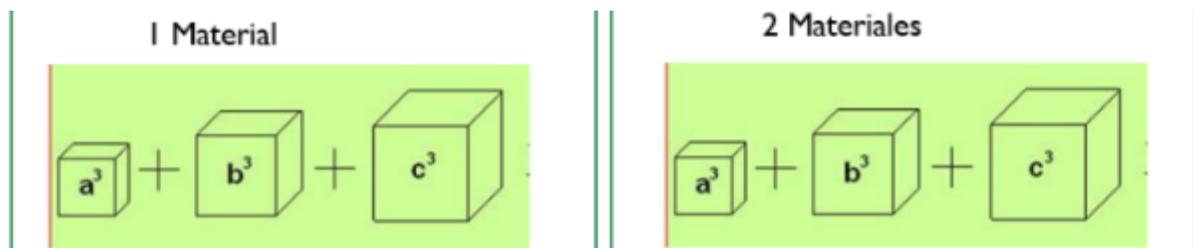


Figura 3.4: Caracterización del sistema con una celda peltier.

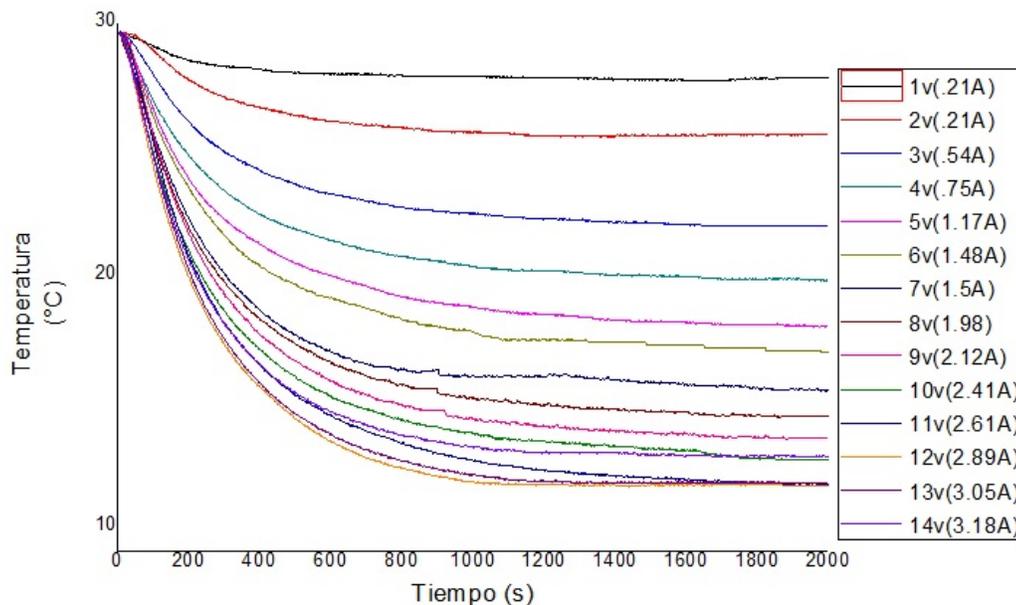


Figura 3.5: Sistema con una celda TECH3s, espacio de 1000cm^3 y material de PVC.

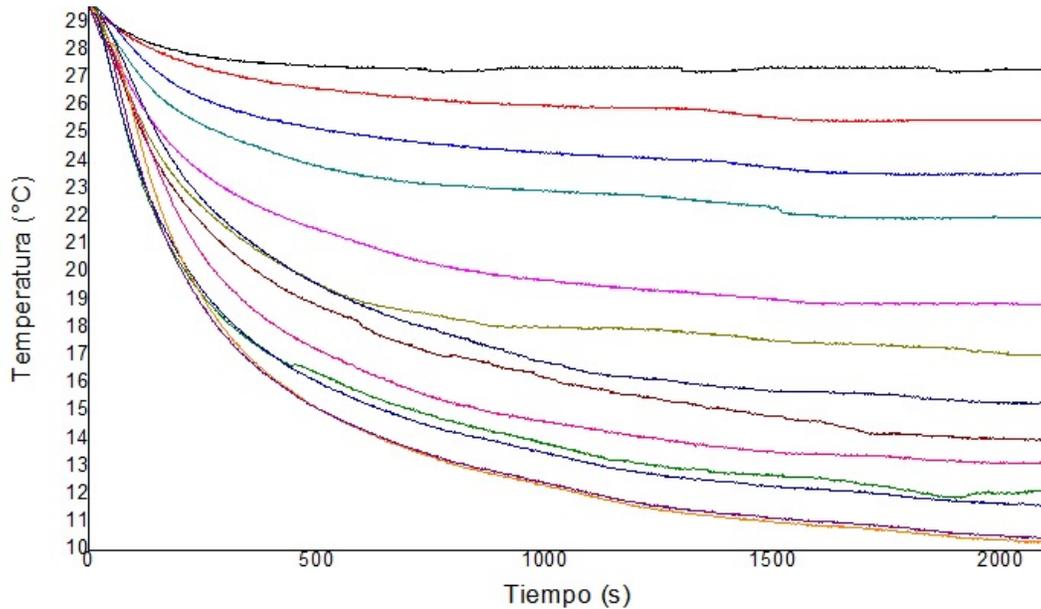


Figura 3.6: Sistema con una celda TECH3s, espacio de 1000cm^3 material de PVC y aislante de poliuretano

Durante la primera parte de los experimentos con un diseño de cada lado del volumen (15cm) figura 3.7, el material con baja conductividad térmica.

En el experimento se aprecia que, durante la primera parte del experimento, aplicando 1 volt a la celda peltier desciende a $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, como consecuencia al aplicar 2 volts desciende cerca de los $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, al seguir aplicando el experimento y 3 volts, el comportamiento que decrece en este punto es mayor comparado con los anteriores, puede deberse a una alteración de la temperatura ambiente, quien haya provocado que el decrecimiento sea mayor. Al aplicar 4 volts el decrecimiento vuelve a comportarse de manera normal, comparado con las primas aplicaciones de voltaje. Seguido el experimento a 5 volts el comportamiento vuelve a ser incrementado de manera significativa compara con el inicio de los experimentos.

A partir de 6 volts podemos ver que la temperatura empieza a comportarse de manera formal al incrementar su gradiente de temperatura, seguimos observando cómo le afecta la temperatura ambiente, aunque en el tiempo se aprecia que el comportamiento es constante para alcanzar la temperatura mínima de cada voltaje que se le aplica a la celda peltier, podemos apreciar que

tiene el mismo comportamiento a los experimentos anteriores, el gradiente de temperatura que tiene en estas aplicaciones de voltaje se vuelve mínimo comparado con otros sucesivos a este punto y se puede despreciar para nuestro objetivo.

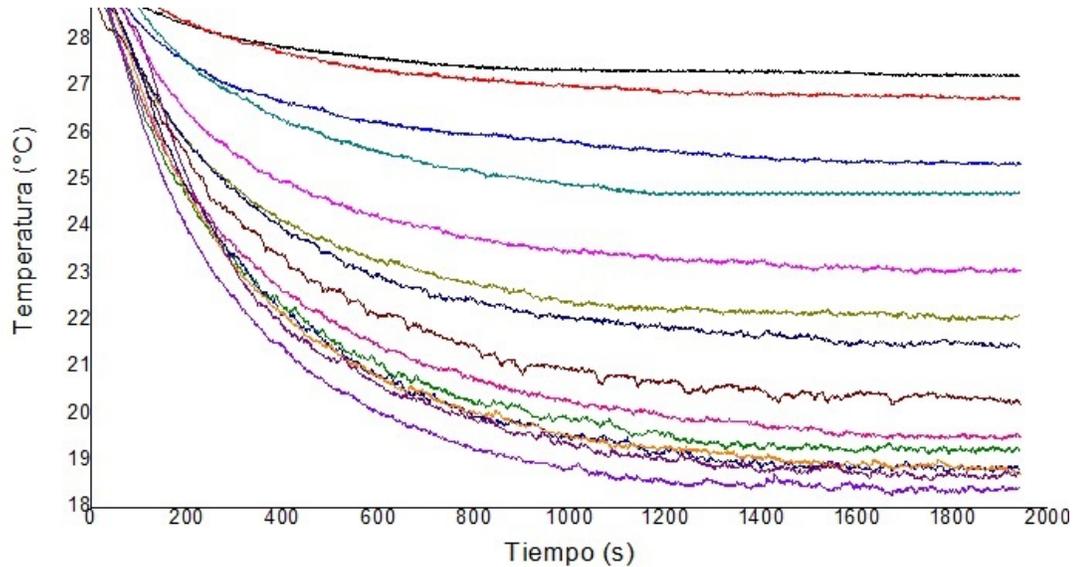


Figura 3.7: Sistema con una celda TECH3s, espacio de 3375cm^3 material de PVC

Durante el experimento se realiza con un volumen que tiene lados de (15 cm) y con dos materiales aislantes como PVC y espuma de poliuretano, ambos de baja conductividad térmica para beneficio de la temperatura. Se observa que cuando se aplica 1,2,3,4,5 volts el aumento del gradiente de temperatura se comporta de manera constante y uniforme, a partir de esta parte del experimento, al aplicar 6 volts el gradiente de temperatura aumenta de manera significativa, esto se debe a una alteración durante el experimento del gradiente de temperatura. Aplicando 7, 8 y 9 volts la temperatura del gradiente de temperatura se mantiene y aun se puede considerar factible para nuestros objetivos. En los siguientes experimentos nos volvemos a percatar que el gradiente de temperatura se vuelve inestable y se convierte en poco significativo para nuestros objetivos.

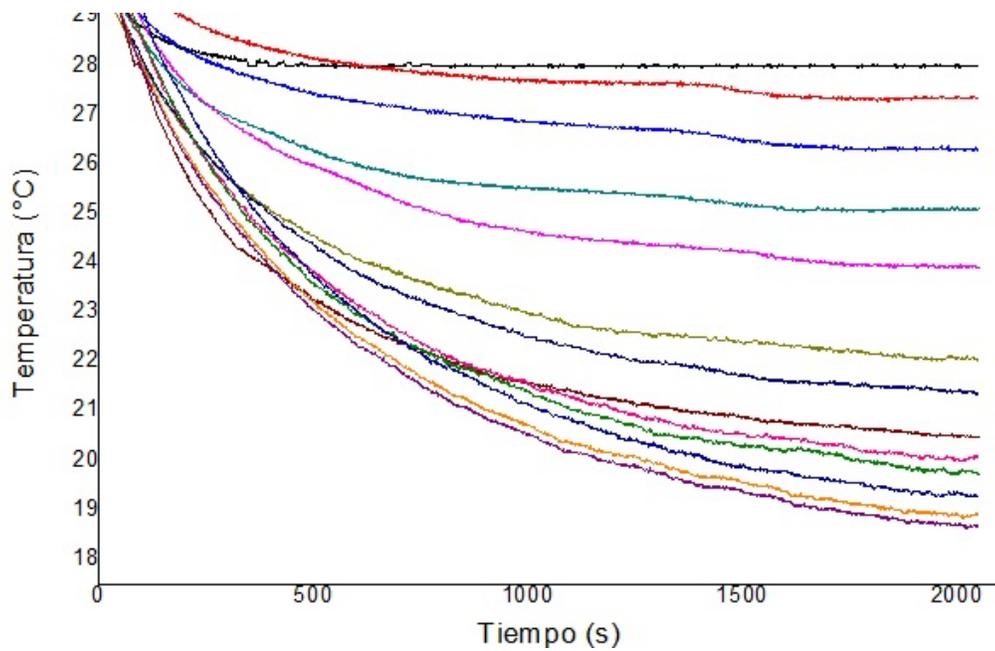


Figura 3.8: Sistema con una celda TECH3s, espacio de 3375cm³ material de PVC y aislante de poliuretano

Con los experimentos que se hacen con un volumen de (20 cm de lado) aplicando a una celda peltier TECH3s y con un aislante PVC figura 3.9 y con dos aislantes; PVC y espuma de poliuretano figura 3.10, Ambos tienen un comportamiento uniforme en el gradiente de temperatura cuando se aplica 1,2,3,4,5,6, volts, comparado uno con otro se aprecia como la aplicación de uno a dos aislantes es significativo en el comportamiento del gradiente y del tiempo en el que se alcanza.

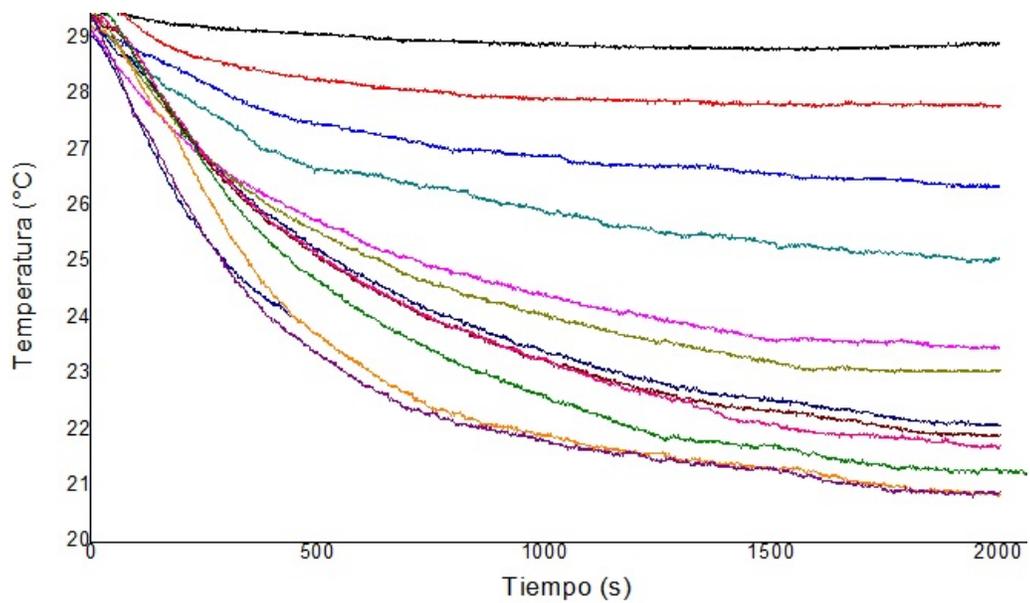


Figura 3.9: Sistema con una celda TECH3s, espacio de 8000cm^3 material de PVC

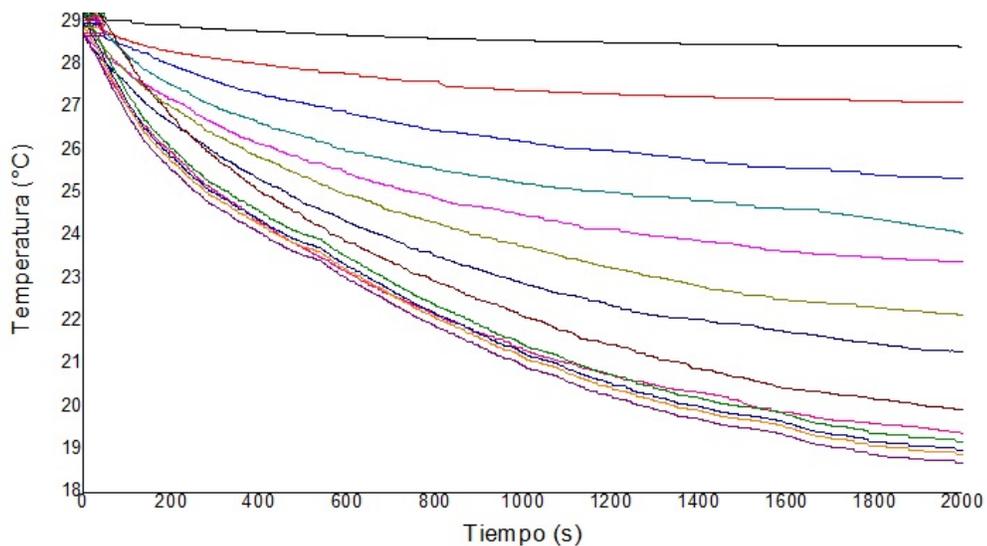


Figura 3.10: Sistema con una celda TECH3s, espacio de 8000 cm^3 material de PVC y aislante de poliuretano

Al seguir con los experimentos con espacios que tiene de lado (10cm) al mismo sistema solo se cambia el modelo de celda peltier de una TECH3s a una celda TECH4, ambas celdas peltier del proveedor Thorlab, tiene un comportamiento lógico del gradiente de temperatura cuando se aplica 1,2,3,4 volts, el gradiente de temperatura alcanza su gradiente máximo en un tiempo aproximado de 1500 s, cuando se hacen experimentos con 5 y 6 volts se aprecia que el gradiente

de temperatura que alcanza en ese punto no es uniforme uno con otro, mientras en uno el gradiente alcanzado es afectado por la temperatura ambiente y uno tiene una temperatura mínima mayor que la otra $6 > 5$.

Se aprecia figura 3.11 que, a partir de 8,9,10,11,12 y 13 el gradiente de temperatura que alcanza se vuelve inestable, esto debido al punto de transferencia de calor que ocurre con la temperatura ambiente y el sistema, al ser mayor potencia, siempre busca compensar la transferencia de calor hacia el punto de menor temperatura.

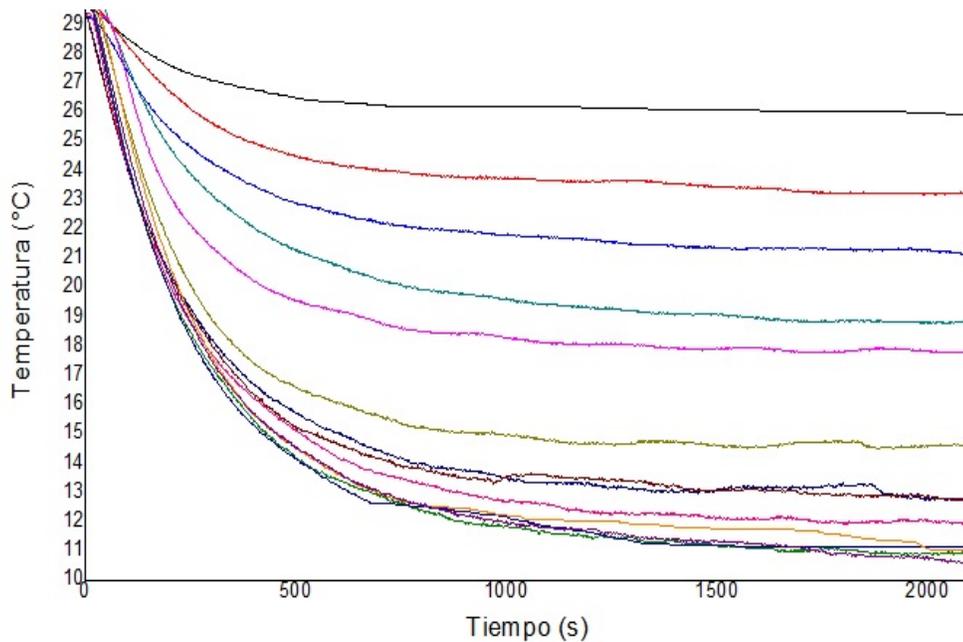


Figura 3.11: Sistema con una celda TECH4, espacio de 1000 cm^3 material de PVC

Los experimentos en espacios que tiene de lado (10cm) con una celda TECH4, aplicando al volumen construido con PVC y espuma de poliuretano, tiene un comportamiento lógico del gradiente de temperatura se aprecia que la temperatura ambiente no tiene cambios bruscos que afecten las lecturas cuando se aplica 1,2,3,4,5 y 6 volts. El gradiente de temperatura alcanza su gradiente máximo en un tiempo aproximado de 1600 s, el tiempo es mayor comparado con el

sistema anterior de la figura 3.12, esto se debe a que el gradiente de temperatura es mayor. Cuando se hacen experimentos con 7 y 8 volts se aprecia que el gradiente de temperatura que alcanza en ese punto no es uniforme uno con otro, mientras en uno el gradiente alcanzado es afectado por la temperatura ambiente y uno tiene una temperatura mínima mayor.

Se aprecia que, a partir de 9,10,11,12 y 13 el gradiente de temperatura, aunque se sigue comportando de manera estable conforme al tiempo que alcanza el gradiente máximo para ese voltaje, vuelve inestable conforme llega a ese punto, esto debido al punto de transferencia de calor que ocurre con la temperatura ambiente y el sistema, al ser mayor potencia, siempre busca compensar la transferencia de calor hacia el punto de menor temperatura.

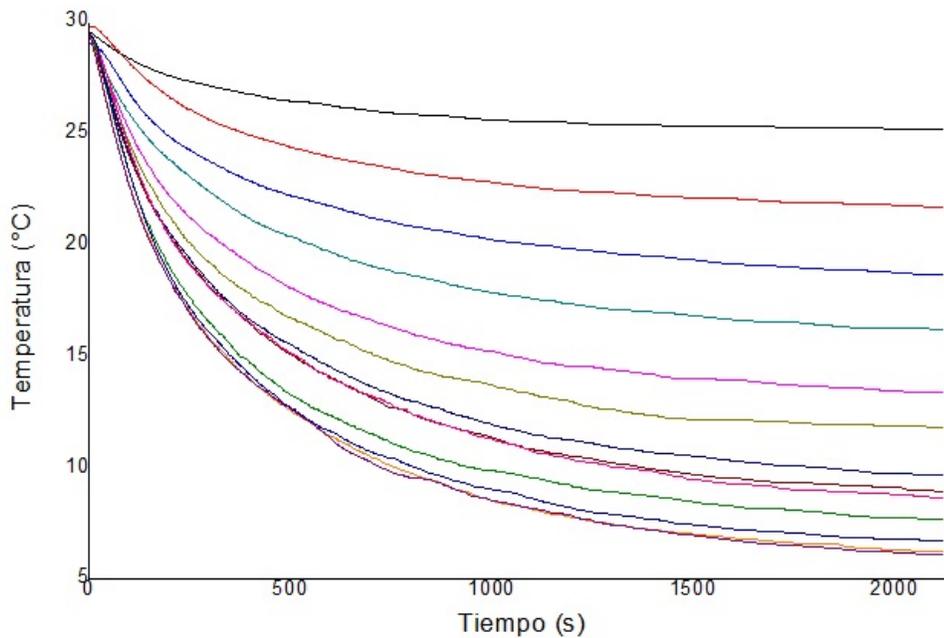


Figura 3.12: Sistema con una celda TECH4, espacio de 1000 cm³ material de PVC y aislante de poliuretano

Los experimentos consiguientes con espacios que tiene de lado (15cm) tiene un comportamiento lógico del gradiente de temperatura cuando se aplica 1,2,3,4,5,6 y 7 volts, el gradiente de temperatura alcanza su gradiente máximo en un tiempo aproximado de 1600 s, podemos apreciar que, aunque al gradiente de temperatura le afecta la temperatura ambiente, llega al punto de estabilizarse con respecto a su temperatura mínima figura 3.13.

Se aprecia que, a partir de 8,9,10,11,12 y 13 el gradiente de temperatura que alcanza se vuelve inestable, esto debido al punto de transferencia de calor que ocurre con la temperatura ambiente

y el sistema, al ser mayor potencia, siempre busca compensar la transferencia de calor hacia el punto de menor temperatura.

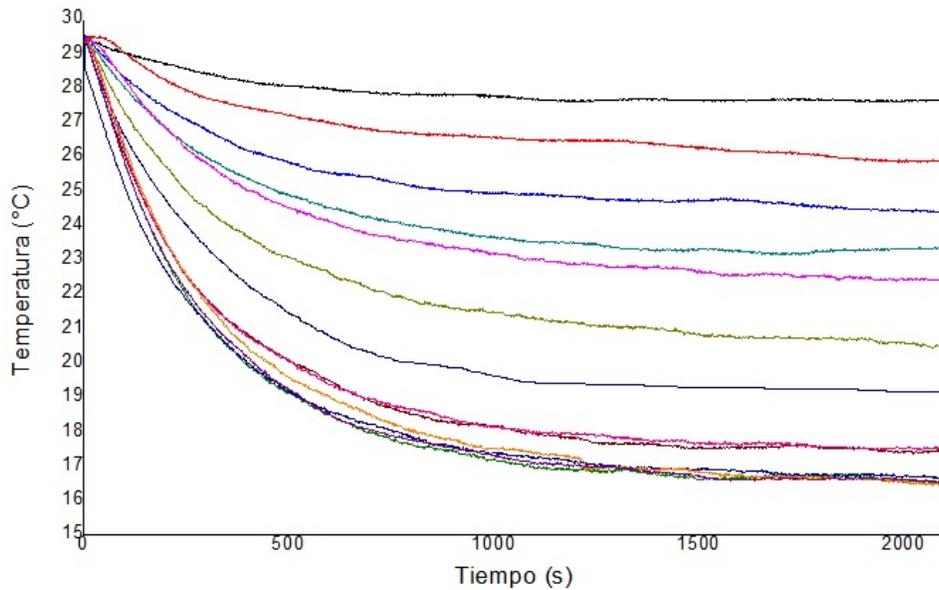


Figura 3.13: Sistema con una celda TECH4, espacio de 3375cm^3 material de PVC

Los experimentos en espacios que tiene de lado (10cm) con una celda TECH4, aplicando al volumen construido con PVC y espuma de poliuretano, tiene un comportamiento lógico del gradiente de temperatura se aprecia que la temperatura ambiente no tiene cambios bruscos que afecten las lecturas cuando se aplica 1,2,3,4,5 y 6 volts. El gradiente de temperatura alcanza su gradiente máximo en un tiempo aproximado de 1700 s, el tiempo es mayor comparado con el sistema anterior de la figura 3.14, esto se debe a que el gradiente de temperatura es mayor.

Cuando se hacen experimentos con 7 y 8 volts se aprecia que el gradiente de temperatura que alcanza en ese punto no es uniforme uno con otro, mientras en uno el gradiente alcanzado es afectado por la temperatura ambiente y uno tiene una temperatura mínima mayor.

Se aprecia que, a partir de 9,10,11,12 y 13 el gradiente de temperatura, se alcanza a ver muchas variaciones que son provocadas por alteraciones en la temperatura ambiente, aunque se alcanza la estabilidad, podemos apreciar como se ve afectado la temperatura en ese punto, e intervienen otras variables para controlar a este punto.

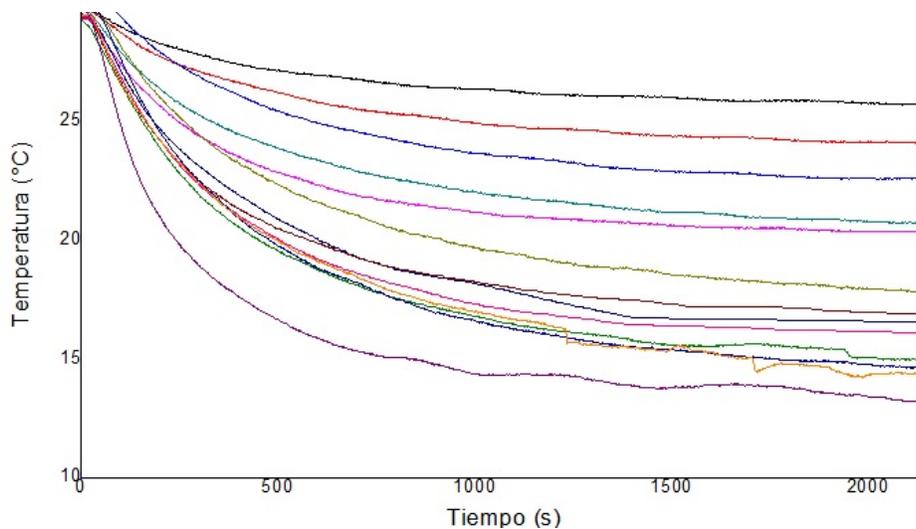


Figura 3.14: Sistema con una celda TECH4, espacio de 3375 cm³ material de PVC y aislante de poliuretano

Con los experimentos que se hacen con un volumen de (20 cm de lado) aplicando a una celda peltier TECH4s y con un aislante PVC figura 3.15 y con dos aislantes; PVC y espuma de poliuretano figura 3.16. Ambos tienen un comportamiento uniforme en el gradiente de temperatura cuando se aplica 1,2,3,4,5,6, volts, comparado uno con otro se aprecia como la aplicación de uno a dos aislantes es significativo en el comportamiento del gradiente y del tiempo en el que se alcanza.

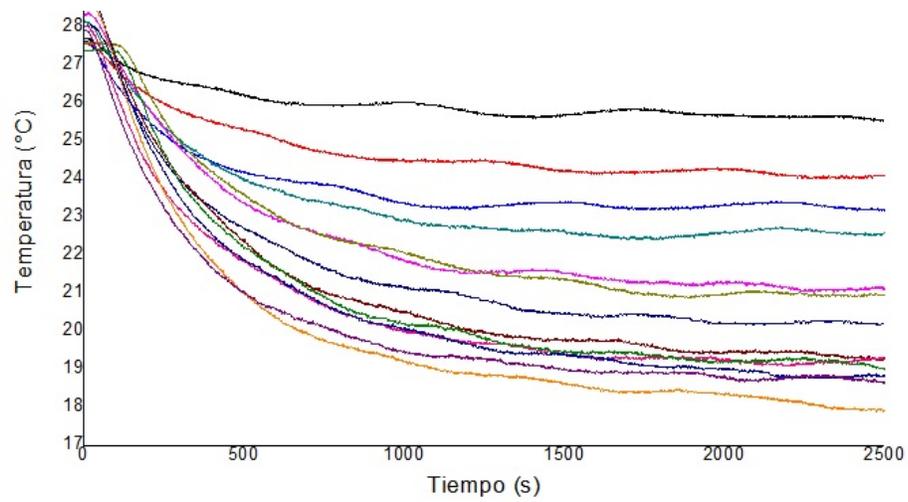


Figura 3.15: Sistema con una celda TECH4, espacio de 8000 cm³ material de PVC

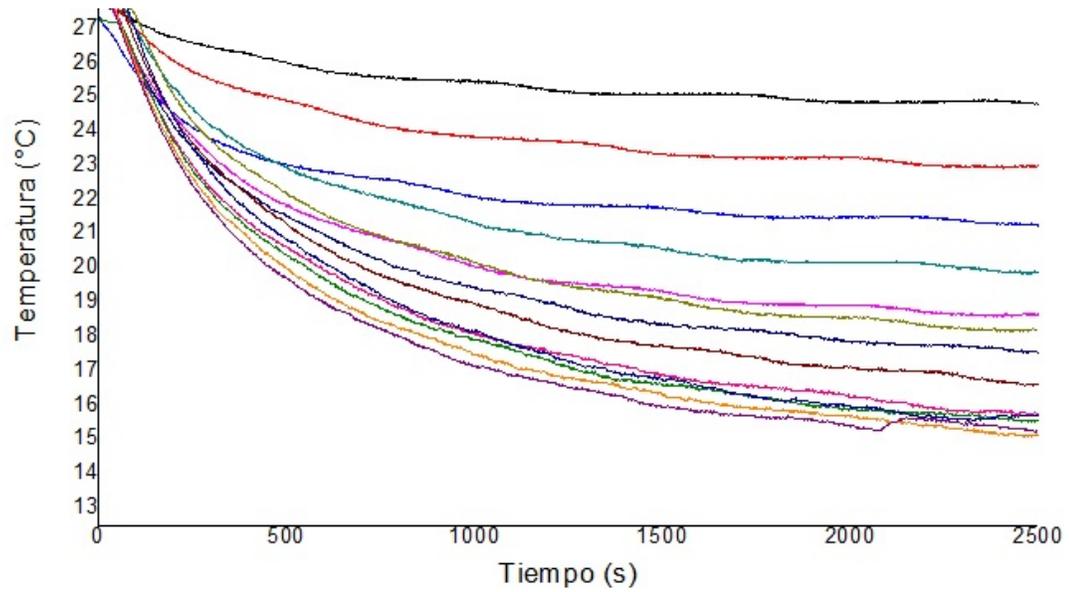


Figura 3.16: Sistema con una celda TECH4, espacio de 8000 cm³ material de PVC y aislante de poliuretano

Capítulo 4

4. Análisis de resultados

La investigación tiene el objetivo de caracterización del sistema de refrigeración en un espacio volumétrico con dos materiales en la construcción del volumen, siendo útil para diseños futuros de espacios controlados donde se requiera conocimientos para mayor aprovechamiento del sistema, generando eficiencia en un sistema donde es su mayor área de oportunidad creando sea estable para dispositivos opto electrónicos y experimentos físicos.

La primera parte del estudio de los sistemas con celdas peltier se hizo con modelos TECH3s de la marca Thorlab. En la figura 4.2, figura 4.3 y figura 4.5 se muestra los resultados del comportamiento con experimentos realizados con unos espacios cúbicos que se construyeron con material de PVC, según los resultados que se obtienen, nos muestra como el comportamiento. En la figura 4.1 los experimentos se realizan con una celda peltier, figura 4.3 con dos celdas peltier, figura 4.5 con tres celdas peltier. Conforme se aumentan el número de celdas peltier, la temperatura con el gradiente a disminuir se ve que es poco lo que aumenta para espacios más pequeños, a espacios mayores como 8000 cm^3 podemos apreciar que el mayor número de celdas peltier, beneficia al comportamiento del sistema y al gradiente de temperatura, es el que se desea obtener y tener mejores resultados.

Al hacer el análisis de curvas para los espacios en tres ejes, en la figura 4.2, figura 4.4 y figura 4.6 se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$T= 25.01956 - 1.18752(V) + 8.07541 * 10^{-4}(v) \quad 4.1$$

$$T= 25.38843 - 1.09008(V) + 4.13741 * 10^{-4}(v) \quad 4.2$$

$$T = 23.36543 - 0.95947(V) + 4.14629 * 10^{-4}(v) \quad 4.3$$

Donde la ecuación 4.1 representa el comportamiento del sistema con una celda peltier, la ecuación 4.2 representa a dos celdas peltier, la ecuación 4.3 a tres celdas peltier. Las tres ecuaciones están representadas para espacios cúbicos realizados con material de PVC, una sola conductividad térmica en el espacio cubico, una variable al sistema.

En la figura 4.1 se aprecia el comportamiento en un espacio 1000 cm^3 los datos tienen un comportamiento predecible con una temperatura mínima de hasta 15°C , en un espacio de 3375 cm^3 y 8000 cm^3 los datos de 1-6 Volts tiene un comportamiento similar con respecto a la temperatura mínima que llegan, a partir de este punto, se aprecia que el espacio es relevante con respecto al comportamiento, existe un gradiente de temperatura al final de las lecturas de 3°C , donde la temperatura mínima es de 20°C , podemos apreciar que para espacios mayores, el gradiente de temperatura se ve afectado en puntos intermedios, a partir de ahí el gradiente en cada espacio, se representa su gradiente de temperatura máximo. El comportamiento se aprecia en 3 dimensiones en la figura 4.2.

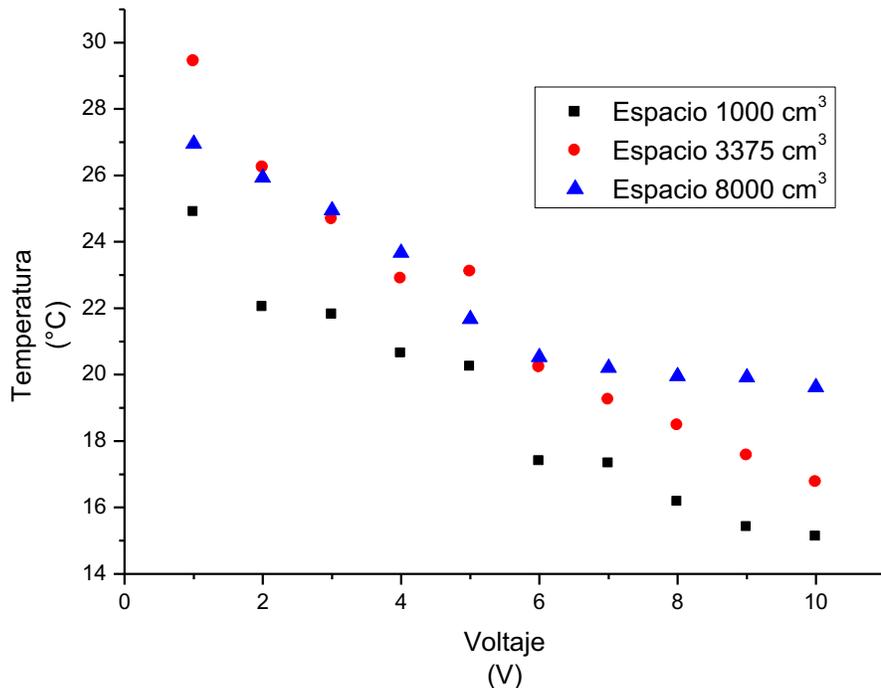


Figura 4.1. Análisis de sistemas con una celda modelo TECH3s, espacios con material PVC

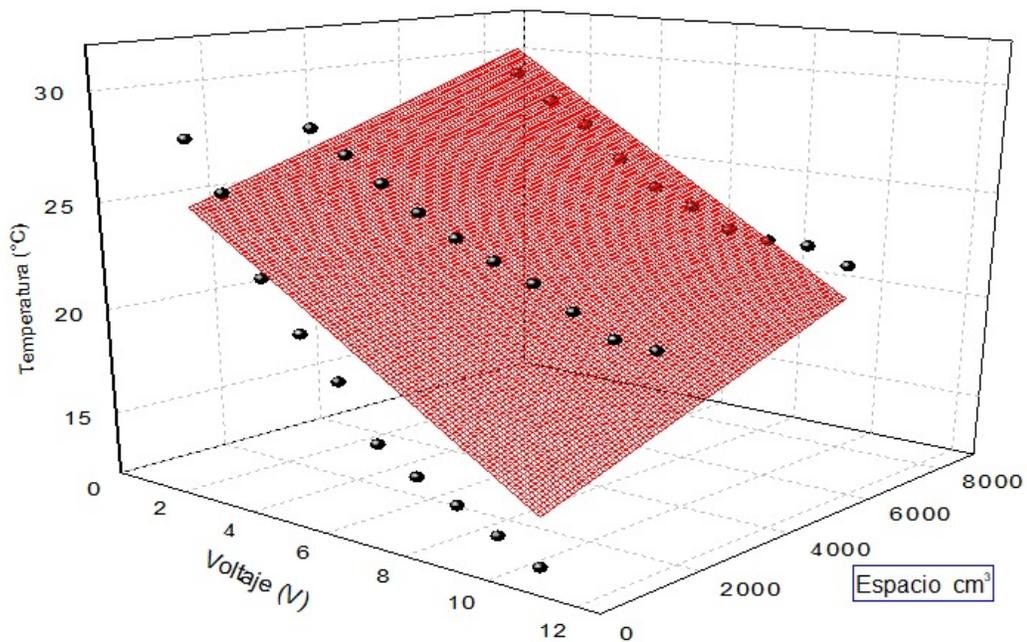


Figura 4.2. Análisis por ajuste de curvas del sistema de una celda peltier modelo Tech3s con material de PVC

En la figura 4.3 se aprecia el comportamiento en un espacio 1000 cm^3 los datos tienen un comportamiento predecible con una temperatura mínima de hasta 10°C , en un espacio de 3375 cm^3 y 8000 cm^3 los datos de 1-10 Volts tiene un comportamiento similar con respecto a la temperatura mínima que llegan, se aprecia que el espacio es relevante con respecto al comportamiento, existe un gradiente de temperatura al final de las lectura de 1°C , donde la temperatura mínima es de 22°C , podemos apreciar que para espacios mayores, el gradiente de temperatura se ve afectado en puntos intermedios, a partir de ahí el gradiente en cada espacio, se representa su gradiente de temperatura máximo. El comportamiento se aprecia en 3 dimensiones en la figura 4.4.

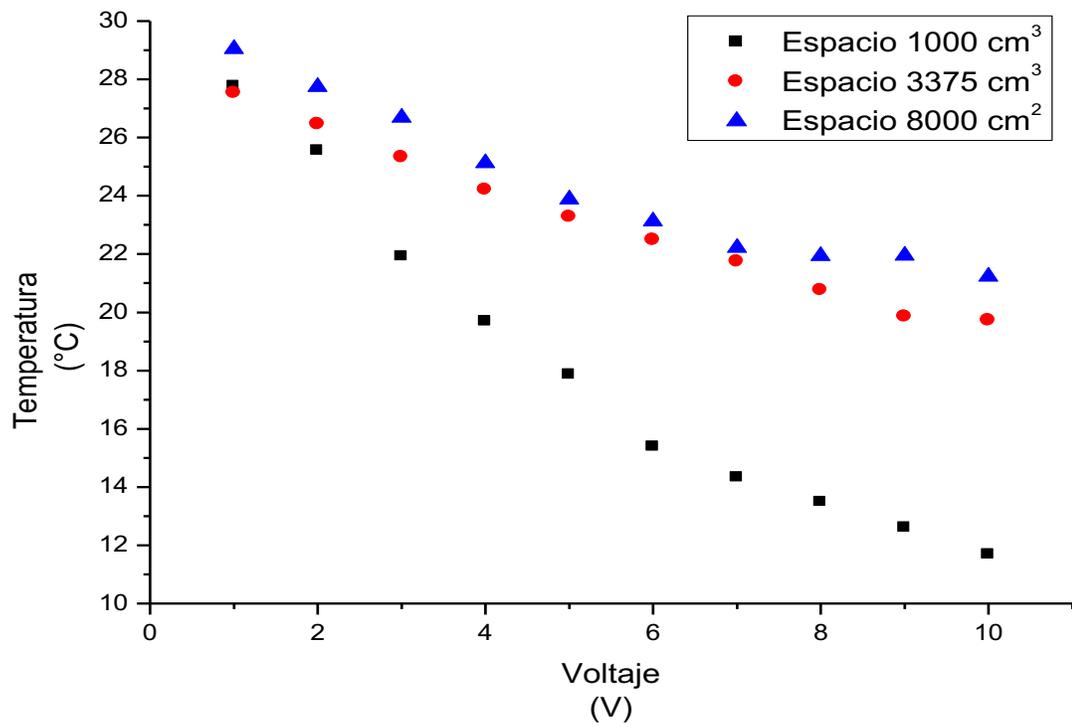


Figura 4.3. Análisis de sistema de dos celdas peltier modelo TECH3s, espacios cúbicos con material PVC.

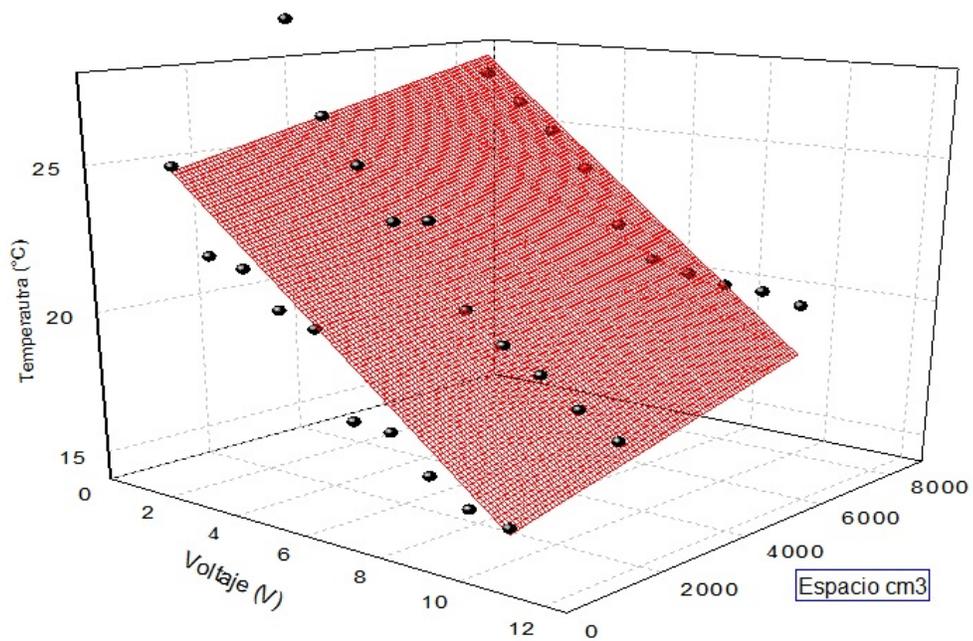


Figura 4.4. Análisis por ajuste de curvas del sistema de dos celdas peltier modelo Tech3s con material de PVC

En la figura 4.5 se aprecia el comportamiento en un espacio 1000 cm^3 los datos tienen un comportamiento predecible con una temperatura mínima de hasta 10°C , en un espacio de 3375 cm^3 y 8000 cm^3 los datos de 1-4 Volts tiene un comportamiento similar con respecto a la temperatura mínima que llegan, se aprecia en 5 volts, la temperatura mínima son similares, el espacio es relevante con respecto al comportamiento, existe un gradiente de temperatura al final de las lectura de 1°C , donde la temperatura mínima es de 20°C , la eficiencia en espacios mayores a 1000 cm^3 se encuentra en datos centrales al experimento, entre los 5-7 volts.

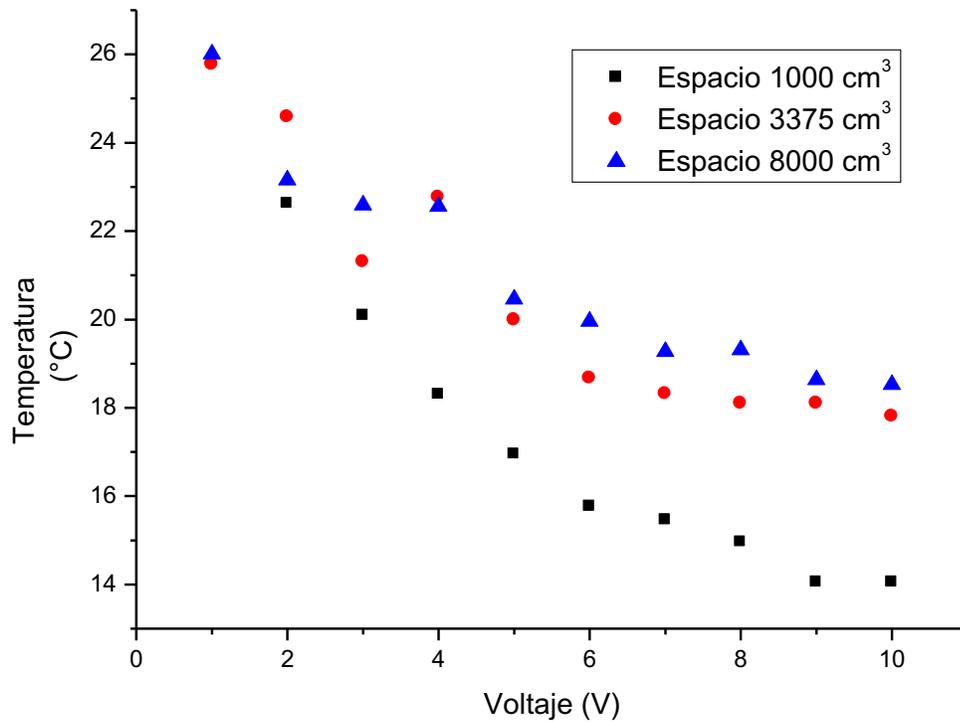


Figura 4.5. Análisis de sistema de tres celdas peltier modelo TECH3s, espacios cúbicos con material PVC

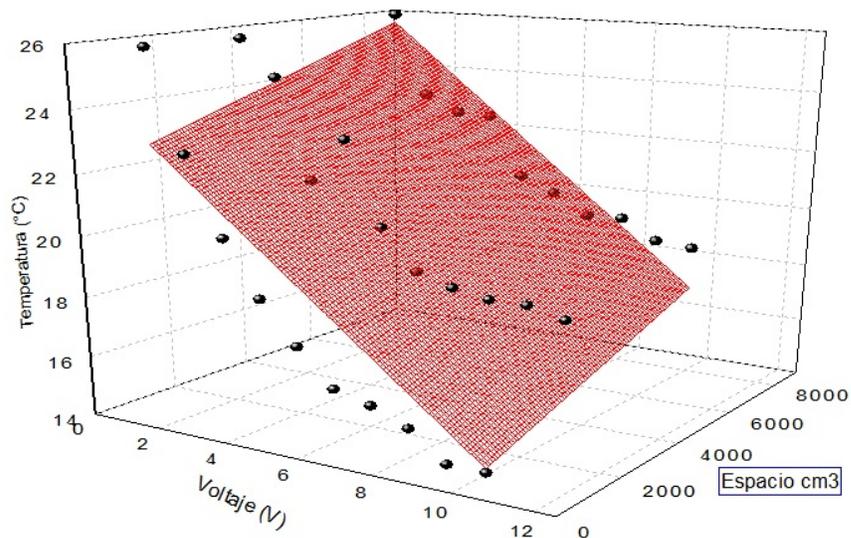


Figura 4.6. Análisis por ajuste de curvas del sistema de tres celdas peltier modelo Tech3s con material de PVC

Siguiendo con el estudio de los sistemas con celdas peltier se hizo con modelos TECH3s de la marca Thorlab. En la figura 4.7, figura 4.9 y figura 4.11 se muestra los resultados del comportamiento con experimentos realizados con unos espacios cúbicos que se construyeron con material de PVC y aislante de poliuretano, según los resultados que se obtienen, nos muestra como el comportamiento. En la figura 4.7 los experimentos se realizan con una celda peltier, figura 4.9 con dos celdas peltier, figura 4.11 con tres celdas peltier. Conforme se aumentan el número de celdas peltier, la temperatura que disminuye aumenta y con ello el gradiente en espacios pequeños y s espacios mayores como 8000 cm^3 podemos apreciar que el mayor número de celdas peltier, beneficia al comportamiento del sistema y al gradiente de temperatura, es el que se desea obtener y tener mejores resultados.

Al hacer el análisis de curvas para los espacios en tres ejes, en la figura 4.8, figura 4.10 y figura 4.12 se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$T = 26.66695 - 1.28426(V) + 4.99596 * 10^{-4}(v) \quad 4.4$$

$$T = 23.00834 - 1.31194(V) + 5.9418 * 10^{-4}(v) \quad 4.5$$

$$T = 25.31812 - 1.21699(V) + 8.34723 * 10^{-5}(v) \quad 4.6$$

Donde la ecuación 4.4 representa el comportamiento del sistema con una celda peltier, la ecuación 4.5 representa a dos celdas peltier, la ecuación 4.6 a tres celdas peltier. Las tres ecuaciones están representadas para espacios cúbicos realizados con material de PVC y aislante de poliuretano, dos materiales de conductividad térmica en el espacio cubico, dos variables al sistema.

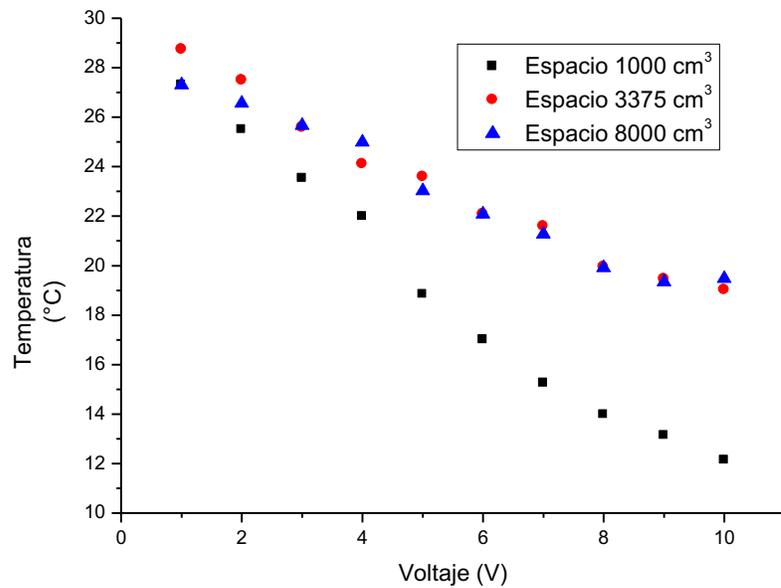


Figura 4.7. Análisis de sistema de una celda peltier modelo TECH3s, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano

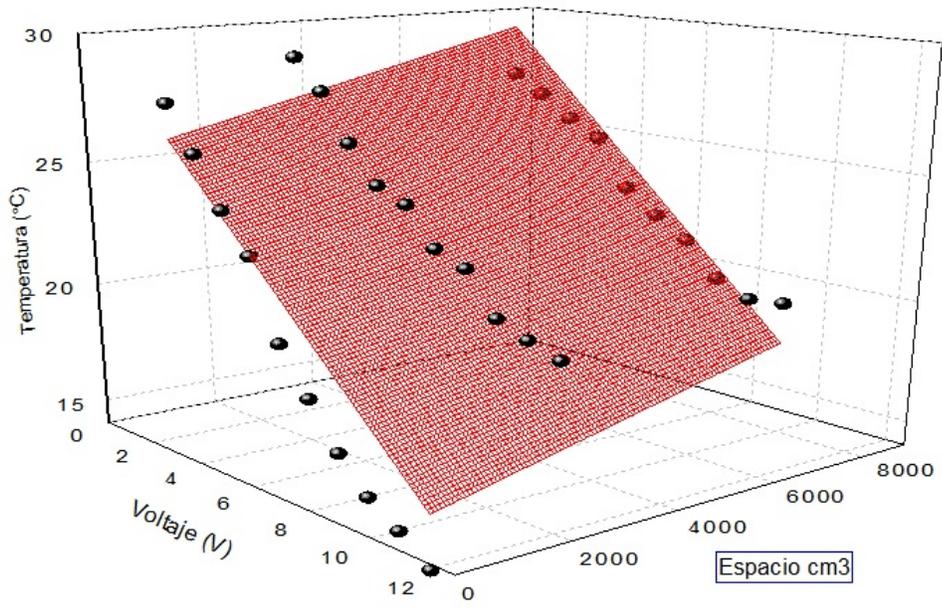


Figura 4.8. Análisis por ajuste de curvas del sistema de una celda peltier modelo Tech3s con material de PVC y aislante de poliuretano

En la figura 4.9 se aprecia el comportamiento en un espacio 1000 cm^3 los datos tienen un comportamiento inestable al inicio de los experimentos, con una temperatura mínima de hasta 7°C , en un espacio de 3375 cm^3 y 8000 cm^3 los datos de 1-10 Volts tiene un comportamiento similar con respecto a la temperatura mínima, la temperatura mínima son similares con un gradiente de temperatura, existe un gradiente de temperatura al final de las lecturas de 1°C , donde la temperatura mínima es de 17°C , la eficiencia en espacios mayores a 1000 cm^3 se encuentra durante el final de los experimentos, 8-10 volts para espacios mayores.

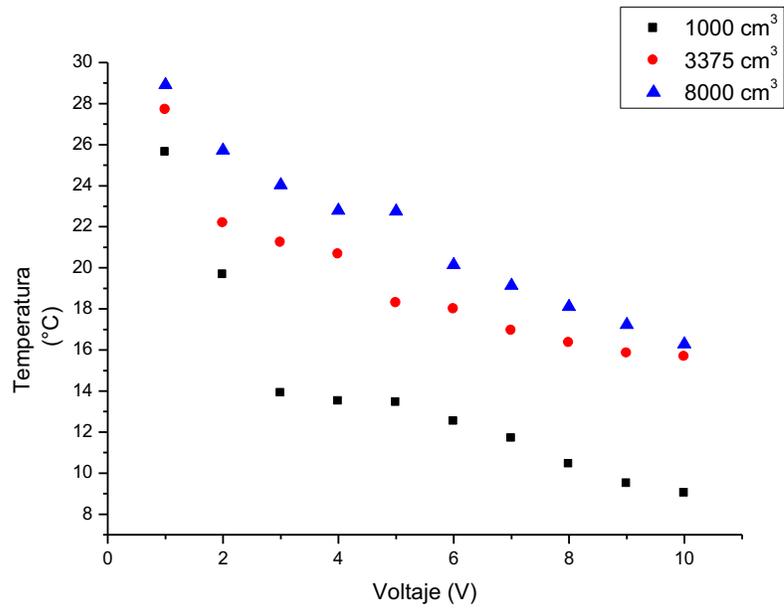


Figura 4.9. Análisis de sistema de dos celdas peltier modelo TECH3s, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano

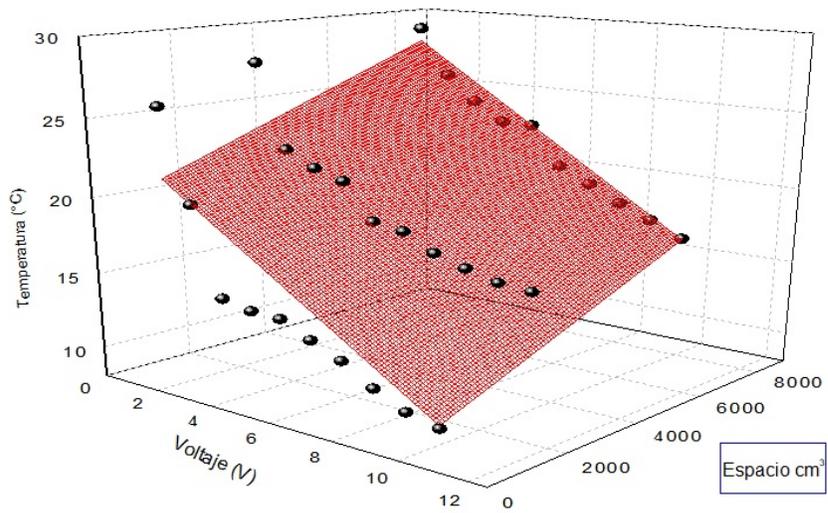


Figura 4.10. Análisis por ajuste de curvas del sistema de dos celdas peltier modelo Tech3s con material de PVC y aislante de poliuretano

En la figura 4.11, comparado con los experimentos anteriores, se aprecia el comportamiento de todos los espacios cúbicos, tienen una tendencia a una temperatura, y predecibles de manera lineal, a una tendencia de un gradiente de temperatura de 3 °C, y a una temperatura mínima a 11 °C. Los datos que se leen, nos demuestra que con mayor sea la conductividad térmica en el espacio, tiene mayor estabilidad la lectura de temperatura.

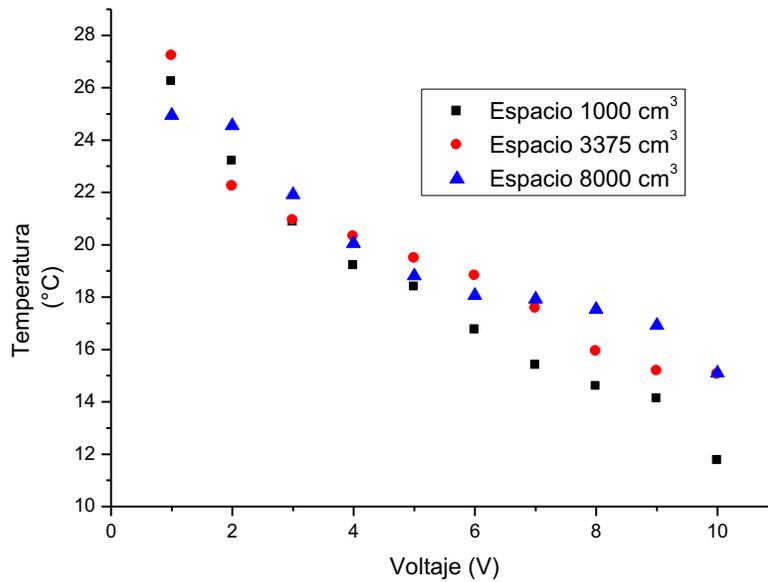


Figura 4.11. Análisis de sistema de tres celdas peltier modelo TECH3s, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano

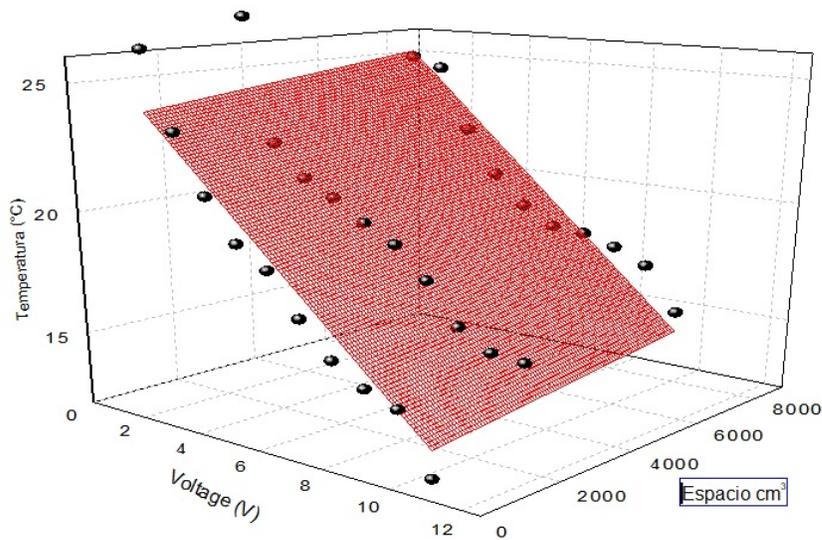


Figura 4.12. Análisis por ajuste de curvas del sistema de tres celdas peltier modelo Tech3s con material de PVC y aislante de poliuretano

Siguiendo con el estudio de los sistemas con celdas peltier se realizó con modelos TECH4 de la marca Thorlab. En la figura 4.13, figura 4.15 y figura 4.17 se muestra los resultados del comportamiento con experimentos realizados con unos espacios cúbicos que se construyeron con material de PVC, según los resultados que se obtienen, nos muestra como el comportamiento. En la figura 4.13 los experimentos se realizan con una celda peltier, figura 4.15 con dos celdas peltier, figura 4.17 con tres celdas peltier. Conforme se aumentan el número de celdas peltier, la temperatura con el gradiente a disminuir se ve que el resultado es considerable, aumenta para espacios más pequeños, a espacios mayores como 8000 cm^3 podemos apreciar que el mayor número de celdas peltier, beneficia al comportamiento del sistema y al gradiente de temperatura, es el que se desea obtener y tener mejores resultados. El modelo beneficia a diferencia del modelo TECH3s que se estudió anteriormente, el TECH4 con el mismo sistema en espacio y cantidad de celdas peltier, tiene mejor resultado, se aumenta 10 watts en el modelo y en el sistema, teniendo un beneficio de 3 grados de ganancia.

Al hacer el análisis de curvas para los espacios en tres ejes, en la figura 4.14, figura 4.16 y figura 4.18 se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$T = 23.84379 - 1.22511(V) + 8.43309 * 10^{-4}(v) \quad 4.7$$

$$T = 22.72671 - 1.44735(V) + 10.5 * 10^{-4}(v) \quad 4.8$$

$$T = 23.82699 - 1.71527(V) + 5.96123 * 10^{-4}(v) \quad 4.9$$

Donde la ecuación 4.7 representa el comportamiento del sistema con una celda peltier, la ecuación 4.8 representa a dos celdas peltier, la ecuación 4.9 a tres celdas peltier. Las tres ecuaciones están representadas para espacios cúbicos realizados con material de PVC, una sola conductividad térmica en el espacio cubico, una variable al sistema.

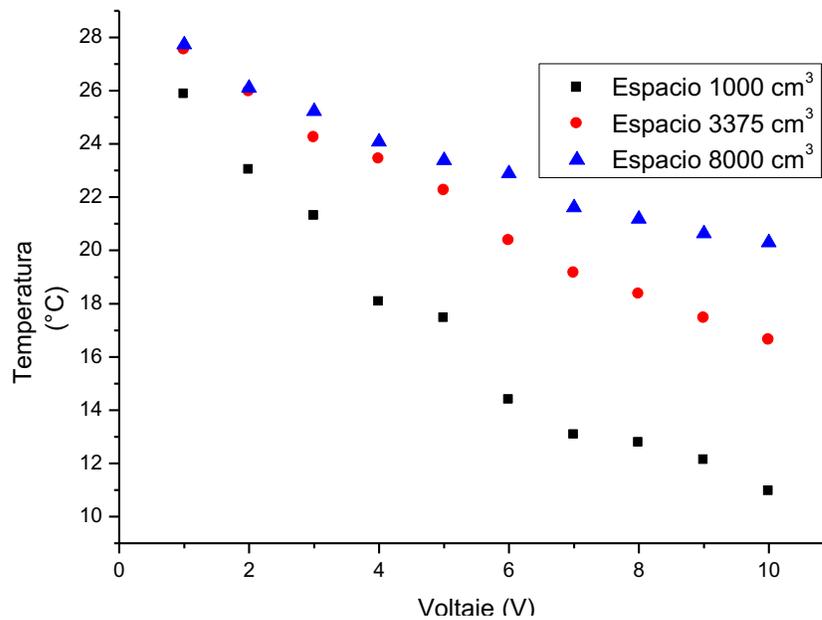


Figura 4.13. Análisis de sistema de una celda peltier modelo TECH4, espacios cúbicos con material PVC.

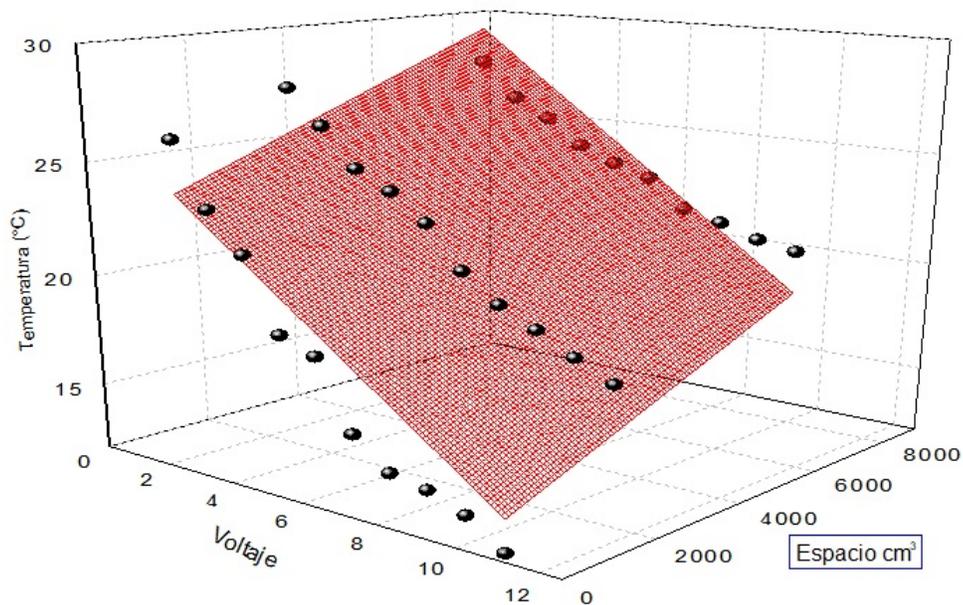


Figura 4.14. Análisis por ajuste de curvas del sistema de una celda peltier modelo Tech4 con material de PVC.

En la figura 4.15 se aprecia el comportamiento en un espacio 1000 cm^3 , 3375 cm^3 , 8000 cm^3 los datos tienen un comportamiento inestable al inicio de los experimentos, con una temperatura mínima a partir de 3 volts, los experimentos toman estabilidad con respecto al gradiente de temperatura en cada una de las lecturas, se tiene un gradiente de temperatura al final de $4 \text{ }^\circ\text{C}$, la temperatura mínima al final de los experimentos es $8 \text{ }^\circ\text{C}$.

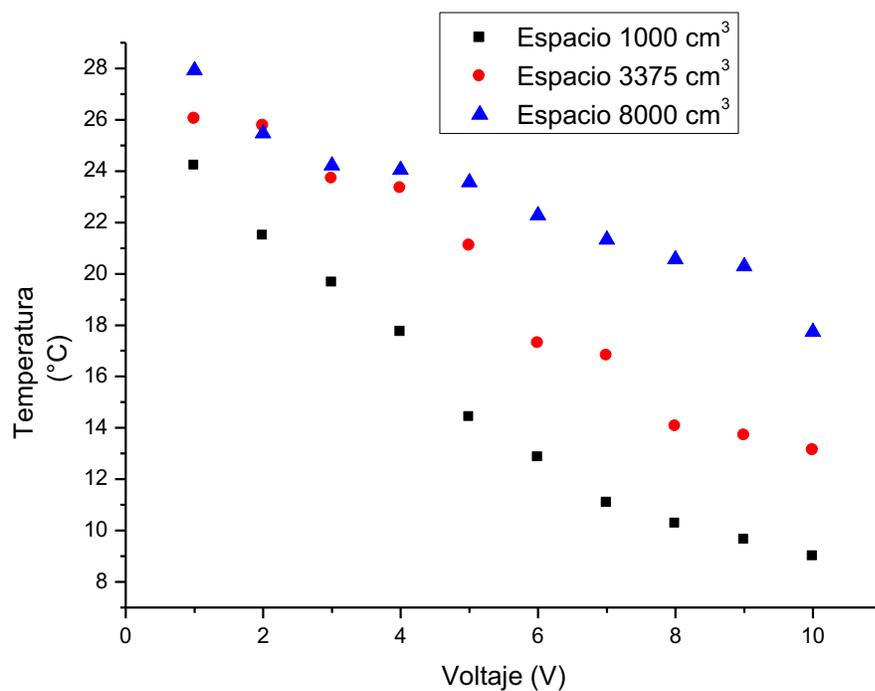


Figura 4.15. Análisis de sistema de dos celdas peltier modelo TECH4, espacios cúbicos con material PVC.

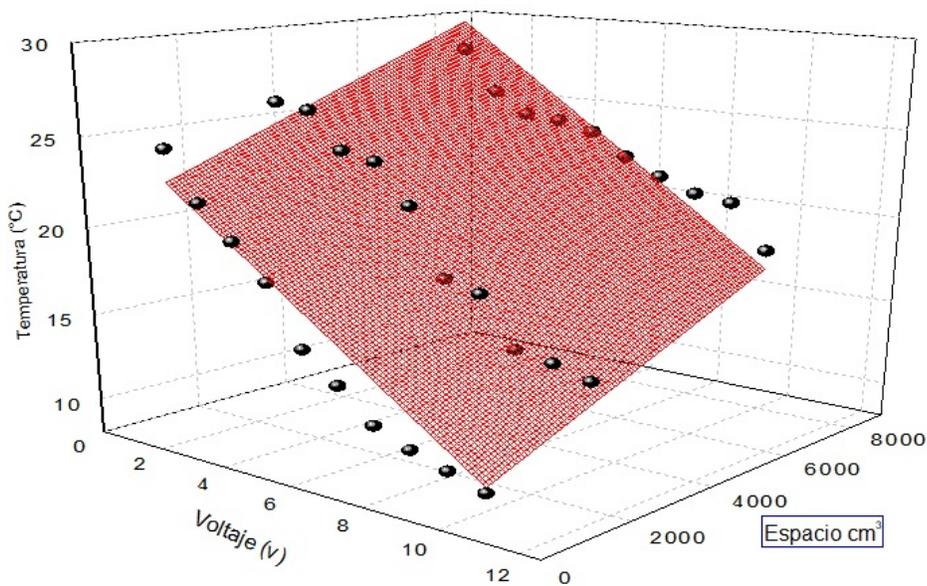


Figura 4.16. Análisis por ajuste de curvas del sistema de dos celdas peltier modelo Tech4 con material de PVC.

En la figura 4.17, comparado con los experimentos anteriores, se aprecia el comportamiento de todos los espacios cúbicos, tienen una tendencia a una temperatura, y predecibles de manera lineal, a una tendencia de un gradiente de temperatura de 5 °C, y a una temperatura mínima a 5 °C. Los datos que se leen, nos demuestra que con mayor sea la conductividad térmica en el espacio, tiene mayor estabilidad la lectura de temperatura. En experimentos con este tipo de celdas, según los datos, son los que dan mejores resultados en este tipo de sistemas, y el comportamiento puede declararse lineal para este tipo de datos.

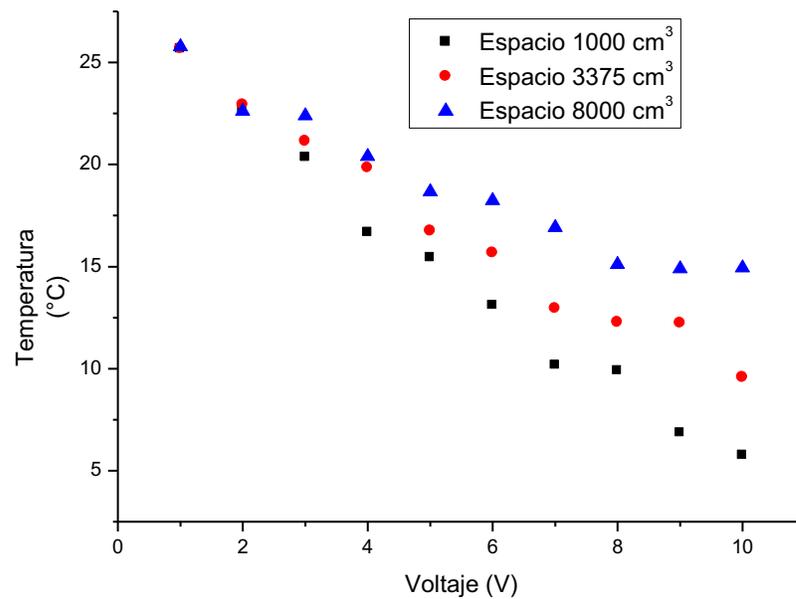


Figura 4.17. Análisis de sistema de tres celdas peltier modelo TECH4, espacios cúbicos con material PVC.

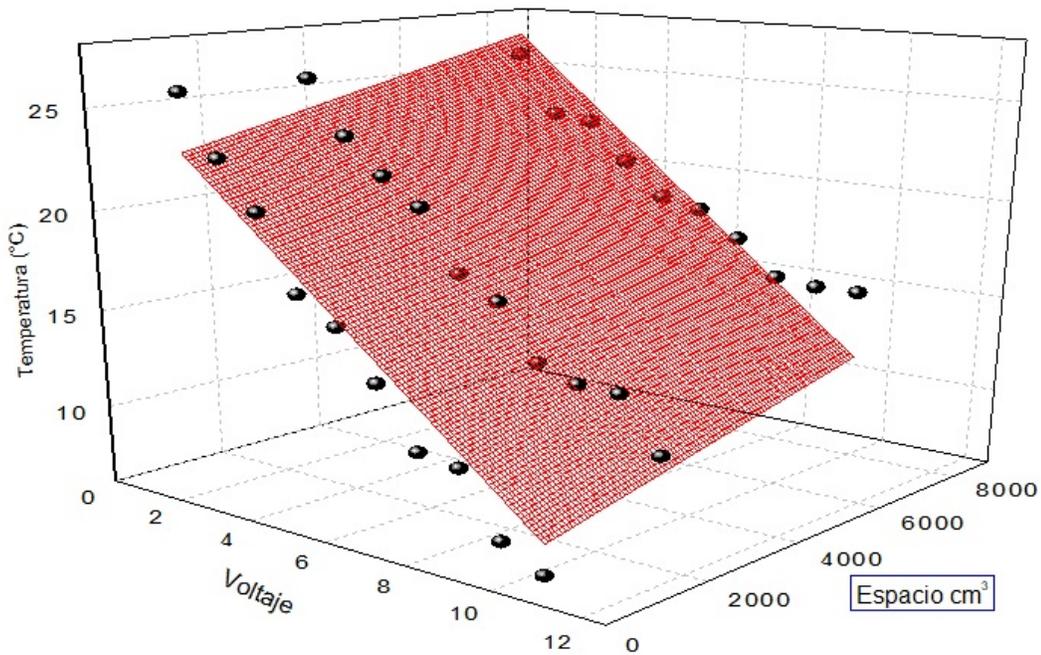


Figura 4.18. Análisis por ajuste de curvas del sistema de tres celdas peltier modelo Tech4 con material de PVC.

El estudio con celdas peltier modelo4 TECH4de la marca Thorlab. En la figura 4.19, figura 4.21 y figura 4.23 se muestra los resultados del comportamiento con experimentos realizados con unos espacios cúbicos que se construyeron con material de PVC y aislante de poliuretano, según los resultados que se obtienen, nos muestra como el comportamiento. En la figura 4.19 los experimentos se realizan con una celda peltier, figura 4.21 con dos celdas peltier, figura 4.23 con tres celdas peltier. Conforme se aumentan el número de celdas peltier, la temperatura con el gradiente disminuye, aumenta para espacios más pequeños, a espacios mayores como 8000 cm^3 , se aprecia que el beneficio comparado comparado con un sistema construido con un solo aislante no es representativo en temperatura deseada, sin embargo si lo es en mantener el gradiente de temperatura estable una mayor cantidad de tiempo.

Al hacer el análisis de curvas para los espacios en tres ejes, en la figura 4.20, figura 4.22 y figura 4.24 se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$T = 22.91785 - 1.28406(V) + 6.61855 * 10^{-4}(v) \quad 4.10$$

$$T = 22.9767 - 1.59818(V) + 7.9465 * 10^{-4}(v) \quad 4.11$$

$$T = 20.80971 - 1.54275(V) + 7.76745 * 10^{-4}(v) \quad 4.12$$

Donde la ecuación 4.10 representa el comportamiento del sistema con una celda peltier, la ecuación 4.11 representa a dos celdas peltier, la ecuación 4.12 a tres celdas peltier. Las tres ecuaciones están representadas para espacios cúbicos realizados con material de PVC y aislante de poliuretano, una sola conductividad térmica en el espacio cubico, una variable al sistema.

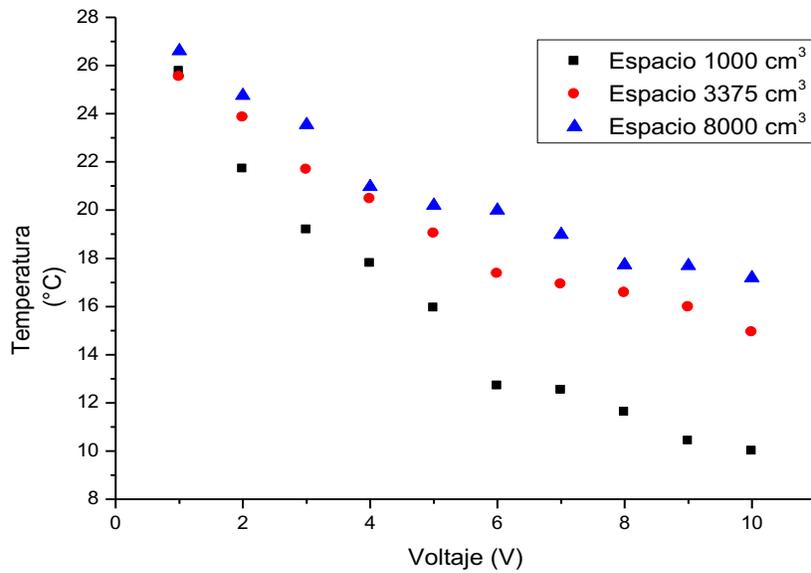


Figura 4.19. Análisis de sistema de una celda peltier modelo TECH4, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano.

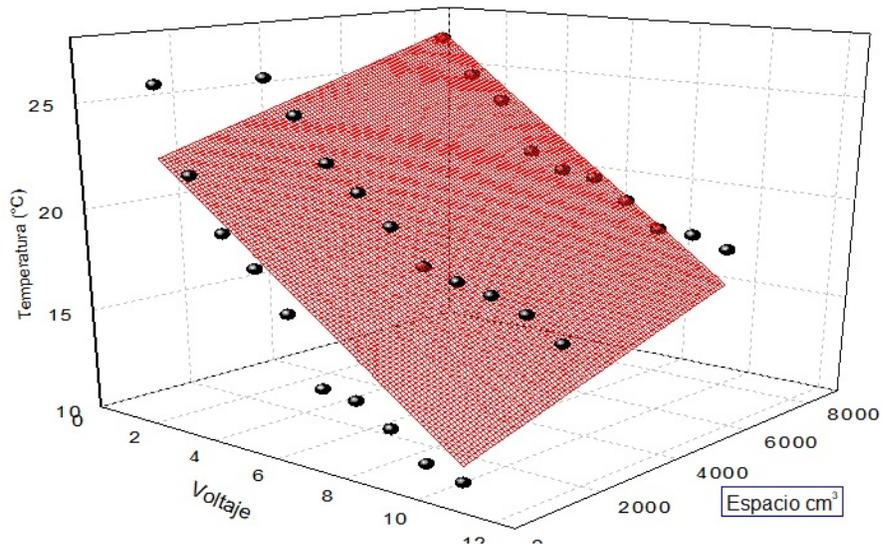


Figura 4.20. Análisis por ajuste de curvas del sistema de una celda peltier modelo Tech4 con material de PVC y aislante de poliuretano.

En la figura 4.21, el espacio de 1000 cm^3 se comporta de manera lineal, y una temperatura mínima de $6 \text{ }^\circ\text{C}$ y gradiente de temperatura de $13 \text{ }^\circ\text{C}$ con respecto a espacios mayores, se comparan los volúmenes mayores, donde el resultado a temperatura mínima donde se aprecia el valor que se necesita para aprovechar al máximo la eficiencia en este tipo de sistemas.

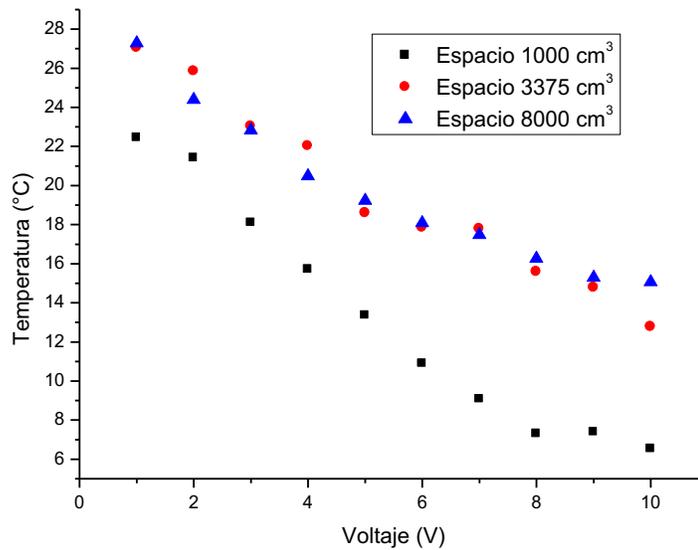


Figura 4.21. Análisis de sistema de dos celdas peltier modelo TECH4, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano.

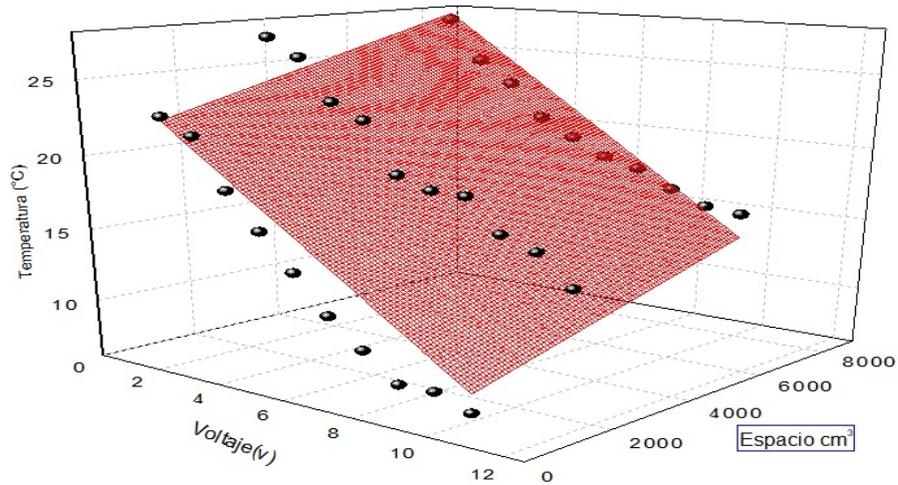


Figura 4.22. Análisis por ajuste de curvas del sistema de dos celdas peltier modelo Tech4 con material de PVC y aislante de poliuretano.

En la figura 4.23, la temperatura mínima de 1000 cm^3 y 3375 cm^3 se aproximan, el gradiente de temperatura es de $3 \text{ }^\circ\text{C}$, el comportamiento a temperatura mínima se refleja en $6 \text{ }^\circ\text{C}$, y para un espacio de 8000 cm^3 el gradiente de temperatura es de $8 \text{ }^\circ\text{C}$, para este espacio se considera lineal, y la mayor eficiencia se encuentra en su punto final de los experimentos, este tipo de volumen, nos da mayor eficiencia en su punto máximo para el gradiente de temperatura.

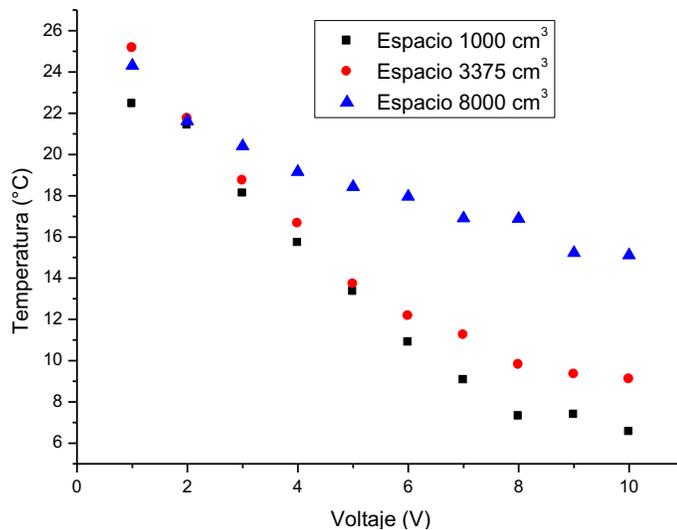


Figura 4.23. Análisis de sistema de tres celdas peltier modelo TECH4, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano.

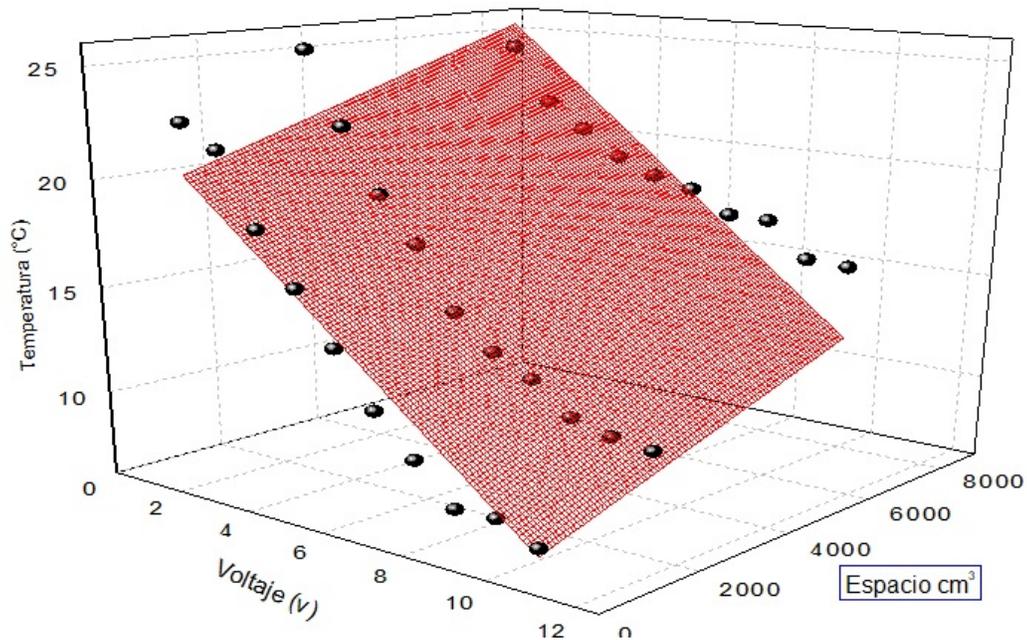


Figura 4.24. Análisis por ajuste de curvas del sistema de tres celdas peltier modelo Tech4 con material de PVC y aislante de poliuretano.

La primera parte del estudio de los sistemas con celdas peltier se hizo con modelos 12706 comerciales En la figura 4.25, figura 4.27 y figura 4.29 se muestra los resultados del comportamiento con experimentos realizados con unos espacios cúbicos que se construyeron con material de PVC, según los resultados que se obtienen, nos muestra como el comportamiento. En la figura 4.25 los experimentos se realizan con una celda peltier, figura 4.27 con dos celdas peltier, figura 4.29 con tres celdas peltier. Conforme se aumentan el número de celdas peltier, la temperatura con el gradiente a disminuye se ve que es poco lo que aumenta el gradiente de temperatura con ella la temperatura mínima, comparado con celdas de TECH3s y TECH4 su eficiencia es menor.

Al hacer el análisis de curvas para los espacios en tres ejes, en la figura 4.26, figura 4.28 y figura 4.30 se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$T = 27.1688 - 0.53186(V) + 2.07699 * 10^{-4}(v) \quad 4.13$$

$$T = 27.09599 - 0.92137(V) + 1.72015 * 10^{-4}(v) \quad 4.14$$

$$T = 26.56103 - 0.67091(V) + 1.62658 * 10^{-4}(v) \quad 4.15$$

Donde la ecuación 4.13 representa el comportamiento del sistema con una celda peltier, la ecuación 4.14 representa a dos celdas peltier, la ecuación 4.15 a tres celdas peltier. Las tres ecuaciones están representadas para espacios cúbicos realizados con material de PVC, una sola conductividad térmica en el espacio cubico, una variable al sistema.

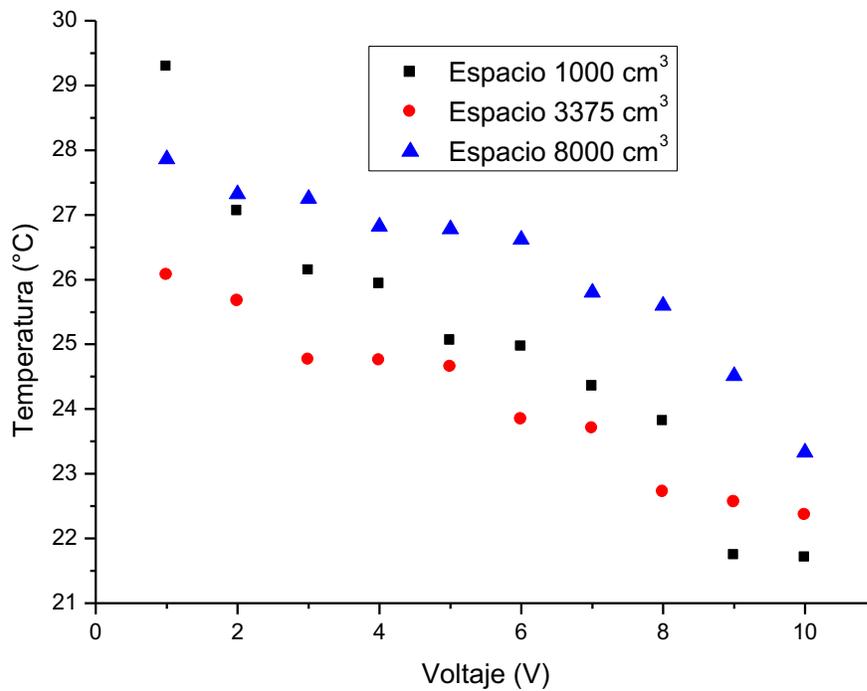


Figura 4.25. Análisis de sistema de una celda peltier modelo 12706, espacios cúbicos con material PVC.

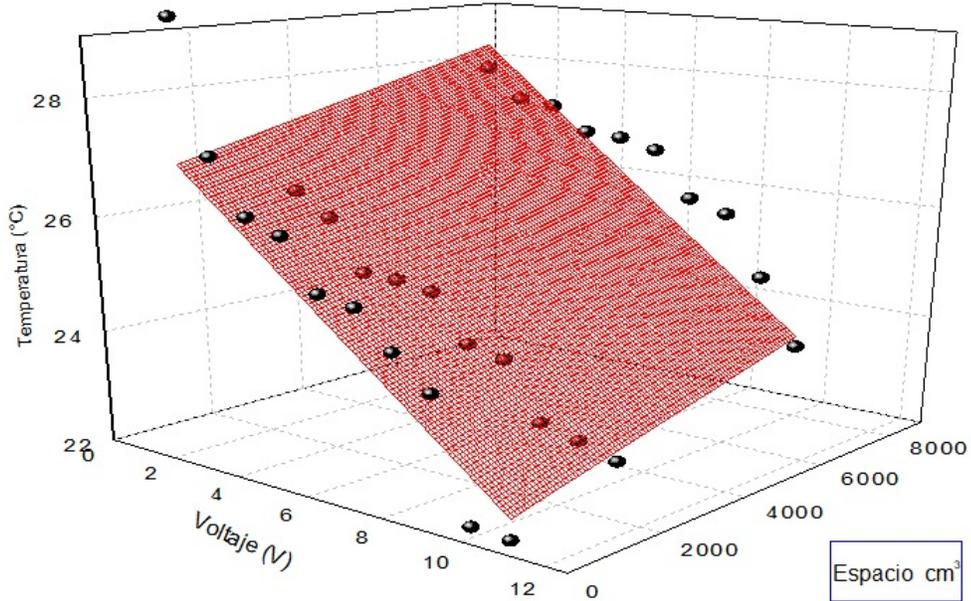


Figura 4.26. Análisis por ajuste de curvas del sistema de una celda peltier modelo 12706 con material de PVC.

En la figura 4.27, la temperatura mínima de 1000 cm^3 , 3375 cm^3 y 8000 cm^3 el comportamiento del gradiente de temperatura, se forma de manera similar, con una temperatura mínima diferente para cada caso, de 1-6 volts. A partir después de este punto, se refleja la máxima eficiencia para este sistema, comparado con experimentos anteriores, con volumen equivalente, concluimos esta versión es la que representa mayores pérdidas.

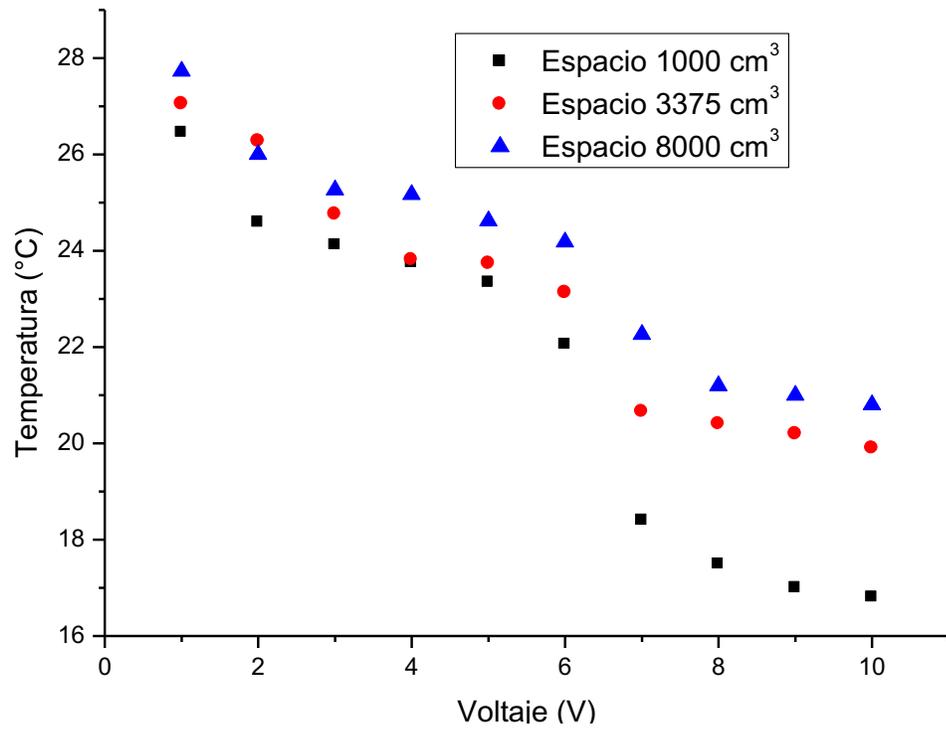


Figura 4.27. Análisis de sistema de dos celdas peltier modelo 12706, espacios cúbicos con material PVC.

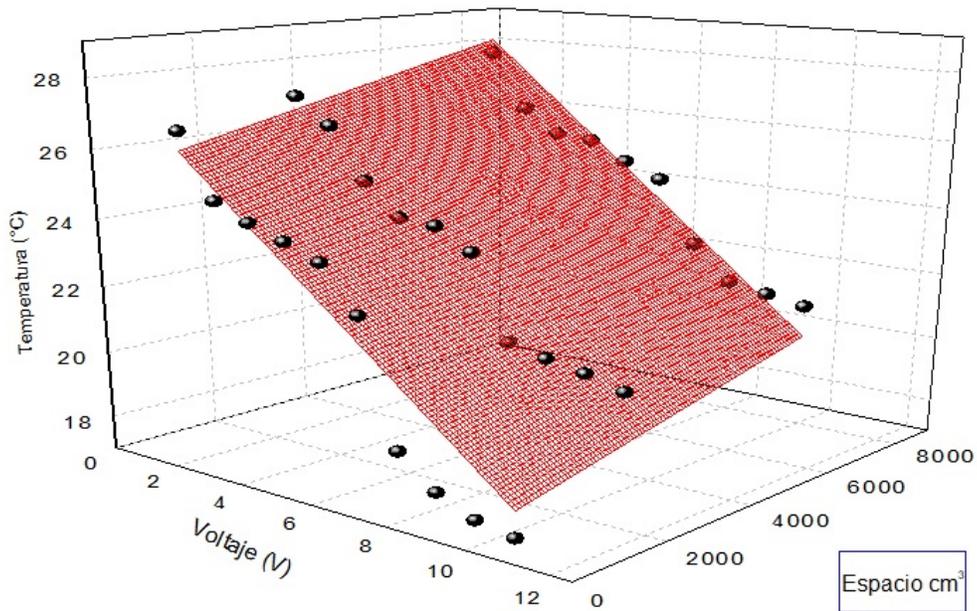


Figura 4.28. Análisis por ajuste de curvas del sistema de dos celdas peltier modelo 12706 con material de PVC.

En la figura 4.29, el gradiente de 1000 cm^3 , 3375 cm^3 y 8000 cm^3 se forma de manera similar, con una temperatura mínima diferente para cada caso, de 1-10 volts. Refleja una diferencia en el gradiente de temperatura al final de las lecturas, podemos decir que el comportamiento respecto a la gráfica de estos espacios es similar en casi todos los puntos, hasta alcanzar su gradiente de temperatura máximo.

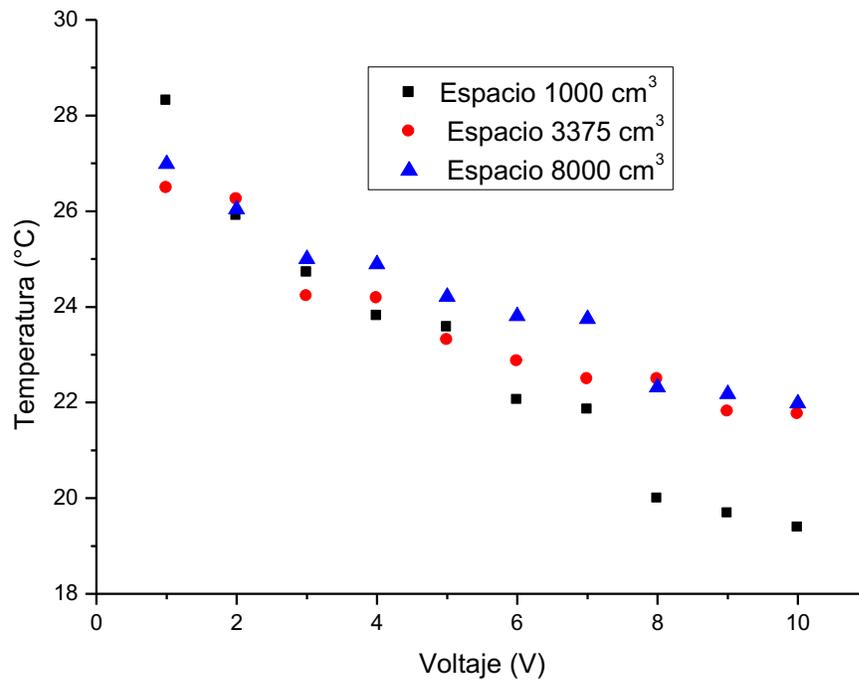


Figura 4.29. Análisis de sistema de tres celdas peltier modelo 12706, espacios cúbicos con material PVC.

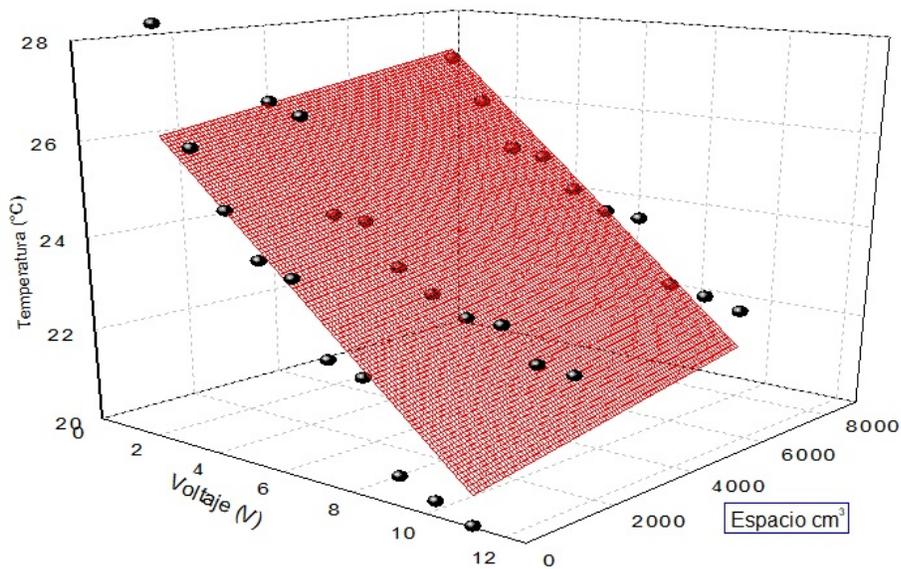


Figura 4.30. Análisis por ajuste de curvas del sistema de tres celdas peltier modelo 12706 con material de PVC.

La última parte del estudio de los sistemas con celdas peltier se hizo con modelos 12706, En la figura 4.31, figura 4.33 y figura 4.35 se muestra los resultados del comportamiento con experimentos realizados con unos espacios cúbicos que se construyeron con material de PVC y aislante de poliuretano, según los resultados que se obtienen, nos muestra como el comportamiento. En la figura 4.31 los experimentos se realizan con una celda peltier, figura 4.33 con dos celdas peltier, figura 4.35 con tres celdas peltier. Conforme se aumentan el número de celdas peltier, la eficiencia de las celdas disminuye, puede ser afectador por diversos factores, uno de ellos la resistencia de materiales en los que está fabricado, a espacios mayores como 8000 cm^3 podemos apreciar que el mayor número de celdas peltier, beneficia al comportamiento del sistema y al gradiente de temperatura.

Al hacer el análisis de curvas para los espacios en tres ejes, en la figura 4.32, figura 4.34 y figura 4.36 se obtienen las siguientes ecuaciones:

$$T = 25.76214 - 0.60162(V) + 5.3998 * 10^{-4}(v) \quad 4.16$$

$$T = 27.024 - 1.43899(V) + 2.0326 * 10^{-4}(v) \quad 4.17$$

$$T = 26.47342 - 0.73113(V) + 2.42762 * 10^{-5}(v) \quad 4.18$$

Donde la ecuación 4.16 representa el comportamiento del sistema con una celda peltier, la ecuación 4.17 representa a dos celdas peltier, la ecuación 4.18 a tres celdas peltier. Las tres ecuaciones están representadas para espacios cúbicos realizados con material de PVC y aislante de poliuretano, una sola conductividad térmica en el espacio cubico, una variable al sistema.

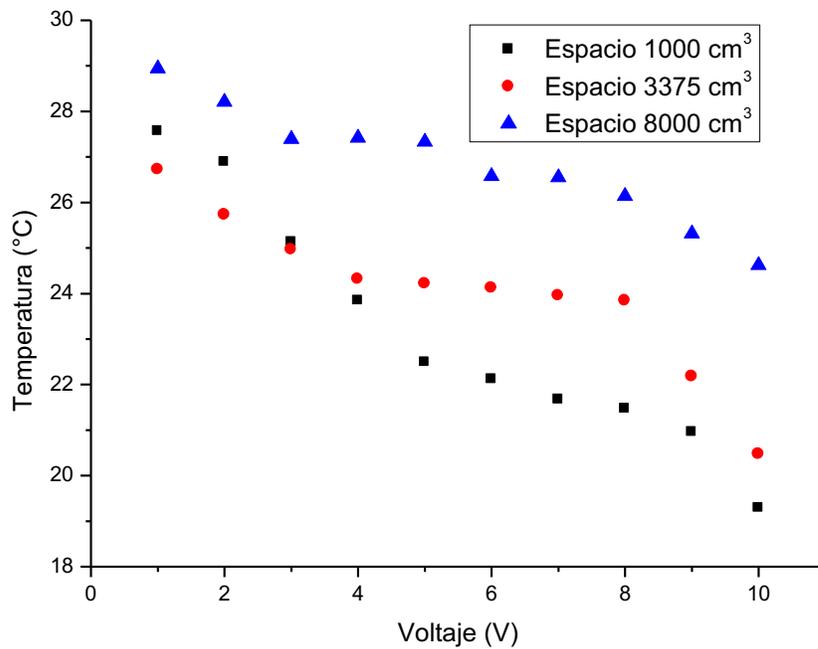


Figura 4.31. Análisis de sistema de una celda peltier modelo 12706, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano.

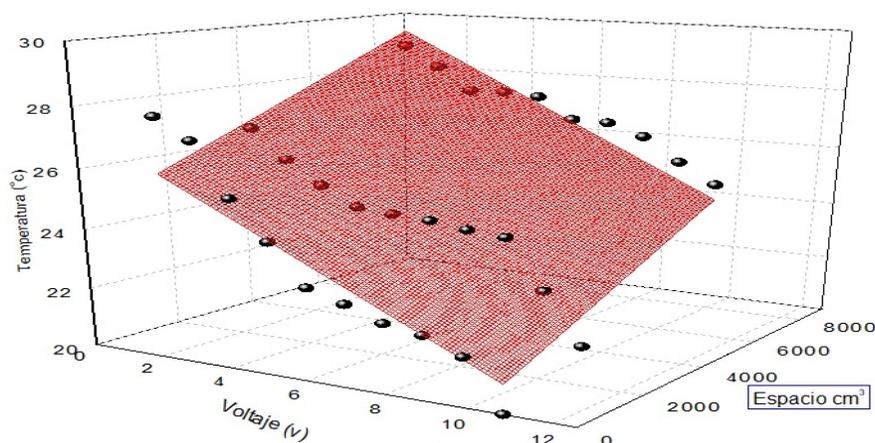


Figura 4.32. Análisis por ajuste de curvas del sistema de una celda peltier modelo 12706 con material de PVC y aislante de poliuretano

En la figura 4.33, la temperatura mínima de 1000 cm^3 , 3375 cm^3 y 8000 cm^3 los puntos de las funciones que representan cada espacio, a diferencia de experimento anterior, no son similares en su comportamiento, en los puntos centrales, se aprecia que para el espacio de 1000 cm^3 alcanza un eficiencia mayor al de espacios mayores, al finalizar la lectura de datos del experimento, podemos observar que para espacios de 1000 cm^3 y 3375 cm^3 son favorecidos al gradiente de temperatura en $4 \text{ }^\circ\text{C}$, representa una mayor eficiencia comparado con un volumen mayor.

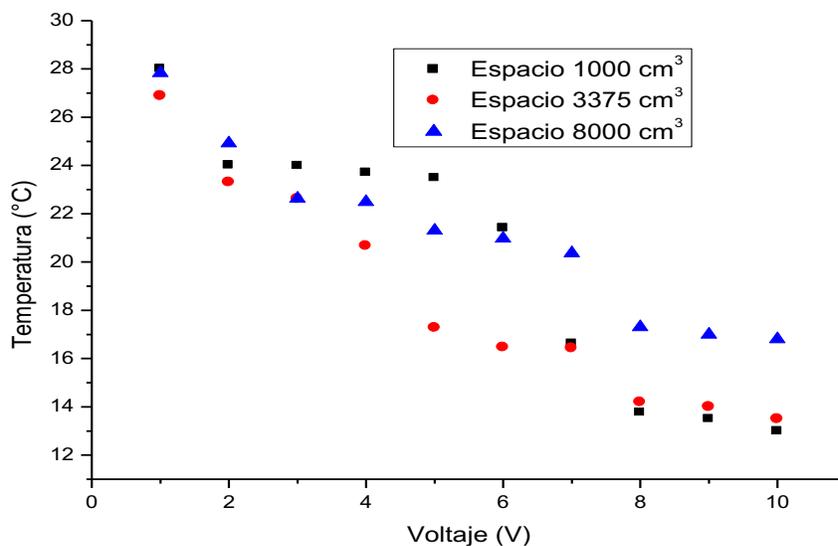


Figura 4.33. Análisis de sistema de dos celdas peltier modelo 12706, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano

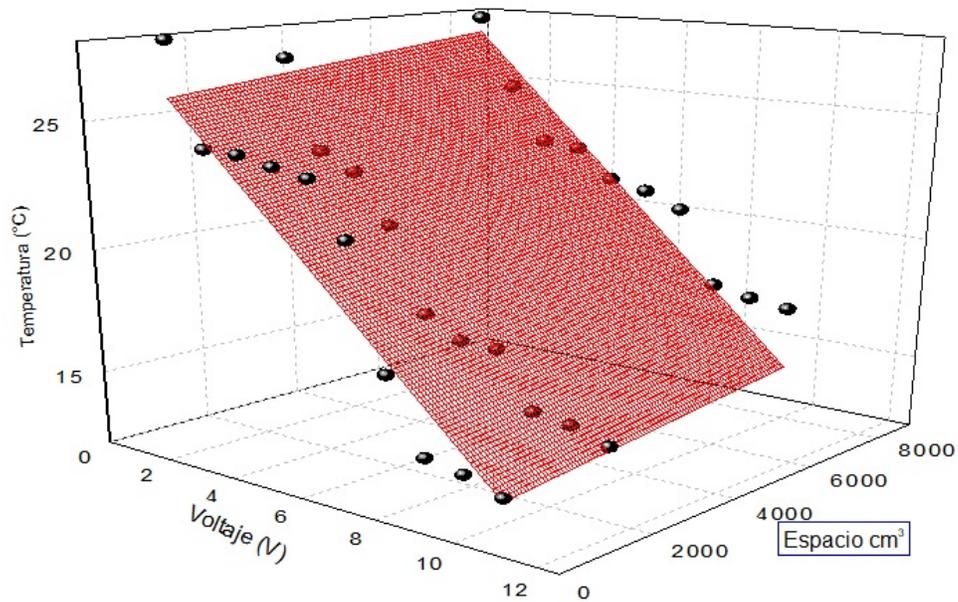


Figura 4.34. Análisis por ajuste de curvas del sistema de dos celdas peltier modelo 12706 con material de PVC y aislante de poliuretano.

En la figura 4.35, la temperatura mínima de 1000 cm^3 , 3375 cm^3 y 8000 cm^3 tienen la misma tendencia respecto a la curva de datos trazados, se aprecia una mayor eficiencia en las lecturas de 4-8 volts, aunque el gradiente máximo se encuentra para cada experimento en datos de 8-10 volts, existe muy poco gradiente de temperatura entre cada experimento, haciendo que se vuelva en una menor eficiencia comparando los volúmenes de cada uno.

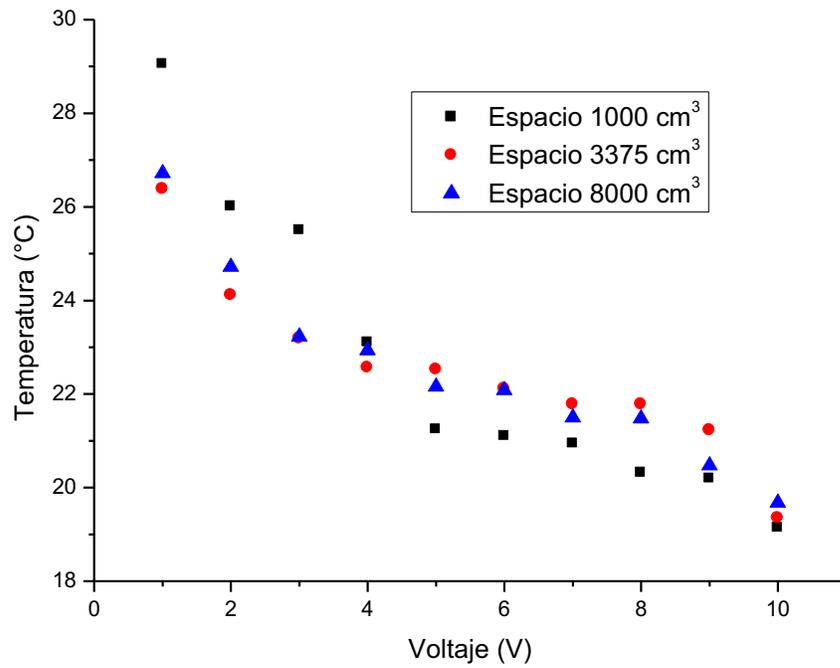


Figura 4.35. Análisis de sistema de tres celdas peltier modelo 12706, espacios cúbicos con material PVC y aislante de poliuretano

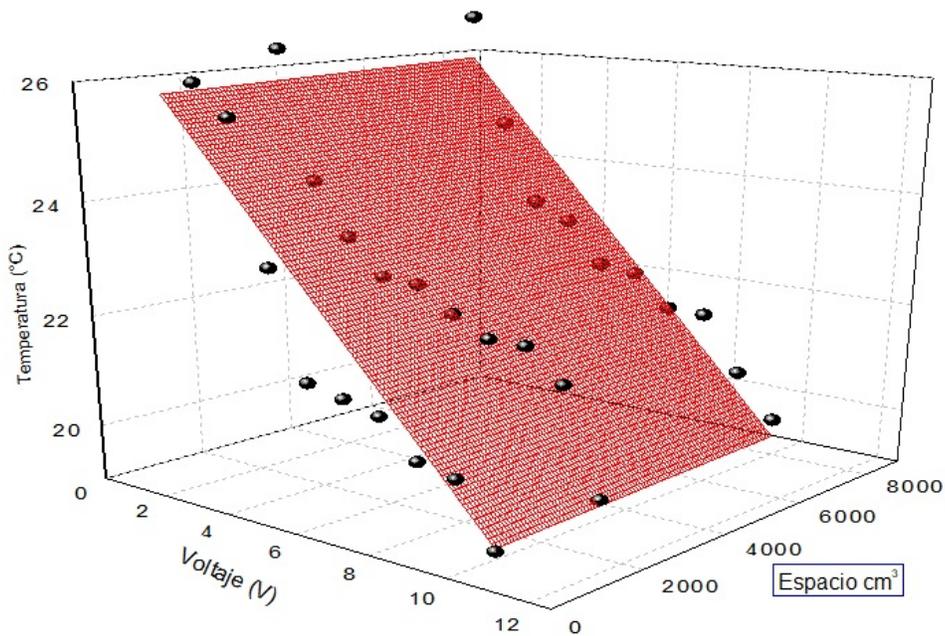


Figura 4.36. Análisis por ajuste de curvas del sistema de tres celdas peltier modelo 12706 con material de PVC y aislante de poliuretano.

Con las funciones que se obtienen, seleccionamos con base a las gráficas, los mejores resultados y comportamiento para realizar un interfaz, su objetivo es en resumen obtener las mejores propuestas para realizar sistemas en espacios cúbicos eficientes a la temperatura deseada, según la celda peltier, dará los mejores resultados para realizar el sistema, con esto recordamos que cada celda peltier tiene diferentes potencias, esto nos ayuda, ya que con la misma temperatura deseada, se alcanzara con una celda peltier de menor consumo o con mejor eficiencia, según sea el caso que se requiera nos dará el mejor resultado para cada experimento figura 4.37.

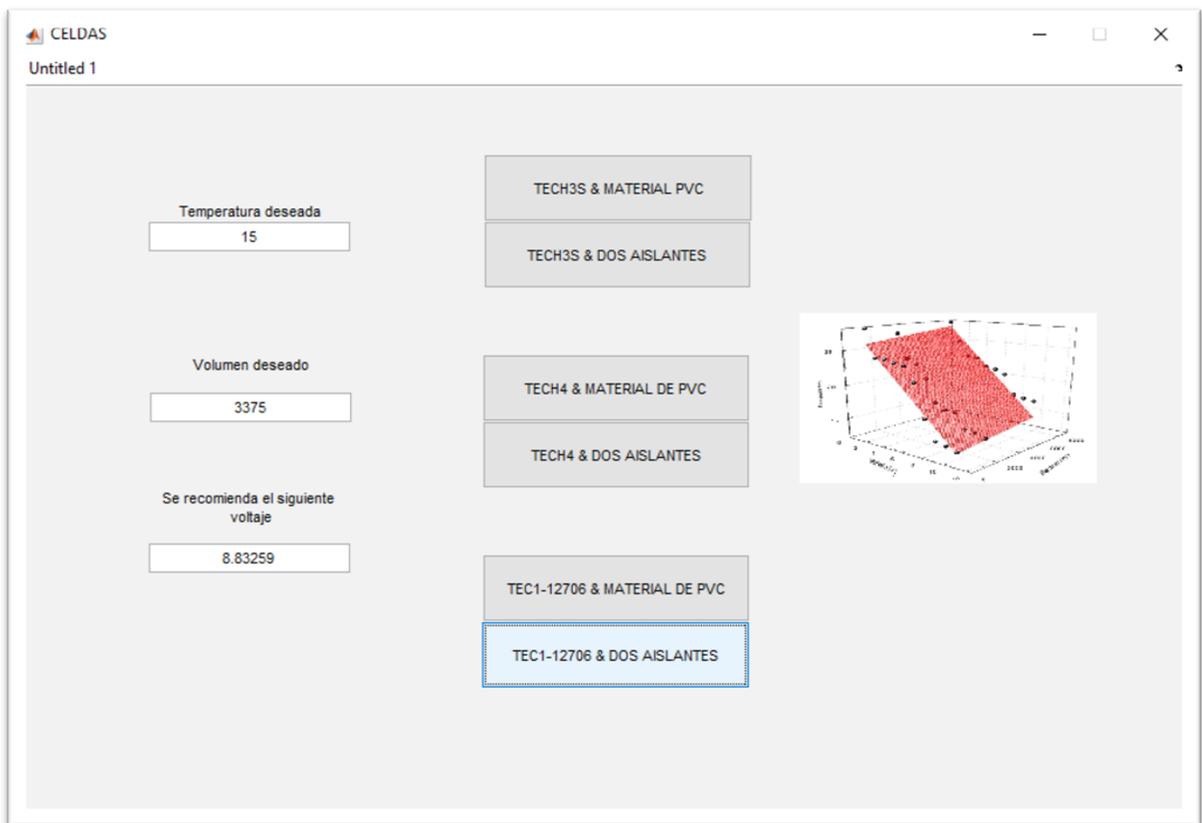


Figura 4.37. Interfaz de resultados óptimos para sistemas peltier.

Conclusiones

Podemos definir que no para todos los casos, se puede obtener una temperatura deseada, con el mismo sistema de enfriamiento, Esto depende de la conductividad térmica del material con el que se construye el espacio cubico, el volumen determina la temperatura mínima a alcanzar, a menor volumen, mayor enfriamiento, potencia de enfriamiento que está determinado por la cantidad de corriente eléctrica que se suministra al sistema y temperatura externa que se encuentre el laboratorio o lugar donde se haga el experimento, a menor temperatura, mayor enfriamiento se obtendrá, Para cada sistema se define una ecuación que ayuda a predecir la temperatura mínima que puede llegar a obtenerse según se requiera. Con estas ecuaciones que se obtienen se puede obtener temperaturas más bajas al modificar las variables que representan a los materiales del sistema o el área donde se trabaja. Se puede concluir que, si se desean temperaturas bajas, dependerá de la temperatura externa donde se instale el sistema, el material térmico con el cual se trabaja el espacio cubico, la intensidad de corriente eléctrica, el volumen a enfriar y las condiciones de temperatura donde se realiza el experimento.

Referencias

- [1] S. Godfrey, «An introduction to thermoelectric coolers,» *Electronics cooling 2*, vol. 2, pp. 30-34, 1996.
- [2] K. Z. Y. & M. X. L. Teffah, «Modeling and Experimentation of New Thermoelectric Cooler-Thermoelectric Generator Module,» *Energies*, vol. 11, nº 3, p. 576, 2018.
- [3] G. A. L. C. V. & B. V. Manella, «Peltier cells as temperature control elements: Experimental characterization and modeling,» *Applied thermal engineering*, vol. 63, nº 1, pp. 234-245, 2014.
- [4] D. & T. G. Zhao, «A review of thermoelectric cooling: materials, modeling and applications,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 66, nº 1-2, pp. 15-24, 2014.
- [5] Z. Luo, «A simple method to estimate the physical characteristics of a thermoelectric cooler from vendor datasheets,» *Electronic cooling*, vol. 14, nº 3, pp. 22-27, 2008.
- [6] S. Godfrey, «An introduction to thermoelectric coolers,» *Electronics Cooling*, vol. 2, pp. 30-34, 1996.
- [7] A. C. A. N. A. M. S. M. S. M. S. A. R. M. T. A. & K. M. N. F. M. Sulaiman, «Preliminary study of TEC application in cooling system,» *Journal of Physics: Conference series*, vol. 908, nº 1, p. 12, 2017.
- [8] X. Y. Y. Z. H. S. H. H. L. L. S. & G. X. Sun, «Experimental research of a thermoelectric cooling system integrated with gravity assistant heat pipe for cooling electronic devices,» *Energy Procedia*, vol. 105, pp. 4909-4914, 2017.
- [9] M. Yamanashi, «A new approach to optimum design in thermoelectric cooling systems,» *Journal of applied physics*, vol. 80, nº 9, pp. 5494-5502, 1996.
- [10] V. D. T. R. M. A. O. & L. P. G. (. Mejia, «ANALISIS DE UN SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DEL CPU DE UNA COMPUTADORA EMBEBIDA POR MEDIO DE UNA CELDA PELTIER,» *Pistas Educativas*, p. 39(128), 2018.
- [11] C. L. G. & D. E. (. Ramirez, «Termoelectricidad: uso de las celdas peltier en el campo de la refrigeracion y sus principales aplicaciones.,» *INVENTUM*, vol. 12, nº 22, pp. 9-16, 2017.
- [12] E. J. M. C. J. & H. I. Wilcox, «Refrigeracion portatil de vacunas,» *Revista de iniciacion cientifica*, vol. 4, pp. 77-83, 2018.

- [13] I. G. R. S. E. D. J. G. A. G. D. & C. J. Faudoa, «Camara climatica portable para el transporte de órganos humanos y animales,» *CULCYT*, p. 63, 2018.
- [14] M. Salinas, «3-D thermoelectric cooler analysis.,» *Thermal Measurement and Management Symposium*, pp. 10-18, 2000.
- [15] P. I. Mani, «Design, Modeling and Simulation of a Thermoelectric Cooling System,» Michigan, 2016.
- [16] T. Seebeck, «Termoelectricidad, la energia del desequilibrio,» *Tecnica industrial*, pp. 262, 62, 2006.
- [17] M. Kaya, «Experimental study on active cooling systems used for thermal management of high-power multichip light-emitting diodes.,» *The scientific World Journal*, vol. 2014, 2014.
- [18] M. A. M. K. M. M. & O. M. H. Monel, «Heat sink design of Thermoelectric Module for cooling system.,» *IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering*, vol. 6th, pp. 184-188, 2016.
- [19] W. H. L. C. Y. & H. C. I. Chen, «A numerical study on the performance of miniature thermoelectric cooler affected by Thomson effect.,» *Applied Energy*, vol. 89, nº 1, pp. 464-473, 2012.
- [20] E. J. M. C. J. & H. I. Wilcox, «Refrigeración portátil de vacunas.,» *Revista de Iniciación Científica*, nº 4, pp. 77-83, 2018.
- [21] D. M. A. G. J. R. A. & G. Astrain, «Computational study on temperature control systems for thermoelectric refrigerators.,» *Journal of electronic materials*, vol. 41, nº 6, pp. 1081-1090, 2012.
- [22] S. N. Zhang, *Thermoelectric Cooler Based Temperature Controlled Environment Chamber Design for Application in Optical Systems*, Virginia, 2013.
- [23] Y. J. W. R. Z. & N. L. Dai, «Experimental investigation on a thermoelectric refrigerator driven by solar cells,» *Renewable energy*, vol. 28, nº 6, pp. 949-959, 2003.
- [24] P. Mogollón Vilca, *Modelacion y control avanzado de un sistema de aire acondicionado para el ahorro de consumo energetico*, 2016.
- [25] Y. B. M. A. P. C. R. C. C. N. A. M. & C. J. L. Cengel, *Termodinamica*, Sao Paulo: McGraw-Hill, 2006.
- [26] D. A. Ulibarrena, «Grupo de Investigacion de energia termica,» [En línea]. Available: [www.unavarra.es/ets02/Introduccion%20a%20TE\(c\).htm](http://www.unavarra.es/ets02/Introduccion%20a%20TE(c).htm). [Último acceso: 20 Noviembre 2019].

- [27] J. Ona, «Javieronet.net», X College latam, 7 Marzo 2018. [En línea]. Available: <https://javieronet.net/ingenieria/peltier/>. [Último acceso: 26 Noviembre 2019].
- [28] J. Thielman, «La moderna tecnología de refrigeración peltier», 02 2013. [En línea]. Available: https://www.binder-world.com/es/content/download/113908/3097318/file/2013_02_WP_Peltier_ES.pdf. [Último acceso: 20 Noviembre 2019].
- [29] M. J. Moran, Fundamentos de termodinámica técnica, Barcelona: Reverte, S.A., 2004.
- [30] J. P. Holman, Transferencia de calor, Madrid: McGraw-Hill/Interamericana, 1998.
- [31] Y. A. Cengel, Transferencia de calor y masa, Ciudad de México: McGraw-Hill/Interamericana editores, S.A. de C.V., 2007.
- [32] R. P. C. Steven C. Chapra, Métodos numéricos para ingenieros con aplicaciones en computadoras personales, México: McGraw-Hill, 1988.
- [33] Y. A. Cengel, Transferencia de calor y masa, Ciudad de México: McGraw-Hill Interamericana, 2007.

Anexos

A. Código de lectura de datos



La Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco a través de la
División de Ciencias Básicas e Ingeniería y la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Otorgan la presente

CONSTANCIA A:

**Juan Antonio Gutiérrez, Jorge Luis Camas Anzueto, Joel Gómez Pérez, Madaín Pérez
Patricio, Carlos Ríos Rojas**

Por la presentación del artículo titulado:

**Comparación del gradiente de temperatura en espacios cúbicos controlados con celda peltier
en función a dos aislantes térmicos**

En la XV Semana Nacional de Ingeniería Electrónica

Ciudad Juárez, Chihuahua a 25 de septiembre de 2019.

Dra. María de Lourdes Delgado Núñez
Directora de la División de CBI
Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco

Dr. Miguel Magos Rivera
Presidente del Comité Organizador
Senie 2019

Mr. Juan Francisco Hernández Paz
Director del Instituto de Ingeniería y Tecnología
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

B. Artículo de revista

Pistas Educativas, No. 134, noviembre 2019, México, Tecnológico Nacional de México en Celaya

COMPARACIÓN DEL GRADIENTE DE TEMPERATURA EN ESPACIOS CÚBICOS CONTROLADOS CON CELDA PELTIER EN FUNCIÓN A DOS AISLANTES TÉRMICOS

COMPARISON OF THE TEMPERATURE GRADIENT IN CUBIC SPACES CONTROLLED WITH PELTIER CELL ACCORDING TO TWO THERMAL INSULATORS

Juan Antonio Gutiérrez

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, México
Jantonio24031989@gmail.com

Jorge Luís Camas Anzueto

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, México
jcamas@ittg.edu.mx

Joel Gómez Pérez

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, México

Madain Pérez Patricio

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, México
mperez@ittg.edu.mx

Carlos Ríos Rojas

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, México
crios@ittg.edu.mx

Recepción: 21/octubre/2019

Aceptación: 23/noviembre/2019

Resumen

Este trabajo estudia el gradiente de temperatura en espacios cúbicos de dimensiones pequeñas utilizando dispositivos de enfriamiento peltier. Se demuestra que el material, el volumen, potencia y temperatura exterior afecta la eficiencia de un elemento termoeléctrico. Los materiales seleccionados en la construcción de los espacios cúbicos cuentan con baja conductividad térmica, a fin de evitar que la temperatura exterior afecte a la medición. Se tomaron periódicamente valores de temperatura en espacios cúbicos. El banco de prueba consiste en microcontrolador, disipadores de calor en lado frío y caliente y módulos peltier. Se realizó la comparación de los valores que obtienen en cada volumen. Se determina el uso de

Pistas Educativas Vol. 41 - ISSN: 2448-847X
Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2016-120613261600-203
<http://itcelaya.edu.mx/ojs/index.php/pistas>

~3~

C. Código de sensor y lectura de datos

```
#include <Adafruit_GFX.h> //TFT
#include <Adafruit_MAX31865.h> //Max31865
#include <MCUFRIEND_kbv.h> //TFT

MCUFRIEND_kbv tft;

//Pines y valores de referencia definidos para el Max31865
Adafruit_MAX31865 max = Adafruit_MAX31865(10, 11, 12, 13);

#define RREF 430.0
#define RNOMINAL 100.0
#define ADJ_BASELINE 0 //

//Colores en rgb565
#define BLACK 0x0000
#define NAVY 0x000F
#define DARKGREEN 0x03E0
#define DARKCYAN 0x03EF
#define MAROON 0x7800
#define PURPLE 0x780F
#define OLIVE 0x7BE0
#define LIGHTGREY 0xC618
#define DARKGREY 0x7BEF
#define BLUE 0x001F
#define GREEN 0x07E0
#define CYAN 0x07FF
#define RED 0xF800
#define MAGENTA 0xF81F
#define YELLOW 0xFFE0
#define WHITE 0xFFFF
#define ORANGE 0xFD20
#define GREENYELLOW 0xAFE5
#define PINK 0xF81F
```

```

void setup ()
{
  Serial.begin(9600);
  //Inicilaizacion de la tft
  tft.reset();
  uint16_t ID = tft.readID();
  if (ID == 0xD3D3) ID = 0x9341;
  tft.begin(ID);
  //inicializacion del max31865
  max.begin (MAX31865_2WIRE); //Numero de cables del sensor 2WIRE, 3WIRE o 4 WIRE
  //Fondo de la tft
  tft.fillScreen (BLACK);
}
void loop()
{
  uint16_t rtd = max.readRTD();
  float ratio = rtd;
  ratio /= 32768;
  Serial.print ("");
  Serial.println (max.temperature (RNOMINAL, RREF));
  // Check and print any faults
  uint8_t fault = max.readFault ();
  if (fault)
  {
    Serial.print ("Fault 0x");
    Serial.println (fault, HEX);
    if (fault & MAX31865_FAULT_HIGHTHRESH)
    {
      Serial.println("RTD High Threshold");
    }
  }
}

```

```
if (fault & MAX31865_FAULT_LOWTHRESH)
{
  Serial.println("RTD Low Threshold");
}
if (fault & MAX31865_FAULT_REFINLOW)
{
  Serial.println("REFIN- > 0.85 x Bias");
}
if (fault & MAX31865_FAULT_REFINHIGH)
{
  Serial.println("REFIN- < 0.85 x Bias - FORCE- open");
}
if (fault & MAX31865_FAULT_RTDINLOW)
{
  Serial.println("RTDIN- < 0.85 x Bias - FORCE- open");
}
if (fault & MAX31865_FAULT_OVUV)
{
  Serial.println("Under/Over voltage");
}
max.clearFault();
}
delay(866);
}
```

D. Código de interfaz

```
function varargout = CELDAS(varargin)
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn',  @CELDAS_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @CELDAS_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',   [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
function CELDAS_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
handles.output = hObject;
guidata(hObject, handles);

function varargout = CELDAS_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
varargout{1} = handles.output;

function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
s1 = str2num(get (handles.edit2, 'String')) ;
s3 = str2num(get (handles.edit4, 'String')) ;
suma = (s1-25.01956-.000807541*s3)/-1.18752;
set (handles.edit6, 'String', suma);
a=imread('tech3s.jpg')
axes(handles.axes1);
imshow(a)

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)

if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUicontrolBackgroundColor'))
```

```

        set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function pushbutton2_Callback(hObject, eventdata, handles)
s1 = str2num(get(handles.edit2, 'String')) ;
s3 = str2num(get(handles.edit4, 'String')) ;
suma = (s1-23.84379-.000843309*s3)/-1.22511;
set(handles.edit6, 'String', suma);
a=imread('tech4.jpg')
axes(handles.axes1);
imshow(a)
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)
s1 = str2num(get(handles.edit2, 'String')) ;
s3 = str2num(get(handles.edit4, 'String')) ;
suma = (s1-27.09599-.000172015*s3)/-.92137;
set(handles.edit6, 'String', suma);
a=imread('12706.jpg')
axes(handles.axes1);
imshow(a)
% -----
function Untitled_1_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)

function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject, 'BackgroundColor'),
get(0, 'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
end

function pushbutton4_Callback(hObject, eventdata, handles)
s1 = str2num(get(handles.edit2, 'String')) ;
s3 = str2num(get(handles.edit4, 'String')) ;
suma = (s1-26.66695-.000499596*s3)/-1.28426;
set(handles.edit6, 'String', suma);
a=imread('tech3s2.jpg')
axes(handles.axes1);
imshow(a)

function pushbutton5_Callback(hObject, eventdata, handles)
s1 = str2num(get(handles.edit2, 'String')) ;

```

```
s3 = str2num(get(handles.edit4, 'String')) ;  
suma = (s1-22.91785-.00061855*s3)/-1.28406;  
set(handles.edit6, 'String', suma);  
a=imread('tech42.jpg')  
axes(handles.axes1);  
imshow(a)
```

```
function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)  
s1 = str2num(get(handles.edit2, 'String')) ;  
s3 = str2num(get(handles.edit4, 'String')) ;  
suma = (s1-27.024-.00020326*s3)/-1.43899;  
set(handles.edit6, 'String', suma);  
a=imread('127062.jpg')  
axes(handles.axes1);  
imshow(a)
```