

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ

Departamento de Ingeniería Eléctrica y Electrónica
Ingeniería Electrónica

Reporte de Residencia

“Caracterización y control de temperatura en espacios cúbicos controlados”

Presentan:

Esteban Solís Elsa Mariela 14270573

Jiménez Guillen Irene Guadalupe 14270599

Asesor:

Dr. Jorge Luis Camas Anzueto

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Dedicatoria

A Dios

Por permitirnos vivir esta etapa, y por todas las gracias recibidas.

A nuestros padres y hermanos

Por todo el apoyo otorgado en cada momento tanto económica como emocionalmente.

Agradecimientos

A nuestro asesor **Dr. Jorge Luis Camas Anzueto**, por estar siempre pendiente en la elaboración de este proyecto, por todos sus comentarios y paciencia.

Resumen

El objetivo de este proyecto es caracterizar la temperatura en determinados espacios cúbicos mediante el efecto Peltier, estudiar el funcionamiento de una celda termoeléctrica, caracterizar la celda y determinar sus parámetros principales, analizando sus cualidades como dispositivo térmico.

La caracterización se desarrolló con el principio físico de la termoelectricidad, caracterizado con los parámetros propios al dispositivo Peltier; como la corriente eléctrica y el voltaje. Se validó con datos obtenidos en pruebas experimentales realizadas en distintos espacios cúbicos con escalamiento doble.

Para llevar a cabo la adquisición de datos, se utiliza un detector de temperatura de resistencia de platino con el fin de obtener la magnitud física en relación a la variación de temperatura por unidad de distancia, es decir, observar el comportamiento del gradiente de temperatura en los espacios cúbicos.

Por consiguiente, estos datos se monitorizan por una interfaz en MATLAB conectada a su vez mediante una tarjeta de adquisición de datos Arduino. Previamente se habrá diseñado una estructura de enfriamiento donde se ubicarán cuatro celdas Peltier, constituidas cada una por un par de disipadores, un aislante térmico que se coloca entre la celda y el disipador, un ventilador en la parte donde se disipe calor para evitar un exceso de temperatura en la celda, y por último un ventilador dentro de la estructura cubica, para que circule un flujo de aire rotatorio sobre los disipadores de enfriamiento.

Los parámetros termoeléctricos que se medirán de la celda Peltier son los siguientes: Voltaje de entrada que inyectamos, la intensidad eléctrica que absorbe y por último la temperatura a la cual están sometidos según los polos termoeléctricos.

Abstract

The objective of this project is to characterize the temperature in cubic spaces through the Peltier effect, study the operation of a thermoelectric cell, characterize the cell and determine its main parameters, analyze its qualities as a thermal device.

The characterization is related to the physical principle of thermoelectricity, with the parameters of the Peltier device; like the electric current and the voltage. It was validated with data in experimental tests in different cubic spaces with double scaling.

To carry out the acquisition of data, a platinum resistance temperature detector is used in order to obtain the physical magnitude in the temperature ratio of the distance unit, that is, to observe the behavior of the gradient of temperature in cubic spaces.

Therefore, this data is monitored by an interface in MATLAB connected in turn by an Arduino data acquisition card. Previously a cooling structure will have been designed where four cells will be located, each one constituted by a dissipator, a thermal insulator that is inserted between the cell and the dissipator, a fan in the part where heat is dissipated to avoid an excess of temperature in the cell, and finally a fan inside the cubic structure, so that a flow of air circulates on the cooling dissipaters.

The thermoelectric parameters that can be measured in the cell are the following: Input voltage that is injected, the electrical intensity that it absorbs and finally the temperature and the quality of the characteristics of the thermoelectric poles.

Índice general

Dedicatoria	ii
Agradecimientos.....	iii
Resumen	iv
Abstract	v
Índice de figuras	ix
Índice de tablas	xi
Capítulo 1. Planteamiento del problema	1
1.1 Definición del problema.....	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Hipótesis del trabajo.....	2
1.4 Justificación	2
1.5 Metodología por utilizar	3
1.6 Antecedentes	3
1.7 Estado del arte	6
Capítulo 2. Fundamento teórico	7
2.1 Gradiente de temperatura	7
2.2 Transferencia de calor	7

2.2.1 Conducción.....	7
2.2.2 Convección.....	8
2.2.3 Radiación.....	8
2.3 Efectos termoeléctricos.....	8
2.3.1 Efecto Seebeck.....	8
2.3.2 Efecto Peltier.....	9
2.3.3 Efecto Thomson.....	9
2.4 Celdas Peltier.....	9
Capítulo 3. Materiales y procedimientos.....	11
3.1 Materiales.....	11
3.1.1 Enfriadores termoeléctricos.....	11
3.1.2 Disipación térmica dentro y fuera de la cámara.....	12
3.1.3 Procesamiento de señales.....	13
3.2 Procedimientos.....	15
Capítulo 4. Resultados.....	16
4.1 Parámetros establecidos.....	16
4.2 Datos recopilados.....	17
4.3 Análisis de resultados.....	27
4.3.1 Análisis matemáticos.....	27
4.4 Recomendaciones.....	29

4.5 Conclusiones.....	29
Capítulo 5. Fuentes de información.....	31
Capítulo 6. Anexos	33
6.1 Programación en Arduino	33
6.2 Programación de MATLAB	35
6.3 Hoja de datos, elemento Peltier 12706	36
6.3.1 Celda Peltier TEC-12706	38
6.4 TH100PT.....	39
6.5 Espacios cúbicos	40
6.5.1 Cubo 8000 cm ³	40
6.5.2 Cubo 4000 cm ³	41
6.5.3 Cubo 2000 cm ³	42
6.6 Muestreo tomado cada minuto.....	43

Índice de figuras

Figura 3.1. Elemento TEC-12706.....	11
Figura 3.2. Modelo, sin cortes a los lados, del cubo de acrílico usado.....	12
Figura 3.3. Disipador cooler master hyper 212 / ventilador de DC brushless usado para los disipadores de 4x4 cm.....	13
Figura 3.4. Sensor de temperatura TH100PT de la compañía Thorlabs, circuito de acondicionamiento de señal al arduino MAX31865.....	14
Figura 3.5. Módulo shield para Arduino.....	14
Figura 3.6. Conexión de una celda Peltier	15
Figura 4.1 Triangulo de la ley de Ohm	16
Figura 4.2 Curvas de alcance logradas con una celda Peltier en un espacio de 2000cm ³	22
Figura 4.3 Curvas de alcance logradas con dos celdas Peltier en un espacio de 2000cm ³	23
Figura 4.4 Curvas de alcance logradas con tres celdas Peltier en un espacio de 2000cm ³	23
Figura 4.5 Curvas de alcance logradas con una celda Peltier en un espacio de 4000cm ³	24
Figura 4.6 Curvas de alcance logradas con dos celdas Peltier en un espacio de 4000cm ³	24
Figura 4.7 Curvas de alcance logradas con tres celdas Peltier en un espacio de 4000cm ³	25

Figura 4.8	Curvas de alcance logradas con una celda Peltier en un espacio de 8000cm ³	25
Figura 4.9	Curvas de alcance logradas con dos celdas Peltier en un espacio de 8000cm ³	26
Figura 4.10	Curvas de alcance logradas con tres celdas Peltier en un espacio de 8000cm ³	26

Índice de tablas

Tabla 4.2 Datos recopilados con una celda Peltier en un espacio de 2000cm ³	17
Tabla 4.3 Datos recopilados con dos celdas Peltier en un espacio de 2000cm ³	18
Tabla 4.4 Datos recopilados con tres celdas Peltier en un espacio de 2000cm ³	18
Tabla 4.5 Datos recopilados con una celda Peltier en un espacio de 4000cm ³	19
Tabla 4.6 Datos recopilados con dos celdas Peltier en un espacio de 4000cm ³	19
Tabla 4.7 Datos recopilados con tres celdas Peltier en un espacio de 4000cm ³	20
Tabla 4.8 Datos recopilados con una celda Peltier en un espacio de 8000cm ³	20
Tabla 4.9 Datos recopilados con dos celdas Peltier en un espacio de 8000cm ³	21
Tabla 4. 10 Datos recopilados con tres celdas Peltier en un espacio de 8000cm ³	21
Tabla 6. 1. C20001	43
Tabla 6.2. C20002	44
Tabla 6. 3. C20003	45
Tabla 6.4. C40001	46
Tabla 6.5. C40002	48
Tabla 6. 6. C40003	49
Tabla 6. 7. 80001.....	50
Tabla 6.8. 80002.....	52
Tabla 6.9. 80003.....	54

Capítulo 1. Planteamiento del problema

1.1 Definición del problema

El control de la temperatura es muy buscado cuando se habla de sistemas ópticos, ya que sus parámetros a menudo muestran dependencia de la temperatura, ejemplos de estos incluyen láseres de diodo, sistemas de multiplexación, amplificadores ópticos y filtros, todos los cuales tienen una alta sensibilidad a la temperatura.

Los controladores de temperatura son instrumentos que en la actualidad son utilizados para poder regular el estado térmico dentro de algún proceso en el cual la temperatura sea un factor primordial para el resultado exitoso de un proceso industrial. Se ha intentado mejorar el rendimiento para regular con precisión la temperatura sin la participación continua de un operador, sin embargo, costear este tipo de instrumentos resulta un tanto difícil.

En relación a este enigma, se ha relacionado con la siguiente pregunta. ¿Es posible controlar la temperatura en espacios cúbicos controlados utilizando celdas Peltier?

Para esto se ha propuesto realizar una investigación sobre el comportamiento del gradiente de temperatura utilizando celdas Peltier en espacios controlados, con la finalidad de observar el comportamiento de la temperatura en distintos puntos y el tiempo de alcance que emplea una o más celdas.

Se visualizará el parámetro de temperatura a través de una interfaz de usuario, teniendo como elemento de control una fuente de alimentación que proporcione valores de voltaje y corriente necesarios, para en un futuro diseñar espacios controlados específicos para dispositivos optoelectrónicos con un número de celdas Peltier precisas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un diseño electrónico de acondicionamiento de señal proveniente del sensor de temperatura.

1.2.2 Objetivos específicos

- Construir espacios cúbicos con escalamiento doble.
- Desarrollar un diseño electrónico de acondicionamiento de señal proveniente del sensor de temperatura.
- Desarrollar la interfaz de usuario que permita la visualización de los datos obtenidos por el sensor temperatura.
- Caracterización de los diferentes parámetros:
 - Temperatura
 - Espacio cúbico
 - Tiempo de alcance

1.3 Hipótesis del trabajo

El incremento del gradiente de temperatura en un espacio controlado será lineal dependiendo del escalamiento del mismo espacio.

1.4 Justificación

Los datos obtenidos contribuirán a futuras investigaciones que involucren volumen, temperatura y tiempo en determinados espacios, para regular el estado térmico dentro de algún proceso, ayudando al usuario a establecer un número de celdas precisas a aplicar.

1.5 Metodología por utilizar

Como soporte conceptual se desarrollarán espacios cúbicos controlados con escalamiento volumétrico doble y precedentemente se caracterizarán las celdas Peltier encargadas de transferir los cambios de temperatura en el espacio, con el fin de obtener la sensibilidad de estas.

En el proceso de la investigación se caracterizará el sensor de temperatura en función del voltaje, para obtener la resolución y conocer su comportamiento para monitorear en el espacio cúbico.

En las diferentes etapas se procederá a construir un diseño electrónico que será capaz de acondicionar la señal a un interfaz de usuario.

Caracterizar el tiempo de alcance de la temperatura deseada por el usuario.

Acoplar todo el sistema de monitoreo del sensor de temperatura, utilizando celdas Peltier para la retroalimentación, para saber cuántas de estas se manipularán en función al tiempo y a distintas corrientes

1.6 Antecedentes

La temperatura es una magnitud con cierto grado de complejidad al ser explicada, puesto que cada ser humano cuenta con una percepción intuitiva que depende de nuestros sentidos, por lo que es poco precisa. Aunada a la temperatura, están las sensaciones de frío y calor, y para que estas pudieran llegar a ser una magnitud medible transcurrió mucho tiempo. (Picquart & Carrasco Morales, 2017)

Galileo Galilei (1564 – 1642) en 1597 construyó, en Padua, un termoscopio con propiedades, también, de barómetro, por lo que se le denominó termobaroscopio. Consistía en una bola de vidrio con aire de cuya parte inferior descendía un tubo con agua que terminaba en otro recipiente con agua, que después fue sustituida por una mezcla de alcohol y agua. El nivel de la mezcla de alcohol y agua en el

termoscopio subía o bajaba dependiendo si el aire de la bola de vidrio se calentaba o enfriaba.

En 1645, Fernando II de Médicis (1610 – 1670) ayudado de un esmaltador, construyó un tubo de vidrio independiente de la presión exterior, por lo que estaba sellado por sus extremos, estaba lleno de alcohol y bolas de vidrio con diferentes pesos; si la temperatura variaba también lo hacía la densidad del alcohol, por lo que cambiaba el estado de flotación de las bolas de vidrio y la altura en la que estaban en el interior del tubo. Este termómetro es conocido como termómetro de Galilei.

Daniel Gabriel Fahrenheit (1686 – 1736) es el inventor del actual termómetro de mercurio (1724). Introdujo la escala de temperaturas que lleva su nombre, en 1709, que estaba basada en puntos fijos, colocando 0° a mezcla de hielo sal y cloruro amónico, la temperatura del cuerpo humano le fue asignado el valor de 96°. En esta escala el punto de solidificación del agua le correspondía el valor de 32°, y el punto de ebullición correspondía a 212°.

Anders Celsius (1701 – 1744) en 1741 propuso una escala centígrada en su publicación “Observaciones sobre dos grados persistentes en un termómetro”. Esta escala tomaba como puntos fijos el de solidificación del agua 0° y el de ebullición 100°.

El físico y médico alemán Thomas Johan Seebeck, en 1821 descubrió que cuando unía una placa de cobre y otra de bismuto para formar un circuito, se producía una corriente eléctrica cuando calentaba una de las uniones con la mano. Fenómeno conocido como termoelectricidad. (Velasco Maillo & Fernández Pineda, 2005)

En 1842, Lord Kelvin creó un circuito frigorífico hermético basado en la absorción del calor a través de un gas refrigerante basándose en 3 principios:

- El calor se transmite de la temperatura más alta a la más baja.
- El cambio de estado del líquido a gas absorbe calor.
- La presión y la temperatura están directamente relacionadas.

A mediados del XVII, Robert Boyle descubrió las dos primeras leyes que manejan el concepto de temperatura:

- En los gases encerrados a temperatura ambiente constante, el producto de la presión a que se someten por el volumen que adquieren permanece constante.
- La temperatura de ebullición disminuye con la presión

Después se descubrió la ley del equilibrio térmico que consta en que todos los cuerpos expuestos a las mismas condiciones de calor o de frío alcanzan la misma temperatura introduciendo por primera vez la diferencia clara entre calor y temperatura.

Willis Carrier, en 1902 sentó las bases del moderno aire acondicionado y desarrolló el concepto de climatización. En 1921 patentó el primer método para acondicionar aire en grandes espacios mediante la máquina de refrigeración centrífuga.

En 1967 se estableció la temperatura del punto triple del agua como único punto fijo para la definición de la escala absoluta de temperaturas, denominada Kelvin, teniendo el punto fijo a $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ó $0\text{ }^{\circ}\text{K}$.

A la temperatura del cero absoluto no existe ningún tipo de movimiento y no se puede sacar calor. Es la temperatura más baja posible y todo el movimiento atómico y molecular se detiene. Todos los objetos tienen una temperatura más alta que el cero absoluto y por lo tanto pueden emitir energía térmica o calor.

En 1970, las unidades de aire acondicionado central se habían desarrollado. Estas piezas, más pequeñas en tamaño que las industriales, incorporaban un condensador, bobinas y un ventilador para obtener aire natural, pasarlo a través de las bobinas y por el interior del sistema de ventilación de la vivienda. Hacia 1970, las unidades utilizaban freón fabricado por la Dupont como agente refrigerante. Durante finales de 1980 y principios de 1990, las marcas de Honeywell y Carrier desarrollaron refrigerantes que no dañaban la capa de ozono para sustituir al freón.

En estos casos los equipos de aire acondicionados eran regulados a una temperatura en específico, pero no eran controlados.

Sin el control exacto de temperatura y humedad, los microprocesadores, circuitos integrados y la electrónica de alta tecnología no podrían ser producidos. (Maldonado Silvestre, 2014)

1.7 Estado del arte

En el 2007 se realizó la construcción de una cámara de temperatura controlada, basada en un enfriador de vórtice, siendo esta capaz de funcionar entre temperatura ambiente y $-42\text{ }^{\circ}\text{C}$, utilizando gas comprimido seco (a 100 PSI y 8 CFM) y partes disponibles comercialmente, como la espuma de poliestireno utilizada para hacer la cámara. Teniendo como característica principal un impacto ambiental mínimo al usar como refrigerante aire comprimido, no generando vibraciones mecánicas ni ruidos eléctricos.

El aire comprimido se alimenta transversalmente a un tubo hueco configurando un patrón de flujo de vórtice, con una obstrucción cónica. El flujo de aire (caliente) en el radio exterior del tubo puede escapar, mientras el flujo de aire (frio) en el radio interior del tubo se invierte y sale por el extremo opuesto. Teniendo como resultado que al aumentar la presión del aire de entrada aumentará el rendimiento de enfriamiento. (Kridler & Nguyen, 2007)

En la universidad Politécnica de Virginia se desarrolló una cámara de ambiente de temperatura controlada accionada por un refrigerador termoeléctrico para el control de la temperatura en dispositivos ópticos. En el cual se usó una celda Peltier con un generador de señales, el cual estaba sintonizado a un controlador PID el cual asegura una respuesta rápida y estable del sistema, con compensaciones de error promedio menores al 0.5% para la señal del termistor utilizado. (Nuo Zhang, 2013)

Capítulo 2. Fundamento teórico

2.1 Gradiente de temperatura

El gradiente de temperatura se considera como la variación de temperatura por unidad de distancia, en el que existe una transferencia de energía.

2.2 Transferencia de calor

Siempre que existe un gradiente de temperatura en un sistema o siempre que dos cuerpos con diferentes temperaturas se ponen en contacto, se transfiere energía. A este proceso se conoce como transferencia de calor.

Se reconocen tres modos distintos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. En los tres procesos la temperatura del sistema es una variable que depende tanto de la posición como del tiempo t y por lo tanto un análisis matemático de esos procesos involucra ecuaciones diferenciales de varias variables.

2.2.1 Conducción

El calor fluye desde la región con mayor temperatura a la región con menor temperatura. La Ley de Fourier indica que potencia calorífica que se transfiere por conducción q_k es proporcional al gradiente de temperatura y al área a través de la cual se transfiere el calor, dada por la ecuación (2.1):

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx} \quad \text{Ec. 2.1}$$

Donde k es la conductividad térmica, cuando la temperatura aumenta con la posición el calor fluye hacia la región con menor temperatura, por eso el signo negativo (Kridler & Nguyen, 2007).

Cuando dos superficies conductoras están en contacto existe una resistencia adicional, resistencia de contacto. Ya que las superficies no son completamente

pulidas, en medio de estas existirá una capa de aire que provoca una caída de temperatura adicional.

2.2.2 Convección

La convección es el proceso de transferencia de calor que interviene cuando entran en contacto un fluido y un sólido. El fluido puede moverse sobre la superficie impulsado por una fuerza externa, convección forzada, o puede simplemente alejarse de la superficie impulsado por una diferencia de presiones, convección natural.

En ambos tipos de convección, actúan dos mecanismos: las moléculas de la superficie sólida transmiten energía cinética a las moléculas del fluido y el movimiento macroscópico de fracciones de fluido cuyas moléculas llevan el calor a regiones alejadas de la superficie que se encuentra a las temperaturas más bajas.

2.2.3 Radiación

La radiación térmica es energía emitida por la materia que se encuentra a una temperatura dada, se produce desde una fuente hacia afuera en todas direcciones (Kahan, 2002).

2.3 Efectos termoeléctricos

Involucran la relación entre corrientes eléctricas y voltajes contra transferencias de calor y temperatura.

2.3.1 Efecto Seebeck

El efecto Seebeck fue descubierto por el Físico estonio de origen alemán, Thomas Johan Seebeck, intentando establecer la conexión entre calor y electricidad llegó así a descubrir, en 1821, que uniendo una lámina de cobre con otra de bismuto, en un circuito cerrado, al calentar una de las uniones se genera una corriente eléctrica que fluye por el circuito en tanto persista la diferencia de temperatura, fenómeno que se utiliza aún para el diseño de dispositivos que permiten realizar mediciones

de temperatura con una gran sensibilidad y precisión (termopar), así como para generar energía eléctrica.

La cantidad de electricidad producida dependerá de los dos metales elegidos y también de la diferencia de temperatura entre la unión de ambos y los extremos libres (Universidad Tecnológica de la Mixteca).

2.3.2 Efecto Peltier

Cuando se hace pasar una corriente por un circuito compuesto de materiales diferentes cuyas uniones están a la misma temperatura, se produce el efecto inverso al Seebeck, se absorbe calor en una unión y se desprende en la otra. La parte que se enfría suele estar cerca de los 25° C, mientras que la parte que absorbe calor puede alcanzar rápidamente los 80° C. Al invertir la polaridad de alimentación, se invierte también su funcionamiento; es decir: la superficie que antes generaba frío empieza a generar calor, y la que generaba calor empieza a generar frío (Blancarte Lizarraga, 2001).

2.3.3 Efecto Thomson

El efecto Thomson fue descubierto en 1854 por W. Thomson mientras estudiaba los efectos reversibles de Seebeck y Peltier, descubriendo a la vez un tercer efecto, que lleva su nombre, consiste en el cambio reversible de flujo de calor dentro de un conductor homogéneo que tiene un gradiente de temperatura cuando una corriente eléctrica pasa a través de él (Lindero Hernández, 2010).

2.4 Celdas Peltier

Una célula o celda Peltier mueve energía calorífica desde la placa fría a la placa caliente a través del control de la energía eléctrica proporcionada por una fuente de alimentación. Está conformada por dos materiales semiconductores, uno tipo P y otro tipo N: telurio de bismuto y seleniuro de antimonio.

La principal ventaja de utilizar celdas Peltier en los procesos de refrigeración es la posibilidad de crear un flujo térmico a partir de una corriente eléctrica de manera directa y eficiente, pues hace inútil el empleo de gases como el neón, que resultan perjudiciales para la capa de ozono (Rubio Ramírez, Martheyn Lizarazo, & Vera Duarte, 2017).

Capítulo 3. Materiales y procedimientos

En este capítulo se describirá brevemente los componentes principales y los métodos usados en el diseño y fabricación del dispositivo final.

3.1 Materiales

3.1.1 Enfriadores termoeléctricos

El enfoque de este proyecto en particular está en utilizar dispositivos termoeléctricos. En estos, la energía térmica se puede convertir en energía eléctrica como en un generador termoeléctrico (TEG) o viceversa.

Los dispositivos termoeléctricos, como dispositivos de estado sólido (TEC), tienen varios atributos como no tener partes móviles y esto proporciona al dispositivo una vida útil mucho más larga (Nuo Zhang, 2013). En la figura 3.1 se presenta una imagen de un elemento TEC.



Figura 3.1. Elemento TEC-12706

Se utilizaron 4 celdas Peltier o elementos TEC (12706) para el proceso de enfriamiento. Estas celdas están fabricadas en material cerámico, trabajan con una corriente máxima de 6.4 A y voltaje máximo de 16.4 V.

3.1.2 Disipación térmica dentro y fuera de la cámara

En cualquier sistema que genere calor es necesario un medio para dispersar tal calor, en este caso se utilizaron dentro y fuera del espacio utilizado, para extender el alcance del frío producido por uno de los lados de la celda Peltier y disipar el calor originado por el otro lado del elemento TEC. Se confeccionaron 3 cubos de acrílico con medidas diferentes: 12.6 cm (2000 cm³), 15.9 cm (4000 cm³) y 20 cm (8000 cm³), para poder obtener así mediciones en espacios con escalamiento volumétrico doble. Cada cubo consta de un corte rectangular de 7.1x4.6 cm, en 3 de sus lados, lo que permite la introducción de la celda Peltier con uno de sus disipadores, de igual manera cuenta con un orificio de 4 mm de diámetro en la tapa del cubo que permite al sensor estar dentro de la caja para hacer mediciones. En la figura 3.2 se observa una imagen de un espacio cúbico construido con material transparente.



Figura 3.2. Modelo, sin cortes a los lados, del cubo de acrílico usado

Para la disipación térmica se hizo uso de 2 diferentes tipos de disipadores: Disipador cooler master hyper 212 (para disipar el lado caliente de la celda) y un disipador de aluminio de 4x4 cm con su respectivo ventilador brushless de DC (para esparcir el frío dentro de la cámara de acrílico). En la figura 3.3 se presenta una imagen del disipador cooler master.

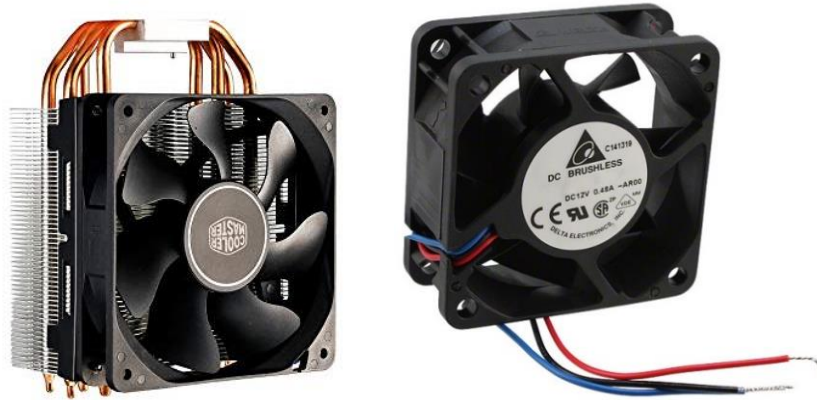


Figura 3.3. Disipador cooler master hyper 212 / ventilador de DC brushless usado para los disipadores de 4x4 cm

Para crear una conductividad máxima de superficie a superficie entre el elemento TEC y los disipadores, se utilizó la Pasta Térmica para CPU MANHATTAN ya que esta reduce las diferencias críticas que pueden minimizar la efectividad de la transferencia de calor.

3.1.3 Procesamiento de señales

La temperatura dentro del cubo de acrílico fue medida mediante un detector de temperatura de resistencia (DTR) TH100PT que es un sensor de temperatura que contiene una resistencia que cambia de valor a medida que cambia su temperatura. En este sensor, la resistencia es una pequeña franja de platino con una resistencia de 100Ω a $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Es más estable y preciso a comparación con la mayoría de los termistores NTC y PTC (ADAFRUIT, 2016). En la figura 3.4 se muestra la imagen del sensor de temperatura con circuito de acondicionamiento de señal MAX31865.

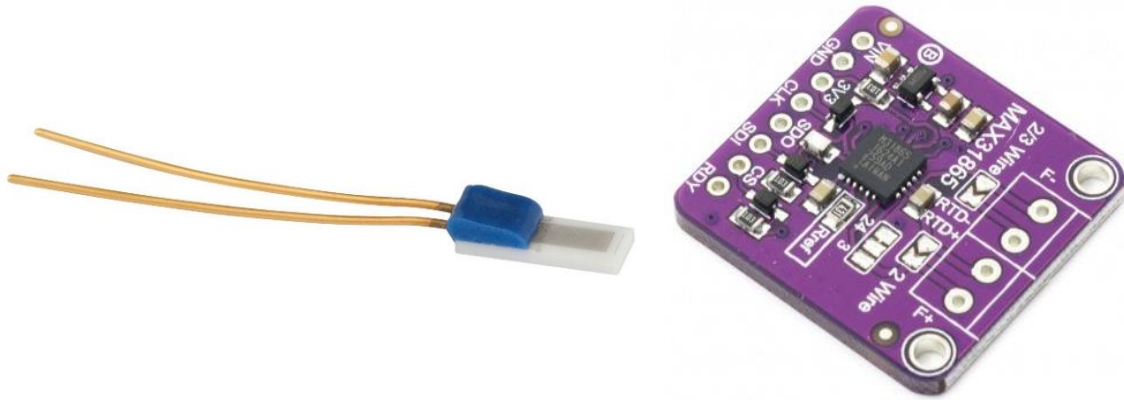


Figura 3.4. Sensor de temperatura TH100PT de la compañía Thorlabs, circuito de acondicionamiento de señal al arduino MAX31865

Para poder obtener la precisión deseada del DTR, también se empleó un amplificador especialmente diseñado para poder leer y compensar resistencias bajas de los cables de conexión, el MAX31865 (ADAFRUIT, 2016).

Como tarjeta de adquisición de datos para las mediciones obtenidas por el DTR, se usó un Arduino MEGA 2560, de igual manera permitió la conexión de un módulo shield de una pantalla táctil para tener una mejor visualización de la temperatura, que cuenta con un controlador LCD ILI9341, una resolución de 320x240 pixeles y 262.000 colores, de las siguientes dimensiones: 71 x 52 x 7 mm (Electrónica VM, 2015). En la figura 3.5 se presenta la imagen del módulo de visualización.



Figura 3.5. Módulo shield para Arduino

3.2 Procedimientos

El funcionamiento de una celda Peltier consiste en mover energía calorífica desde un lado hacia el otro de la celda, por lo que necesita disiparse el calor generado, y para poder tener una mejor disipación se utilizó pasta térmica para poder disminuir la resistencia al contacto de la celda.

Para simular un espacio hermético, cada uno de los cubos de acrílico fue forrado por dentro con una capa de foamy y después con papel aluminio y para lograr obtener una medición más exacta de la corriente suministrada a cada una de las celdas utilizadas, se emplearon fuentes independientes. En la figura 3.6 se presenta una imagen donde se observa la conexión de la fuente con el elemento TEC, disipador y módulo de visualización.



Figura 3.6. Conexión de una celda Peltier

Para la obtención de esos datos se cargó en la tarjeta de adquisición de datos un código que permite leer el sensor con la precisión proporcionada por el MAX31865 y de igual manera poder visualizar la temperatura en una pantalla táctil; para después mediante MATLAB poder graficar y guardar los datos obtenidos por el sensor, considerando como una muestra exitosa la que después de cierto tiempo mantenía valores estables.

Capítulo 4. Resultados

4.1 Parámetros establecidos

Las celdas Peltier demandan cierta cantidad de corriente eléctrica cuando están sometidas a una diferencia de temperatura. Para determinar la potencia que se puede extraer es necesario recurrir a ecuaciones de electrónica básica, y deducir como se obtuvieron ciertos parámetros. La ley de Ohm establece la directa proporcionalidad entre intensidad y voltaje, e indirecta proporcionalidad entre la intensidad y la resistencia de un material (Figura 4.1).



Figura 4.1 Triangulo de la ley de Ohm

Donde: I = Intensidad en Amperios(A), V = Diferencia de potencial en Voltios (V) y R = Resistencia en Ohmios (Ω)

Teniendo estos datos podemos calcular la potencia con la siguiente ecuación (4.1):

$$P = V * I \quad Ec. 4.1$$

Donde P es la potencia en Watts.

Teniendo como parámetros algunas corrientes en la gráfica en las curvas de desempeño de la hoja de datos de la celda Peltier 12706 Thermoelectric Cooler. (Anexo 6.3. Hoja de datos. Elemento Peltier 12706) y la fórmula para calcular la potencia, se obtuvo los datos que se presentan en la tabla 4.1.

Es importante saber que cada celda consume un amperaje diferente, por lo cual hay que cuidar según sea el voltaje aplicado, la corriente se mantenga estable y dentro de los parámetros. Se hizo variar la corriente, se midió el voltaje y se calculó la potencia.

Tabla 4.1. Parámetros de amperaje en la celda Peltier 12706.

Celdas	Voltaje (V)	Corriente (I)	Potencia (W)
1	1	0.375	4.5
	2	0.750	9
	3	1.125	13.5
	4	1.500	18
	5	1.875	22.5
	6	2.250	27
	7	2.625	31.5
	8	3.000	36
	9	3.375	40.5
	10	3.750	45
	11	4.125	49.5
	12	4.500	54

El comportamiento de la potencia es lineal, acorde a la ecuación (4.1).

4.2 Datos recopilados

Se realizaron 108 pruebas exitosas, en total, de las cuales se resumen en las siguientes tablas, teniendo como parámetros registrados el voltaje y corriente suministrado, la diferencia de temperatura alcanzada y el tiempo en que se logró ver la estabilidad de la temperatura.

Tabla 4.1 Datos recopilados con una celda Peltier en un espacio de 2000cm³

Gráfica	Celdas Peltier	V_{in}	Consumo de corriente (I)	°C	Volumen (cm³)	Tiempo de alcance (min)
C200011	1	1	0.30	1.25	2000	15
C200012	1	2	0.58	3.65	2000	24.5
C200013	1	3	0.88	4.56	2000	16
C200014	1	4	1.23	6.39	2000	20
C200015	1	5	1.55	7.43	2000	10.5
C200016	1	6	1.91	8.68	2000	7.5
C200017	1	7	2.32	9.74	2000	16
C200018	1	8	2.61	10.71	2000	12
C200019	1	9	2.98	11.43	2000	19.5
C2000110	1	10	3.24	12.2	2000	14.5
C2000111	1	11	3.58	13.08	2000	17
C2000112	1	12	3.87	14.39	2000	18.5

Tabla 4.2 Datos recopilados con dos celdas Peltier en un espacio de 2000cm³

Gráfica	Celdas Peltier	V _{in}	Consumo de corriente (l)			°C	Volumen (cm ³)	Tiempo de alcance (min)
C200021	2	1	0.35	0.33		5.04	2000	8
C200022	2	2	0.66	0.66		6.56	2000	6
C200023	2	3	1.08	0.97		8.82	2000	8
C200024	2	4	1.36	1.14		11.29	2000	9.5
C200025	2	5	1.80	1.64		12.33	2000	8
C200026	2	6	2.16	1.99		14.25	2000	16.5
C200027	2	7	2.53	2.31		15.67	2000	14
C200028	2	8	2.90	2.62		16.89	2000	12.5
C200029	2	9	3.27	2.93		18.33	2000	19.5
C2000210	2	10	3.6	3.34		19.11	2000	19
C2000211	2	11	4.02	3.58		20.35	2000	27
C2000212	2	12	4.34	3.86		21.16	2000	25.5

Tabla 4.3 Datos recopilados con tres celdas Peltier en un espacio de 2000cm³

Gráfica	Celdas Peltier	V _{in}	Consumo de corriente (l)			°C	Volumen (cm ³)	Tiempo de alcance (min)
C200031	3	1	0.34	0.30	0.31	7.54	2000	3
C200032	3	2	0.67	0.62	0.60	10.04	2000	10
C200033	3	3	1.05	0.98	0.92	12.17	2000	9.5
C200034	3	4	1.43	1.30	1.25	15.32	2000	9.5
C200035	3	5	1.77	1.65	1.58	16.07	2000	11
C200036	3	6	2.13	1.95	1.95	17.43	2000	10
C200037	3	7	2.49	2.29	2.28	18.84	2000	9
C200038	3	8	2.87	2.60	2.60	20.05	2000	11.5
C200039	3	9	3.22	2.92	2.94	21.06	2000	13
C2000310	3	10	3.55	3.22	3.28	21.83	2000	15.5
C2000311	3	11	3.89	3.55	3.60	22.78	2000	16.5
C2000312	3	12	4.34	3.88	4.03	23.35	2000	13

Tabla 4.4 Datos recopilados con una celda Peltier en un espacio de 4000cm³

Gráfica	Celdas Peltier	V _{in}	Consumo de corriente (l)		°C	Volumen (cm ³)	Tiempo de alcance (min)
C400011	1	1	0.40		0.71	4000	14.5
C400012	1	2	0.72		1.52	4000	15.5
C400013	1	3	1.11		3.65	4000	19.5
C400014	1	4	1.47		4.26	4000	11.5
C400015	1	5	1.86		5.20	4000	11.5
C400016	1	6	2.22		6.42	4000	13.5
C400017	1	7	2.57		7.74	4000	21.5
C400018	1	8	2.96		8.31	4000	34.5
C400019	1	9	3.33		9.06	4000	44
C4000110	1	10	3.50		10.24	4000	30
C4000111	1	11	4.01		11.15	4000	14.5
C4000112	1	12	4.34		12.24	4000	31.5

Tabla 4.5 Datos recopilados con dos celdas Peltier en un espacio de 4000cm³

Gráfica	Celdas Peltier	V _{in}	Consumo de corriente (l)		°C	Volumen (cm ³)	Tiempo de alcance (min)
C400021	2	1	0.36	0.31	2.98	4000	16.5
C400022	2	2	0.69	0.65	5.24	4000	9.5
C400023	2	3	1.05	1.00	6.77	4000	14
C400024	2	4	1.42	1.33	8.35	4000	13.5
C400025	2	5	1.81	1.66	9.16	4000	13.5
C400026	2	6	2.17	2.00	10.82	4000	15.5
C400027	2	7	2.51	2.35	11.89	4000	17.5
C400028	2	8	2.89	2.67	12.70	4000	11.5
C400029	2	9	3.25	2.97	13.38	4000	11.5
C4000210	2	10	3.63	3.31	14.53	4000	18.5
C4000211	2	11	3.98	3.63	15.93	4000	17.5
C4000212	2	12	4.32	3.91	16.65	4000	16

Tabla 4.6 Datos recopilados con tres celdas Peltier en un espacio de 4000cm³

Gráfica	Celdas Peltier	V _{in}	Consumo de corriente (l)			°C	Volumen (cm ³)	Tiempo de alcance (min)
C400031	3	1	0.34	0.32	0.32	6.09	4000	4
C400032	3	2	0.70	0.64	0.62	8.39	4000	11.5
C400033	3	3	1.02	0.98	0.96	11.26	4000	11
C400034	3	4	1.76	1.64	1.63	12.76	4000	11
C400035	3	5	1.76	1.64	1.64	14.86	4000	14.5
C400036	3	6	2.14	1.98	1.96	15.83	4000	10.5
C400037	3	7	2.50	2.33	2.31	16.64	4000	7.5
C400038	3	8	2.88	2.65	2.61	17.68	4000	10.5
C400039	3	9	3.23	2.96	2.99	18.27	4000	13.5
C4000310	3	10	3.58	3.33	3.33	19.01	4000	16.5
C4000311	3	11	3.94	3.58	3.61	20.42	4000	20
C4000312	3	12	4.30	3.87	3.92	21.16	4000	28

Tabla 4.7 Datos recopilados con una celda Peltier en un espacio de 8000cm³

Gráfica	Celdas Peltier	V _{in}	Consumo de corriente (l)			°C	Volumen (cm ³)	Tiempo de alcance (min)
C800011	1	1	0.32			0.47	8000	16.5
C800012	1	2	0.66			1.19	8000	9.5
C800013	1	3	1.01			1.76	8000	7.5
C800014	1	4	1.37			3.14	8000	48.5
C800015	1	5	1.78			4.66	8000	48.5
C800016	1	6	2.14			5.21	8000	46
C800017	1	7	2.45			5.95	8000	46
C800018	1	8	2.81			5.82	8000	48.5
C800019	1	9	3.18			6.66	8000	47
C8000110	1	10	3.55			6.83	8000	24.5
C8000111	1	11	3.95			7.17	8000	24.5
C8000112	1	12	4.33			9.32	8000	24

Tabla 4.8 Datos recopilados con dos celdas Peltier en un espacio de 8000cm³

Gráfica	Celdas Peltier	V _{in}	Consumo de corriente (l)			°C	Volumen (cm ³)	Tiempo de alcance (min)
C800021	2	1	0.35	0.32		1.86	8000	15
C800022	2	2	0.69	0.66		3.79	8000	24.5
C800023	2	3	1.02	0.96		4.26	8000	16
C800024	2	4	1.48	1.32		4.57	8000	15.5
C800025	2	5	1.77	1.60		6.29	8000	24
C800026	2	6	2.14	1.91		6.66	8000	24
C800027	2	7	2.62	2.33		7.57	8000	24
C800028	2	8	2.88	2.60		8.89	8000	23.5
C800029	2	9	3.39	2.94		9.82	8000	24.5
C8000210	2	10	3.60	3.20		10.37	8000	24
C8000211	2	11	3.99	3.52		11.24	8000	24.5
C8000212	2	12	4.33	3.78		12.02	8000	44.5

Tabla 4.9 Datos recopilados con tres celdas Peltier en un espacio de 8000cm³

Gráfica	Celdas Peltier	V _{in}	Consumo de corriente (l)			°C	Volumen (cm ³)	Tiempo de alcance (min)
C800031	3	1	0.36	0.32	0.32	2.47	8000	12.5
C800032	3	2	0.70	0.67	0.64	3.96	8000	16
C800033	3	3	1.07	1.00	0.96	5.37	8000	32.5
C800034	3	4	1.43	1.33	1.34	6.53	8000	39.5
C800035	3	5	1.82	1.65	1.63	7.16	8000	24.5
C800036	3	6	2.17	2.00	1.94	8.24	8000	24.5
C800037	3	7	2.54	2.32	2.31	9.63	8000	24.5
C800038	3	8	2.90	2.62	2.64	10.04	8000	23
C800039	3	9	3.30	2.93	2.84	11.38	8000	30
C8000310	3	10	3.49	3.37	3.23	13.34	8000	23
C8000311	3	11	3.86	3.73	3.52	15.16	8000	23
C8000312	3	12	4.18	4.05	3.84	16.41	8000	22.5

La comparación del descenso de la temperatura dependiendo del voltaje se logra observar en las siguientes graficas superpuestas.

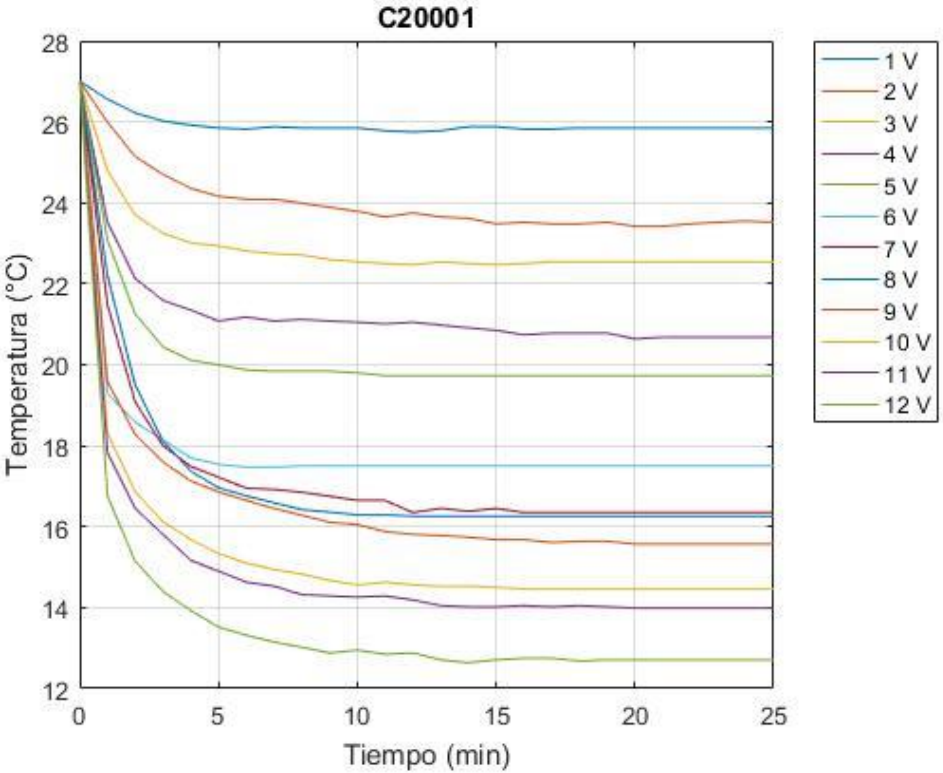


Figura 4.2 Curvas de alcance logradas con una celda Peltier en un espacio de 2000cm³

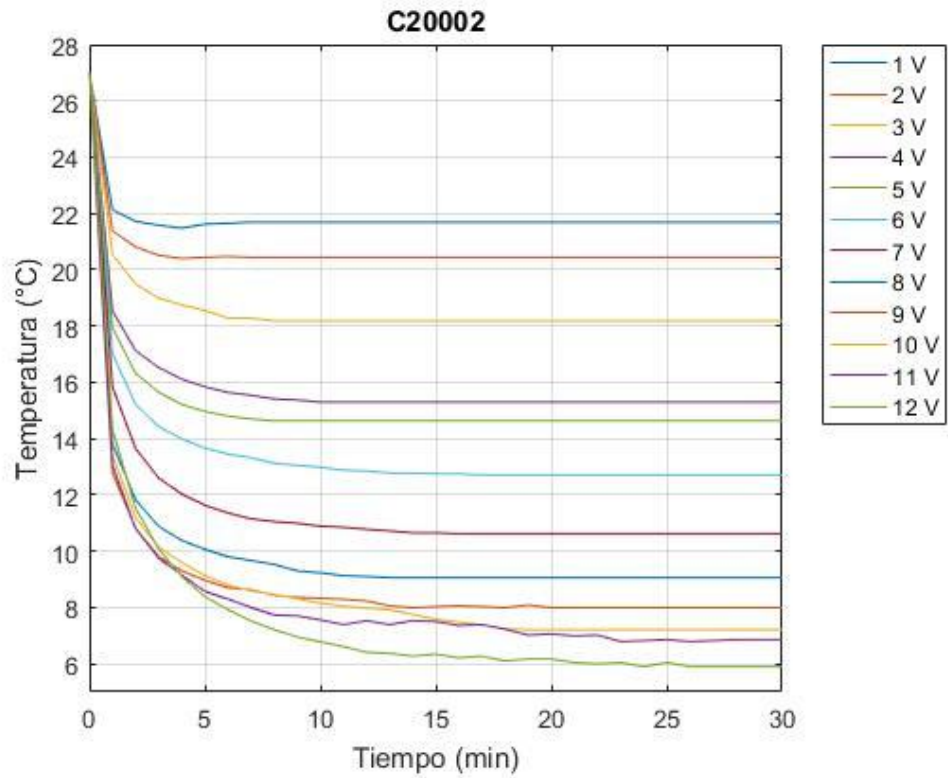


Figura 4.3 Curvas de alcance logradas con dos celdas Peltier en un espacio de 2000cm³

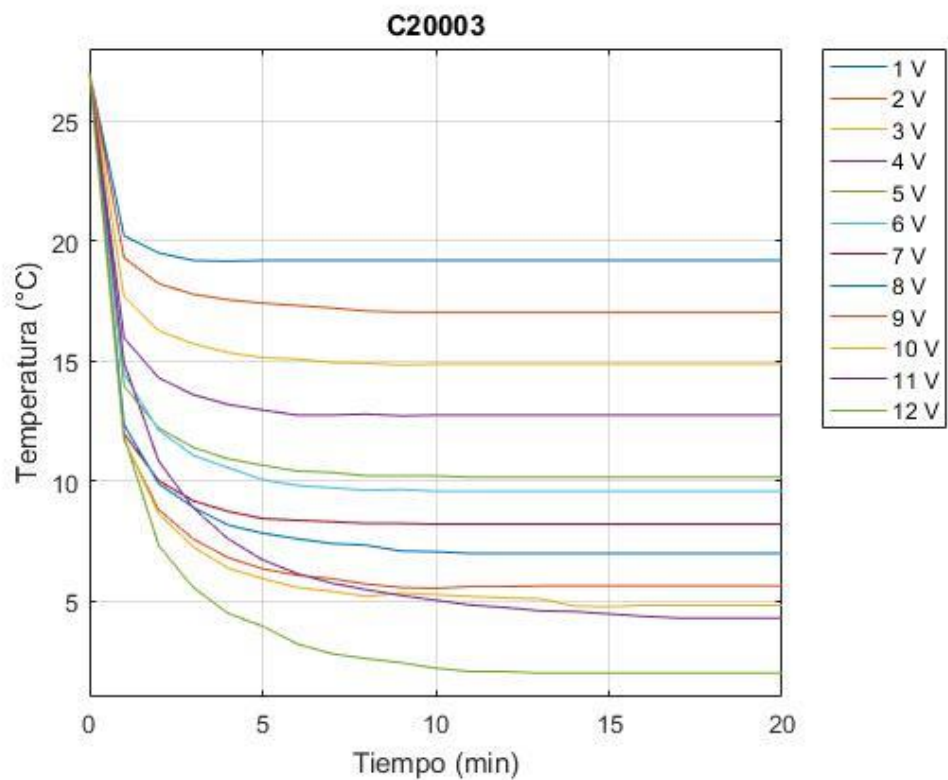


Figura 4.4 Curvas de alcance logradas con tres celdas Peltier en un espacio de 2000cm³

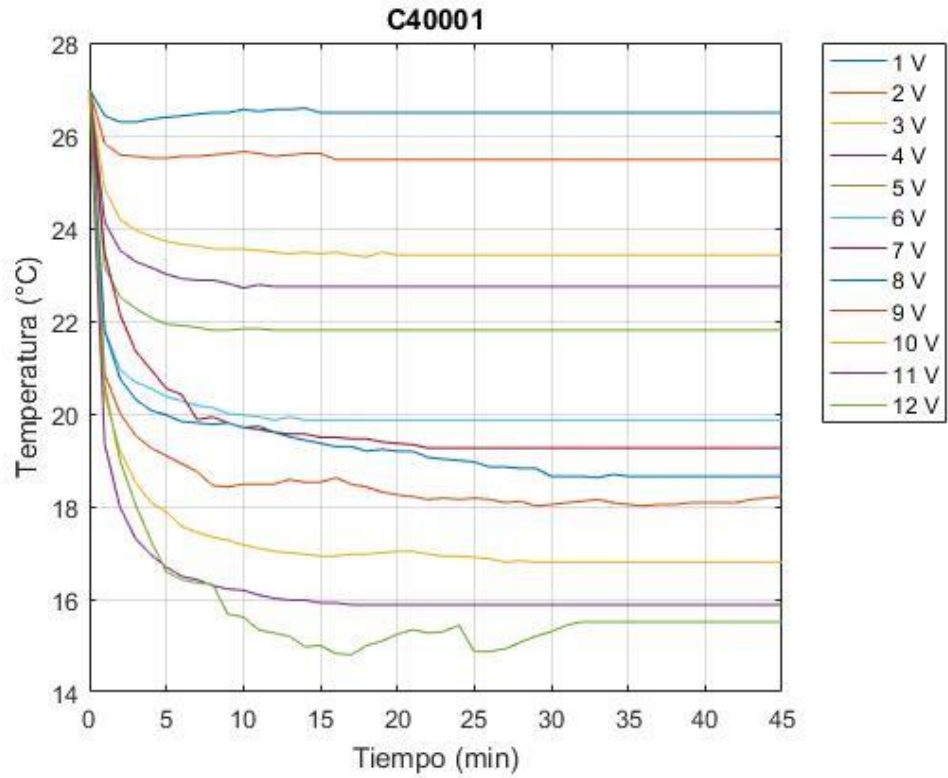


Figura 4.5 Curvas de alcance logradas con una celda Peltier en un espacio de 4000cm³

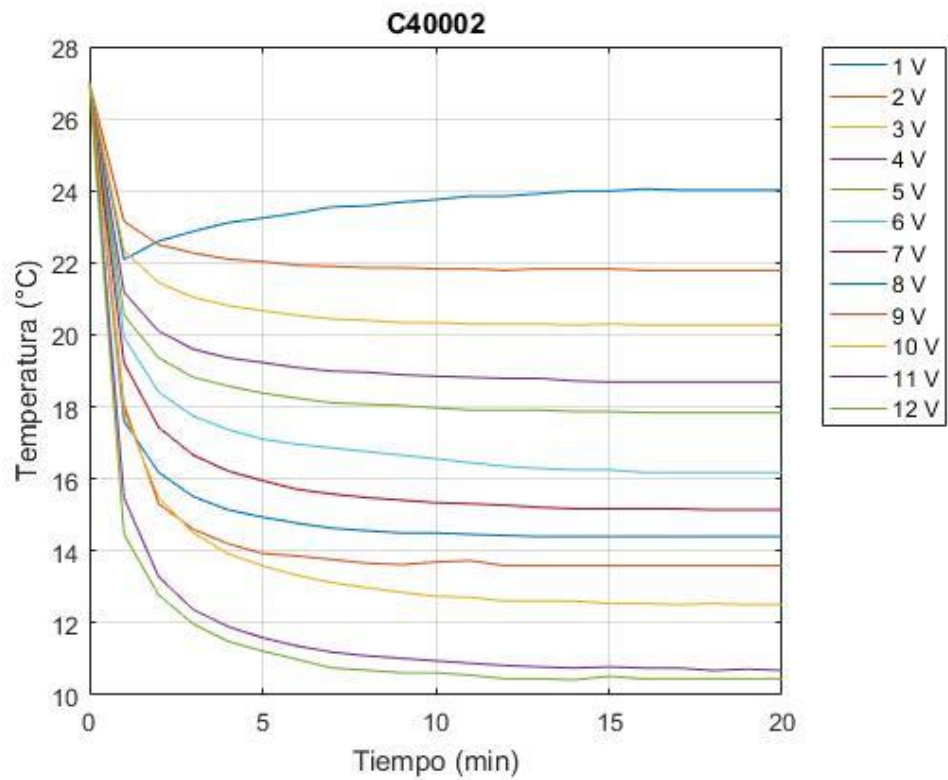


Figura 4.6 Curvas de alcance logradas con dos celdas Peltier en un espacio de 4000cm³

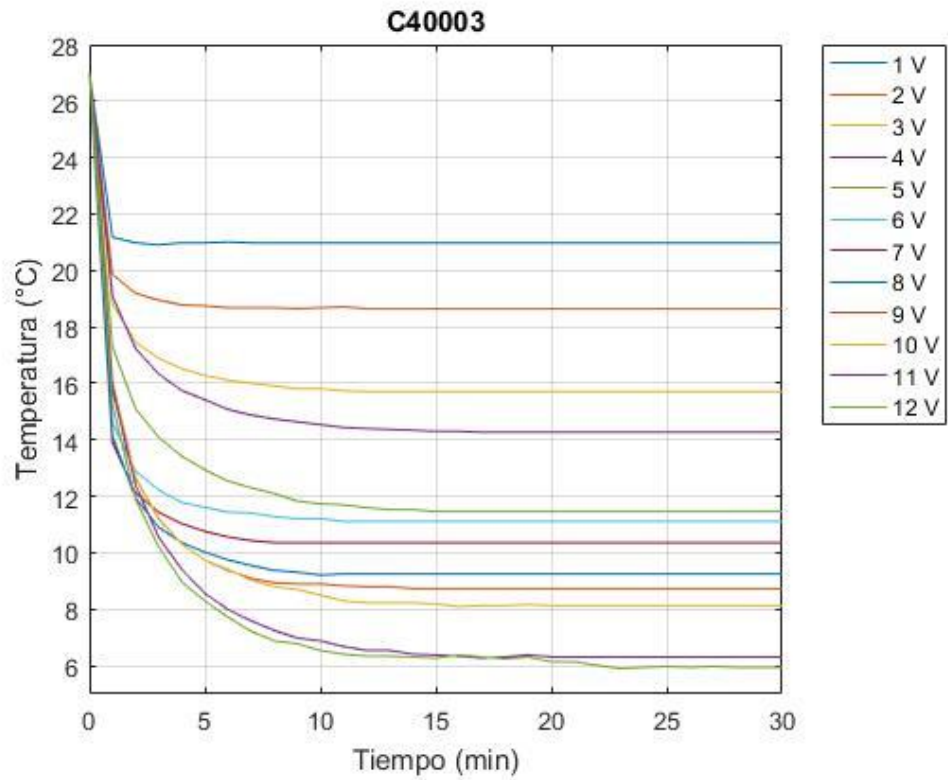


Figura 4.7 Curvas de alcance logradas con tres celdas Peltier en un espacio de 4000cm³

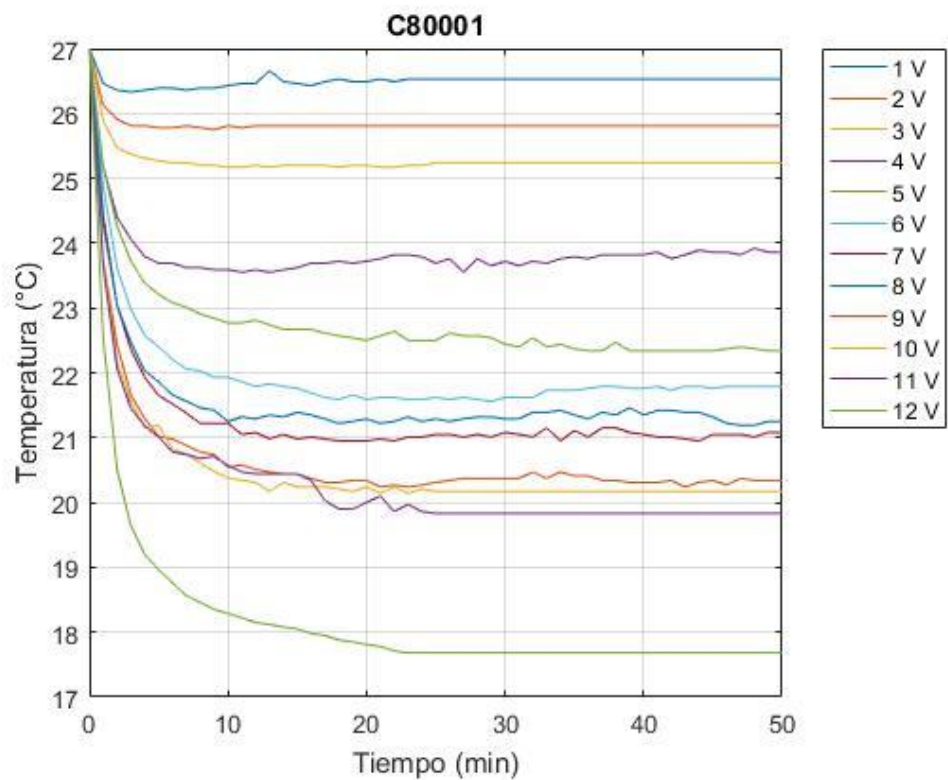


Figura 4.8 Curvas de alcance logradas con una celda Peltier en un espacio de 8000cm³

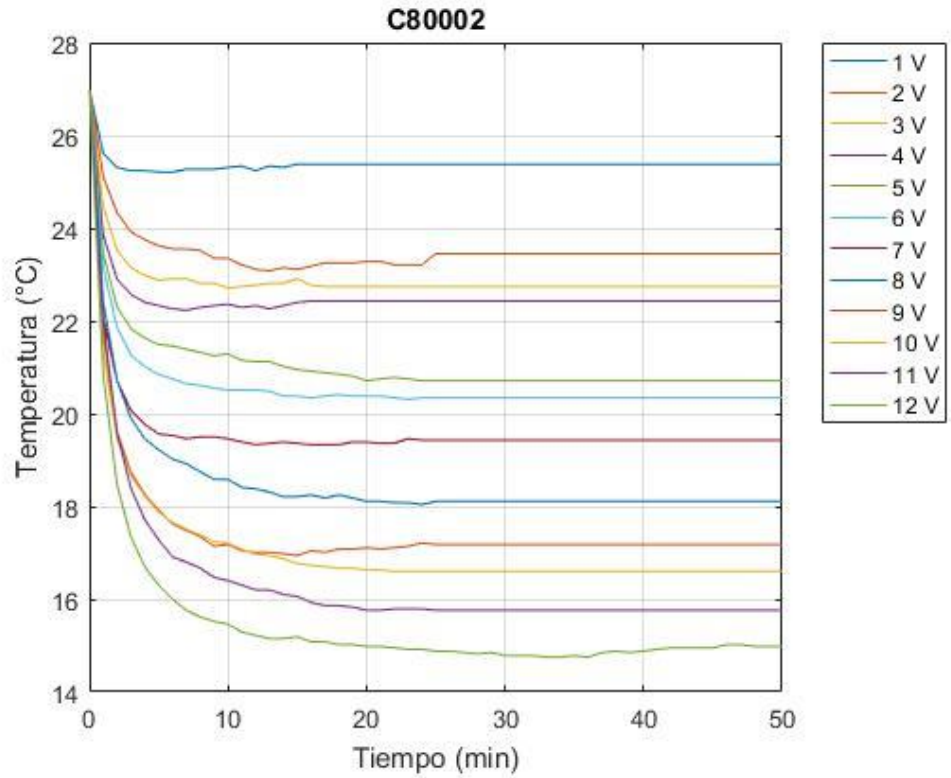


Figura 4.9 Curvas de alcance logradas con dos celdas Peltier en un espacio de 8000cm³

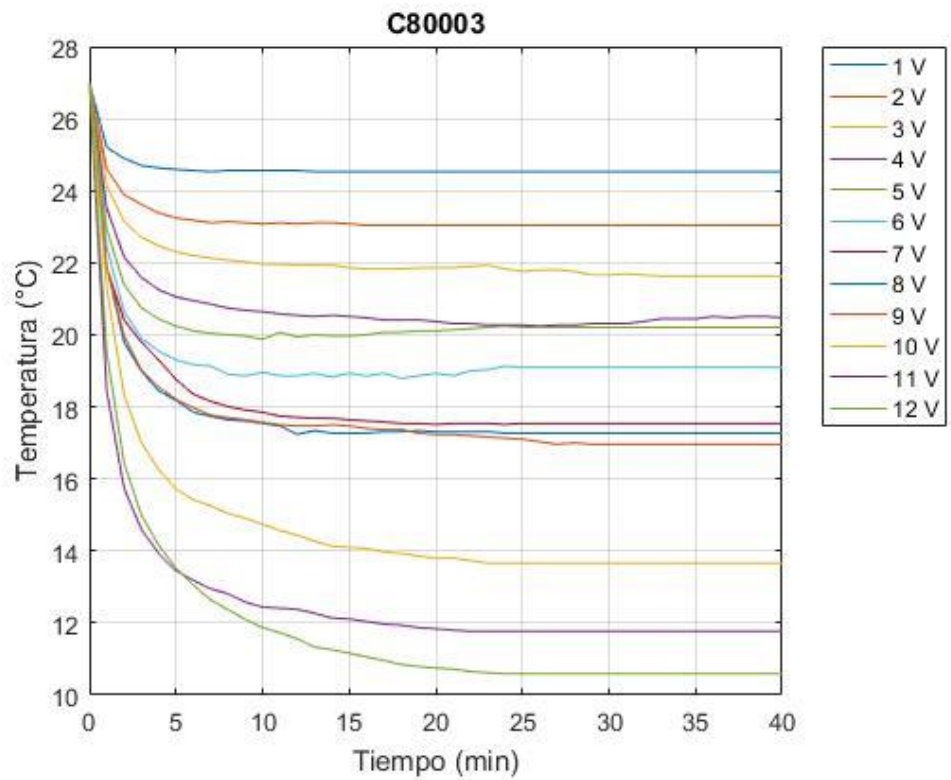


Figura 4.10 Curvas de alcance logradas con tres celdas Peltier en un espacio de 8000cm³

4.3 Análisis de resultados

Para analizar un dispositivo termoeléctrico, es esencial conocer fundamentos físicos y matemáticos bajo los cuales estos pertenecen. Para esto, analizaremos la transferencia de calor del elemento Peltier, ya que para todo gradiente de temperatura existe el intercambio de calor de energía interna de sistemas implicados, de acuerdo con la primera ley de la Termodinámica.

Es necesario recordar, como se ha mencionado antes, la transferencia de calor es el proceso de propagación del calor en distintos medios, existen distintos mecanismos tales como; conducción, convección y radiación.

Para nuestro caso, considerando nuestro elemento termoeléctrico como un sólido. Por lo tanto, examinaremos la transferencia de calor por medio de la conducción.

4.3.1 Análisis matemáticos

La conducción de calor es una propiedad de los materiales cuando dos elementos se encuentran a distinta temperatura y al mismo tiempo en contacto directo, que fluye del lado con más calor temperatura al de menor temperatura.

Enunciamos entonces que la Ley de Fourier que describe el flujo de calor entre dos extremos en función a la diferencia de temperaturas (ΔT) y la resistencia térmica con la ecuación (4.2):

$$q = -kA \frac{dT}{dx} l \quad \text{Ec. 4.2}$$

Encontramos ciertas dimensiones en nuestro objeto, que están aisladas térmicamente, lo que nos acota a usar una ecuación unidireccional, es decir solo hay una transferencia de calor en una dirección, ecuación (4.3).

Teniendo:

$$\frac{q}{A} = -k \frac{dT}{dx} \quad \text{Ec. 4.3}$$

Donde

k = conductividad eléctrica

A = Área.

El flujo de calor es una constante por lo cual no depende de x , ni de la temperatura, entonces integramos la diferencias de temperatura y distancias, ecuación (4.4).

$$\frac{q}{A} \int_{X1}^{X2} dX = \int_{T1}^{T2} dT \quad \text{Ec. 4.4}$$

Dando como resultado la ecuación (4.5)

$$\frac{q}{A} (X2 - X1) = -K(T2 - T1) \quad \text{Ec. 4.5}$$

Pasamos dividiendo la diferencia de $X2 - X1$, ecuación (4.6)

$$\frac{q}{A} = -K \frac{T2-T1}{X2-X1} = -K \frac{\Delta T}{\Delta X} \quad \text{Ec. 4.6}$$

Y podemos sustituir.

Al final nos dará un número positivo, interpretando esto como que entre más avanza x , mayor es el flujo de calor

Los materiales cerámicos pueden tener composiciones idéntica y estructuras cristalinas muy diferentes.

Conductividad térmica (K) = 0,320 W/m*k

4.4 Recomendaciones.

- -No exceda de I_{max} o V_{max} cuando módulo de funcionamiento.
- No usar las celdas más de 200.000 horas.
- Utilizar solo pasta térmica
- Cambiar la pasta constantemente
- Las pruebas tienden a tener un fracaso de 30%

4.5 Conclusiones

Para el desarrollo de la presente investigación se tuvieron como objeto de estudio 3 espacios cúbicos de diferentes medidas volumétricas, teniendo diferentes fuentes de alimentación proporcionadas por el área de posgrado en el laboratorio de Optomecatrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez; permitiendo la conexión de cada una de las celdas Peltier con sus respectivos disipadores, dando paso al cambio de temperatura dentro de los espacios específicos obteniendo las siguientes conclusiones:

- Se obtuvo los parámetros del consumo de corriente de cada celda termoeléctrica según el voltaje de entrada que se aplica.
- Se comprobó que la conducción de las celdas depende de la disipación que tenga cada una, determinando que el tamaño del disipador alcance a suministrar el calor y la pasta no sea sustituida por grasa térmica ya que esto hace que la corriente disminuya.
- Se comprobó que entre más corriente reciba la celda se genera más calor, definiendo que entre más calor obtenga la celda, el nivel de enfriamiento ira en aumento.
- Se obtuvo el algoritmo que relaciono la transferencia de calor, en los distintos espacios cúbicos.
- Se comprobó que el gradiente de temperatura es congruente si los espacios que se dispongan son de escalamiento lineal.

Pese haber cumplido mayormente los objetivos del proyecto, este mismo queda como seguimiento a distintas investigaciones, ya que muchas de las soluciones planteadas en este escrito son solo una de múltiples opciones que el campo de la investigación nos ofrece.

Capítulo 5. Fuentes de información

- ADAFRUIT. (15 de Noviembre de 2016). *Learn Adafruit*. Obtenido de Amplificador Adafruit MAX31865 RTD PT100 o PT1000: <https://learn.adafruit.com/adafruit-max31865-rtd-pt100-amplifier?view=all#>
- Blancarte Lizarraga, W. (28 de Septiembre de 2001). Efecto Peltier. *Capacitación para el control de procesos industriales*. Jalisco, México: Universidad Jesuita en Guadalajara.
- Electrónica VM. (5 de Marzo de 2015). *Electrónica de invierno*. Obtenido de TFT LCD Touch 2.4" Shield para Arduino UNO: <https://electronicavm.wordpress.com/2015/03/05/tft-lcd-touch-2-4-shield-para-arduino-uno/>
- Kahan, S. (2002). Transferencia de calor. Instituto de Física, Facultad de Ingeniería: Universidad de la Republica.
- Krider, J., & Nguyen, H. (2007). A Temperature-Controlled Chamber Based on Vortex Cooling. *FERMILAB-PUB-07-604-E*, 1-7.
- Lindero Hernández, M. (Mayo de 2010). Analisis de dispositivos termoelectricos en el marco dinamico de procesos irreversibles. (*Tesis de Maestría*). CDMX, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Maldonado Silvestre, E. (2014). Control de temperatura en instalaciones de distribución intermedia (IDF) de edificios inteligentes. (*Tesis de pregrado*). Ciudad Universitaria, México: Universidad Nacional Autonoma de México.
- Nuo Zhang, S. (6 de Mayo de 2013). Thermoelectric cooler based temperature controlled environment chamber design for application in optical systems. (*Degree of Masters*). Blacksburg, Virginia: Virginia Polytechnic Institute.
- Picquart, M., & Carrasco Morales, I. (2017). De la temperatura y su medición. *Latin-American Journal of Physics Education Vol. 11 N° 1*, 1310-1, 1310-2.

Rubio Ramírez, C., Martheyn Lizarazo, G., & Vera Duarte, E. (05 de Abril de 2017). Termoelectricidad: Uso de las celdas Peltier en el campo de la refrigeración y sus principales aplicaciones. Universidad Francisco de Paula Santander.

Shane K., M., & Duncan, M. (1996). Regulation of ram scrotal temperature during heat exposure, cold exposure, fever and exercise. *Journal of Physiology*, 241-430.

Universidad Tecnológica de la Mixteca. (s.f.). Efecto Seebeck & Peltier. Oaxaca, México.

Velasco Maillo, S., & Fernández Pineda, C. (2005). Un paseo por la historia de la termometría. *Revista Española de Física Vol. 19 N° 3*, 46 - 51.

Capítulo 6. Anexos

6.1 Programación en Arduino

```
//Librerias especificas necesarias
#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(22, 24, 26, 28);
#define RREF      430.0
#define RNOMINAL 100.0

//Permite que no se escriba sobre lo impreso
#define ADJ_BASELINE 0

//Colores en rgb565
#define DARKPINK    0x3003
#define ORANGE      0xFD20
#define GREENYELLOW 0xAFE5

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
```

```

//Fondo de la tft
tft.fillScreen (DARKPINK);
}

void loop()
{
//Imprimir en el puerto serial
uint16_t rtd = max.readRTD();
float ratio = rtd;
ratio /= 32768;
Serial.println (max.temperature (RNOMINAL, RREF));

//Imprimir en la tft
tft.setRotation (1);
tft.setTextColor (GREENYELLOW);
tft.setTextSize (4);
tft.setCursor (25, 50);
tft.println ("Temperatura");
tft.setTextColor (GREENYELLOW);
tft.setTextSize (4);
tft.setCursor (80, 100);
tft.println ("actual");
tft.setTextColor (ORANGE, DARKPINK);
tft.setTextSize (5);
tft.setCursor (80, 170 + ADJ_BASELINE);
tft.println (max.temperature (RNOMINAL, RREF));

delay (1000);
}

```

6.2 Programación de MATLAB

`%Limpia variables`

```
clear all;  
clc;
```

`%Inicializacion del puerto serial`

```
delete (instrfind({'Port'},{'COM4'}));  
pserial = serial ('COM4', 'BaudRate', 9600);  
fopen (pserial);
```

`%Datos de la grafica`

```
figure ('Name', 'Gráfica de valores obtenidos');  
title ('Temperatura actual');  
xlabel ('Tiempo');  
ylabel ('Temperatura');  
val = zeros (1, 10000);
```

`%Definicion de limites para la grafica`

```
for i = 1:10000  
    ylim ([4 28]);  
    xlim ([0 i]);  
    lectura = fscanf (pserial, '%f');  
    val (i) = lectura;  
    hold on  
    plot (i, val (i), 'k.');
```

`grid on`
`drawnow`

`end`

`%Cierre del uso del puerto serial`

```
fclose (pserial);  
delete (pserial);  
clear all;
```

6.3 Hoja de datos, elemento Peltier 12706



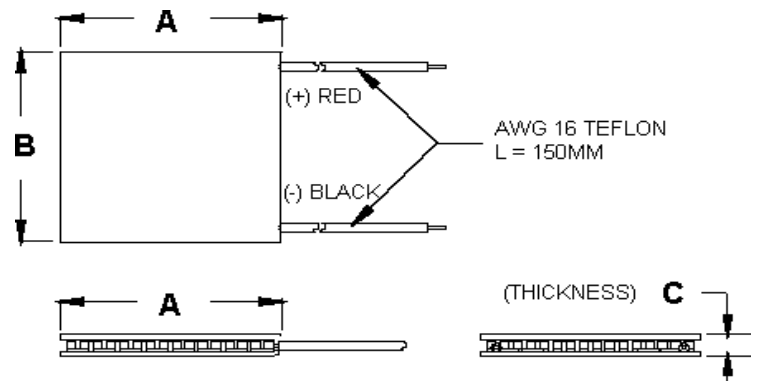
Hebei I.T. (Shanghai) Co., Ltd

Performance Specifications

Hot Side Temperature (° C)	25°C	50°C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (° C)	66	75
I _{max} (Amps)	6.4	6.4
V _{max} (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30



Ceramic Material: Alumina (Al₂O₃)
Solder Construction: 138° C, Bismuth Tin (BiSn)



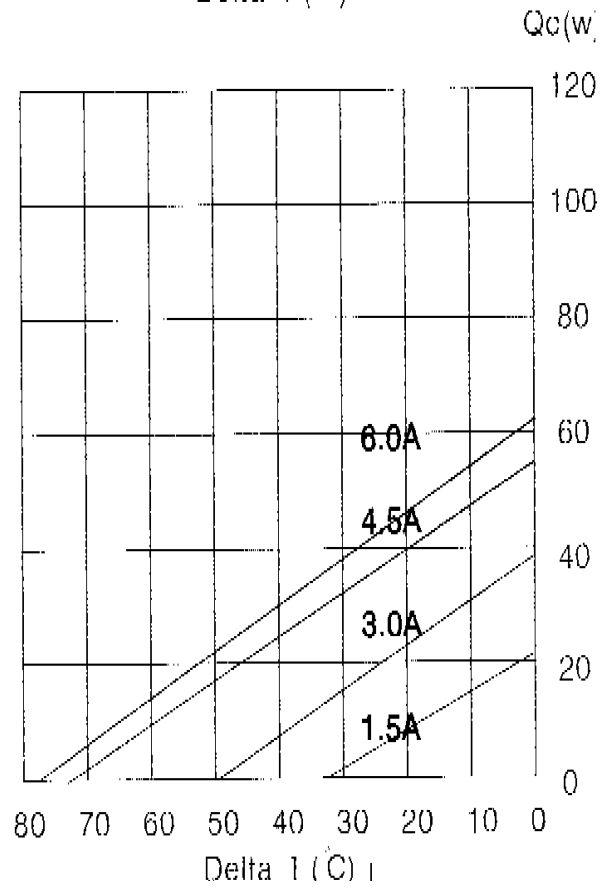
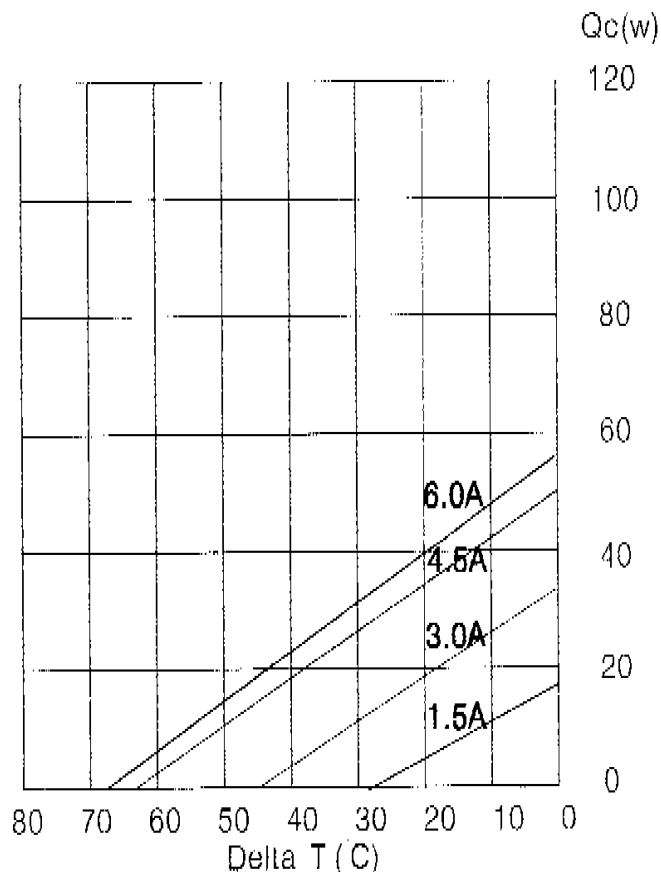
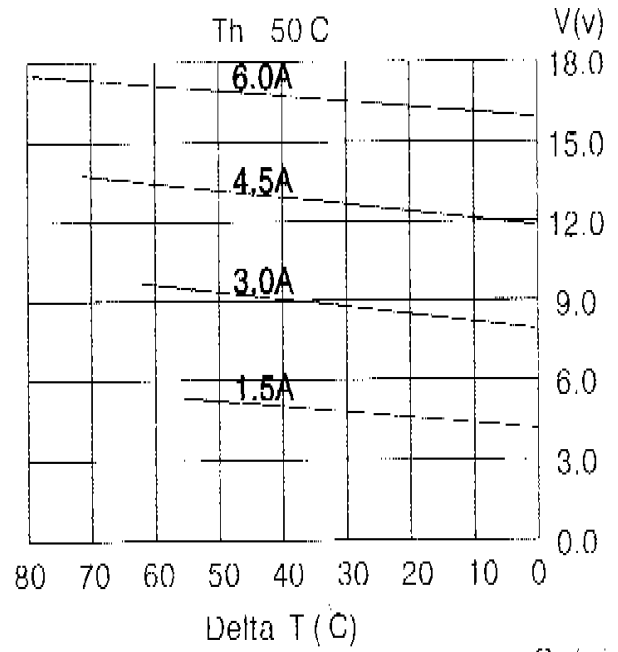
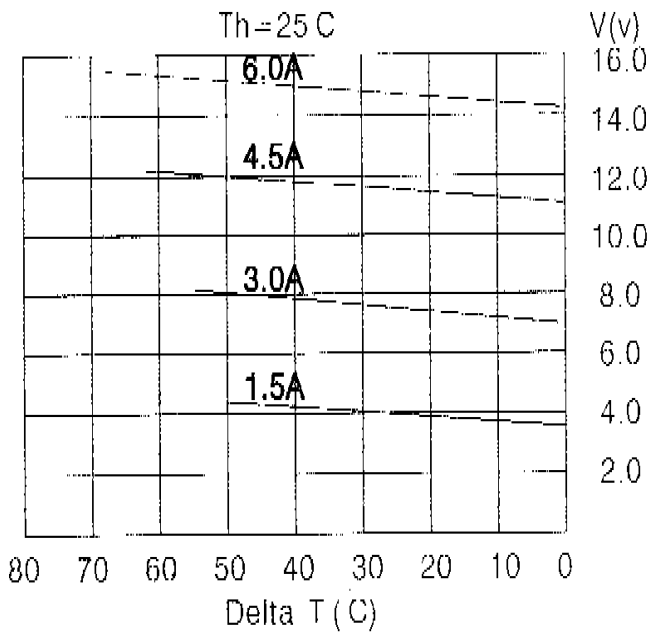
Size table:

A	B	C		
40	40	3.9		

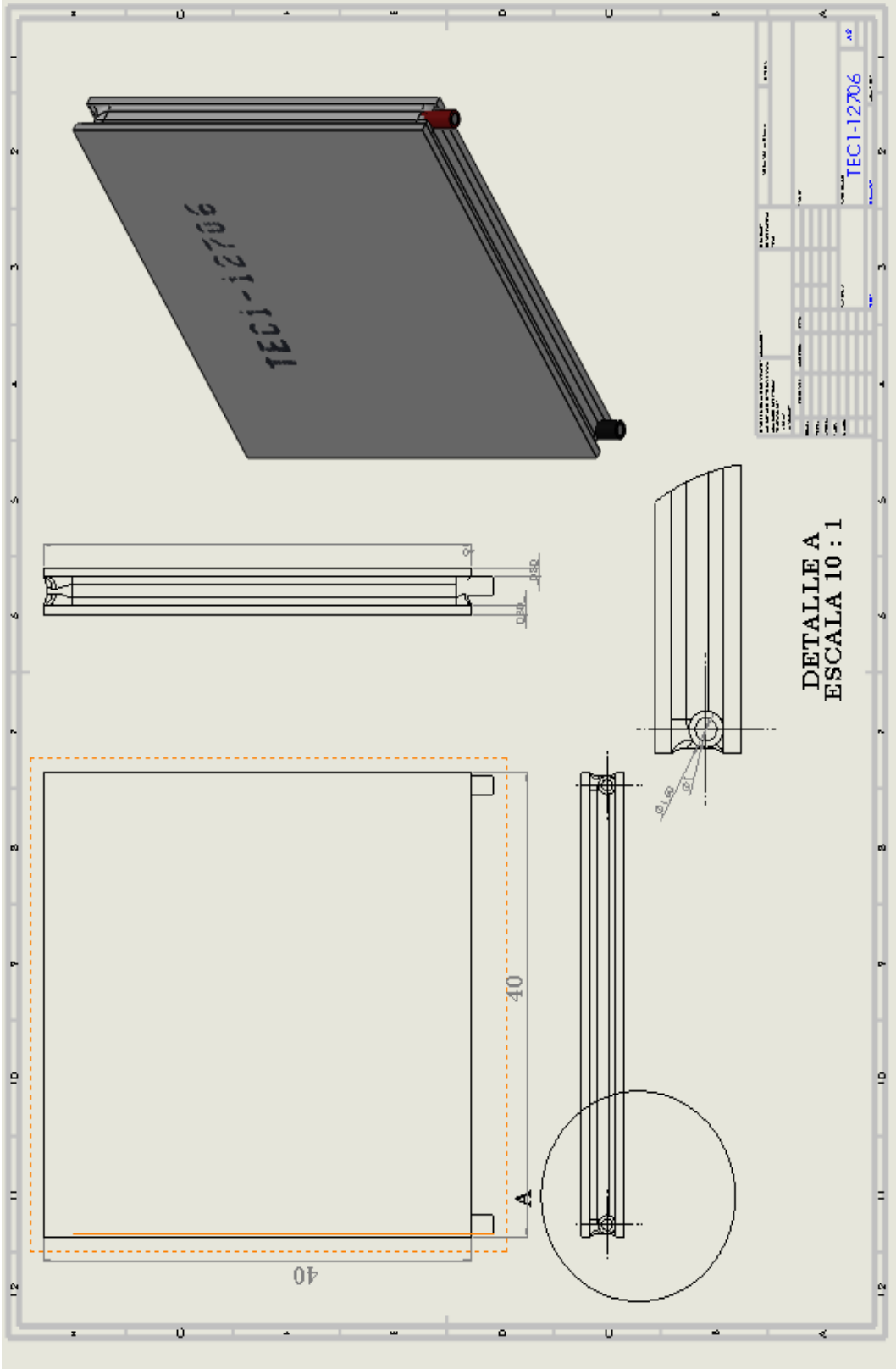
Operating Tips

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed I_{max} or V_{max} when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%

Performance curves:



6.3.1 Celda Peltier TEC-12706





TH100PT

TH100PT – 100 Ohm Resistive Temperature Sensor

Product Description:

The TH100PT is a resistive temperature device (RTD) rated 100 Ohms at 0°C.

Specifications:

- Body Dimensions:** 0.08" x 0.20" x 0.05" (2.0mm x 5.0mm x 1.3mm) Not including leads
- Lead Dimensions:** 0.6" long (15mm), 0.010" Diameter Ag (0.25mm)
- Resistance:** 100Ω @ 0°C ±0.12% (EN60751 Class B)
- Material:** Aluminum oxide substrate with fused glass cover
- Temperature Coefficient:** 3.85×10^{-3} / K (TCR = 0.00385 Ω/Ω/°C)
- Repeatability:** ±0.1°C or better
- Stability:** Drift less than ±0.1°C / year in normal use

Application Information:

Resistance Table:

$R_T = R_0(1 + AT + BT^2)$ Eq. 1 (in accordance with IEC 751; 2:1995-07 [DIN EN 60751; 1996-07])

Where:

$A = 3.9083 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ and $B = -5.775 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-2}$

R_T is the resistance in Ω at temperature T.

T is the temperature in °C.

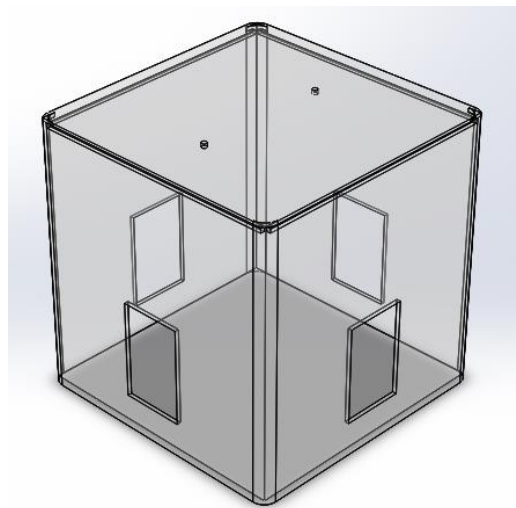
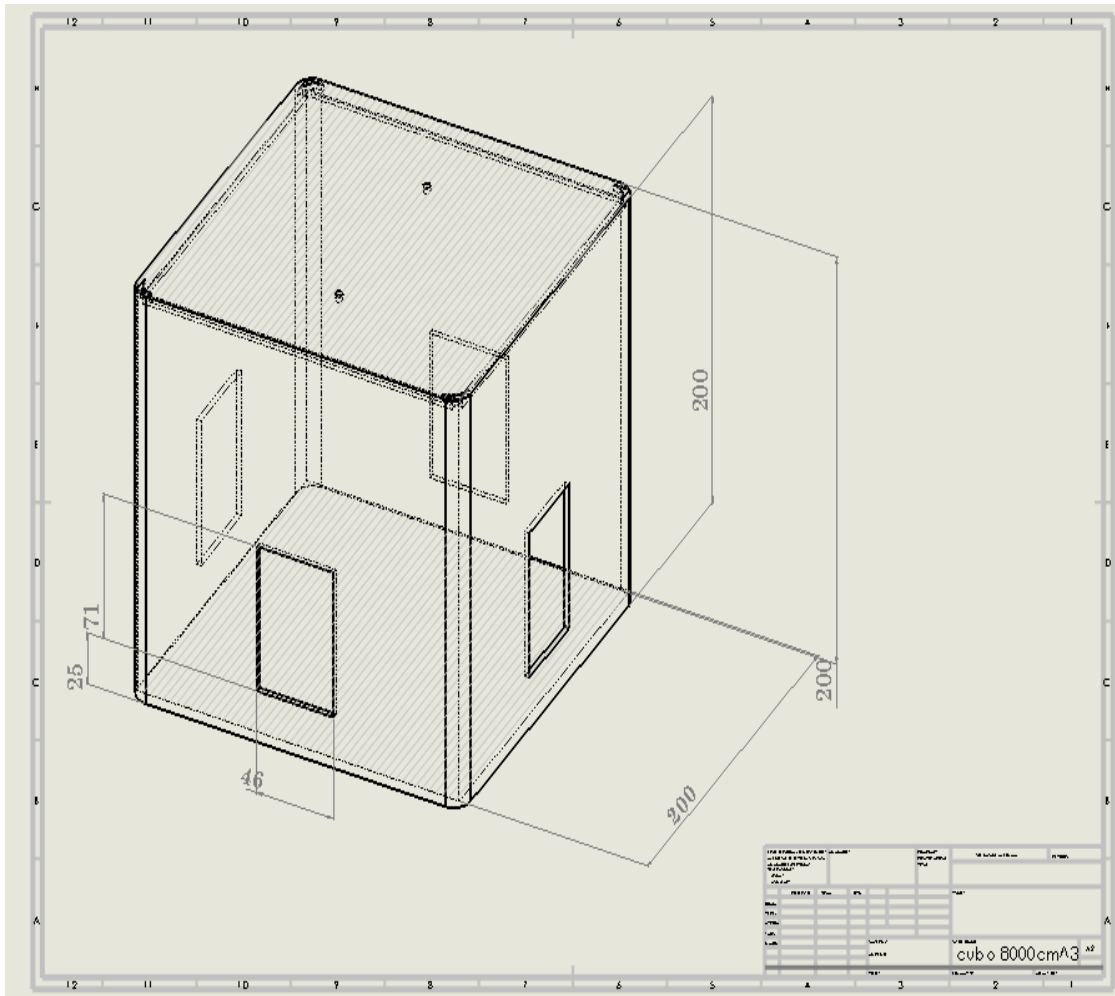
$R_0 = 100$

°C Ω °C Ω °C Ω °C Ω

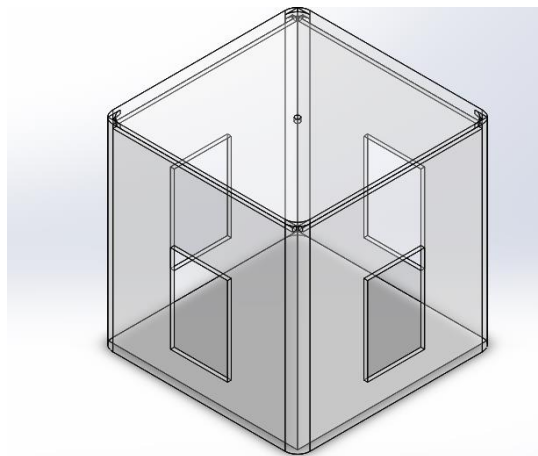
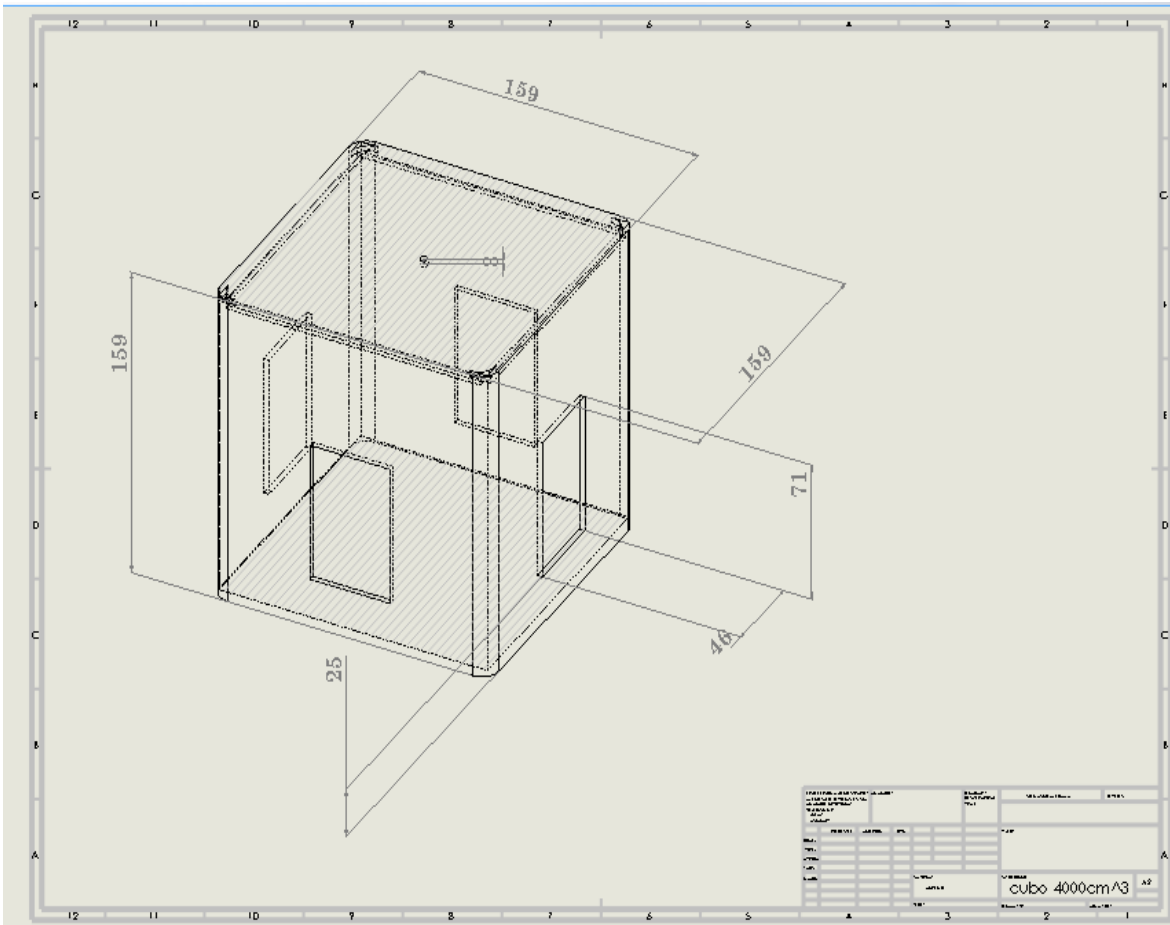
-70	72.36	30	111.67	130	149.83	230	186.84
-65	74.35	35	113.61	135	151.71	235	188.66
-60	76.34	40	115.54	140	153.58	240	190.47
-55	78.33	45	117.47	145	155.46	245	192.29
-50	80.31	50	119.40	150	157.33	250	194.10
-45	82.30	55	121.32	155	159.19	255	195.91
-40	84.27	60	123.24	160	161.05	260	197.71
-35	86.25	65	125.16	165	162.91	265	199.51
-30	88.22	70	127.08	170	164.77	270	201.31
-25	90.19	75	128.99	175	166.63	275	203.11
-20	92.16	80	130.90	180	168.48	280	204.90
-15	94.12	85	132.80	185	170.33	285	206.70
-10	96.09	90	134.71	190	172.17	290	208.48
-5	98.04	95	136.61	195	174.02	295	210.27
0	100.00	100	138.51	200	175.86	300	212.05
5	101.95	105	140.40	205	177.69	305	213.83
10	103.90	110	142.29	210	179.53	310	215.61
15	105.85	115	144.18	215	181.36	315	217.38
20	107.79	120	146.07	220	183.19	320	219.15
25	109.73	125	147.95	225	185.01	325	220.92

6.5 Espacios cúbicos

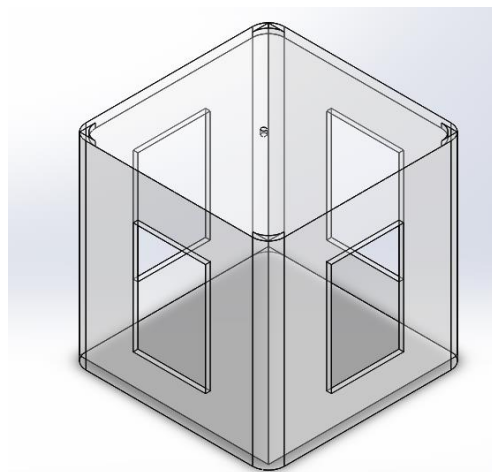
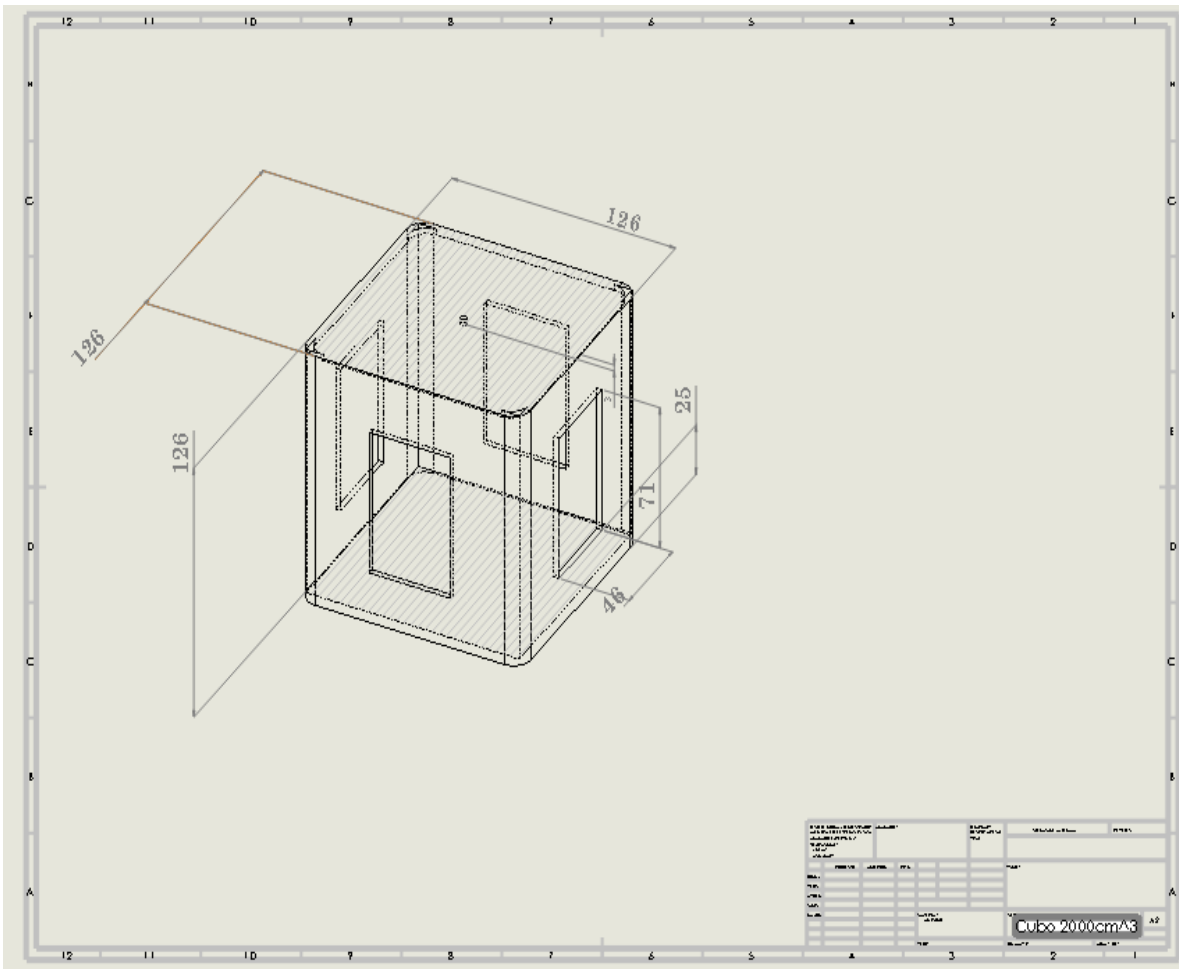
6.5.1 Cubo 8000 cm³



6.5.2 Cubo 4000 cm³



6.5.3 Cubo 2000 cm³



6.6 Muestreo tomado cada minuto

Tabla 6. 1. C20001

Tiempo (min)	Voltaje											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1s	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
1	26.56	25.99	24.8	23.52	23.08	19.29	21.48	22.2	19.59	18.31	17.83	16.76
2	26.22	25.14	23.69	22.13	21.25	18.58	19.08	19.5	18.27	16.86	16.45	15.14
3	26.02	24.7	23.25	21.59	20.44	18.14	18	18.11	17.6	16.12	15.81	14.4
4	25.92	24.36	23.01	21.35	20.11	17.7	17.49	17.37	17.13	15.68	15.17	13.93
5	25.85	24.16	22.94	21.08	20	17.54	17.22	16.96	16.86	15.34	14.9	13.52
6	25.82	24.09	22.81	21.18	19.87	17.47	16.95	16.76	16.65	15.1	14.63	13.32
7	25.88	24.09	22.74	21.08	19.84	17.47	16.92	16.59	16.45	14.94	14.53	13.15
8	25.85	23.99	22.71	21.12	19.84	17.5	16.85	16.42	16.28	14.83	14.32	13.02
9	25.85	23.89	22.6	21.08	19.84	17.5	16.75	16.36	16.11	14.67	14.29	12.88
10	25.85	23.79	22.54	21.05	19.8	17.5	16.65	16.29	16.05	14.56	14.26	12.95
11	25.78	23.65	22.5	21.01	19.73	17.5	16.65	16.29	15.88	14.63	14.29	12.85
12	25.75	23.75	22.47	21.05	19.73	17.5	16.35	16.26	15.81	14.56	14.19	12.88
13	25.78	23.65	22.54	20.98	19.73	17.5	16.45	16.26	15.78	14.53	14.05	12.71
14	25.88	23.62	22.5	20.91	19.73	17.5	16.38	16.26	15.74	14.53	14.02	12.64
15	25.88	23.48	22.47	20.85	19.73	17.5	16.45	16.26	15.68	14.5	14.02	12.71
16	25.82	23.52	22.5	20.74	19.73	17.5	16.35	16.26	15.68	14.46	14.05	12.75
17	25.82	23.48	22.54	20.78	19.73	17.5	16.35	16.26	15.61	14.46	14.02	12.75
18	25.85	23.48	22.54	20.78	19.73	17.5	16.35	16.26	15.64	14.46	14.05	12.68
19	25.85	23.52	22.54	20.78	19.73	17.5	16.35	16.26	15.64	14.46	14.02	12.71
20	25.85	23.42	22.54	20.64	19.73	17.5	16.35	16.26	15.57	14.46	13.99	12.71
21	25.85	23.42	22.54	20.68	19.73	17.5	16.35	16.26	15.57	14.46	13.99	12.71
22	25.85	23.48	22.54	20.68	19.73	17.5	16.35	16.26	15.57	14.46	13.99	12.71
23	25.85	23.52	22.54	20.68	19.73	17.5	16.35	16.26	15.57	14.46	13.99	12.71
24	25.85	23.55	22.54	20.68	19.73	17.5	16.35	16.26	15.57	14.46	13.99	12.71
25	25.85	23.52	22.54	20.68	19.73	17.5	16.35	16.26	15.57	14.46	13.99	12.71

Tabla 6.2. C20002

Tiempo (min)	Voltaje											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1s	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
1	22.13	21.38	20.54	18.54	17.94	17.03	15.84	13.82	12.78	13.41	13.05	14.32
2	21.72	20.81	19.49	17.13	16.32	15.21	13.65	11.83	10.82	11.19	10.8	11.53
3	21.58	20.51	18.99	16.52	15.65	14.43	12.6	10.88	9.81	10.14	9.75	10.08
4	21.48	20.4	18.75	16.11	15.21	13.99	12.03	10.38	9.3	9.6	9.15	9.1
5	21.62	20.44	18.55	15.84	14.97	13.66	11.63	10.07	8.97	9.13	8.57	8.39
6	21.65	20.47	18.28	15.64	14.8	13.45	11.36	9.8	8.7	8.79	8.3	7.92
7	21.69	20.44	18.28	15.54	14.7	13.32	11.15	9.67	8.63	8.59	8	7.52
8	21.69	20.44	18.18	15.41	14.63	13.12	11.05	9.53	8.43	8.46	7.73	7.21
9	21.69	20.44	18.18	15.37	14.63	13.05	10.99	9.3	8.36	8.32	7.7	6.95
10	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.98	10.89	9.23	8.33	8.15	7.56	6.78
11	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.88	10.85	9.13	8.29	8.05	7.39	6.61
12	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.85	10.78	9.1	8.23	7.98	7.53	6.41
13	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.78	10.72	9.06	8.06	7.92	7.39	6.37
14	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.78	10.65	9.06	7.99	7.75	7.53	6.27
15	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.75	10.65	9.06	8.03	7.58	7.5	6.34
16	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.75	10.62	9.06	8.06	7.48	7.36	6.21
17	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	8.03	7.38	7.39	6.27
18	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	7.99	7.24	7.23	6.1
19	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	8.09	7.21	7.02	6.17
20	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	7.99	7.21	7.06	6.17
21	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	7.99	7.21	6.99	6.04
22	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	7.99	7.21	7.02	6
23	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	7.99	7.21	6.79	6.04
24	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	7.99	7.21	6.82	5.9
25	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	7.99	7.21	6.86	6.04
26	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	7.99	7.21	6.79	5.9
27	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	7.99	7.21	6.82	5.9
28	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	7.99	7.21	6.86	5.9
29	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	7.99	7.21	6.86	5.9
30	21.69	20.44	18.18	15.3	14.63	12.71	10.62	9.06	7.99	7.21	6.86	5.9

Tabla 6. 3. C20003

Tiempo (min)	Voltaje											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1s	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
1	20.2	19.29	17.66	15.95	13.95	14.46	11.97	12.34	11.69	11.73	14.93	11.86
2	19.49	18.21	16.25	14.29	12.2	12.1	10.01	9.88	8.8	8.63	10.82	7.31
3	19.18	17.77	15.71	13.59	11.39	11.06	9.17	8.9	7.58	7.25	8.87	5.56
4	19.15	17.54	15.34	13.18	10.92	10.55	8.73	8.16	6.81	6.37	7.59	4.49
5	19.18	17.4	15.13	12.95	10.65	10.05	8.43	7.82	6.34	5.93	6.71	3.95
6	19.18	17.3	15.07	12.74	10.41	9.81	8.36	7.59	6.07	5.56	6.14	3.21
7	19.18	17.2	14.93	12.74	10.35	9.71	8.3	7.39	5.93	5.4	5.74	2.8
8	19.18	17.07	14.9	12.78	10.21	9.61	8.23	7.32	5.7	5.19	5.47	2.6
9	19.18	17.03	14.83	12.71	10.21	9.64	8.23	7.08	5.56	5.33	5.23	2.43
10	19.18	17.03	14.86	12.74	10.21	9.57	8.2	7.05	5.53	5.26	5.03	2.2
11	19.18	17.03	14.86	12.74	10.15	9.57	8.2	6.98	5.6	5.19	4.83	2.06
12	19.18	17.03	14.86	12.74	10.15	9.57	8.2	6.98	5.6	5.13	4.73	2.06
13	19.18	17.03	14.86	12.74	10.15	9.57	8.2	6.98	5.63	5.09	4.59	2
14	19.18	17.03	14.86	12.74	10.15	9.57	8.2	6.98	5.63	4.79	4.56	2
15	19.18	17.03	14.86	12.74	10.15	9.57	8.2	6.98	5.63	4.76	4.46	2
16	19.18	17.03	14.86	12.74	10.15	9.57	8.2	6.98	5.63	4.82	4.36	2
17	19.18	17.03	14.86	12.74	10.15	9.57	8.2	6.98	5.63	4.82	4.29	2
18	19.18	17.03	14.86	12.74	10.15	9.57	8.2	6.98	5.63	4.82	4.29	2
19	19.18	17.03	14.86	12.74	10.15	9.57	8.2	6.98	5.63	4.82	4.29	2
20	19.18	17.03	14.86	12.74	10.15	9.57	8.2	6.98	5.63	4.82	4.29	2

Tabla 6.4. C40001

Tiempo (min)	Voltaje											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1s	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
1	26.42	25.82	24.84	24.13	23.15	21.79	23.45	21.79	20.85	20.38	19.33	20.6
2	26.29	25.58	24.19	23.52	22.51	20.95	22.13	20.75	20	19.19	17.98	18.98
3	26.29	25.55	23.96	23.28	22.27	20.68	21.35	20.31	19.53	18.52	17.3	18.04
4	26.35	25.51	23.82	23.15	22.07	20.54	20.95	20.07	19.26	18.08	16.96	17.26
5	26.39	25.51	23.72	23.01	21.93	20.37	20.54	19.97	19.09	17.88	16.69	16.59
6	26.42	25.55	23.65	22.91	21.9	20.27	20.41	19.83	18.92	17.57	16.49	16.42
7	26.46	25.55	23.62	22.88	21.86	20.17	19.87	19.8	18.75	17.44	16.42	16.35
8	26.49	25.58	23.55	22.88	21.8	20.13	19.93	19.77	18.45	17.34	16.29	16.32
9	26.49	25.61	23.55	22.81	21.8	20	19.8	19.8	18.42	17.27	16.22	15.68
10	26.56	25.65	23.55	22.71	21.83	19.97	19.7	19.7	18.48	17.17	16.19	15.61
11	26.52	25.61	23.52	22.78	21.83	19.93	19.66	19.73	18.48	17.1	16.09	15.34
12	26.56	25.55	23.48	22.74	21.8	19.86	19.6	19.6	18.48	17.03	16.02	15.27
13	26.56	25.58	23.45	22.74	21.8	19.93	19.56	19.5	18.58	17	15.98	15.2
14	26.59	25.61	23.48	22.74	21.8	19.86	19.56	19.43	18.52	16.97	15.98	14.97
15	26.49	25.61	23.45	22.74	21.8	19.86	19.49	19.36	18.52	16.93	15.92	15
16	26.49	25.48	23.48	22.74	21.8	19.86	19.49	19.29	18.62	16.93	15.92	14.83
17	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.46	19.29	18.48	16.97	15.88	14.8
18	26.49	25.48	23.38	22.74	21.8	19.86	19.46	19.19	18.42	16.97	15.88	15
19	26.49	25.48	23.48	22.74	21.8	19.86	19.39	19.23	18.31	17	15.88	15.1
20	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.36	19.19	18.25	17.03	15.88	15.24
21	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.33	19.19	18.21	17.03	15.88	15.34
22	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	19.06	18.15	16.97	15.88	15.27
23	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	19.02	18.18	16.93	15.88	15.3
24	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.99	18.15	16.93	15.88	15.44
25	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.96	18.18	16.9	15.88	14.87
26	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.85	18.15	16.87	15.88	14.87
27	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.85	18.08	16.8	15.88	14.93
28	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.82	18.11	16.83	15.88	15.07
29	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.82	18.01	16.8	15.88	15.2
30	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.04	16.8	15.88	15.3
31	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.08	16.8	15.88	15.44
32	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.11	16.8	15.88	15.51
33	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.62	18.15	16.8	15.88	15.51
34	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.69	18.08	16.8	15.88	15.51
35	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.04	16.8	15.88	15.51
36	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.01	16.8	15.88	15.51
37	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.04	16.8	15.88	15.51
38	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.04	16.8	15.88	15.51

39	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.08	16.8	15.88	15.51
40	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.08	16.8	15.88	15.51
41	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.08	16.8	15.88	15.51
42	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.08	16.8	15.88	15.51
43	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.15	16.8	15.88	15.51
44	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.18	16.8	15.88	15.51
45	26.49	25.48	23.42	22.74	21.8	19.86	19.26	18.65	18.21	16.8	15.88	15.51

Tabla 6.5. C40002

Tiempo (min)	Voltaje											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1s	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
1	22.09	23.15	22.33	21.18	20.54	19.93	19.22	17.6	18.04	17.87	15.47	14.46
2	22.6	22.5	21.45	20.1	19.36	18.41	17.43	16.18	15.31	15.48	13.28	12.78
3	22.87	22.27	21.04	19.6	18.82	17.74	16.66	15.51	14.6	14.5	12.37	11.97
4	23.11	22.1	20.81	19.36	18.58	17.37	16.22	15.14	14.2	13.92	11.9	11.49
5	23.24	22.03	20.67	19.23	18.38	17.1	15.95	14.94	13.93	13.59	11.59	11.22
6	23.38	21.93	20.54	19.09	18.24	16.96	15.71	14.77	13.86	13.32	11.36	10.99
7	23.55	21.9	20.44	18.99	18.11	16.86	15.58	14.63	13.76	13.12	11.19	10.75
8	23.58	21.86	20.4	18.96	18.07	16.76	15.48	14.56	13.66	12.98	11.09	10.69
9	23.68	21.86	20.34	18.89	18.04	16.66	15.41	14.5	13.62	12.85	11.02	10.62
10	23.75	21.83	20.34	18.85	17.97	16.56	15.34	14.5	13.69	12.74	10.95	10.62
11	23.85	21.83	20.3	18.82	17.91	16.45	15.31	14.46	13.73	12.71	10.88	10.55
12	23.85	21.79	20.3	18.79	17.91	16.35	15.27	14.43	13.59	12.61	10.82	10.45
13	23.92	21.83	20.3	18.79	17.91	16.29	15.21	14.4	13.59	12.61	10.78	10.45
14	23.99	21.83	20.27	18.72	17.87	16.25	15.17	14.4	13.59	12.61	10.75	10.42
15	23.99	21.83	20.3	18.69	17.87	16.25	15.17	14.4	13.59	12.54	10.78	10.52
16	24.05	21.79	20.27	18.69	17.84	16.18	15.17	14.4	13.59	12.54	10.75	10.45
17	24.02	21.79	20.27	18.69	17.84	16.18	15.17	14.4	13.59	12.51	10.75	10.45
18	24.02	21.79	20.27	18.69	17.84	16.18	15.14	14.4	13.59	12.54	10.68	10.45
19	24.02	21.79	20.27	18.69	17.84	16.18	15.14	14.4	13.59	12.51	10.72	10.45
20	24.02	21.79	20.27	18.69	17.84	16.18	15.14	14.4	13.59	12.51	10.68	10.45

Tabla 6. 6. C40003

Tiempo (min)	Voltaje											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1s	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
1	21.18	19.86	18.81	19.09	17.3	14.61	13.9	14.13	16.01	15.84	15.81	15.24
2	20.98	19.19	17.46	17.24	15.1	12.89	12.11	11.94	12.64	12.67	12.4	11.9
3	20.91	18.95	16.89	16.33	14.09	12.22	11.44	10.9	11.19	11.22	10.55	10.21
4	20.98	18.78	16.52	15.75	13.42	11.78	11.03	10.36	10.31	10.31	9.41	8.97
5	20.98	18.75	16.28	15.42	12.94	11.61	10.76	10.02	9.74	9.74	8.56	8.29
6	21.01	18.68	16.11	15.08	12.54	11.44	10.56	9.75	9.37	9.41	7.99	7.72
7	20.98	18.68	16.01	14.88	12.3	11.41	10.43	9.55	9.1	9.03	7.59	7.22
8	20.98	18.68	15.91	14.74	12.1	11.28	10.36	9.38	8.93	8.8	7.25	6.88
9	20.98	18.65	15.81	14.64	11.83	11.21	10.36	9.31	8.9	8.7	6.98	6.78
10	20.98	18.68	15.81	14.54	11.73	11.21	10.36	9.21	8.9	8.5	6.88	6.54
11	20.98	18.71	15.74	14.44	11.7	11.11	10.36	9.25	8.83	8.29	6.68	6.41
12	20.98	18.65	15.71	14.4	11.6	11.11	10.36	9.25	8.8	8.23	6.54	6.34
13	20.98	18.65	15.71	14.37	11.53	11.11	10.36	9.25	8.8	8.23	6.54	6.34
14	20.98	18.65	15.71	14.34	11.53	11.11	10.36	9.25	8.73	8.23	6.41	6.31
15	20.98	18.65	15.71	14.3	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.19	6.38	6.27
16	20.98	18.65	15.71	14.3	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.09	6.34	6.38
17	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.27	6.31
18	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.31	6.24
19	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.16	6.38	6.31
20	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.31	6.14
21	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.31	6.14
22	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.31	6.01
23	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.31	5.9
24	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.31	5.94
25	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.31	5.97
26	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.31	5.94
27	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.31	5.97
28	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.31	5.94
29	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.31	5.94
30	20.98	18.65	15.71	14.27	11.46	11.11	10.36	9.25	8.73	8.13	6.31	5.94

Tabla 6. 7. 80001

Tiempo (min)	Voltaje											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1s	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
1	26.46	26.12	25.88	25.18	25.18	24.87	24.43	24.29	23.75	23.76	23.65	22.54
2	26.36	25.91	25.47	24.4	24.26	23.62	23.04	23.04	22.43	22.17	22.06	20.51
3	26.33	25.81	25.37	24.06	23.72	22.98	22.36	22.47	21.66	21.56	21.45	19.64
4	26.36	25.81	25.31	23.79	23.38	22.57	21.93	22.03	21.29	21.15	21.18	19.2
5	26.39	25.78	25.27	23.69	23.21	22.4	21.65	21.86	21.02	21.19	21.01	18.96
6	26.39	25.78	25.24	23.69	23.08	22.2	21.52	21.66	20.98	20.82	20.78	18.76
7	26.36	25.81	25.24	23.62	23.01	22.06	21.38	21.56	20.88	20.75	20.74	18.56
8	26.39	25.78	25.2	23.62	22.91	22.03	21.22	21.46	20.78	20.61	20.68	18.46
9	26.39	25.75	25.2	23.59	22.84	21.93	21.22	21.42	20.74	20.48	20.71	18.35
10	26.43	25.81	25.17	23.59	22.77	21.93	21.22	21.25	20.54	20.38	20.57	18.29
11	26.46	25.78	25.17	23.55	22.77	21.86	21.05	21.32	20.58	20.34	20.47	18.22
12	26.46	25.81	25.2	23.59	22.81	21.79	21.08	21.29	20.51	20.31	20.44	18.15
13	26.66	25.81	25.17	23.55	22.74	21.83	20.98	21.35	20.47	20.17	20.44	18.12
14	26.49	25.81	25.2	23.59	22.67	21.79	21.05	21.32	20.44	20.31	20.44	18.08
15	26.46	25.81	25.2	23.62	22.67	21.76	20.98	21.39	20.44	20.24	20.44	18.05
16	26.43	25.81	25.2	23.69	22.67	21.69	21.01	21.35	20.37	20.24	20.34	17.98
17	26.49	25.81	25.2	23.69	22.61	21.62	20.98	21.29	20.31	20.24	20.03	17.95
18	26.53	25.81	25.17	23.72	22.57	21.59	20.95	21.22	20.31	20.21	19.9	17.88
19	26.49	25.81	25.2	23.69	22.54	21.66	20.95	21.25	20.34	20.17	19.9	17.85
20	26.49	25.81	25.2	23.72	22.5	21.59	20.95	21.29	20.34	20.24	20	17.81
21	26.53	25.81	25.17	23.76	22.57	21.62	20.98	21.22	20.24	20.14	20.1	17.78
22	26.49	25.81	25.17	23.82	22.64	21.62	20.95	21.25	20.27	20.24	19.86	17.71
23	26.53	25.81	25.2	23.82	22.5	21.59	21.01	21.32	20.24	20.14	19.97	17.68
24	26.53	25.81	25.2	23.79	22.5	21.59	21.01	21.25	20.27	20.21	19.86	17.68
25	26.53	25.81	25.24	23.69	22.5	21.62	21.05	21.29	20.31	20.17	19.83	17.68
26	26.53	25.81	25.24	23.76	22.61	21.59	21.05	21.25	20.34	20.17	19.83	17.68
27	26.53	25.81	25.24	23.55	22.57	21.62	21.01	21.29	20.37	20.17	19.83	17.68
28	26.53	25.81	25.24	23.76	22.57	21.59	21.05	21.32	20.37	20.17	19.83	17.68
29	26.53	25.81	25.24	23.65	22.54	21.56	21.01	21.32	20.37	20.17	19.83	17.68
30	26.53	25.81	25.24	23.72	22.44	21.62	21.08	21.29	20.37	20.17	19.83	17.68
31	26.53	25.81	25.24	23.65	22.4	21.62	21.05	21.29	20.37	20.17	19.83	17.68
32	26.53	25.81	25.24	23.72	22.54	21.62	21.01	21.39	20.47	20.17	19.83	17.68
33	26.53	25.81	25.24	23.69	22.4	21.73	21.15	21.39	20.37	20.17	19.83	17.68
34	26.53	25.81	25.24	23.76	22.44	21.73	20.95	21.42	20.47	20.17	19.83	17.68
35	26.53	25.81	25.24	23.79	22.37	21.73	21.11	21.35	20.41	20.17	19.83	17.68
36	26.53	25.81	25.24	23.76	22.34	21.76	21.01	21.29	20.41	20.17	19.83	17.68
37	26.53	25.81	25.24	23.82	22.34	21.79	21.15	21.39	20.34	20.17	19.83	17.68
38	26.53	25.81	25.24	23.82	22.47	21.79	21.15	21.35	20.34	20.17	19.83	17.68

39	26.53	25.81	25.24	23.82	22.34	21.76	21.08	21.46	20.31	20.17	19.83	17.68
40	26.53	25.81	25.24	23.82	22.34	21.76	21.05	21.35	20.31	20.17	19.83	17.68
41	26.53	25.81	25.24	23.86	22.34	21.79	21.01	21.42	20.31	20.17	19.83	17.68
42	26.53	25.81	25.24	23.76	22.34	21.73	21.01	21.42	20.34	20.17	19.83	17.68
43	26.53	25.81	25.24	23.82	22.34	21.79	20.98	21.39	20.24	20.17	19.83	17.68
44	26.53	25.81	25.24	23.89	22.34	21.79	20.95	21.39	20.31	20.17	19.83	17.68
45	26.53	25.81	25.24	23.86	22.34	21.76	21.05	21.32	20.34	20.17	19.83	17.68
46	26.53	25.81	25.24	23.86	22.37	21.79	21.05	21.22	20.27	20.17	19.83	17.68
47	26.53	25.81	25.24	23.82	22.4	21.79	21.05	21.19	20.37	20.17	19.83	17.68
48	26.53	25.81	25.24	23.92	22.37	21.79	21.01	21.19	20.34	20.17	19.83	17.68
49	26.53	25.81	25.24	23.86	22.34	21.79	21.08	21.25	20.34	20.17	19.83	17.68
50	26.53	25.81	25.24	23.86	22.34	21.79	21.08	21.25	20.34	20.17	19.83	17.68

Tabla 6.8. 80002

Tiempo (min)	Voltaje											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1s	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
1	25.61	25.11	24.47	23.85	23.45	23.15	22.06	22.4	21.76	21.33	21.97	20.85
2	25.31	24.33	23.52	22.9	22.3	21.86	20.71	20.71	19.6	19.47	19.6	18.46
3	25.24	23.92	23.15	22.57	21.83	21.26	20.07	19.9	18.73	18.66	18.39	17.34
4	25.24	23.75	22.98	22.4	21.63	21.02	19.77	19.46	18.26	18.22	17.71	16.7
5	25.21	23.62	22.88	22.33	21.49	20.85	19.56	19.22	17.92	17.88	17.28	16.3
6	25.21	23.55	22.91	22.26	21.46	20.75	19.53	19.02	17.62	17.65	16.91	16
7	25.27	23.55	22.91	22.23	21.39	20.65	19.46	18.92	17.48	17.51	16.8	15.76
8	25.27	23.52	22.81	22.29	21.32	20.61	19.5	18.75	17.35	17.38	16.67	15.62
9	25.27	23.35	22.81	22.33	21.25	20.55	19.5	18.58	17.14	17.24	16.47	15.52
10	25.31	23.35	22.71	22.36	21.29	20.51	19.46	18.58	17.18	17.21	16.4	15.46
11	25.34	23.21	22.74	22.29	21.15	20.51	19.39	18.41	17.04	17.07	16.3	15.29
12	25.24	23.11	22.77	22.33	21.12	20.51	19.33	18.38	17.01	16.97	16.2	15.22
13	25.34	23.08	22.81	22.26	21.12	20.48	19.36	18.31	17.01	16.94	16.2	15.15
14	25.31	23.15	22.81	22.33	21.02	20.38	19.39	18.21	16.98	16.87	16.1	15.15
15	25.38	23.11	22.91	22.4	20.95	20.38	19.36	18.21	16.94	16.77	16.06	15.19
16	25.38	23.18	22.77	22.43	20.92	20.34	19.33	18.25	17.04	16.73	15.93	15.08
17	25.38	23.25	22.74	22.43	20.88	20.38	19.33	18.18	17.01	16.7	15.86	15.08
18	25.38	23.25	22.74	22.43	20.85	20.41	19.33	18.25	17.08	16.67	15.86	15.02
19	25.38	23.25	22.74	22.43	20.81	20.38	19.39	18.18	17.08	16.67	15.83	15.02
20	25.38	23.28	22.74	22.43	20.71	20.38	19.39	18.11	17.11	16.63	15.76	14.98
21	25.38	23.28	22.74	22.43	20.75	20.38	19.36	18.11	17.08	16.63	15.76	14.98
22	25.38	23.21	22.74	22.43	20.78	20.34	19.36	18.08	17.11	16.6	15.79	14.95
23	25.38	23.21	22.74	22.43	20.75	20.31	19.46	18.08	17.14	16.6	15.79	14.92
24	25.38	23.21	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.04	17.21	16.6	15.79	14.92
25	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.88
26	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.88
27	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.85
28	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.82
29	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.85
30	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.78
31	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.78
32	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.78
33	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.75
34	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.75
35	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.78
36	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.75
37	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.85
38	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.88

39	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.85
40	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.88
41	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.92
42	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.95
43	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.95
44	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.95
45	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.95
46	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	15.02
47	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	15.02
48	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.98
49	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.98
50	25.38	23.45	22.74	22.43	20.71	20.34	19.43	18.11	17.18	16.6	15.76	14.98

Tabla 6.9. 80003

Tiempo (min)	Voltaje											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1s	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27	27
1	25.2	24.6	24.13	23.52	22.94	22.44	21.86	21.9	21.89	21.29	18.45	19.52
2	24.9	23.89	23.15	22.16	21.39	20.65	20.41	19.8	19.97	18.35	15.75	16.45
3	24.7	23.62	22.71	21.59	20.75	19.91	19.8	18.99	19.02	17	14.6	15
4	24.63	23.38	22.47	21.25	20.44	19.54	19.3	18.45	18.55	16.26	13.93	14.16
5	24.59	23.24	22.3	21.05	20.24	19.3	18.76	18.18	18.21	15.72	13.45	13.52
6	24.56	23.18	22.2	20.95	20.11	19.17	18.35	17.85	17.97	15.42	13.18	13.05
7	24.53	23.11	22.13	20.85	20.04	19.13	18.15	17.74	17.77	15.25	12.95	12.64
8	24.56	23.14	22.07	20.74	20	18.9	18.01	17.64	17.7	15.04	12.81	12.37
9	24.56	23.11	22.03	20.68	19.97	18.86	17.91	17.61	17.64	14.91	12.58	12.1
10	24.56	23.08	21.96	20.64	19.87	18.96	17.85	17.54	17.57	14.74	12.44	11.87
11	24.56	23.11	21.96	20.58	20.07	18.86	17.74	17.47	17.5	14.57	12.41	11.73
12	24.56	23.08	21.93	20.54	19.94	18.86	17.71	17.24	17.47	14.44	12.38	11.56
13	24.53	23.11	21.93	20.51	20	18.93	17.68	17.34	17.47	14.27	12.27	11.33
14	24.53	23.11	21.93	20.54	19.97	18.83	17.68	17.27	17.5	14.13	12.14	11.26
15	24.53	23.08	21.86	20.51	19.97	18.93	17.64	17.27	17.47	14.1	12.11	11.16
16	24.53	23.04	21.83	20.47	20	18.86	17.61	17.27	17.4	14.07	12.04	11.06
17	24.53	23.04	21.83	20.41	20.07	18.93	17.58	17.31	17.37	13.97	11.97	10.96
18	24.53	23.04	21.83	20.41	20.07	18.79	17.54	17.31	17.37	13.93	11.94	10.85
19	24.53	23.04	21.86	20.41	20.11	18.86	17.54	17.34	17.27	13.86	11.87	10.79
20	24.53	23.04	21.86	20.37	20.11	18.93	17.51	17.31	17.23	13.8	11.84	10.75
21	24.53	23.04	21.86	20.31	20.14	18.86	17.54	17.31	17.23	13.8	11.8	10.72
22	24.53	23.04	21.9	20.31	20.17	19	17.54	17.31	17.2	13.73	11.77	10.65
23	24.53	23.04	21.93	20.27	20.21	19.03	17.54	17.31	17.16	13.66	11.77	10.62
24	24.53	23.04	21.83	20.27	20.24	19.13	17.51	17.27	17.13	13.66	11.77	10.59
25	24.53	23.04	21.76	20.27	20.21	19.1	17.54	17.27	17.1	13.66	11.77	10.59
26	24.53	23.04	21.8	20.24	20.21	19.1	17.54	17.27	17.03	13.66	11.77	10.59
27	24.53	23.04	21.8	20.27	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59
28	24.53	23.04	21.76	20.27	20.21	19.1	17.54	17.27	17	13.66	11.77	10.59
29	24.53	23.04	21.66	20.31	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59
30	24.53	23.04	21.66	20.31	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59
31	24.53	23.04	21.69	20.31	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59
32	24.53	23.04	21.66	20.37	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59
33	24.53	23.04	21.63	20.44	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59
34	24.53	23.04	21.63	20.44	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59
35	24.53	23.04	21.63	20.44	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59
36	24.53	23.04	21.63	20.51	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59
37	24.53	23.04	21.63	20.47	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59
38	24.53	23.04	21.63	20.51	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59

39	24.53	23.04	21.63	20.51	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59
40	24.53	23.04	21.63	20.47	20.21	19.1	17.54	17.27	16.96	13.66	11.77	10.59