



UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES
DEPARTAMENTO DE FÍSICA

**CONSTRUCCIÓN DE UN REFRIGERADOR PORTÁTIL UTILIZANDO
CELDAS PELTIER**

por

SANDRA ANGÉLICA URZÚA OCHOA

Tesis presentada a la Universidad de Sonora
para la obtención del título de

LICENCIADA EN FÍSICA

Hermosillo, México
Enero de 2014

Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

Agradecimientos

He llegado al final de esta etapa tan importante de mi vida y es hora de agradecer a todas aquellas personas que me han acompañado en este camino. Primeramente quiero agradecerle a mi director de tesis el maestro Francisco N. Armenta por todo su apoyo durante el desarrollo de este trabajo, sin su paciencia y ayuda no hubiera sido posible llevarse a cabo. Además quiero darle las gracias a los maestros M.C. Horacio Mungia y Dra. Laura L. Yeomans por todo su tiempo invertido en el proyecto y por estar ahí hasta que éste se complete. Así mismo, al maestro M.C. Sergio Grijalva por aceptar ser parte del trabajo y estar presente en cada momento que fue requerido.

Quiero darle un agradecimiento especial a esas tres personas que han estado ahí desde el momento en que nací. A chelo, mi mami, por estar ahí cada vez que la necesité, por escucharme en cualquier momento no importaba si era muy noche o muy temprano. Gracias, por que sin ti no hubiese sido posible llegar hasta este momento en mi vida. A beto por que a pesar de todo sin el ni siquiera hubiese nacido. Y a mi sis, una persona muy importante para mí que me ha acompañado en las buenas y en las no tan buenas, que me ha soportado aun en las peleas, y que ha sido mi cómplice de todos aquellos buenos y malos momentos, te quiero mucho sis.

No puede faltar un agradecimiento a esas otras tres personas que me hacen el día a día con sus risas, sus exigencias o peticiones, con sus gestos. Primero empezaré con la persona que me ha hecho muy feliz, que me soporta todos mis enojos, que me hace ver la vida diferente, que no importa que haga ahí esta para apoyarme. Gracias Dupret, por no dejar que me rindiera nunca y por apoyarme para que lograré terminar mi carrera. Sigo con la persona que me hace reír, la que con un solo gesto hace que doble las manos y le de lo que pide, la que con sus palabras logra que deje todo para estar con él. Gracias Sahak, por que a pesar de no estar ahí en cada momento para ti, a ti no te importa, y me recibes con esas palabras, sonrisas, abrazos y besos. Continuo con ese pedacito de vida que a pesar de tener poco tiempo acompañandome ha logrado robar mi corazón y me hace muy feliz con todos sus gestos, gracias Merak.

Finalmente quiero darle las gracias a aquellas personas que han sido una parte muy impor-

tante en mi vida, que ya sea que esten lejos o cerca han logrado dejar su huella en mi, y que por falta de espacio no les puedo dedicar muchas palabras: mi familia, mis maestros, mis amigos, Edna, Belem, Cynthia, Vitaliano, Margarita, Jaciel, Uriel, Hildegardo, Jesica, Gaby, Primo, Gaby, Meme, Kikita, Alicia, Nadia, Ika, Mayra, Mayrita, Men, Oscar, Maura, Hermanita, ... Gracias.

S.A.U.O.

Dirigida por:

L.F. Francisco Nemésio Armenta Aguilar
Universidad de Sonora

Co-dirigida por:

M.C. Horacio Munguía Aguilar
Dra. Laura Yeomans Reyna
Universidad de Sonora

Contenido

Lista de Figuras	III
Introducción	1
1 Conceptos básicos	3
1.1. Efecto Seebeck	3
1.2. Efecto Peltier	4
1.3. Celda Peltier	5
1.4. Equilibrio Local	7
1.5. Régimen Lineal	7
1.6. Relaciones Recíprocas de Onsager	8
1.7. Fenómeno Termoeléctrico	9
1.8. Eficiencia	11
1.9. Conductividad Térmica	12
2 Construcción de la cámara refrigerante	14
2.1. Composición de la Caja	14
2.2. Equipo de Enfriamiento	16
2.3. Sistema de alimentación eléctrica	20
3 Caracterización de la cámara refrigerante	23
3.1. Aire dentro de la cámara	23
3.2. Comportamiento del agua a temperatura ambiente dentro de la cámara refrigerante	27
3.3. Comportamiento de agua fría dentro de la cámara refrigerante	30

4 Instrumentación	33
4.1. Módulo de enfriamiento	33
4.2. Microcontrolador	34
4.3. Sensores de Temperatura	37
4.4. LCD	37
4.5. Fuente de energía eléctrica.	38
Conclusiones	39
Apéndices	41
A Análisis de las componentes de la cámara refrigerante	42
A.1. Análisis de las paredes de la cámara refrigerante	42
A.2. Carga termodinámica de la cámara	44
A.3. Análisis adicionales del funcionamiento del prototipo	45
B Características de las partes eléctricas	47
B.1. Celdas Peltier	47
B.2. Cargadores de las pilas.	48
B.3. Pilas	48
B.4. Sensores y Termistor	49
B.4.1. Termistor	50
B.5. LCD	50
C Diagramas eléctricos y código de programa	51
C.1. El diagrama del circuito eléctrico	51
C.2. Costos de construcción	52
C.3. El diagrama del microcontrolador PIC16F876	53
C.4. Código de programación	54
Bibliografía	62

Lista de Figuras

1.1. Termopar	4
1.2. Configuración de una celda Peltier	6
1.3. Configuración de una celda Peltier compuesta	6
1.4. Esquema de la pared del prototipo.	12
2.1. Dimensiones de la caja aislante.	15
2.2. Dimensiones de las paredes donde se ensamblan las placas.	15
2.3. Dimensiones y proceso de ensamblaje de cámara refrigerante.	16
2.4. Unidad de enfriamiento, de izquierda a derecha se encuentran los siguientes elementos: Ventilador-disipador-cubo de aluminio-celda peltier-disipador.	17
2.5. Unidad de enfriamiento.	17
2.6. Placa Peltier.	18
2.7. Disipadores utilizados en la fabricación del prototipo	19
2.8. Ventiladores utilizados en el prototipo	20
2.9. Ensamblaje del circuito eléctrico	21
2.10. Fuentes de alimentación.	21
2.11. Pila de Li-Ion	22
3.1. Resultados obtenidos al medir la temperatura interna de la cámara en una habitación.	25
3.2. a) Comportamiento de la temperatura de la cámara interna de las tres pruebas. b) Comportamiento de la temperatura promedio de los disipadores externos en las tres pruebas. c) Comportamiento del delta de temperatura entre el interior de la cámara y los disipadores externos en las tres pruebas. d) Comportamiento de la temperatura ambiente durante las mediciones de las pruebas.	26

3.3. a) Comportamiento de la temperatura en el tiempo, de los diferentes volúmenes de agua en el interior de la cámara b) Comportamiento de la temperatura en el tiempo, promedio de los disipadores externos en las tres pruebas. c) Comportamiento en el tiempo del delta de temperatura entre el agua dentro de la cámara y los disipadores externos en las tres pruebas. d) Comportamiento en el tiempo de la temperatura ambiente durante las mediciones de las tres pruebas.	29
3.4. a) Comportamiento de agua fría dentro de la cámara en el tiempo. b) Comportamiento de la temperatura promedio de los disipadores externos. c) Comportamiento del delta de temperatura entre el agua fría dentro de la cámara y el promedio de los disipadores externos. d) Comportamiento de la temperatura ambiente durante la medición.	31
4.1. El sistema de energía y medición.	34
4.2. Microcontrolador PIC16F87	35
4.3. El programador empleado PICSTART PLUS	35
4.4. Diagrama de Flujo del Circuito	36
4.5. Sensor de temperatura.	37
4.6. Exhibidor LCD.	38
A.1. Comparación entre la temperatura interna y la temperatura promedio de los disipadores para observar su comportamiento similar.	45
A.2. a) Análisis de ΔT en el estado de equilibrio para la prueba 1. b) Análisis de ΔT en el estado de equilibrio para la prueba 3.	46
B.1. Cargador de las baterías	48
C.1. Diagrama eléctrico de la caja aislante.	51
C.2. Diagrama eléctrico del microcontrolador.	53

Introducción

El presente trabajo de tesis se origina debido a la necesidad de transportar muestras acuosas (muestras biológicas) a bajas temperaturas. Se planteó realizar una cámara refrigerante que trabajara utilizando celdas Peltier y lograr satisfacer las necesidades de transportación de las muestras acuosas del laboratorio de biofísica (fácil de mover y una temperatura, de al menos $0^{\circ}C$, en la cámara). Las referencias para las especificaciones técnicas de fabricación, como las dimensiones y temperatura de la cámara interna, son tomadas de las muestras que se desean transportar, así como la cantidad de las mismas.

Para minimizar costos, inicialmente se realizaron estudios de una hielera automotriz¹ que emplea celdas Peltier. Las pruebas realizadas no mostraron buenos resultados debido al gran volumen, la alta capacidad calorífica de los fluidos utilizados en las pruebas y el hecho de tener una sola celda Peltier, llegando a estar muy lejos de la temperatura deseada con tiempos muy largos para alcanzar los $0^{\circ}C$. Fue necesario buscar más placas para incorporarlas al estudio de la hielera y ver si con mayor capacidad de enfriamiento se lograba el objetivo perseguido. A pesar de mejorar el sistema de enfriamiento, las temperaturas deseadas no fueron alcanzadas.

Debido a estos resultados se optó por construir una cámara de aluminio bajo ciertas especificaciones dimensionales de las muestras, con el objetivo de mejorar el prototipo. A este depósito se le ensamblan tres celdas con sus disipadores y ventiladores. A la caja se le da un recubrimiento con una capa de poliestireno expandido y una de PVC y las pruebas que se realizan nos permite llegar a los $0^{\circ}C$ en un tiempo largo. Debido a esto y el gran peso de la caja el prototipo se considera poco viable para transportar las muestras acuosas.

Por lo anterior se construye otra caja con PVC, poliestireno expandido, poliestireno comprimido y EVA de baja densidad a la cual se le ensamblan las tres celdas con sus respectivos disipadores y ventiladores. A la nueva caja se le realizan diferentes pruebas, cuyos resultados muestran que el nuevo prototipo cumple con los objetivos planteados.

El trabajo se divide en cuatro capítulos en los cuales se presentan los conceptos básicos involucrados, la construcción del prototipo, su caracterización y la instrumentación asociada.

¹Marca Sunca, modelo MR-118

En el primer capítulo se presentan los conceptos básicos que permiten la comprensión del funcionamiento de la cámara. En el capítulo dos se describen las partes que integran el equipo y su construcción. En el tercer capítulo dan a conocer los resultados de las pruebas realizadas al sistema de enfriamiento donde se verifica que cumple con las necesidades de transportación de muestras acuosas. En el capítulo cuatro se hace una descripción de los elementos electrónicos utilizados para el monitoreo de la temperatura del equipo. Además se incluyen tres apéndices donde se hace una descripción más detallada de algunos elementos utilizados durante la caracterización del prototipo, así como diagramas eléctrico y electrónico y el código del programa del microcontrolador.

Capítulo 1

Conceptos básicos

El prototipo construido emplea celdas Peltier para la reducción de la temperatura. El principio de funcionamiento de las celdas peltier, que nos llevan a entender el fenómeno termoelectrico, se describe en este capítulo.

Los efectos involucrados pueden ser explicados termodinámicamente mediante la Teoría de Onsager, la cual se describe también en este capítulo. Así mismo, se describen conceptos termodinámicos que son utilizados para la caracterización de la cámara refrigerante.

1.1. Efecto Seebeck

En 1821 el científico alemán Thomas Johann Seebeck (1770-1831) encontró que un circuito conformado por la unión de dos metales distintos deflectaba la aguja de una brújula al colocar a distintas temperaturas las soldaduras entre los dos metales. Para 1822 sus resultados experimentales fueron publicados en los Proceedings de la Academia Prusiana de ciencias bajo el título: *Polarización magnética de metales y minerales por diferencia de temperatura*.

Sólo dos años antes Hans Christian Oersted (1777-1851) había descubierto que la circulación de una corriente a través de un conductor tenía efectos similares sobre la aguja de una brújula. Este hecho, sumado a los estudios posteriores por Ampère, Biot, Savart y Laplace entre otros, sobre la interacción entre una corriente eléctrica y el campo magnético, llevó a Oersted a rebautizar el fenómeno, originalmente denominado termomagnetismo por Seebeck, como termoelectricidad.

Oersted comprendió que era el gradiente de temperatura lo que producía la diferencia de potencial y encontró, además, que la relación entre el voltaje generado y la diferencia de temperatura era lineal, caracterizada por el denominado coeficiente Seebeck o poder termoelectrico.

El efecto Seebeck puede explicarse en términos de la teoría de electrones libres en metales. Según esta aproximación, los electrones en un metal se mueven al azar, sin sufrir el efecto de fuerza neta alguna pues se encuentran rodeados por iones en forma simétrica.

Cerca de la superficie del material, empero, la situación es diferente debido a la rotura de la

simetría. Si ahora se colocan dos materiales formando una junta, la diferencia en densidades electrónicas a ambos lados de la interface se traduce en una fuerza neta sobre los electrones, que tienden a moverse del material con mayor densidad hacia el de menor densidad. Este flujo de electrones induce la aparición de un campo eléctrico y consecuentemente de una diferencia de potencial en la junta.

Consideremos ahora un circuito formado por dos de estas juntas puestas en serie, en lo que comúnmente se denomina un termopar tal como lo muestra la figura 1.1. Si la temperatura de las dos juntas que conforman el termopar es la misma, los campos eléctricos formados en cada junta tendrán igual módulo, pero signos distintos, por lo que la diferencia de potencial a lo largo de todo el circuito será nula.

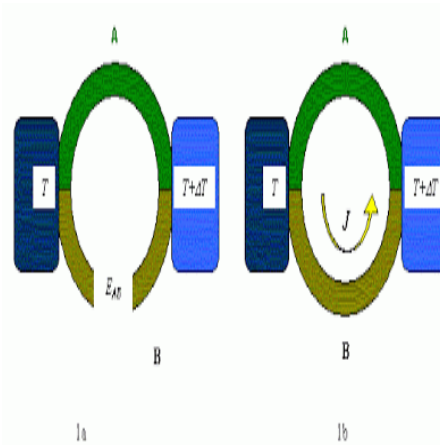


Figura 1.1: Termopar

Si por otro lado, una de las juntas está a mayor temperatura, los electrones de la junta más caliente vibrarán más y el campo eléctrico generado en esta junta será distinto (mayor) al generado en la junta a menor temperatura. De esta manera, la diferencia de temperaturas entre las juntas se evidencia como una diferencia de potencial en el circuito.

1.2. Efecto Peltier

Jean Charles Athanase Peltier (1785-1845), un relojero y meteorólogo Francés encontró en 1834 que la circulación de corriente a través de un circuito conformado por dos metales distintos puede emitir o absorber calor en la junta de los mismos, dependiendo de la dirección de la corriente. La cantidad de calor absorbida o emitida en la junta resultó proporcional a la

corriente eléctrica con una constante denominada coeficiente Peltier.

Al igual que Seebeck, la interpretación original de Peltier fue errónea, argumentando la invalidez del efecto Joule (El efecto Joule predice la disipación de energía en forma de calor cuando una corriente atraviesa un conductor de resistencia finita) a bajas corrientes. La correcta interpretación del fenómeno llegaría recién en 1838, en un trabajo por parte de Heinrich F. Emil Lenz (1804-1865).

Como ya se mencionó, existe un campo eléctrico en la juntura entre dos materiales distintos. Cuando una fuente externa induce un flujo electrónico en el sentido del campo eléctrico, los electrones deben transformar energía cinética en energía potencial. Un movimiento más lento de los electrones, puede visualizarse como en una disminución de la temperatura. Si por el contrario, los electrones se mueven en sentido contrario, su velocidad aumenta por efecto del campo eléctrico extra. Este aumento de la velocidad electrónica puede verse nuevamente como un aumento de la temperatura. Entre mayor sea la diferencia entre la densidad electrónica de los metales A y B, mayor será el campo eléctrico intrínseco y mayor gradiente de temperatura producirá la corriente eléctrica. Más adelante se abundará sobre las relaciones cuantitativas propias de este fenómeno.

1.3. Celda Peltier

Con el fin de aumentar el gradiente de temperatura entre los metales por efecto Peltier, se ha encontrado que la unión de un metal y un semiconductor extrínseco P o N son más eficientes que dos metales simples. Esto es porque la densidad de portadores de carga en los semiconductores se puede manipular entre rangos muy amplios. Una celdas Peltier típica se compone por una doble unión metal-semiconductor P-metal-semiconductor N tal como se ilustra en la figura 1.2

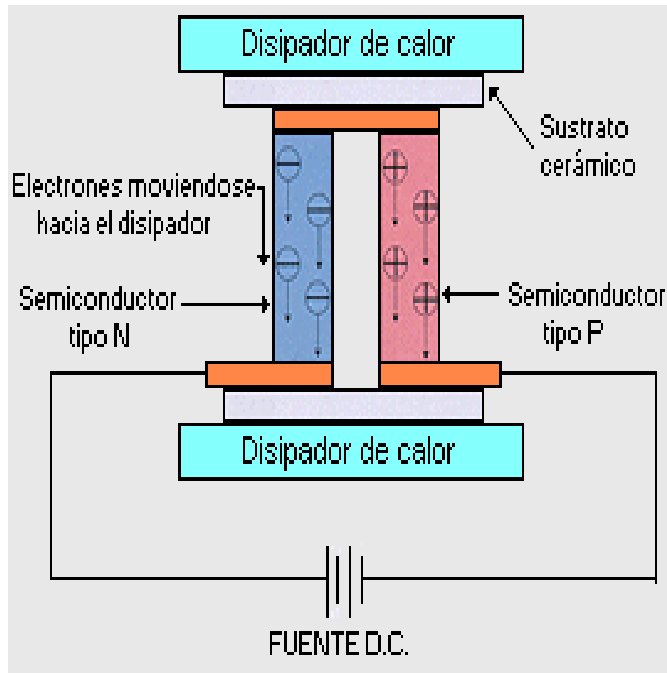


Figura 1.2: Configuración de una celda Peltier

El efecto se puede amplificar todavía más si se conectan varias celdas como esta de la siguiente manera: eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo como se muestra en la figura 1.3.



Figura 1.3: Configuración de una celda Peltier compuesta

En las siguientes cuatro secciones se plantean los aspectos termodinámicos relacionados con los fenómenos termoeléctricos presentes en dispositivos electrónicos como la celda Peltier [19].

1.4. Equilibrio Local

Si un sistema es tal que sus coordenadas termodinámicas no presentan variaciones en el tiempo, ni dependen de la posición, se dice que el sistema se encuentra en equilibrio termodinámico. Si por el contrario, las coordenadas presentan variaciones en diferentes regiones y/o varían en el tiempo entonces se dice que el sistema se encuentra fuera de equilibrio.

Al estudiar sistemas fuera de equilibrio se considera que su volumen V se compone de pequeños elementos de volumen ΔV . Y se asume que la termodinámica de equilibrio es válida para cada elemento. Es decir, se entiende que las relaciones de equilibrio termodinámico son válidas para las variables asignadas a un volumen elemental $\Delta V(x, t)$.

Para saber que tan pequeño puede ser el elemento de volumen es necesario tener presente que para un gas ideal a temperatura y presión normales (298 K a 1atm) la fluctuación relativa de partículas ($\delta N/N$) en un volumen de $1 \mu m^3$ es del orden de 10^{-7} , es decir, se puede considerar que la concentración en cada ΔV es uniforme.

1.5. Régimen Lineal

Las fuerzas termodinámicas son las causas por las que se produce un flujo. Cuando un sistema se encuentra en equilibrio, las fuerzas termodinámicas y los correspondientes flujos deben estar ausentes. Si el sistema está cerca del equilibrio, se espera que las fuerzas presentes sean lo suficientemente pequeñas de tal forma que los flujos generados por estas se puedan expresar como proporcionales a las fuerzas. Dicha suposición es esencial en la Termodinámica Irreversible Lineal, la cual se expresa como:

$$J_k = \sum_j L_{kj} F_j \quad (1.1)$$

donde los factores L_{kj} son constantes conocidas como *coeficientes fenomenológicos*, la J_k es el flujo de calor y los F_j son las fuerzas involucradas.

Desde el siglo XIX se han estudiado experimentalmente diversos sistemas que han llevado al planteamiento de leyes fenomenológicas importantes como las siguientes:

Ley de Fourier de la conducción de calor	$J_Q = -k\nabla T(x)$
Ley de Fick de la difusión	$J_k = -D_k\nabla n_k(x)$
Ley de Ohm de la conducción eléctrica	$I = \nabla\Phi/\rho$

En estas ecuaciones se pueden identificar como flujos a J_Q , J_k e I (los cuales son flujos de calor, de masa y de carga) y como fuerzas a $\nabla T(x)$, $\nabla n_k(x)$ y $\nabla\Phi$ (los gradientes de temperatura, concentración y el potencial) respectivamente. Los parámetros k , D_k y $\frac{1}{\rho}$ corresponden a los coeficientes fenomenológicos L_{kj} .

Algo importante de la ecuación 1.1 es que establece la posibilidad de que una fuerza genere flujos de diferente índole. Ello lleva a identificar los fenómenos cruzados, en los cuales se presentan flujos generados por causas diferentes. Específicamente, en esta tesis se presenta la construcción y caracterización de un prototipo experimental (cámara refrigerante) que hace uso de celdas Peltier basadas en un fenómeno termoeléctrico.

1.6. Relaciones Recíprocas de Onsager

Las leyes fenomenológicas (Ohm, Fourier, Fick) y los efectos cruzados entre flujos y fuerzas, fueron estudiados como casos independientes. Fue hasta 1931 que se presenta una expresión general para estos fenómenos a través de la teoría desarrollada por Lars Onsager. Es por ello que a los coeficientes fenomenológicos L_{kj} se les conoce como Coeficientes de Onsager.

A partir de la ecuación de Balance de entropía [15] es posible mostrar que la producción de entropía σ asume una forma bilineal entre flujos y fuerzas termodinámicas:

$$\sigma = \sum_i F_i J_i \quad (1.2)$$

Si se sustituye la relación lineal entre flujo y fuerzas en la forma bilineal de la producción de entropía se obtiene una forma cuadrática de las fuerzas termodinámicas, la cual debe satisfacer la segunda ley de la termodinámica en su forma local, es decir:

$$\sigma = \sum_{jk} L_{jk} F_j F_k > 0 \quad (1.3)$$

Esto implica que los coeficientes L_{kj} de Onsager deben cumplir con las propiedades de ser una matriz definida positiva. Esto lleva a que los coeficientes fenomenológicos tengan la propiedad de ser tales que:

$$L_{kj} \rightarrow \text{positivos} \quad y \quad L_{kj}(j \neq k) \rightarrow \text{cualquier signo} \quad (1.4)$$

Mediante argumentos microscópicos, como el principio de balance detallado, Onsager mostró que los coeficientes L_{kj} fuera de la diagonal deben ser:

$$L_{jk} = L_{kj} \quad (j \neq k) \quad (1.5)$$

Además, el acoplamiento entre flujos y fuerzas termodinámicas debe satisfacer el principio de simetría, planteado por Ilya Prigogine en 1947. Este principio establece que el acoplamiento entre flujos y fuerzas solo puede ser tal que el efecto o flujo producido por una fuerza termodinámica debe ser de simetría menor o igual a la de la fuerza.

Para percibir el alcance de este escenario planteado en general en el contexto de la Termodinámica Irreversible Lineal (TIL), en la siguiente sección presentamos su aplicación al caso de fenómenos termoeléctricos a quienes pertenecen los conocidos Efecto Seebeck y Efecto Peltier; aspectos importantes en el funcionamiento de las celdas utilizadas en el prototipo construido para esta tesis.

1.7. Fenómeno Termoeléctrico

Consideremos como ejemplo los efectos termoeléctricos en cables conductores, los cuales tendrán un flujo de calor y una corriente eléctrica. La producción de entropía por unidad de volumen debido a estos dos procesos irreversibles es:

$$\sigma = \frac{dS}{dt} = J_Q \frac{\Delta T}{T^2} + I \frac{V}{T} \quad (1.6)$$

donde J_Q es el flujo de calor, I la corriente eléctrica, V el voltaje y T la temperatura media del sistema. Por otra parte, haciendo uso de la TIL que asume una relación lineal entre flujos y fuerzas termodinámicas, es decir, el acoplamiento entre los flujos de calor y carga eléctrica en nuestro sistema:

$$J_q = L_{11} \frac{\Delta T}{T^2} + L_{12} \frac{V}{T} \quad (1.7)$$

$$I = L_{21} \frac{\Delta T}{T^2} + L_{22} \frac{V}{T} \quad (1.8)$$

Las ecuaciones anteriores son las utilizadas para la descripción teórica del efecto Seebeck y Peltier. Es posible también obtener estos coeficientes mediante el uso de teorías microscópicas de conducción en metales como la teoría electrónica en metales y semiconductores[18].

El efecto Seebeck es la generación de una diferencia de potencial entre las uniones de dos metales que se encuentran a diferente temperatura. Como esta diferencia de potencial se mide experimentalmente en condiciones de corriente eléctrica nula, de la ec. 1.8 tenemos que:

$$0 = L_{21} \frac{\Delta T}{T^2} + L_{22} \frac{V}{T} \quad (1.9)$$

Resolviendo a favor de L_{21} la ec. 1.9, podemos escribir:

$$L_{21} = -L_{22} T \left(\frac{V}{\Delta T} \right)_{I=0} \quad (1.10)$$

Experimentalmente se mide lo que se conoce como Poder Termoeléctrico, mismo que se identifica con el cociente:

$$\alpha = \frac{1}{T} \frac{L_{21}}{L_{22}} = - \left(\frac{V}{\Delta T} \right)_{I=0} \quad (1.11)$$

Donde α se conoce como coeficiente Seebeck.

El efecto Peltier es la generación de una diferencia de temperatura entre dos uniones de metales diferentes, a flujo de calor nulo, mientras se hace circular una corriente entre ellas. Como en este caso el flujo de calor es nulo, la ec. 1.7 , se reducen a:

$$0 = L_{11} \frac{\Delta T}{T^2} + L_{12} \frac{V}{T} \quad (1.12)$$

Despejando $\frac{V}{T}$ de 1.12, queda:

$$\frac{V}{T} = - \frac{L_{11}}{L_{12}} \left(\frac{\Delta T}{T^2} \right)_{J_Q=0} \quad (1.13)$$

Sustituyendo en 1.8 y resolviendo a favor de ΔT se obtiene:

$$\Delta T = \frac{T^2}{L_{21} - \frac{L_{11}L_{22}}{L_{12}}} I \quad (1.14)$$

Experimentalmente se mide lo que se conoce como Calor de Peltier β , definido como:

$$\beta \equiv \left(\frac{\Delta T}{I} \right)_{J_Q=0} \quad (1.15)$$

Finalmente, observemos que el Calor de Peltier y la Potencia Termoeléctrica están íntimamente relacionadas en virtud de la relación recíproca de Onsager como:

$$\beta = \frac{T^2}{L_{21} - \frac{L_{11}L_{22}}{L_{12}}} = \left(\frac{\Delta T}{I} \right)_{J_Q=0} \quad (1.16)$$

1.8. Eficiencia

Es importante conocer que tan bueno es el prototipo, es decir, que tanto calor extrae las celdas Peltier con el trabajo (corriente eléctrica) que se le aplica. Como el prototipo trabaja como un refrigerador, entonces se estudia la eficiencia de un refrigerador.

La eficiencia de un refrigerador es el calor extraído por unidad de trabajo suministrado, es decir, que tanto aprovecha el trabajo que se le suministra. La eficiencia se define como:

$$e = \frac{|Q_f|}{|W|} \quad (1.17)$$

De la primera ley de la termodinámica se tiene:

$$0 = Q + W \rightarrow W = -Q \quad (1.18)$$

donde Q es el calor neto transferido a las celdas ($Q_c < 0 < Q_f$). Se tiene que el trabajo total del sistema es:

$$|W| = |Q_c| - |Q_f| \quad (1.19)$$

Sustituyendo en la definición de eficiencia 1.17 se tiene:

$$e = \frac{|Q_c|}{|Q_c| - |Q_f|} \quad (1.20)$$

Donde Q_c es el flujo de calor del foco caliente, mientras Q_f es el flujo de calor del foco frío.

Como el equipo trabaja entre dos focos a diferentes temperaturas la máxima eficiencia que puede tener es la eficiencia de Carnot, la cual se obtiene mediante:

$$e_c = \frac{T_f}{T_c - T_f} \quad (1.21)$$

Con la información que se obtiene de las pruebas realizadas al prototipo y la ecuación 1.21 se puede obtener una estimación de la eficiencia máxima de cada celda, dando un resultado de:

$$e_c = 3.51$$

1.9. Conductividad Térmica

Como se sabe no hay sistema completamente aislado, en el caso del prototipo de la cámara refrigerante portátil, se estudia el fenómeno de transmisión de calor por medio de la conducción a través de sus paredes. Para poder hacer el estudio primero es necesario conocer como calcular la conductividad térmica de las paredes del prototipo. Se hace un análisis experimental, el cual se describe en el apéndice A.1, para determinar la constante de conductividad de cada material empleado para construir la pared de la cámara.

La conducción de calor es el proceso de transmisión de calor entre dos sistemas que se encuentran en contacto mediante una pared o sustancia por la cual fluye calor. El flujo se presenta desde el sistema de mayor temperatura al de menor temperatura, sin intercambio de materia. Este sistema se estudia mediante la ecuación de Fourier para placas paralelas, la cual dice que el calor transmitido es proporcional al área perpendicular al flujo de calor (A), a la conductividad del material (K) y a la diferencia de temperatura (ΔT), y es inversamente proporcional al espesor (L):

$$H = -kA \frac{\Delta T}{L} \quad (1.22)$$

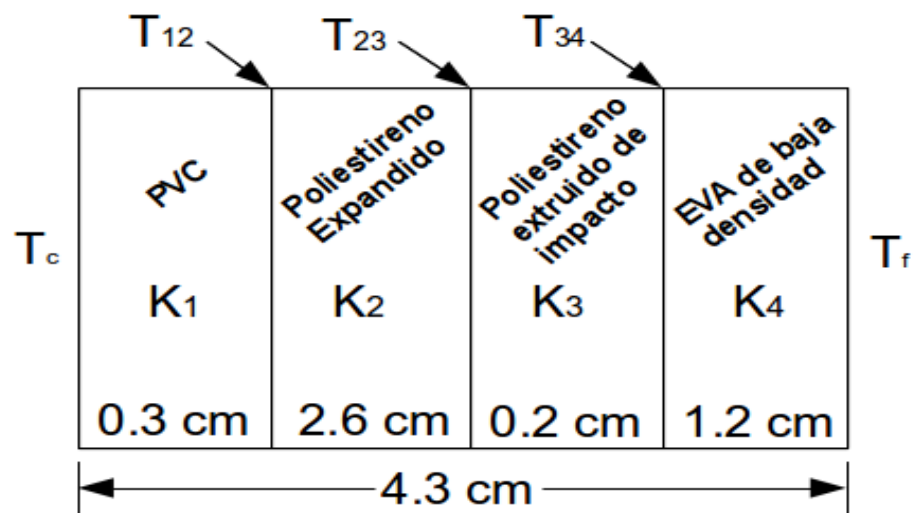


Figura 1.4: Esquema de la pared del prototipo.

Como se ilustra en la figura 1.4, la pared del prototipo posee un espesor de 4.3 cm y se compone de cuatro capas de cuatro materiales diferentes (PVC, poliestireno expandido, poliestireno extruido y EVA). Para calcular la composición térmica de la pared compuesta, se plantea la ecuación 1.22 para cada lamina de pared, de tal forma que se tiene el siguiente sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} H_i &= -k_i A \frac{(T_{i,i+1} - T_c)}{L_i} & i = 1 \\ H_i &= -k_i A \frac{(T_{i,i+1} - T_{i-1,i})}{L_i} & 2 \leq i \leq 3 \end{aligned} \quad (1.23)$$

$$H_i = -k_i A \frac{(T_f - T_{i,i+1})}{L_i} \quad i = 4 \quad (1.24)$$

donde el área es la misma para cualquier espesor. En el estado estacionario se debe satisfacer que:

$$H_i = H = cte \quad (1.25)$$

Con la condición anterior y realizando un poco de álgebra se tiene:

$$H = -\frac{K_1 K_2 K_3 K_4}{K_1 K_4 (K_2 L_3 + K_3 L_2) + K_2 K_3 (K_1 L_4 + K_4 L_1)} A (T_c - T_f) \quad (1.26)$$

Si multiplico y divido por el grosor de la pared se puede escribir la ecuación 1.26 de la forma de la ecuación 1.22, se puede conocer la constante térmica K ya que se midió experimentalmente la constante de conductividad K_i para cada capa del sistema (los resultados de la medición se encuentran en el apéndice A.1). Así mismo se conoce el espesor L_i de cada capa y la diferencia de temperatura entre los disipadores externos (T_c) y la temperatura dentro de la cámara (T_f). Al sustituir los valores encontramos que la conductividad térmica de una pared compuesta del sistema es:

$$H = -0.23A \frac{(T_c - T_f)}{L} \quad (1.27)$$

En la ecuación 1.27 se aprecia que la constante de conductividad efectiva (K_{eff}) es de $0.23 \frac{W}{m^0 K}$.

Capítulo 2

Construcción de la cámara refrigerante

En el presente capítulo se describe el proceso de construcción del equipo refrigerante basado en un sistema de enfriamiento Peltier. Las partes esenciales del prototipo se describen en las siguientes cuatro secciones: composición de la caja, equipo de enfriamiento, sistema de alimentación eléctrico y control electrónico de temperatura. En algunas imágenes incluidas se observarán los elementos que constituyen la versión final del prototipo.

2.1. Composición de la Caja

La cámara refrigerante completa mide 24cm x 25.5cm x 28.2cm en el exterior, tiene una cámara interna de 1197.56 cm^3 con un peso de 6.947 kg, lo que hace que sea un equipo portátil¹.

Los materiales utilizados para el ensamblaje de la caja aislante se han elegido atendiendo a sus propiedades térmicas, específicamente a su capacidad calorífica y conductividad térmica. Cada pared posee un espesor de 4.3 cm que se distribuyen en las siguientes laminas: 0.3 cm de PVC en lamina, 2.6 cm de Poliestireno expandido, 0.2 cm de Poliestireno comprimido (material blanco), y 1.2 cm de etil vinil acetil (EVA) mejor conocido como fomi de baja densidad. La distribución de la caja se puede observar en la figura 1.4.

La caja tiene diferentes dimensiones externas con un compartimiento anexo para la instalación de fuentes de alimentación y pilas, en la figura 2.1 se muestran dichas dimensiones mediante dos imágenes. En la izquierda se observan las dimensiones de la tapadera de la cámara refrigerante y del compartimiento anexo, mientras que en la derecha se pueden ver las dimensiones externas de la cámara refrigerante y las dimensiones de los soportes del equipo.

¹Los costos de construcción se muestran en el apéndice C.2

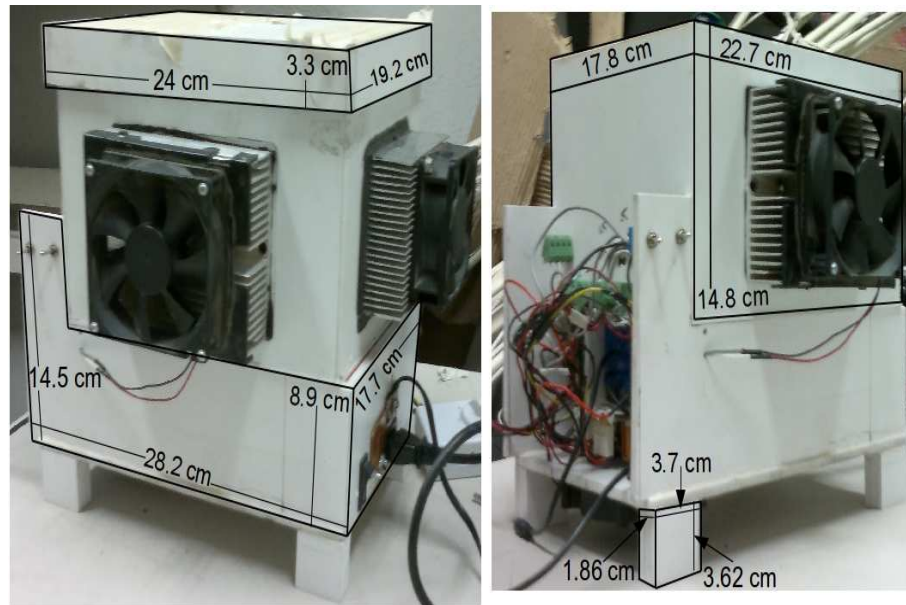


Figura 2.1: Dimensiones de la caja aislante.

El prototipo consta de tres celdas Peltier con diferentes características las cuales se describen en la siguiente sección, por el momento se distinguen como celdas 1, 2 y 3. En la figura 2.2 se observan los esquemas y dimensiones de las paredes donde se colocan dichas placas, incluyéndose el lugar central de colocación de cada una de las placas.

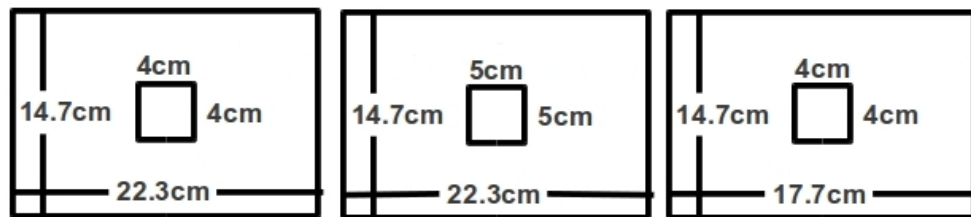


Figura 2.2: Dimensiones de las paredes donde se ensamblan las placas.

La caja aislante se construye colocando las laminas de forma consecutiva, de afuera hacia dentro se empieza con el PVC, luego el Poliestireno expandido, siguiendo con el Poliestireno comprimido y finalizando con el EVA. Estas capas se pueden apreciar en la primera columna del lado izquierdo de la figura 2.3. El PVC sirve como soporte para darle forma al equipo y mantener los otros materiales donde corresponden. El Poliestireno expandido sirve como aislante por su composición. El poliestireno expandido sirve como soporte para el EVA. Finalmente el EVA sirve como aislante para tapar los pequeños lugares debido a su composición. El tamaño de cada

material varía según la posición de donde se encuentran, lo mismo que las dimensiones externas e internas. Esto se puede apreciar en la segunda columna del lado izquierdo de la figura 2.3.

Las dos columnas de la derecha de la figura 2.3 muestran las paredes donde van colocadas las celdas Peltier, así como las dimensiones de los orificios.

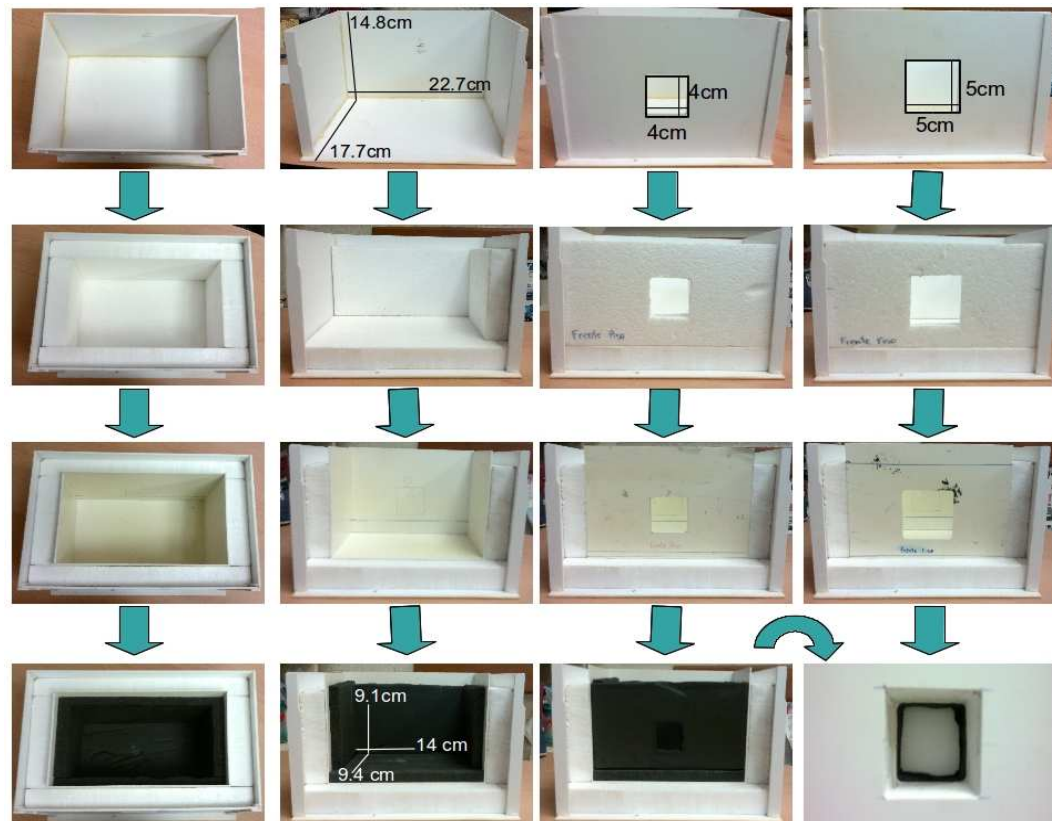


Figura 2.3: Dimensiones y proceso de ensamblaje de cámara refrigerante.

2.2. Equipo de Enfriamiento

El equipo de enfriamiento se compone de tres celdas Peltier, tres cubos de aluminio, seis disipadores y seis ventiladores. Las celdas, los disipadores y ventiladores se obtuvieron de diferentes aparatos, entre ellos una hielera automotriz (marca Sunca, modelo MR-118), frigobar (marca Black & Decker, modelo BNA17) y enfriadores de agua. Los cubos de aluminio se fabricaron con las dimensiones de las celdas, exceptuando su anchura la cual corresponde a la del Poliestireno expandido.

Cada celda se encuentra en contacto con un cubo de aluminio. El conjunto celda-cubo se colocan entre dos disipadores. En el disipador que no está en contacto directo con la celda

se coloca un ventilador, de tal forma que el conjunto disipador-celda-cubo-disipador-ventilador constituye una de las tres unidades de enfriamiento del prototipo. En la figura 2.4 se muestra un esquema de la disposición de las partes en la unidad de enfriamiento, mientras la figura 2.5 muestra la posición de cada unidad de enfriamiento en el prototipo.

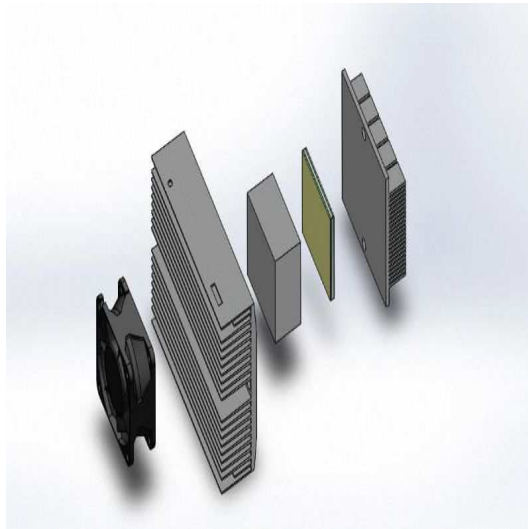


Figura 2.4: Unidad de enfriamiento, de izquierda a derecha se encuentran los siguientes elementos: Ventilador-disipador-cubo de aluminio-celda peltier-disipador.

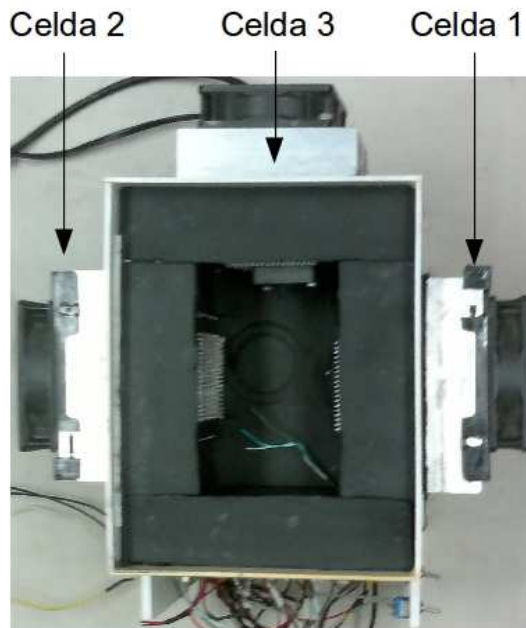


Figura 2.5: Unidad de enfriamiento.

Las celdas Peltier utilizadas son de la compañía Technology Thermoelectric[1], sus características se pueden observar en la tabla 2.1. Se utilizan dichas celdas debido a que se reciclaron de los equipos antes mencionados.

Características	Celdas		
	TEC-12704(2)	TEC-12705(1)	TEC-12706(3)
Dimensiones(cm)	$5 \times 5 \times 3.8$	$4 \times 4 \times 4.2$	$4 \times 4 \times 3.8$
$Q_{max}(W)$	60	49	57
$\Delta T_{max}(^{\circ}C)$	60	75	75
$I_{max}(A)$	4.5	5.3	6.4
$V_{max}(V)$	15.5	16.2	16.4

Cuadro 2.1: Características de las celdas Peltier

En la figura 2.6 se muestra una celda Peltier física y un esquema donde se indica la información sobre las características de sus cables eléctricos.

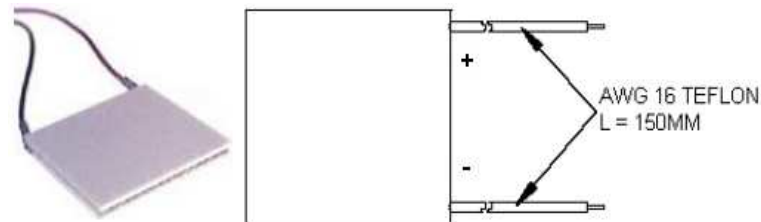


Figura 2.6: Placa Peltier.

Los disipadores empleados son de aluminio y poseen diferentes funciones, características y dimensiones. El disipador más alejado de la celda se dispone en el lado exterior de la cámara de tal manera que ayuda a enfriar la celda. El otro disipador se dispone en el interior de la cámara para homogeneizar el aire encerrado en la cámara. Las medidas de la cámara interna limitan las dimensiones de los disipadores del interior, mientras que los externos varían debido a su procedencia. Las dimensiones, así como el número de columnas y alerones de las que están compuestos los disipadores se pueden observar en la tabla 2.2.

Características	Disipador		
	Internos	Celda 1 y 2	Celda 3
Largo(cm)	7.82	10.02	10.3
Alto(cm)	7.87	12.53	8.4
Ancho(cm)	1.97	3.6	3.26
Columnas	5	2	1
Alerones	19	8	22

Cuadro 2.2: Dimensiones de los Disipadores

En la figura 2.7 se muestran los disipadores con sus dimensiones, el de la izquierda es el interno, el de en medio es el de la celda 1 y 2, el de la derecha es de la celda 3.

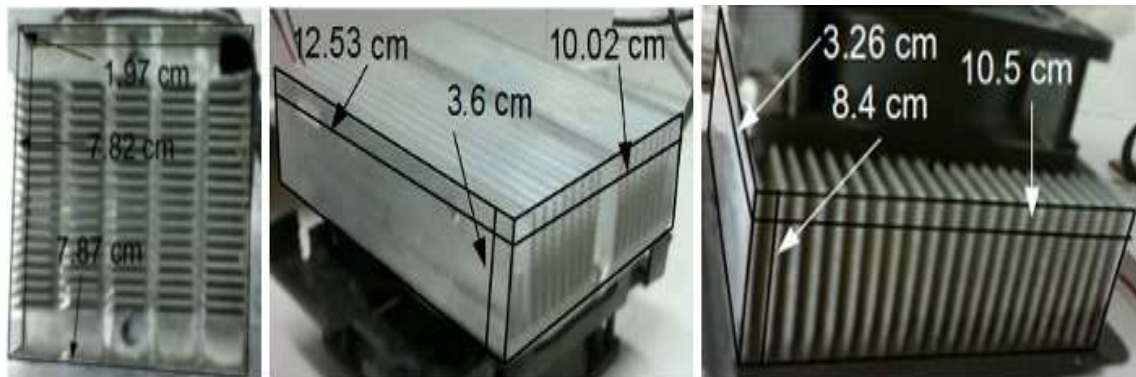


Figura 2.7: Disipadores utilizados en la fabricación del prototipo

Los cubos de aluminio que unen al disipador con la celda son de 4cm por 4cm por 2.6cm para las placas 1 y 3, mientras que para la placa 2 se usa un cubo de 5cm por 5cm por 2.6cm. Los disipadores y el cubo de aluminio están unidos a la celda Peltier mediante la pasta térmica (grasa de silicón) Silitek, para mejorar la conductividad y tornillos para mantenerlos fijos.

Los ventiladores externos al prototipo se emplean para ayudar a enfriar el disipador, adicionalmente se coloca un ventilador más en el interior de la cámara con el objetivo de homogeneizar la temperatura en la misma. Se instalan dos abanicos en las fuentes para evitar que se calienten y con ello se modifique la caja o contribuya a aumentar la temperatura interna de la cámara. Los seis abanicos se conectan para expulsar aire al disipador y así enfriarlo con mayor facilidad. En el cuadro 2.3 se pueden apreciar las diferentes características de los ventiladores utilizados.

Características	Ventilador			
	Internos	Celda 1 y 2	Celda 3	Fuentes
Marca	DC BRUSHLESS FAN		Nidec Beta SL	Ruilian Science
Modelo	AD0412MB-G70	TD9025L5	D08H-12PL	RDL 80205
Dimensiones (cm)	4 × 4.2 × 1.4	9.1 × 9.1 × 2.6	7.9 × 7.9 × 2.5	8 × 8 × 2
Voltaje (V DC)	12	12	12	12
Corriente (A)	0.08	0.16	0.13	0.13

Cuadro 2.3: Características de los ventiladores

En la figura 2.8 se aprecian los cuatro ventiladores con sus diferentes dimensiones. El de la izquierda se coloca dentro de la cámara, el siguiente se coloca en las placas 1 y 2, el siguiente va en la celda 3 y el de la derecha es el empleado para las fuentes.



Figura 2.8: Ventiladores utilizados en el prototipo

2.3. Sistema de alimentación eléctrica

El sistema de alimentación eléctrica consta de dos fuentes de voltaje que alimentan a las celdas y los ventiladores mientras está conectado a una toma corriente; cuenta, además, con dos baterías de 18000 mAh que empiezan a funcionar cuando el equipo se desconecta.

Las fuentes de alimentación y las pilas se colocaron en el compartimiento inferior para evitar que terminara siendo una caja muy voluminosa. Adicionalmente ahí se guardan los conectores eléctricos y los elementos electrónicos utilizados para el monitor de temperatura. En la figura 2.9 se observa el diagrama esquemático del circuito eléctrico que hace funcionar al equipo de enfriamiento.

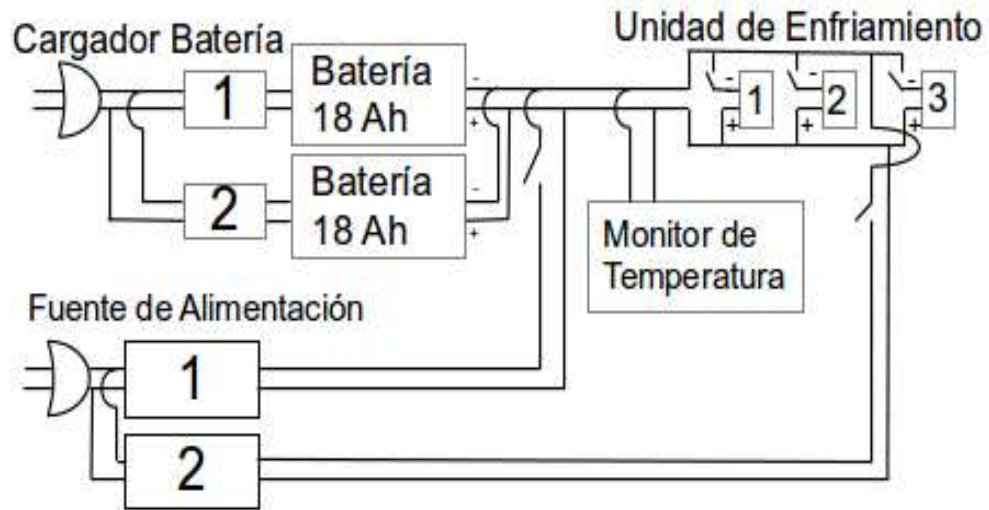


Figura 2.9: Ensamblaje del circuito eléctrico

La fuente de voltaje Black & Decker modelo PCB90425k2 se emplea para alimentar a las celdas 1 y 2 así como a sus ventiladores, mientras que la fuente Generic modelo 29203-059 mantiene a la celda 3, a los dos ventiladores colocados en los disipadores y los ventiladores que enfrían las fuentes. Ambas fuentes se conectan en la misma toma de corriente para evitar que el usuario tenga que buscar más de un conector. Ambas fuentes se observan en la figura 2.10, la primera corresponde a la fuente Generic mientras la segunda es la Black & Decker.

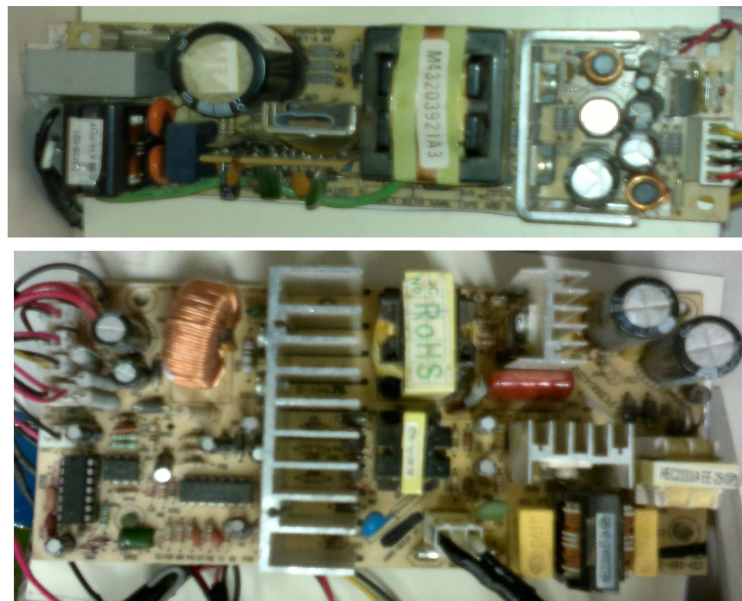


Figura 2.10: Fuentes de alimentación

Como se señala en la Introducción de esta tesis, otro de los requerimientos deseados con la construcción del prototipo es su portabilidad. Con el objetivo de cumplir lo más posible con ello, fue necesario buscar pilas que tuvieran una gran capacidad de almacenamiento de energía, que no fuesen muy pesadas o voluminosas y recargables. Adicionalmente sería deseable poder recargar las pilas también en algún vehículo. Por lo anterior se buscaron pilas de 12 V con un amperaje alto. Las mejores pilas que encontramos son de Li-Ion, recargable de 12 V, 18 Ah con dimensiones 145mm X 65mm X 50mm y peso de 821.1 gr cada una, las cuales pueden suministrar corriente durante cuatro horas.

Un evento importante que nos hizo decidirnos por ella es que la empresa donde se compraron realizaron pruebas de duración y esta pila duró 49h24m haciendo funcionar un equipo que consume 250mA. Es decir, realmente puede entregar 12.35 Ah lo que nos indica que tiene un aprovechamiento del 68.6 % de su capacidad. Otro factor importante de las pilas es que puede utilizarse de batería de respaldo y cuentan con su propio cargador[2]. Las baterías se conectan a un mismo toma corriente, el cual es diferente al conector de las fuentes, y alimentan a las tres placas y los seis ventiladores. En la figura 2.11 se puede apreciar como es físicamente la pila utilizada.



Figura 2.11: Pila de Li-Ion

Adicionalmente al sistema de alimentación eléctrica se le conecta un microprocesador el cual se encarga de mostrarle al usuario la temperatura del interior de la cámara, así como la de los disipadores y el nivel de voltaje de las pilas.

Capítulo 3

Caracterización de la cámara refrigerante

El capítulo contiene el estudio realizado a la cámara refrigerante para conocer su comportamiento en diferentes condiciones ambientales. Con los datos de las hojas técnicas de las celdas peltier tenemos una potencia de extracción de calor fue de 130.7 W y una carga termodinámica de la cámara es de -60.27 W, cuyo análisis más detallado se presenta en el Apéndice A, sección A.1. Además de la información que se presenta en esta sección, se desarrollaron pruebas con las componentes (paredes, ventiladores, celdas Peltier y disipadores) de la caja cuyos resultados también se muestran en las diferentes secciones del Apéndice A.

La caracterización se enfocó en el estudio del comportamiento de los siguientes tres aspectos: el aire dentro de la cámara, un líquido a temperatura ambiente dentro de la cámara y de un líquido frío dentro de la cámara. Se enfocan los estudios a estos tres aspectos debido al objetivo que se persigue. Además se quiere conocer si el prototipo es capaz de disminuir la temperatura de una muestra y el comportamiento de la cámara solamente con aire. El estudio se realiza utilizando agua de la llave debido a su capacidad calorífica, su accesibilidad y además que la mayoría de las muestras biológicas son acuosas.

El equipo utilizado para realizar la caracterización fue el siguiente:

1. Dos interfaces 750 PASCO[6]
2. Cinco sensores de temperatura PASCO de acero inoxidable[7]
3. Un sensor de humedad PASCO[8]
4. Dos computadoras portátiles con el programa Data Studio instalado[9]

3.1. Aire dentro de la cámara

Para conocer el comportamiento que tiene el aire dentro de la cámara se somete al prototipo a diferentes estudios, cambiando las condiciones ambientales. Una prueba se realiza en el

interior de un espacio cerrado, en primer instancia con la puerta abierta y el aire acondicionado apagado; después de una hora se cierra la puerta. A la media hora de cerrar la puerta se incrementa la temperatura ambiente, mediante un calentador ambiental, y 35 minutos después se apaga el equipo. En este caso se mide la temperatura interna de la cámara y la temperatura ambiente.

Otras mediciones se realizan en exteriores en diferentes días y condiciones ambientales: nublado, sin nublado, con viento, sin viento, caluroso, húmedo, etc. En los diferentes casos se mide la temperatura interior y la temperatura de los disipadores externos con el fin de evitar que se dañen las celdas Peltier. En algunas pruebas también se registra la temperatura ambiente y la humedad para hacer un mejor análisis del comportamiento interior de la cámara. Donde no se incluye la humedad y la temperatura ambiente se debe a la falta de disponibilidad del equipo de medición.

Al realizar las mediciones dentro del cuarto se observa que los materiales que componen las paredes del prototipo logran mantener la temperatura de la cámara a una temperatura menor a los $0^{\circ}C$, teniendo en cuenta que la temperatura ambiente máxima durante las mediciones es de $24.2^{\circ}C$. Los resultados obtenidos durante la toma de datos en la habitación se muestran en la figura 3.1, en donde los diferentes colores representan cambios en la situación climática durante el experimento. Al inicio se empieza con la puerta abierta, donde podemos observar un rápido descenso en la temperatura interna, y luego un decremento más lento llegando a oscilar alrededor de los $-11.5^{\circ}C$ (línea negra). Al cerrar la puerta se sigue manteniendo la temperatura alrededor de los $-11.5^{\circ}C$ durante 5 minutos, luego se empieza a ver un incremento lento en la temperatura interna llegando a los $-10.8^{\circ}C$ (línea roja). Al aplicarle calor con el calentador ambiental podemos notar qué la rapidez con la que se incrementa la temperatura en el interior de la cámara es mayor (línea azul) y al apagar el equipo el ascenso en la temperatura se vuelve aun más rápido (línea magenta).

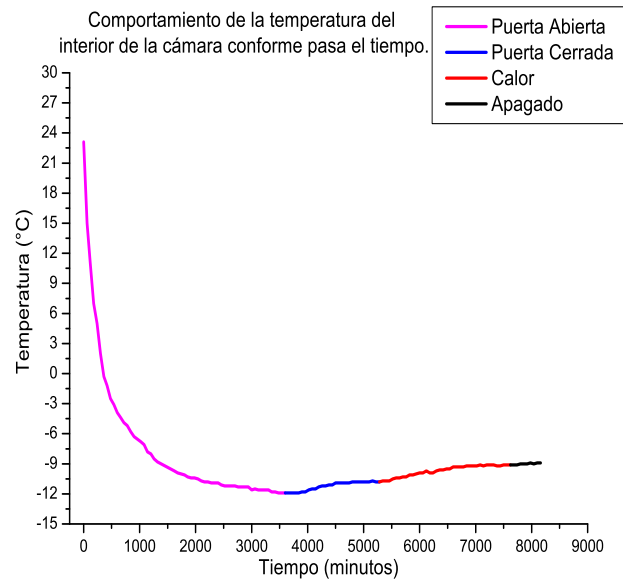
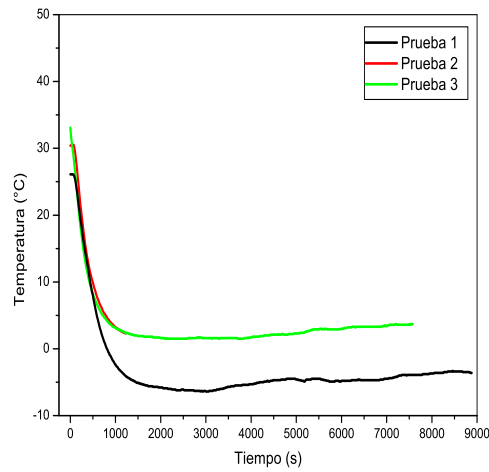


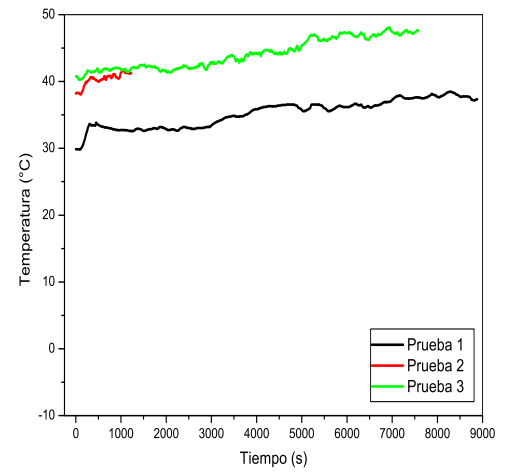
Figura 3.1: Resultados obtenidos al medir la temperatura interna de la cámara en una habitación.

Aunque en el estudio realizado en la habitación se logra llegar a una temperatura interna debajo de los $0^{\circ}C$, existe la duda de si se le puede garantizar al usuario que el interior de la cámara se mantendrá a baja temperatura si el ambiente se encuentra arriba de $24^{\circ}C$. Por esta razón sometimos al prototipo a una temperatura ambiente alrededor de los $40^{\circ}C$, y de esta forma saber cuánto tiempo se puede mantener la temperatura interna por debajo a los $0^{\circ}C$ para transportar las muestras biológicas a temperaturas externas altas.

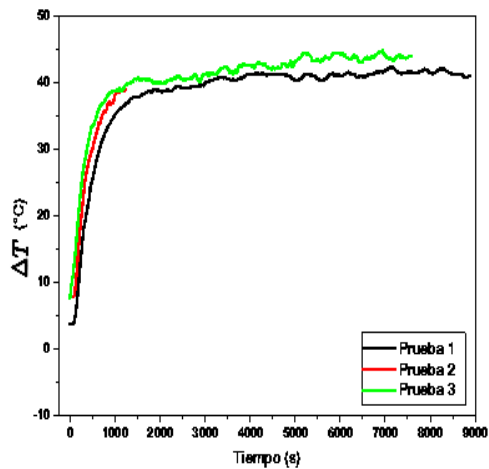
Para comprobar el funcionamiento del equipo, en ambientes como el mencionado, se realizan tres pruebas a la intemperie en diferentes días con temperatura ambiente superior a los $32^{\circ}C$. En las tres pruebas se sitúa al prototipo bajo el sol, y se mide la temperatura del aire encerrado en el interior de la cámara, la temperatura de los disipadores externos y la temperatura ambiente (exceptuando la primer prueba, donde la temperatura ambiente no es registrada). Se monitorea la temperatura de los disipadores externos principalmente para verificar la temperatura de cada celda Peltier y evitar que rebasen su límite máximo de temperatura que es alrededor de los $70^{\circ}C$. Con la temperatura de cada disipador externo se obtiene un promedio el cual se considera como la temperatura del lado caliente de la celda. El resultado se utiliza después para obtener un ΔT entre el lado caliente de la celda y la temperatura del interior de la cámara.



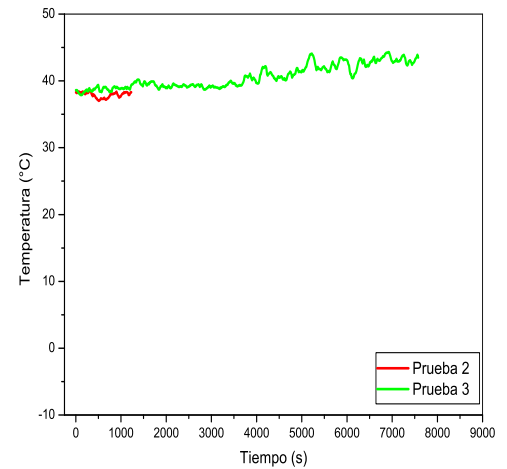
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.2: a) Comportamiento de la temperatura de la cámara interna de las tres pruebas. b) Comportamiento de la temperatura promedio de los disipadores externos en las tres pruebas. c) Comportamiento del delta de temperatura entre el interior de la cámara y los disipadores externos en las tres pruebas. d) Comportamiento de la temperatura ambiente durante las mediciones de las pruebas.

En la gráfica de la figura 3.1 podemos apreciar un descenso en la temperatura, tipo exponencial invertida. Este mismo comportamiento aparece en la gráfica 3.2(a) para cada una de las pruebas. Además podemos notar que efectivamente el prototipo logra reducir la temperatura por debajo de los $0^{\circ}C$ en la prueba 1. En las pruebas 2 y 3 llega a descender alrededor de los

$4^{\circ}C$, a pesar de tener una temperatura ambiente mayor a los $40^{\circ}C$ (gráfica 3.2(d)). Las últimas dos pruebas (prueba 2 y 3) no descienden más debido a los límites de la celda Peltier en su temperatura de la placa caliente.

El funcionamiento de la celda Peltier depende de la temperatura externa, a mayor temperatura menor será su rendimiento. Esto se debe a que la temperatura que alcanza el interior de la cámara depende de la temperatura a la que se encuentran los disipadores. Entre más alta la temperatura del lado caliente mas alta la temperatura del lado frío. Esto se puede apreciar al comparar la gráfica 3.2(a) y 3.2(b), para la prueba 1, se aprecia un comportamiento similar en especial entre los 4500 y los 6000 segundos. Se puede ver que al cambiar la temperatura del lado caliente (la temperatura de los disipadores externos) la temperatura interna cambia de la misma forma pero a menor magnitud y con una diferencia de tiempo. La recta creciente al final de la prueba 3.2(b) que aparece en la gráfica 3.2(a) se produce debido a que el prototipo fue apagado para estudiar el aislamiento de la cámara. Es evidente que hay un incremento rápido de la temperatura de la cámara¹.

En la gráfica 3.2(c) se muestra el comportamiento del ΔT entre los disipadores y el interior de la cámara. Podemos observar que al inicio se produce un cambio rápido llegando a estabilizarse después de 1400 segundos, para las tres pruebas. Podemos llegar a pensar que el ΔT que alcance después de los 1400 segundos es al cual estará oscilando el prototipo.

3.2. Comportamiento del agua a temperatura ambiente dentro de la cámara refrigerante

En la sección anterior mostramos que el prototipo logra enfriar la cámara con aire a una temperatura menor a los $4^{\circ}C$ cuando la temperatura ambiente es mayor a los $40^{\circ}C$. A pesar de que este es un buen resultado, no se puede obtener una conclusión final sobre el funcionamiento del prototipo. La finalidad del equipo es mantener una sustancia acuosa fría, es por ello que se debe analizar cómo se comporta un liquido a temperatura ambiente dentro de la cámara. De esta forma se podrá saber si el prototipo es capaz de cumplir con el objetivo. En este caso se utilizó agua de la llave debido a su fácil acceso, su bajo costo y su semejanza con las muestras

¹En el apéndice A.3 se puede observar unas gráficas donde se muestra la similitud en el comportamiento del promedio de las temperaturas de los disipadores y la temperatura interna de la cámara.

en su capacidad calorífica².

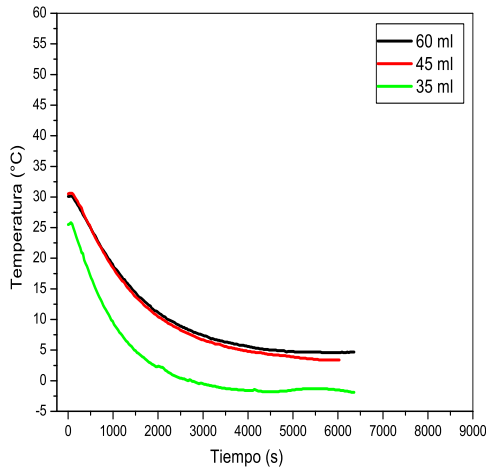
Se realizan tres pruebas a la intemperie, donde el prototipo se sitúa al sol en diferentes días cuya temperatura ambiente es mayor a los 35⁰C. Para cada prueba se utiliza una cantidad de agua diferente, de esta forma se tiene una mejor idea de la dependencia entre la cantidad de agua y la temperatura mínima alcanzada. En todas las mediciones se consideró: la temperatura de cada disipador externo, la temperatura del agua dentro de la cámara y la temperatura ambiente. En la tabla 3.1 se muestran el comportamiento de las diferentes muestras, donde se observa cómo el volumen de agua afecta la temperatura mínima alcanzada y el tiempo que tarda en llegar a ella.

Características Observadas	Volumen de las muestras estudiadas		
	60 ml	45 ml	35 ml
Temperatura Inicial	30.1 ⁰ C	30.5 ⁰ C	25.5 ⁰ C
Temperatura Mínima	4.6 ⁰ C	3.4 ⁰ C	-1.8 ⁰ C
Tiempo en disminuir 5 ⁰ C	8 minutos	8 minutos	5.5 minutos
Tiempo en disminuir 10 ⁰ C	14.5 minutos	14 minutos	10 minutos
Tiempo en disminuir 15 ⁰ C	23.5 minutos	21.5 minutos	15.5 minutos
Tiempo en disminuir 20 ⁰ C	36.5 minutos	33.5 minutos	23.5 minutos
Tiempo en disminuir 25 ⁰ C	72.5 minutos	59 minutos	41 minutos
Tiempo en disminuir 30 ⁰ C	No lo logra	No lo logra	No lo logra
Tiempo en alcanzar T_{minima}	94 minutos	93 minutos	74 minutos

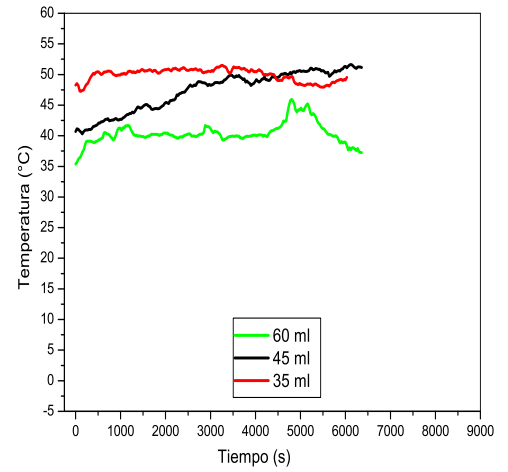
Cuadro 3.1: Resultados obtenidos para diferentes volúmenes de agua

Con los diferentes datos registrados se obtiene el ΔT entre el promedio de la temperatura de los disipadores externos y la temperatura de la muestra. Para cada volumen de agua se obtiene ese ΔT para hacer estudiar su comportamiento en el tiempo. Además del ΔT se estudia el comportamiento de la temperatura del agua dentro de la cámara (temperatura interna), el promedio de la temperatura de los disipadores (temperatura externa) y la dependencia de la temperatura externa e interna con la temperatura ambiente.

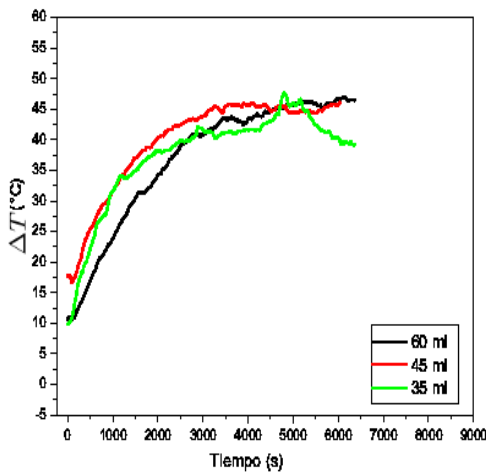
²El tiempo que emplea en bajar la temperatura de la cámara tiene una dependencia con la capacidad calorífica. Es decir, si la sustancia a enfriar tiene una alta capacidad calorífica el tiempo que tarda en bajar la temperatura es mayor que si es baja.



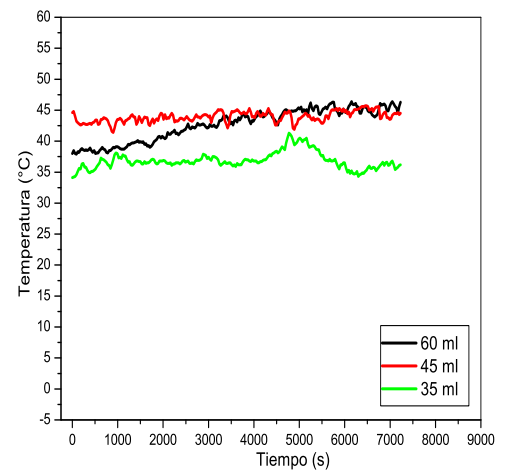
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.3: a) Comportamiento de la temperatura en el tiempo, de los diferentes volúmenes de agua en el interior de la cámara

b) Comportamiento de la temperatura en el tiempo, promedio de los disipadores externos en las tres pruebas.

c) Comportamiento en el tiempo del delta de temperatura entre el agua dentro de la cámara y los disipadores externos en las tres pruebas.

d) Comportamiento en el tiempo de la temperatura ambiente durante las mediciones de las tres pruebas.

La gráfica 3.3(a) muestra el comportamiento de la temperatura del agua durante la medición. Podemos notar que el descenso en la temperatura no es muy rápido, en comparación con la gráfica

3.2(a), aunque sigue tipo exponencial invertida.

Si se ven las gráficas se puede pensar que la temperatura que alcanza la muestra tiene una gran dependencia con el volumen, pero si se observan la prueba para 60 ml y para 45 ml no hay mucha diferencia en su comportamiento. Otra observación que nos lleva a pensar que el volumen no es un factor muy importante para el funcionamiento del prototipo es el comportamiento del ΔT de los diferentes volúmenes el cual es muy similar (gráfica 3.3(c)). El hecho que la prueba para la muestra de 35 ml no se comporte de la misma manera es debido a que la temperatura ambiente es menor al realizar la medición.

Otra vez se puede apreciar, en las gráficas, la dependencia que tiene la temperatura externa e interna con la temperatura ambiente. Para los 35 ml se ve claramente que si la temperatura ambiente cambia, el promedio de las temperaturas de los disipadores también cambia. Al hacer el análisis se observó que las curvas tienen una pendiente del mismo orden de magnitud.

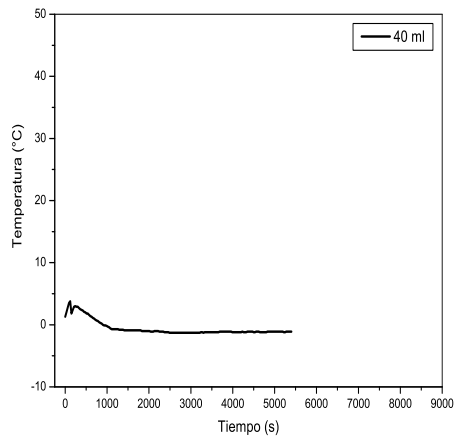
3.3. Comportamiento de agua fría dentro de la cámara refrigerante

En las secciones 3.1 y 3.2 mostramos el funcionamiento del prototipo. Con los resultados obtenidos podemos llegar a la conclusión de que el prototipo puede trabajar bien a temperaturas ambientes mayores a los $40^{\circ}C$, aunque todavía no se muestra si realmente mantiene, al menos por una hora, una muestra que inicialmente se encuentra a una temperatura menor a los $5^{\circ}C$. Por ello se realiza otra prueba de someter el prototipo a la intemperie, bajo el sol, con una muestra de 40 ml de agua de la llave a una temperatura de $2^{\circ}C$ dentro de la cámara, y encendiendo el sistema a partir de esa esta temperatura. Es de gran importancia realizar esta prueba ya que la finalidad del equipo es transportar las muestras acuosas, de un laboratorio a otro, que previamente se encuentran a bajas temperaturas dentro de un refrigerador.

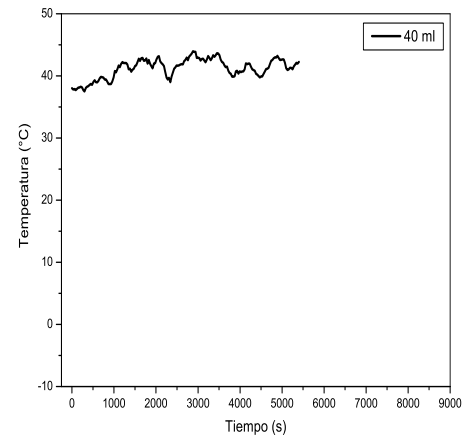
Mediante los resultados de la medición se busca saber si se podrá garantizar al usuario que el prototipo es capaz de mantener, durante una hora, la temperatura de la muestra. En la prueba se registra la temperatura del agua dentro de la cámara, la temperatura de los disipadores externos y la temperatura ambiente. Con los datos obtenidos se estudia el comportamiento en el tiempo de la temperatura del agua dentro de la cámara. Se obtiene un promedio de las temperaturas de los disipadores externos, la cual se considera como la temperatura del lado caliente de la celda Peltier. Se obtiene un ΔT entre el promedio de la temperatura de los disipadores y la

temperatura del agua.

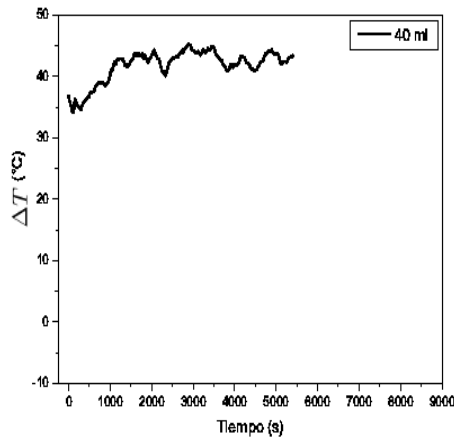
El estudio muestra que el prototipo encendido logra disminuir y mantener la temperatura de la muestra alrededor de los $-1.5^{\circ}C$, pese a la variación en la temperatura de los disipadores externos. Podemos notar, en la gráfica 3.4a, que el tiempo empleado para disminuir la temperatura hasta pasar los $0^{\circ}C$ es aproximadamente 1000 segundos, tiempo corto comparado con el empleado en las pruebas con agua a temperatura ambiente.



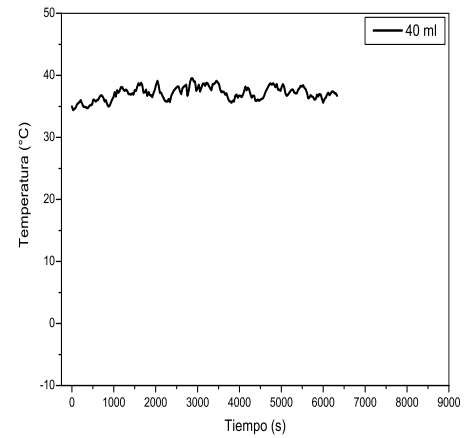
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.4: a) Comportamiento de agua fría dentro de la cámara en el tiempo.

b) Comportamiento de la temperatura promedio de los disipadores externos.

c) Comportamiento del delta de temperatura entre el agua fría dentro de la cámara y el promedio de los disipadores externos.

d) Comportamiento de la temperatura ambiente durante la medición.

Al inicio de la gráfica 3.4(a) se muestra un descenso en la temperatura de la muestra, lo que nos lleva a pensar, que a pesar de que se encuentra a una temperatura baja la muestra el equipo la lleva hasta la menor temperatura que pudiese alcanzar. Además podemos notar que la temperatura del agua se mantiene alrededor de los $-1.5^{\circ}C$ a pesar de que la temperatura de los disipadores o la ambiente cambian. Este hecho es muy importante, ya que muestra claramente que el equipo esta funcionando bien, y logra la estabilidad dentro de la cámara, así como una temperatura debajo de los $0^{\circ}C$.

Al comparar la gráfica 3.4(b) y 3.4(c) podemos observar un comportamiento similar ente la temperatura ambiente y el promedio de la temperatura de los disipadores, lo que nos muestra la dependencia del equipo con el ambiente. En la gráfica 3.4(c)se muestra como el ΔT tiene un comportamiento similar al de la temperatura de los disipadores.

Capítulo 4

Instrumentación

El módulo refrigerante estaría incompleto si no se le permitiera al usuario conocer, por lo menos, la temperatura actual de la cámara. También sería importante para el usuario el conocer las temperaturas de los disipadores de las celdas y el nivel de carga de las baterías. La temperatura de los disipadores es importante para cuidar la integridad de las celdas. Con este fin se desarrolló un sistema electrónico que permite:

- Medir la temperatura de la cámara.
- Medir la temperatura de los disipadores de cada celda Peltier.
- Medir el voltaje de las baterías.

Por eso se dedica un capítulo donde se hace una descripción del equipo electrónico que se emplea en la construcción del equipo refrigerante. Así mismo, se describe el circuito construido para darle la información importante al usuario.

4.1. Módulo de enfriamiento

El módulo de enfriamiento dispone de dos pilas de iones de litio que alimentan, como ya se vio, a las tres celdas Peltier¹ y sus respectivos ventiladores. Además, las pilas alimentan a un circuito electrónico que permite medir las temperaturas de la cámara y de los disipadores de calor de las celdas. Este circuito mide también el voltaje actual de las pilas con el fin de que el usuario conozca su nivel de carga.

El módulo dispone también de dos circuitos fuente AC/DC para ser empleados como fuentes y como cargadores² de las pilas³ cuando se disponga de una conexión a la red eléctrica convencional.

El esquema de todo el sistema eléctrico se muestra en la figura 4.1.

¹La descripción completa de las celdas Peltier se encuentra en el apéndice B.1

²Estos cargadores son módulos comerciales cuyas especificaciones se muestran en el apéndice B.2.

³Las especificaciones de las pilas se muestran en el apéndice B.3.

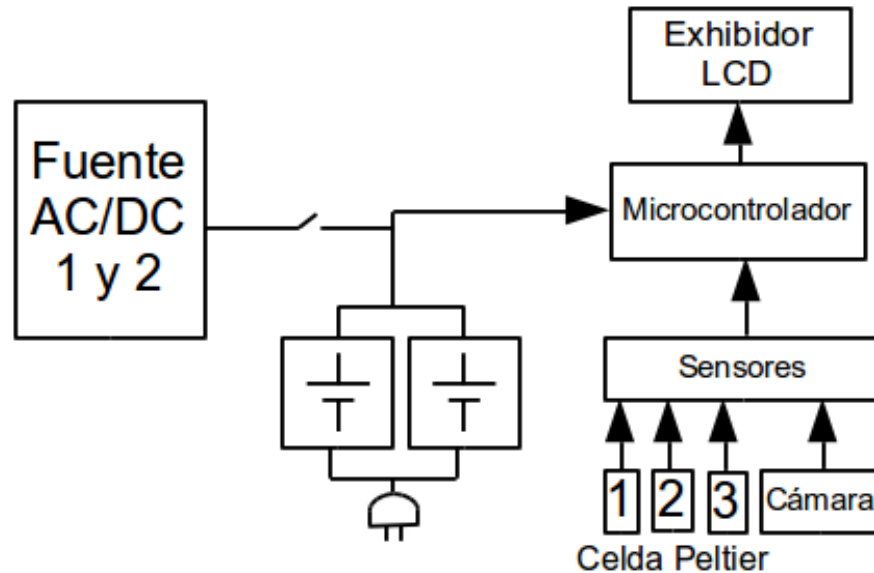


Figura 4.1: El sistema de energía y medición.

4.2. Microcontrolador

El circuito de medición construido, se desarrolla alrededor de un microcontrolador, donde se recibe la información de la temperatura de la cámara y las celdas Peltier por medio de tres sensores y un termistor; colocados en los disipadores externos de las celdas y dentro de la cámara respectivamente. También el microcontrolador maneja un exhibidor tipo LCD en donde presenta la información de las temperaturas y el nivel de voltaje de las pilas.

El corazón del sistema lo forma un circuito microcontrolador. Este es un circuito integrado programable, formado por un CPU, memoria RAM, memoria ROM, puertos de entrada/salida y un generador de pulsos de reloj.

El microcontrolador utilizado es de la familia PIC16F876⁴, fabricado por Microchip Technology. Es un microcontrolador económico (alrededor de 5 dólares) de 8 bits con tres puertos digitales de entrada/salida y un convertidor A/D de 8 bits y 6 canales de entrada. Tiene una capacidad de memoria RAM de 192 bytes y 4k de memoria flash para el programa interno. Su acceso físico es a través de 28 terminales o pins. Su velocidad de operación es de hasta 20 MHz aunque en la aplicación se limita a 4 MHz. En la figura 4.2 se puede observar el microcontrolador utilizado.

⁴El diagrama eléctrico del microcontrolador se encuentran en el apéndice C.2.

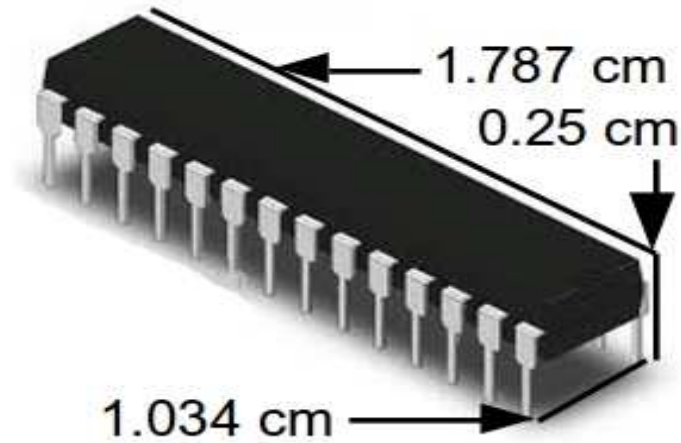


Figura 4.2: Microcontrolador PIC16F87

El PIC16F876 recibe la información de la temperatura y las celdas Peltier por medio de tres sensores y un termistor; colocados en los disipadores externos de las celdas y dentro de la cámara respectivamente. También maneja un exhibidor de 16 caracteres tipo LCD en donde presenta la información de las temperaturas y el nivel de voltaje de las pilas.

El microcontrolador se debe programar a través de una interface a PC denominada programador o "quemador" en un lenguaje tipo ensamblador provisto por el fabricante. En la PC se instala un software especial denominado MPLab que sirve para editar, ensamblar (compilar) y controlar el programador, todo en un ambiente integrado conocido como IDE. Véase la figura 4.3.

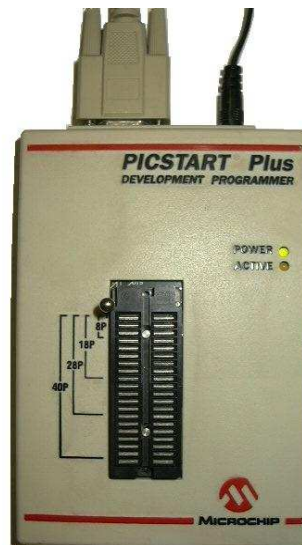


Figura 4.3: El programador empleado PICSTART PLUS

El diagrama de flujo del circuito se organiza bajo el esquema mostrado en la figura 4.4 y el programa completo, desarrollado en el lenguaje ensamblador nativo de los Microcontroladores PIC, se muestra en el apéndice C.

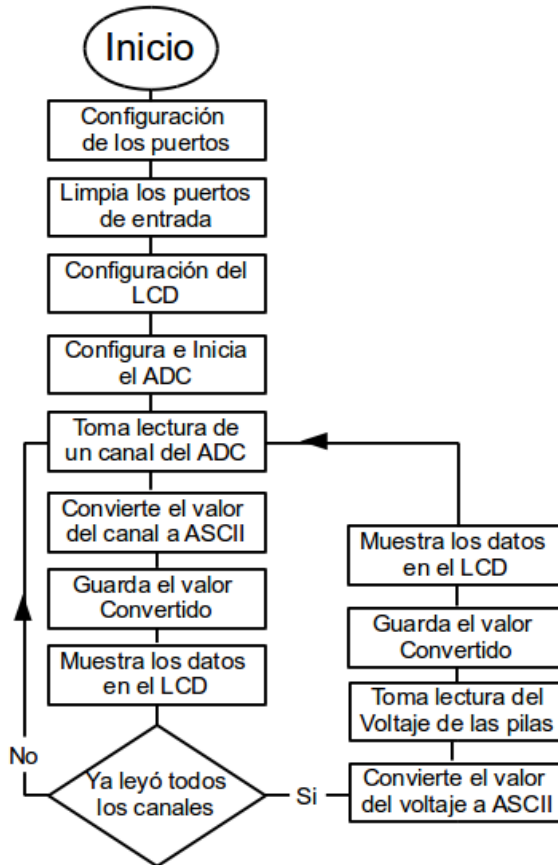


Figura 4.4: Diagrama de Flujo del Circuito

El programa desarrollado realiza las siguientes funciones en forma secuencial:

- 1.- Configura puertos de entrada y salida: A, es entrada, B y C son de salida.
- 2.- Configura convertidor A/D.
- 3.- Configura el exhibidor en modo de 8 bits.
- 4.- Lee el canal 1 y convierte a temperatura T1 de la primera celda y lo muestra en el exhibidor.
- 5.- Lee el canal 2 y convierte a temperatura T2 de la segunda celda y lo muestra en el exhibidor.
- 6.- Lee el canal 3 y convierte a temperatura T3 de la tercera celda y lo muestra en el exhibidor.

- 7.- Lee el canal 4 y convierte a temperatura TC de la cámara y lo muestra en el exhibidor.
- 8.- Lee el canal 5 y escala al voltaje VB de las pilas y lo muestra en el exhibidor
- 9.- Regresa al punto 4.

4.3. Sensores de Temperatura

Los sensores⁵ empleados para medir las temperaturas de los disipadores de las celdas son del tipo semiconductor fabricados por National Semiconductor matrícula LM35N con precisión de 0.5 grados y rango de operación de 0 a 120 grados centígrados. El termistor empleado para la temperatura de la cámara, es de tipo RL10 que tiene una precisión de 0.5 grados y rango de -50 a 150 grados centígrados. En la figura 4.5 se puede observar la imagen de un sensor empleado.

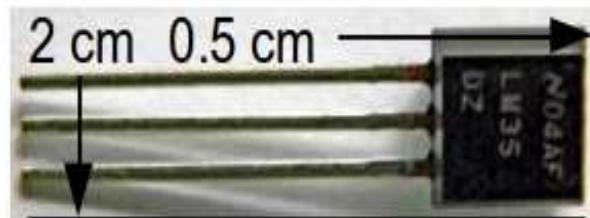


Figura 4.5: Sensor de temperatura.

4.4. LCD

El exhibidor empleado es un módulo LCD de un renglón de 16 caracteres modelo DV-16100 fabricado por DATA VISION y cuya descripción completa se incluye en el apéndice B.5. En este exhibidor se muestra cíclicamente:

- 1.- Temperatura de la cámara.
- 2.- Temperatura del disipador de la celda Peltier 1.
- 3.- Temperatura del disipador de la celda Peltier 2.
- 4.- Temperatura del disipador de la celda Peltier 3.
- 5.- Nivel de voltaje de las Pilas

⁵Sus características detalladas se muestran en el apéndice B.4.

En la figura 4.6 se muestra el exhibidor utilizado.



Figura 4.6: Exhibidor LCD.

4.5. Fuente de energía eléctrica.

Por razones de espacio y costo se emplearon dos circuitos independientes de energía AC/DC para cargar las pilas y/o alimentar las celdas, el circuito de medición y los ventiladores. Estos circuitos entregan 12 volts DC con corriente máxima de 4 amperes. En la tabla 4.1 aparecen dos columnas, las cuales ilustran como están distribuidos las diferentes componentes que ocupan corriente en cada circuito. Las fuentes cuentan con sus propios ventiladores con el fin de evitar la transferencia de calor hacía la zona de la cámara.

Fuente Generic (1)	Fuente Black and Decker (2)
Ventilador que enfría la fuente grande (RDL80205)	Ventilador que enfría la fuente chica (RDL80205)
Ventilador externo de la celda 3 (D08H-12PL)	Ventilador interno de la cámara (AD0412MB-G70)
Celda 3 (12706)	Ventilador externo de la celda 1 (TD9025L5)
Sensor de Temperatura interno	Ventilador externo de la celda 2 (TD9025L5)
	Celda 1 (12705)
	Celda 2 (12704)

Cuadro 4.1: fuentes

Conclusiones

En las secciones anteriores se presentan los conceptos necesarios para el estudio y ensamblaje de un prototipo para transportar muestras acuosas a una temperatura menor a los $4^{\circ}C$. Así mismo se realiza una descripción detallada de la construcción y las pruebas realizadas al equipo.

El resultado final del trabajo es un prototipo de una cámara refrigerante de 6.74 kg cuyas dimensiones son de 24x25.5x28.2 cm la cual tiene una capacidad de 1197 cm^3 , el cual logra tener una temperatura interna menor a los $6^{\circ}C$, con una eficiencia máxima de 3.51.

Los resultados de los diferentes estudios del prototipo muestran el funcionamiento del interior de la cámara. En estos se observa que la temperatura dentro de la cámara logra disminuir a una temperatura menor de los $6^{\circ}C$ aunque se tenga una temperatura ambiente mayor a los $40^{\circ}C$, lo que indica un buen funcionamiento del equipo.

Al analizar los resultados, en especial la sección 3.3, se puede concluir que el equipo cumple con el objetivo de mantener, por lo menos, durante 5520 segundos (92 minutos) una muestra líquida a una temperatura menor a los $0^{\circ}C$. Es decir, que con temperaturas ambientales entre $34^{\circ}C$ y $39^{\circ}C$ se puede garantizar que las muestras, inicialmente frías, se mantendrán a una temperatura alrededor de los $-1.5^{\circ}C$.

Otra observación que podemos ver de los resultados, al comparar las gráficas, es como la temperatura ambiente afecta directamente a la temperatura de los disipadores, lo que llega a modificar la temperatura que logra alcanzar la cámara. Si la temperatura ambiente incrementa hasta llegar a los $45^{\circ}C$ la temperatura del interior de la cámara no logra disminuir más abajo de los $4^{\circ}C$. Aunque sí la temperatura ambiente se encuentra alrededor de los $37^{\circ}C$, la temperatura en el interior de la cámara, puede llegar hasta los $-2^{\circ}C$.

Podemos concluir que se logró construir y caracterizar un prototipo para transportar muestras acuosas, las cuales necesitan estar a una temperatura menor a los $4^{\circ}C$. Aun así, al equipo se le pueden hacer más estudios y modificaciones para tratar de mejorar su funcionamiento y caracterización. Algunos de estos estudios y mejoras pueden ser:

Estudios

-
- Caracterización individual de cada celda Peltier.
 - Mediciones simultaneas de la temperatura de una muestra de agua dentro de la cámara, de la temperatura de la cámara, la temperatura de los disipadores y el medio ambiente.

Mejoras

- Control de la temperatura interna mediante el microcontrolador.
- El poder modificar la temperatura interna a la que el usuario dese transportar las muestras.

Apéndices

Apéndice A

Análisis de las componentes de la cámara refrigerante

El apéndice contiene los estudios realizados a las diferentes componentes de la cámara refrigerante. Se divide en varias secciones, estas son: Análisis de las paredes de la cámara refrigerante, Carga termodinámica de la cámara, Análisis extras del funcionamiento del prototipo y Caracterización de los disipadores utilizados.

A.1. Análisis de las paredes de la cámara refrigerante

En un sistema que se encarga de bajar o mantener una temperatura es importante la composición de las paredes. Dependiendo de las características físicas de un material como dureza, grosor, porosidad, composición se puede clasificar como aislante o conductor. Si el objetivo principal del equipo es mantener a una temperatura baja alguna muestra biológica es necesario tener paredes con baja conductividad.

Un estudio realizado a la pared del prototipo, así como a cada material, nos permite estimar su conductividad térmica experimental. Para realizar el estudio se utilizan los siguientes materiales:

- Equipo de Conductividad Térmica de Pasco[10]
- Hielo en forma cilíndrica
- Báscula electrónica
- Cronómetro
- Vaso de Precipitado
- Una placa de Poliestireno expandido

- Una placa de fomi
- Una placa de lamina de poliuretano
- Una placa de la pared compuesta

Se siguen estos pasos:

1. Cada material se forra con papel aluminio, para evitar la humedad debido al vapor que se ocupa en la prueba, y un canal para guiar al agua del hielo derretido.
2. Se miden las dimensiones cada placa (espesor y área), se monta el equipo de conductividad térmica y la placa a la cual se medirá la conductividad.
3. Se mide el diámetro de la superficie del hielo que se pone en contacto con la placa y se espera un momento para que el hielo empiece a derretirse.
4. Mientras tanto se calibra la báscula y se pone el vaso de precipitado para recolectar el agua del hielo.
5. Ya que el hielo se empieza a derretir se recolecta la fusión del hielo en el vaso y se mide la masa de agua obtenida durante 10 minutos aproximadamente.
6. Se vuelve a medir el diámetro del hielo y se guarda durante un momento.
7. Se pone agua previamente calentada (para hacer más rápido el experimento) en la cámara de vapor del equipo de conductividad térmica.
8. Se enciende la cámara y hay que esperar a que la temperatura se estabilice la temperatura, de manera que el flujo de calor que pasa a través de la placa sea constante.
9. Ya que esta constante se repiten los pasos 3 y 5.
10. Se repiten todos los pasos para cada una de las placas.

Con la información obtenida se realizan los siguientes cálculos para encontrar la constante de conductividad térmica de cada placa:

1. Se obtiene el diámetro medio del hielo durante el experimento.

2. Con el diámetro promedio se determina A, el área sobre la que el flujo de calor entre el hielo y el vapor de la cámara (suponiendo que A es simplemente el área de la hielo en contacto con el material de la muestra.)
3. Se divide la masa del agua derretida entre el tiempo empleado para obtener las tasas a las que el hielo se derritió antes y después de encendido el vapor.
4. Se obtiene la velocidad a la que el hielo se derritió debido a la diferencia de temperatura solamente.
5. Se considera que el calor latente de fusión de hielo es de 1 gramo por 80 calorías de flujo de calor.
6. Con los valores encontrados se calcula la K con:

$$k = hA \frac{\Delta Q}{\Delta T \Delta t} \quad (\text{A.1})$$

Las constantes de conductividad encontradas para las diferentes placas son:

- Lamina de poliestireno comprimido $K = 0.140 \frac{w}{m^0 K}$
- Poliestireno expandido $K = 0.4919 \frac{w}{m^0 K}$
- Fomi de baja densidad(EVA) $K = 0.118 \frac{w}{m^0 K}$

A.2. Carga termodinámica de la cámara

Se estudia la carga termodinámica para el caso de la cámara de aire, en el estado estacionario, utilizando la ecuación de Fourier para placas paralelas planteada en el capítulo I. Los datos empleados son:

$$\begin{aligned} \overline{\Delta T} &= 42.44^0 C \\ K_{efe} &= 0.23 \frac{w}{m^0 K} \\ A &= 0.199 m^2 \\ L &= 0.0436 m \end{aligned}$$

(A.2)

Lo que nos da una carga termodinámica total de:

$$\overline{H} = -44.55W$$

A.3. Análisis adicionales del funcionamiento del prototipo

Se analiza el comportamiento de la temperatura interna y la temperatura de los disipadores de la cámara con son solo aire en su interior. Al analizar ambos comportamientos en el estado estacionario, se llega a la conclusión de que el comportamiento de ambos análisis no, son iguales aunque si muestran un comportamiento similar (al obtener la pendiente, se muestra que tienen el mismo orden de magnitud). Al observar las gráficas se ve con mayor claridad dicho comportamiento entre los 4500 y los 6000 segundos, al hacer un acercamiento a dichos tiempos se observa el comportamiento similar. Las gráficas a continuación muestran lo antes mencionado.

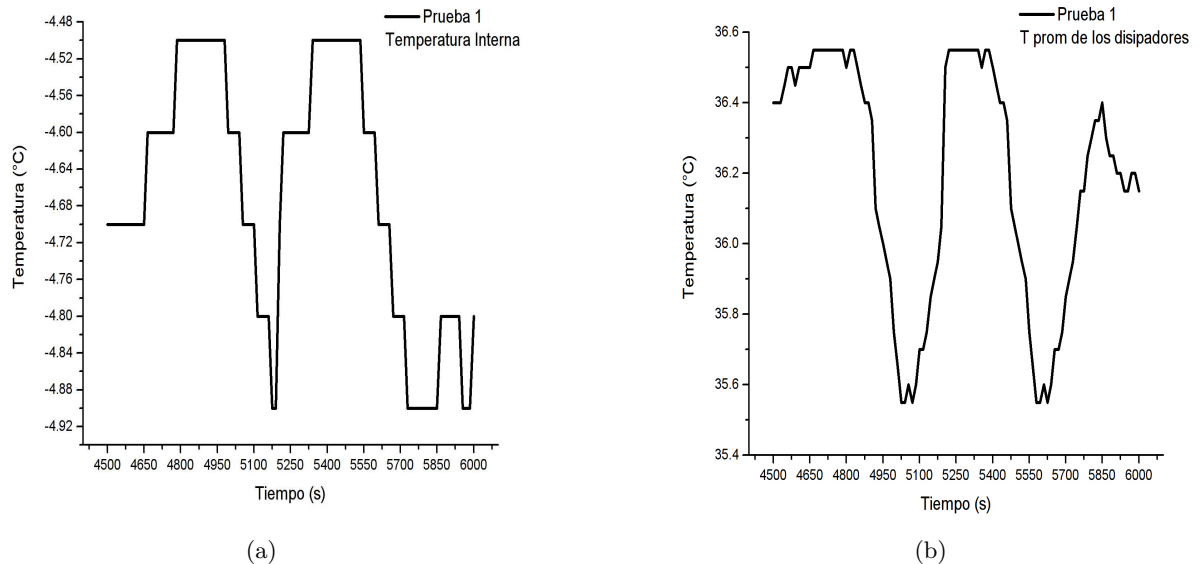
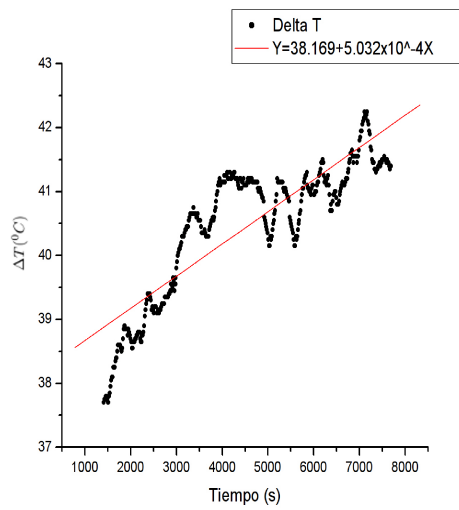
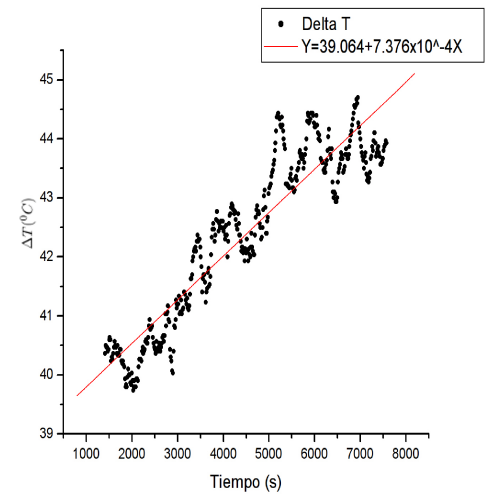


Figura A.1: Comparación entre la temperatura interna y la temperatura promedio de los disipadores para observar su comportamiento similar.

Además del comportamiento similar entre la temperatura interna y el promedio de la temperatura de los disipadores externos se observa un comportamiento similar del ΔT . Se hace un análisis, del estudio para la cámara con aire y los resultados muestran que tienen una pendiente es del mismo orden de magnitud. A continuación de muestra el análisis realizado.



(a)



(b)

Figura A.2: a) Análisis de ΔT en el estado de equilibrio para la prueba 1.

b) Análisis de ΔT en el estado de equilibrio para la prueba 3.

Apéndice B

Características de las partes eléctricas

En este apéndice se hace una mejor descripción de los elementos empleados en la parte electrónica del equipo de enfriamiento.

B.1. Celdas Peltier

Las celdas esencialmente están compuestas por dos tipos de elementos semiconductores, Telurio de Bismuto y el Seleniuro de Antimonio. Las placas cerámicas que están dispuestas en ambas caras llevan pistas de cobre que permiten unir los semiconductores eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo. A algunas celdas termoeléctricas en el montaje se les aplica doble barrera de níquel, para evitar un rápido deterioro debido a los constantes cambios de tensiones.

Características	Celda TEC1-12704	Celda TEC1-12705	Celda TEC1-12706
Eficiencia de Carnot	3.51	3.51	3.51
Corrient	2.3 A	2.510 A	3.183 A
Voltaje	11.8 V	11.9 V	11.14 V

B.2. Cargadores de las pilas.



Figura B.1: Cargador de las baterías

B.3. Pilas

La batería de iones de litio es un dispositivo de almacenamiento de energía eléctrica el cual emplea como electrolito una sal de litio. Las ventajas de estas pilas son muchas como:

- Acumulan mucha mayor carga por unidad de peso y volumen.
- Son menos pesadas (comparando con la misma cantidad de carga) y ocupan menos volumen que las de tipo Ni-MH, Ni-Cd y Plomo.
- Cada batería proporciona 3,7 voltios, lo mismo que tres baterías de Ni-MH o Ni-Cd.
- Carecen de efecto memoria.
- Durante toda la descarga, el voltaje de la batería varía poco, lo que evita la necesidad de circuitos reguladores.
- Cuando guardamos una batería, ésta se descarga progresivamente aunque no la usemos. En el caso de las baterías de Ni-MH, esta "autodescarga" puede suponer más de un 20 % mensual. En el caso de Li-Ion es de menos un 6 % en el mismo periodo.

A pesar de sus ventajas existen algunos inconvenientes con estas pilas.

- Tienen una vida útil de unos 3 años o más si se almacenan con un 40 % de su carga máxima
- Soportan un número limitado de cargas, entre 300 y 1000, menos que una batería de Ni-Cd e igual que las de Ni-MH.
- Su rápida degradación y sensibilidad a las elevadas temperaturas, pueden resultar en su destrucción por inflamación o incluso explosión.
- Su fabricación es más costosa que las de Ni-Cd e igual que las de de Ni-MH.
- Ofrecen un rendimiento inferior a las baterías de Ni-Cd o Ni-MH a bajas temperaturas, reduciendo su duración hasta en un 25 %.

B.4. Sensores y Termistor

Sensores

Los sensores de temperatura son dispositivos que transforman los cambios de temperatura en cambios en señales eléctricas que son procesados por equipo eléctrico o electrónico.

La serie LM35 son sensores de precisión, cuya tensión de salida es linealmente proporcional a la temperatura Celsius. Esto tiene un ventaja sobre los sensores de temperatura lineales calibradas en ° Kelvin como:

- El LM35 no requiere que el usuario convierta el voltaje de salida a Celsius.
- El LM35 no requiere ninguna calibración externa o el recorte para proporcionar una precisión típica de $\pm\frac{1}{4}$ C a temperatura ambiente.
- Su bajo costo está asegurado por el recorte y calibración a nivel de oblea.
- Tiene muy bajo calentamiento espontáneo , menos de 0,1 C en aire quieto.
- El LM35 puede funcionar en un rango de temperatura de $-55^{\circ}C$ a $150^{\circ}C$.

B.4.1. Termistor

El termistor es un sensor resistivo de temperatura. Su funcionamiento se basa en la variación de la resistividad que presenta un semiconductor con la temperatura.

El termistor RL10 tiene las siguientes características:

- Tiene un bajo costo.
- Tiene una resistencia de tolerancia de hasta $\pm 2\%$
- Alta sensibilidad a cambios en la temperatura
- Adecuado para la medición de temperatura, control y compensación
- Excelente resistencia mecánica
- Puede funcionar entre los $-50^{\circ}C$ a $+150^{\circ}C$

B.5. LCD

El LCD (Liquid Crystal Display) es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles, en color o monocromos, colocados delante de una fuente de luz o reflectora el cual utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

El LCD utilizado para el prototipo es de 1 controlador de 14 PINS, el cual soporta 80 caracteres. La información de éste se representa en código ASCII de 8-bits. El diagrama eléctrico del LCD se muestra junto con el del microcontrolador en el apéndice C.

Apéndice C

Diagramas eléctricos y código de programa

En el apéndice se muestran los diagramas del circuito eléctrico y del microcontrolador. Así mismo se muestra el código del programa empleado en el microcontrolador y los costos de construcción.

C.1. El diagrama del circuito eléctrico

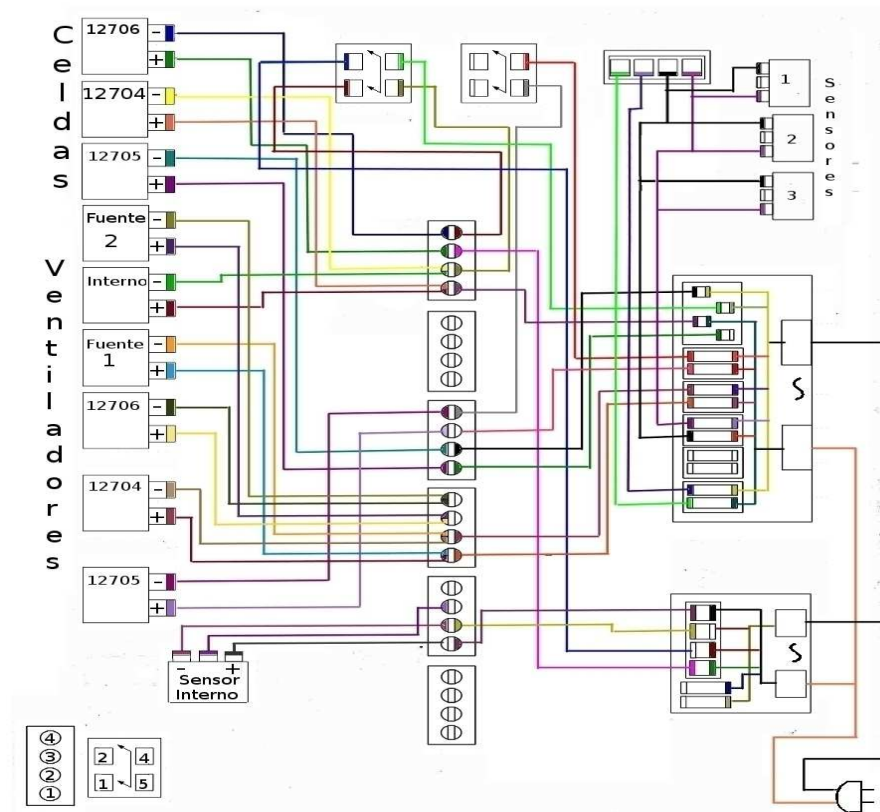


Figura C.1: Diagrama eléctrico de la caja aislante.

C.2. Costos de construcción

Estos son los costos del equipo utilizado para la construcción de la cámara refrigerante

Elemento	Costo en pesos
Microcontrolador PIC16F876	80
Sensor LM35 (3)	90
Sensor LR10	25
Exhibidor DV-16100	250
Capacitores, resistores, etc.	200
Fuente Generic	200
Fuente Black & Decker	300
5 ventiladores grandes	275
1 ventilador chico	30
Celda Peltier Genérica (3)	676
PVC	240
Poliestireno expandido	100
Poliestireno estruido	150
FOMI (EVA)	240
Baterías Li-ion	3000
Disipadores	300
Cableado y conectores	100
Total	6356

C.3. El diagrama del microcontrolador PIC16F876

Las entradas de los sensores de temperatura de los disipadores se aplican en los canales 1, 2 y 3 del convertidor A/D y en el canal 4 se aplica la entrada del termistor dentro de la cámara. El voltaje de las pilas se aplica a través de un divisor de voltaje en canal 5 del convertidor A/D. Las líneas de control para el exhibidor se controlan con las líneas 6 y 7 del puerto C, mientras que la información que se exhibe en el LCD se manda a través del puerto B. Esto se puede ver en el siguiente diagrama:

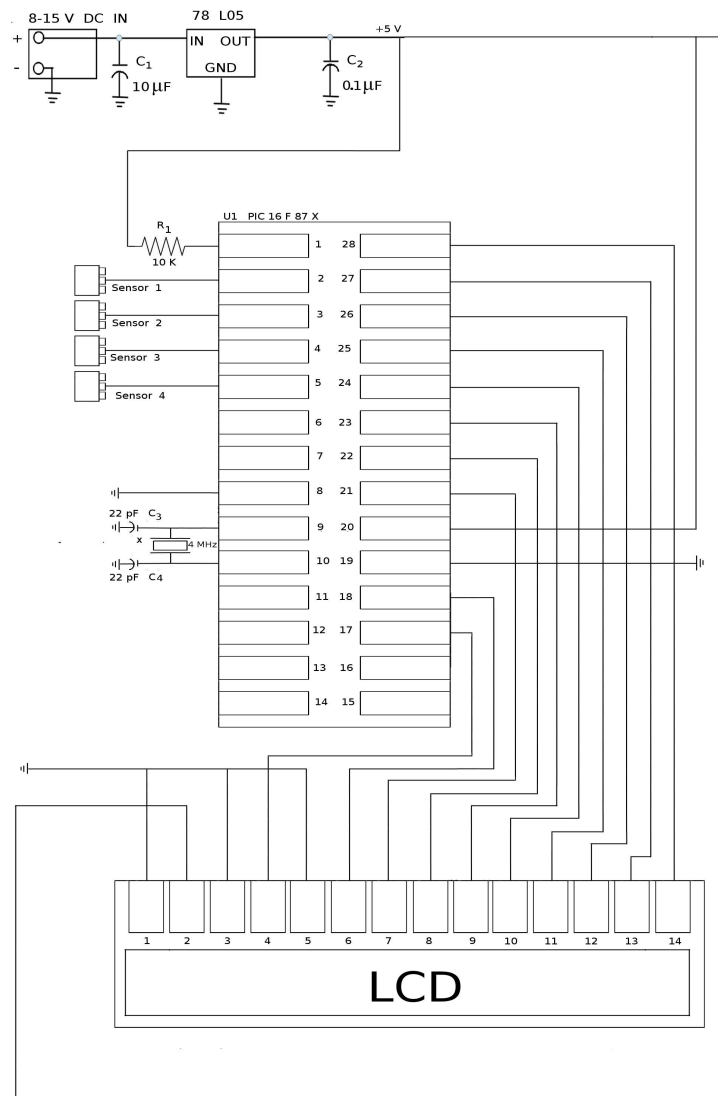


Figura C.2: Diagrama eléctrico del microcontrolador.

C.4. Código de programación

```
#include < p16f876.inc >
    cblock 0x30
    count1
    count2
    count3
    uni
    des
    cen
    ANs0
    ANs1
    ANs2
    ANs3
    ANs4
    temp_w
    temp_status
    endc
#include <p16f876.inc>
    org          0x00
    goto        Start
    org          0x04
    goto        ISERV
Start    bsf          STATUS,RP0
    movlw      b'00000000'
    movwf     TRISB
    movwf     TRISC
    movlw      b'11111111'
    movwf     TRISA
    clrwdt
    movlw      b'10000111'
    movwf     OPTION_REG
```

```

        bcf     STATUS,RP0
        movlw  b'00000000'
        movwf  PORTC
        movwf  PORTB
        movlw  b'11111111'
        movwf  PORTA
        bcf     INTCON,2
        bsf     INTCON,7
        bsf     INTCON,5
        clrf   TMR0
        call   del.5
        call   initLCD
        call   blanco
        call   disp16
        call   ADC
        call   del.125
GoANs  movlw  b'11000001'
        movwf  ADCON0
        call   del.125
        bsf     ADCON0,2
Can0    btfsc  ADCON0,2
        goto   Can0
        movf   ADRESH,w
        movwf  ANs0
        movwf  uni
        call   BiBcAsci
        movf   uni,w
        movwf  0x22
        movf   des,w
        movwf  0x21
        movf   cen,w
        movwf  0x20

```

```
        clrf    ANs0
        clrf    ANs1
        clrf    ANs2
        clrf    ANs3
        clrf    ANs4
        movlw   b'11001001'
        movwf   ADCON0
        call    del_125
        bsf    ADCON0,2
Can1    btfsc   ADCON0,2
        goto    Can1
        movf   ADRESH,w
        movwf  ANs1
        movwf  uni
        call   BiBcAsci
        movf   uni,w
        movwf  0x25
        movf   des,w
        movwf  0x24
        movf   cen,w
        movwf  0x23
        movlw  b'11010001'
        movwf  ADCON0
        call   del_125
        bsf    ADCON0,2
Can2    btfsc   ADCON0,2
        goto    Can2
        movf   ADRESH,w
        movwf  ANs2
        movwf  uni
        call   BiBcAsci
        movf   uni,w
```



```
movwf 0x28
movf des,w
movwf 0x27
movf cen,w
movwf 0x26
movlw b'11011001'
movwf ADCON0
call del_125
bsf ADCON0,2
Can3 btfsc ADCON0,2
goto Can3
movf ADRESH,w
movwf ANs3
movwf uni
call BiBcAsci
movf uni,w
movwf 0x2B
movf des,w
movwf 0x2A
movf cen,w
movwf 0x29
movlw b'11100001'
movwf ADCON0
call del_125
bsf ADCON0,2
Can4 btfsc ADCON0,2
goto Can4
movf ADRESH,w
movwf ANs4
movwf uni
call BiBcAsci
movf uni,w
```

	movwf	0x2E
	movf	des,w
	movwf	0x2D
	movf	cen,w
	movwf	0x2C
	goto	GoANs
ADC	bsf	STATUS,RP0
	clrf	ADCON1
	bcf	STATUS,RP0
	movlw	b'11000001'
	movwf	ADCON0
	return	
blanco	movlw	0x10
	movwf	count1
	movlw	0x20
	movwf	FSR
	movlw	0x20
guarda	movwf	INDF
	decfsz	count1,f
	goto	incfsr
	return	
incfsr	incf	FSR,f
	goto	guarda
BiBcAsci	clrf	des
	clrf	cen
resta100	movlw	.100
	subwf	uni,f
	btfs	STATUS,0
	goto	mas100
	incf	cen,f
	goto	resta100
mas100	movlw	.100

```

        addwf  uni,f
        subwf  uni,f
        btfs  STATUS,0
        goto  mas10
        incf  des,f
        goto  resta10
mas10   movlw  .10
        addwf  uni,f
        movlw  0x30
        addwf  uni,f
        addwf  des,f
        addwf  cen,f
        return
resta10 movlw  .10
initLCD bcf   PORTC,7
        bcf   PORTC,6
        call  del_125
        movlw 0x38
        movwf PORTB
        call  pulso
        movlw 0x0c
        movwf PORTB
        call  pulso
        movlw 0x06
        movwf PORTB
        call  pulso
        call  del_5
        return
disp16 bcf   PORTC,7
        bcf   PORTC,6
        call  del_125
        movlw 0x80

```

	movwf	PORTB
	call	pulso
	bsf	PORTC,6
	call	del_125
	movlw	0x20
	movwf	FSR
toma letra	movf	0x00,w
	movwf	PORTB
	call	pulso
	movlw	0x27
	subwf	FSR,w
	btfsc	STATUS,Z
	goto	medio
	movlw	0x2F
	subwf	FSR,w
	btfsc	STATUS,Z
	return	
	incf	FSR,f
	goto	toma letra
medio	bcf	PORTC,6
	call	del_125
	movlw	0xc0
	movwf	PORTB
	call	pulso
	bsf	PORTC,6
	incf	FSR,f
	call	del_125
	goto	toma letra
pulso	bsf	PORTC,7
	nop	
	bcf	PORTC,7
	call	del_125

```
        return
del_125  movlw  0x2a
        movwf  count1
repite   decfsz count1,f
        goto   repite
        return
o del_5  movlw  0x29
        movwf  count2
delay    call   del_125
        decfsz count2,f
        goto   delay
        return
del_1s   movlw  0xc8
        movwf  count3
repeat3  call   del_5
        decfsz count3,f
        goto   repeat3
        return
ISERV
        movwf  temp_w
        swapf  STATUS,w
        movwf  temp_status
        bcf    INTCON,2
        call   disp16
termina  swapf  temp_status,w
        movwf  STATUS
        swapf  temp_w,f
        swapf  temp_w,w
        retfie
        END
```

Bibliografía

- [1] 2010.TE Technology, Inc.Recuperado el 2013, de <http://www.tetech.com/Peltier-Thermoelectric-Cooler-Modules.html?gclid=CPGNpuOlvLkCFQE6QgodDGMAQQ>
- [2] Securame.Recuperado el 2012, de <http://www.securamente.com/pruebas-de-autonomia-de-baterias-recargables-li-ion-de-12v/>
- [3] National Semiconductor Corporation,LM35 Precision Centigrade Temperature Sensors, Noviembre 2000, DS005516
- [4] Vishay, LCD-016M001L, 1 de Octubre de 2002, Número de Documento 37263, www.vishay.com
- [5] Microchip Technology Inc.,PIC16F87X Data Sheet 28/40-Pin 8-Bit CMOS FLASH Micro-controllers, 2001, DS30292C
- [6] <http://www.pasco.com/prodCatalog/CI/CI-7650.750-interface-usbindex.cfm#overviewTab>
- [7] http://www.pasco.com/prodCatalog/CI/CI-6605_temperature-sensor/index.cfm#specificationsTab
- [8] http://www.pasco.com/prodCatalog/CI/CI-6559_relative-humidity-sensor/index.cfm#overviewTab
- [9] <http://www.pasco.com/support/downloads/datastudio-update.cfm>
- [10] http://www.pasco.com/prodCatalog/TD/TD-8561_thermal-conductivity-apparatus/index.cfm
- [11] Práctica de Eficiencia de máquina térmica realizada por el Dr.Heriberto Acuña, profesor de la Universidad de Sonora

-
- [12] Notas de la clase de Termodinámica Clásica realizadas por la Dra. Laura Yeomans, profesora de la Universidad de Sonora
- [13] W.B.(Septiembre 2001).Instrumentación para el control de procesos industriales Efecto Peltier. ITESO Universidad Jesuita en Guadalajara.
- [14] Cardona-Maciel,F.A.(Mayo 2010).Efecto Termoeléctrico,Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías.Universidad de Guadalajara,Guadalajara,Jalisco,México
- [15] Márquez Ruiz,D.(2010).Flujos Electrocinéticos en un capilar cilíndrico en la aproximación de Poisson-Boltzmann No-lineal.Tesis de Licenciatura no publicada, Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora,México.
- [16] Pérez Salgado,E.J.(2006).Diseño de un sistema de aire acondicionado portátil termoeléctrico.Trabajo de fin de carrera,Univesitat Politècnica de Catalunya
- [17] Logvinov,G.N. y del Río Valdés,J.L. y Gurevich, Y.G. (Junio 2005).Teoría lineal del enfriamiento termoeléctrico de Peltier,*Superficies y Vacío*,26-29.
- [18] T.Scott.W.(1962, Mayo). Electro Levels, Electrochemical Effects, and Thermoelectricity,*American Journal Physics*,Vol.30,727-737
Tauc. J.(1953)The theory of the thermal emf of semi-conductors.
- [19] Prigogine I., *Thermodynamics of Irreversible Processes*, Third Edition, Wiley (1967).
- [20] Garcia-Colín Scherer. L.,(1990) *Introducción a la termodinámica clásica*.Ed. Trillas,4a ed. 81-86