

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y EVALUACIÓN ENERGÉTICA DE UNA CÁMARA CON CELDAS PELTIER (EFECTO TERMOELÉCTRICO) PARA REFRIGERACIÓN DE VACUNAS.

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

AUTOR:

Godoy Vaca Luis Felipe

(luis.godoy@epn.edu.ec)

DIRECTOR: Ing. Miguel Darío Ortega López, M.Sc.

(miguel.ortega@epn.edu.ec)

Quito, Diciembre 2016

DECLARACIÓN

Yo, LUIS FELIPE GODOY VACA, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

LUIS FELIPE GODOY VACA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por LUIS FELIPE GODOY VACA, bajo mi supervisión.

Ing. Miguel Ortega, M.Sc.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres Aníbal y Myriam, su esfuerzo dio sus frutos, mi hermano Alejandro y toda mi familia, quienes, a lo largo de mi vida me han enseñado, con amor, los valores más valiosos y me han inculcado el espíritu de superación, además, me han regalado una cuidadosa y generosa educación para poder cumplir con esta meta profesional.

A mi amigo Hernán Barba, Ing. quien inició en mí el deseo profesional y me respaldó académica y personalmente.

A la Escuela Politécnica Nacional, a la Facultad de Ingeniería Mecánica, (la mejor facultad del mundo), profesores, compañeros y amigos, en sus aulas he vivido los momentos más gratificantes de mi vida.

Al ingeniero Miguel Ortega que creyó desde el inicio en la realización de este proyecto y me brindó su valioso apoyo y dirección.

Al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER), a su equipo de trabajo y en especial a la MSc. Andrea Lobato por brindarme las facilidades para llevar a cabo este proyecto.

A Juan Pablo Castillo y David Beltrán, quienes me brindaron su tiempo, dedicación y valiosos conocimientos. A Cindy Delgado quien, con su consejo y apoyo, constante y desinteresado, en toda la realización del proyecto supo, con paciencia y cariño, guiarme y apoyarme para la finalización exitosa del proyecto.

A mis amigos Andrés Villarreal y Carlos Betancourt quienes colaboraron oportunamente en la consecución del proyecto. A mis amigos del colegio (“los populares” y “los caminantes”) y amigos de universidad, que me han brindado su amistad, consejo y comprensión desde hace mucho tiempo, con ellos he compartido momentos inolvidables; aprendo de ellos cada día.

“Ser más, para servir mejor”

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por la vida y la salud, a la madre Dolorosa del colegio, por el amor infinito, a mis padres: Myriam, Aníbal y mi hermano Alejandro, por el apoyo, el amor y el ejemplo, y a mis queridos abuelitos Gonzalo y mami Lucilita. Sin ellos, nada; con ellos, todo.

Extiendo esta dedicatoria a los estudiantes, profesores, profesionales y demás personas de mi país Ecuador, que encuentren en este trabajo una ayuda o guía útiles. Uno de los valores más importante que una persona debe cultivar, es la educación, nunca dejemos de educarnos y de transmitir nuestros conocimientos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARACIÓN.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN.....	xi
PRESENTACIÓN.....	xii
CAPÍTULO 1: FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Vacunas	4
1.3 Refrigeración de vacunas	5
1.3.1 Tipos de cámaras de refrigeración de vacunas	5
1.3.2 Manejo técnico de los equipos de refrigeración.....	7
1.4 Efecto Peltier	9
1.4.1 Celda Peltier	10
1.4.2 Selección de una celda Peltier	17
1.5 Módulos Peltier	21
1.6 Análisis matemático	25
1.6.1 Cálculo del espesor del aislante.....	25
1.6.2 Cálculo del coeficiente de convección externo	28
1.6.3 Cálculo del coeficiente de convección interno y comprobación de temperaturas asumidas.....	30
1.6.4 Cálculo de cargas.....	34
1.6.5 Primera y segunda ley de la termodinámica aplicadas al sistema	36
1.6.6 Resistencia térmica de los disipadores	36
1.6.7 Modelo del estado transitorio.....	34

CAPÍTULO 2: DISEÑO DEL EQUIPO	40
2.1 Diseño de la cámara	40
2.1.1 Capacidad del equipo de refrigeración	40
2.1.2 Dimensiones del equipo.....	44
2.1.3 Selección de materiales para las paredes de la cámara	48
2.1.4 Cálculo del espesor del aislante.....	49
2.1.4.1 <i>Cálculo del coeficiente de convección externo</i>	50
2.1.4.2 <i>Cálculo del coeficiente de convección interno</i>	50
2.1.4.3 <i>Resultados del cálculo de los coeficientes de convección interna y externa</i>	51
2.1.4.4 <i>Resultado del espesor del aislante.</i>	52
2.1.5 Cálculo de la carga por transmisión.....	55
2.1.6 Cálculo de la carga por cambios de aire	55
2.1.7 Cálculo de cargas misceláneas.....	56
2.1.8 Carga del producto y resultados	56
2.2 Selección de la celda Peltier	59
2.3 Selección del módulo Peltier	64
2.3.1 Resultados de la selección del módulo Peltier.....	63
2.3.2 Cálculo del número de celdas Peltier.....	64
2.4 Sistema de control	75
CAPÍTULO 3: CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO.....	79
3.1 Construcción de la cámara.....	79
3.1.1 Construcción del módulo Peltier	82
3.1.2 Construcción del sistema de control	80
3.1.3 Diagrama de operaciones de la construcción.....	89
3.1.4 Costos	90
3.2 Fundamentos teóricos del análisis energético	91
CAPÍTULO 4: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	93
4.1 Resultados del análisis energético.....	93
4.2 Pruebas sin carga.....	95

4.3 Pruebas con carga.....	97
4.4 Pruebas del sistema de control.....	98
4.5 Pruebas de apertura de cajones.....	99
4.6 Opciones de ahorro de energía.....	100
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	101
5.1 Conclusiones.....	101
5.2 Recomendaciones.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106
ANEXOS.....	110
Anexo 1 Listado de vacunas usualmente empleadas.....	111
Anexo 2 Características de ventiladores.....	112
Anexo 3 Especificaciones de los componentes de la cámara.....	113
Anexo 4 Especificaciones de los componentes de la cámara.....	118
Anexo 5 Plano de conjunto.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. 1 Características generales de una celda Peltier estándar.....	21
Tabla 1. 2 Listado de materiales usados en equipos de refrigeración.	26
Tabla 2. 1 Tabla de metas, poblaciones y estrategias de una campaña de vacunación en el Ecuador.....	41
Tabla 2. 2 Resultados de las dimensiones de la cámara.	47
Tabla 2. 3 Resultados de los coeficientes de convección interno y externo.....	51
Tabla 2. 4 Resultados de espesores de la pared de la cámara.....	52
Tabla 2. 5 Resultados de pérdidas por paredes.....	54
Tabla 2. 6 Calor específico de varios productos.....	57
Tabla 2. 7 Resultados de las cargas.	58
Tabla 2. 8 Especificaciones de una celda Peltier estándar TEC-12706 40X40(mm).....	61
Tabla 2. 9 Resultados de las condiciones de la celda según las gráficas de rendimiento....	72
Tabla 2. 10 Datos que se ingresan al software.	73
Tabla 3. 1 Diagrama de operaciones de la construcción de la cámara.	89
Tabla 3. 2 Precio de los elementos necesarios para la construcción de la cámara	90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1 Ubicación y manejo de las vacunas siguiendo la recomendación del MSP.....	9
Figura 1. 2 Esquema del efecto Peltier.....	10
Figura 1. 3 Esquema de funcionamiento de una célula Peltier.....	11
Figura 1. 4 Esquema de una celda Peltier.....	13
Figura 1. 5 Flujos de calor de una celda Peltier.....	15
Figura 1. 6 Gráfica universal de rendimiento	20
Figura 1. 7 Partes de un módulo Peltier	23
Figura 1. 8 Sistema aire-aire (AA)	23
Figura 1. 9 Sistema aire-líquido (AL)	24
Figura 1. 10 Módulo de disipación para procesadores Intel Pentium Socket 478.....	25
Figura 1. 11 Circuito térmico equivalente para la pared compuesta de la cámara.	27
Figura 2. 1 Vacuna promedio con dimensiones.....	44
Figura 2. 2 Varios tipos de contenedores de vacunas.....	44
Figura 2. 3 Distribución de varios tipos de vacunas en una bandeja 22 cm X 17 cm.....	47
Figura 2. 4 Dimensiones del equipo	53
Figura 2. 5 Flujos de calor para cada pared de la cámara.....	54
Figura 2. 6 Curvas universales de rendimiento	62
Figura 2. 7 Curvas de rendimiento característico de celda TEC-12706.....	64
Figura 2. 8 Dimensiones de disipador “Socket 478” para procesadores Pentium 4.....	66
Figura 2. 9 Dimensiones de disipador “Socket 478” para procesadores Pentium Celeron.....	66
Figura 2. 10 Resistencias térmicas del disipador exterior	69
Figura 2. 11 Resistencias térmicas del disipador interior.....	69
Figura 2. 12 Rendimiento de la celda Peltier (TEC-12706).....	77
Figura 2. 13 Gráfica de temperatura VS tiempo.....	77
Figura 2. 14 Esquema del sistema eléctrico	77
Figura 2. 15 Esquema del sistema de control	78
Figura 3. 1 Esquema de armado de una pared de la cámara.....	79
Figura 3. 2 Esquema de la cámara.....	80
Figura 3. 3 Cámara con las rieles y bandeja	81

Figura 3. 4 Esquema de deflectores en la cámara.....	82
Figura 3. 5 Esquema del aparato sujetador del módulo Peltier	83
Figura 3. 6 Esquema de armado del módulo Peltier en la pared de la cámara.	84
Figura 3. 7 Diagrama de bloques del sistema de control.....	86
Figura 3. 8 Esquema de las conexiones de los aparatos del sistema de control.	87
Figura 3. 9 Esquema del sistema de control en la cámara de refrigeración.	88
Figura 3. 10 Diferentes vistas de la cámara de refrigeración para vacunas.....	88
Figura 4. 1 Flujo de calores de la cámara de refrigeración.....	93
Figura 4. 2 Diagrama de Sankey aplicado al equipo de refrigeración.....	94
Figura 4. 3 Resultados de las pruebas de temperatura en cada minuto.	96
Figura 4. 4 Comparación modelo experimental VS modelo teórico.	98
Figura 4. 4 Resultados de las pruebas al ingreso de la carga.....	98
Figura 4. 5 Funcionamiento del sistema de control.....	98
Figura 4. 6 Comportamiento de la temperatura en la apertura de los cajones.....	99

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivos diseñar, construir y analizar energéticamente una cámara con celdas Peltier (efecto termoeléctrico) para refrigerar vacunas. Mediante un estudio bibliográfico, se definen los parámetros necesarios para diseñar una cámara de refrigeración que alcance la temperatura requerida. Además, se estudia a las vacunas y sus requerimientos de refrigeración, se calcula las cargas que el sistema de refrigeración tendrá que retirar y se considera algunas estrategias de diseño para que el sistema funcione de manera eficiente. Una vez diseñada la cámara se analiza y selecciona a la celda Peltier que es empleada para llevar a cabo la refrigeración de las vacunas y se considera el empleo de 2 celdas para retirar 25 (W) que es en total la carga que se debe retirar del equipo por pérdidas por paredes, producto y otras. Diseñado el equipo que lleva a cabo la refrigeración se continúa con la implementación del sistema de control que permite que el equipo mantenga la temperatura constante automáticamente, entre otros aspectos. Completado el diseño se procede a construir el equipo, tomando en cuenta los parámetros previamente calculados en el diseño. En primer lugar, se construye la cámara, después el módulo y ambos sistemas se unen para, finalmente, acoplar el sistema de control. Como último paso se analiza energéticamente a la cámara de refrigeración ya construida, en donde se registran los valores obtenidos y se conoce que la temperatura se alcanzará a los 90 minutos de encendido el equipo con un COP de 0,35 que está dentro de un valor esperado para, posteriormente, dar recomendaciones de mejora con miras en la eficiencia.

Palabras clave: Vacunas, cámara de refrigeración, celdas Peltier, módulos Peltier, sistema de control, análisis energético.

PRESENTACIÓN

A nivel mundial se dispone de una variedad de vacunas que son suministradas a personas para prevenir enfermedades que pueden, en casos extremos, provocar la muerte si no son suministradas a tiempo. Es por esto que cada país lleva a cabo constantes programas de vacunación para garantizar que estos medicamentos lleguen al mayor número de personas. Uno de los principales objetivos de estos programas de vacunación, es que las vacunas lleguen con sus propiedades intactas al paciente; por lo cual, la temperatura de las vacunas es la variable a la que más atención se debe prestar (Grupo Sancor Seguros, 2014).

Con el fin de mantener una temperatura constante desde el momento en que se crean las vacunas hasta su final administración en el paciente, se lleva a cabo una planificación logística, en donde la cadena de frío lleva un papel fundamental. Para mantener esta cadena de frío se utilizan una serie de equipos de refrigeración que pueden ser de refrigeración continua o pasiva.

Es por esta razón que, en los últimos años, y con la evolución de la electrónica, se han desarrollado las cámaras de refrigeración por efecto Termoeléctrico o efecto Peltier que, entre sus ventajas permite llegar a temperaturas con alta precisión y logra mantener una temperatura constante, gracias a que se le puede acoplar sistemas de control automático, resultando ideal para la refrigeración de vacunas (Min & Rowe, 2006).

Es por estas razones que el presente proyecto plantea el diseño y la construcción de una cámara de refrigeración por efecto Peltier con un sistema de control que permita llegar y mantener a una temperatura de 5 °C (temperatura promedio indicada para mantener vacunas) las vacunas más comunes empleadas en el Ecuador. Además, su diseño debe permitir que estas cámaras puedan utilizarse en centros médicos, brigadas móviles, campañas de vacunación en centros educativos, etc., y que esta cámara permita almacenar 100 viales, que es en promedio la cantidad necesaria de dosis en una campaña de vacunación.

En el capítulo 1, se realiza un estudio bibliográfico de las vacunas y sus requerimientos de refrigeración. Además, se estudia el diseño de diferentes cámaras y sistemas de refrigeración que usan el efecto Peltier en donde se definen las diferentes variables para el diseño que se lleva a cabo en el capítulo 2 con las consideraciones previamente encontradas y finalmente, en el capítulo 3 se lleva a cabo la construcción del equipo de la siguiente manera: en primer lugar, la cámara, seguido por el módulo Peltier y, finalmente, el acople del sistema de control.

Además, en este proyecto, se lleva a cabo un análisis energético del equipo (capítulo 4), en donde se estudia el comportamiento de la cámara y sus componentes, para que cumpla con el requerimiento de temperatura planteado y se puedan hacer sugerencias de mejora.

En el capítulo 5 recoge las conclusiones y recomendaciones del proyecto, teniendo en cuenta los objetivos planteados.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTO TEÓRICO

El presente capítulo se centra en la revisión bibliográfica de la importancia de la refrigeración de vacunas, los principales métodos existentes para la conservación de vacunas y los fundamentos físicos de la refrigeración por efecto termoeléctrico o efecto Peltier, para su aplicación en el diseño de un equipo para refrigeración de vacunas, además se presenta el análisis matemático necesario en el proyecto.

1.1 INTRODUCCIÓN

Refrigerar vacunas para que no pierdan sus propiedades y que así permitan inmunizar a la mayor cantidad de personas, es un desafío que las entidades de salud deben afrontar; ya que la refrigeración de vacunas es una tarea de planificación y logística que empieza desde la elaboración del medicamento hasta su final administración en el paciente (Guerra, 2011).

El único método que permite garantizar que las vacunas no pierdan su eficacia es mantener la cadena de frío; es decir, que la temperatura de almacenamiento no salga fuera de los rangos de temperatura permitidos (de 3 °C a 8 °C). Para lograr este objetivo, es importante que la serie de eslabones que conforman la cadena de frío no sean rotos (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).

Un eslabón en la cadena de frío es la refrigeración de estos medicamentos en medianas cámaras (de 5 L a 50 L de capacidad) que emplean sistemas continuos de refrigeración. Estas cámaras estarán en centros médicos principalmente y permitirán conservar las vacunas por las horas en que estén conectados al suministro de energía permitiendo su fácil acceso y distribución (Güler & Ahiska, 2002).

Debido a que las vacunas son medicamentos termolábiles (sensibles a cambios de temperatura) necesitan ser refrigerados con equipos que garanticen mantener una temperatura constante. En el mercado, mayoritariamente, se comercializan equipos que emplean refrigeración continua que, para lograr la refrigeración,

emplean algún efecto termodinámico; pero el principal problema de estos equipos es que no logran mantener una temperatura constante y en muchos casos, su precisión en lograr esta temperatura, no es muy buena (Min & Rowe, 2006).

Una de las nuevas tecnologías que en los últimos años se han empezado a estudiar y comercializar, son las cámaras de refrigeración continua mediante “efecto termoeléctrico o efecto Peltier” que entre sus ventajas, logra mantener una temperatura precisa y constante (Zhao & Tan, 2014).

Estas cámaras emplean celdas Peltier para lograr la refrigeración, las cuales son alimentadas por una fuente de corriente directa y logran así, absorber calor por uno de sus lados y disiparlo por el otro lado. Una de las ventajas de estas celdas, debido a que trabajan con corriente directa, es que variando su voltaje se logra precisar la cantidad de calor que deba absorber la celda para así obtener una temperatura deseada y mantenerla constante (por medio de un sistema de control automático) (Güler & Ahiska, 2002).

Además, como estudios de Min & Rowe (2006) demuestran, una cámara de refrigeración que emplea celdas Peltier que consume 120 (W) es comparable en muchos aspectos con un sistema convencional que consume 110 (W), como: el tiempo en que se demora en llegar a la temperatura esperada, en el COP del equipo, la capacidad de refrigeración, etc., con un sistema convencional de refrigeración, excepto en el consumo eléctrico anual, ya que al ser conectado al fluido eléctrico por largo tiempo su consumo puede ser alto, ya que no solo se alimenta a las celdas sino a los ventiladores, sistema de control, etc.

También estudios de Chatterjee & Pandey (2003), donde diseñaron y construyeron tres cámaras que emplean celdas Peltier: dos de refrigeración y una de congelamiento para transportar vacunas en regiones remotas en la India, demuestran que: el empleo de celdas Peltier en cámaras de pequeño y mediano tamaño para refrigerar vacunas; es excelente; ya que no solo se logra la mantener la temperatura deseada con una alta precisión, sino que también es posible que el sistema sea portable conectándolo a baterías o al suministro de algún automóvil.

En el Ecuador el empleo de celdas Peltier para refrigeración de cámaras no ha sido considerado. Estas celdas han sido mayormente empleadas para enfriar dispositivos electrónicos, enfriar un fluido para generar pruebas de temperatura, y otras aplicaciones en las que no se refrigera un entorno para obtener una temperatura precisa (Llugsí Cañar (2015) & Punina Banda (2015)).

Además, estas celdas en el país aún no se comercializan ampliamente, y, a pesar de que se las puede adquirir, su precio es elevado comparado con su valor en el mercado internacional; lo que ha conllevado a que no se realicen muchas investigaciones que empleen este tipo de tecnología.

En base a estos antecedentes, el principal objetivo de este proyecto es: diseñar, construir y realizar un análisis energético de una cámara para refrigeración de vacunas con el empleo de celdas Peltier. Este sistema cuenta con un control automático que permite mantener la temperatura deseada, conservando y almacenando a las vacunas sin que pierdan sus propiedades. Adicionalmente, para la construcción del sistema de refrigeración se ha planteado el empleo de elementos que han sido reciclados de componentes electrónicos, los cuales no comprometen el rendimiento del equipo.

Para la evaluación del equipo se ha tomado como referencia las condiciones ambientales de Quito, en base a una revisión bibliográfica, se estudia a las vacunas y sus condiciones en cuanto a refrigeración, sus tamaños, propiedades físicas y otros aspectos que pueden influir en el diseño de la cámara.

Una vez estudiado el producto que va a ser refrigerado, se analiza al sistema que lleva a cabo la refrigeración, en este caso a las celdas Peltier y sus componentes, que permiten que la cámara de refrigeración trabaje de forma eficiente (módulos Peltier).

Llevado a cabo el análisis bibliográfico, en el capítulo 2, se presenta el diseño del equipo siguiendo este orden: la cámara (que almacena a las vacunas), el módulo Peltier (que lleva a cabo la refrigeración) y el sistema de control. Para el diseño del equipo se considera elaborar cajones en la cámara para distribuir correctamente los recipientes contenedores de vacunas; además, para que, al

momento de ser abiertos, la entrada de aire sea mínima. Por otra parte, se acopla un deflector dentro de la cámara, el cual permitirá que el flujo del aire al interior de la misma sea lo más uniforme posible.

Una vez construido el equipo, se incorpora el sistema de control automático que, por medio del sensor de temperatura, permite al sistema mantener la temperatura deseada.

Con la cámara de refrigeración construida, finalmente se realiza el análisis energético del equipo en funcionamiento, en donde se reportan y analizan los valores obtenidos y se dan sugerencias con miras a mejorar su desempeño.

1.2 VACUNAS

Según la Organización Mundial de la Salud (2016), las vacunas son sustancias que generan inmunidad frente a una enfermedad, estimulando la producción de anticuerpos en el ser vivo.

Por más de cincuenta años la aplicación de vacunas o inmunizaciones en la población ha ayudado a la prevención de enfermedades graves e incluso a la desaparición de epidemias mortales (Grupo Sancor Seguros, 2014).

Las vacunas son medicamentos que están compuestos de proteínas, ácidos nucleicos e hidratos de carbono. Es por esta composición química que las vacunas son sensibles a cambios de temperatura, exposición a la radiación e intemperie (Grupo Farmacéutico D.F.T., 2016).

Las vacunas son sustancias que sufren modificaciones irreversibles cuando se someten a cambios bruscos de temperatura, esto quiere decir que son termolábiles. Un medicamento termolábil debe conservarse en cuartos fríos, según las especificaciones de la casa farmacéutica fabricante. (Ministerio de Salud Pública del Ecuador (MSP), 2005)

Entre las vacunas que se suministran en el Ecuador, las más comunes son las que se aplican a recién nacidos y niños. Por otro lado, también, existen vacunas para la prevención de enfermedades epidemiológicas como la gripe, enfermedades para prevenir infecciones causadas por animales o para

enfermedades transmitidas por picaduras (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).

1.3 REFRIGERACIÓN DE VACUNAS

Entre los múltiples factores que afectan la estabilidad de una vacuna están: el proceso de elaboración, los envases, las condiciones ambientales durante el transporte, almacenamiento y manipulación, pero sin lugar a dudas es la temperatura el factor más influyente al momento de refrigerar vacunas (Salud CiberCuba, 2012).

Para que una vacuna no pierda sus propiedades comprometiendo su eficacia, es necesario que se mantenga la “cadena de frío”, es decir, que la temperatura de almacenamiento adecuada se mantenga desde el momento de la fabricación de la vacuna hasta su final administración en el paciente (Colegio de farmacéuticos de Barcelona, 2016).

Para garantizar que la cadena de frío se cumpla existen diferentes condiciones de almacenamiento de vacunas. En cuanto a temperatura, hay varios rangos en los que se debe conservar una vacuna, siendo entre 2 °C y 8 °C el rango en el cual la mayor parte de las vacunas se conservan como lo establece el “Manual de Normas Técnico-Administrativas, Métodos y Procedimientos de Vacunación y Vigilancia Epidemiológica del Programa Ampliado de Inmunizaciones” (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).

El MSP recomienda el uso de refrigeradoras, termos, cajas frías, paquetes fríos, etc., para que estos medicamentos puedan conservarse (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).

1.3.1 TIPOS DE CÁMARAS DE REFRIGERACIÓN DE VACUNAS

Para garantizar que se mantenga la cadena de frío de las vacunas se utilizan diversos equipos que permitan mantener la temperatura requerida, desde la adquisición del medicamento, su transporte y hasta su distribución en hospitales, centros de salud, farmacias, brigadas móviles, ambulancias y otros. Entre estos equipos están:

- **Cuartos fríos:** Son recintos que permiten almacenar grandes volúmenes de medicamentos. Estas cámaras podrían contener las provisiones para una provincia, región o país (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005)
- **Congeladores:** Son equipos utilizados en la conservación de vacunas virales y para la congelación de “paquetes fríos”, que son contenedores de hielo que sirven para enfriar las cajas térmicas o los termos (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).
- **Refrigeradores:** Son cámaras aisladas térmicamente dentro de las cuales se contiene materia para extraer su energía térmica. Esta extracción de energía se realiza por medio de un sistema de refrigeración con varios componentes. Generalmente estos equipos usan ciclos termodinámicos para obtener la temperatura deseada. Sin embargo, estos sistemas de refrigeración trabajan en rangos de temperatura aproximada, al ser el sistema voluminoso su transporte se dificulta, su costo de fabricación es elevado y generan ruido ya que trabajan con sistemas móviles como el compresor o sus ventiladores (Min & Rowe, 2006).
- **Cajas térmicas:** Son recipientes con aislamiento, este aislamiento está compuesto generalmente por poliuretano de alta densidad. En el mercado se puede encontrar en diferentes dimensiones y para diversos usos. Estas cámaras son empleadas para el transporte de vacunas. En estos recipientes primero se colocan paquetes fríos para adecuar la temperatura, una vez que se llega a la temperatura requerida se ingresan las vacunas y estas pueden conservarse por 16 a 60 horas. Según Tempack (2016) (distribuidora de cajas térmicas para vacunas) las vacunas solo puedan ocupar en cajas térmicas entre un 20% a 40% de su capacidad total lo cual es una desventaja. (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).
- **Termos:** Son recipientes más pequeños que las cajas térmicas y se utilizan para el transporte de vacunas. Según la distancia, la cantidad de vacunas y capacidad del termo, mantiene la temperatura entre 2°C y 8°C

por 72 horas sin destapar. Si el termo se destapa, el tiempo útil de frío es de 36 horas (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).

- **Neveras portátiles:** Son dispositivos que cuentan con sistemas de enfriamiento, en la mayoría de casos emplean ciclos termodinámicos para enfriar el producto y en la última década también se han desarrollado neveras que emplean el efecto termoeléctrico. En el mercado estas neveras son costosas y se las puede encontrar en diferentes tamaños. Estos equipos se usan en caso de emergencia, como puede ser en una avería de algún otro dispositivo en la cadena de frío, en ambulancias para el transporte de cierta cantidad de dosis, en farmacias donde se comercializa las vacunas, etc. (Chatterjee & Pandey, 2003; Min & Rowe, 2006 y Yajamín, 2012).

Se debe considerar que existen otros elementos que también forman parte de la refrigeración para vacunas. Los paquetes fríos, indicadores de temperatura, las hojas de control o sistemas automáticos de control, monitores de frío, canastillas o bandejas y botellas de agua, agua sal o suero fisiológico; que son utilizados para mantener y asegurar las temperaturas adecuadas de almacenamiento y por lo tanto garantizar la calidad de los medicamentos (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).

1.3.2 MANEJO TÉCNICO DE LOS EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN.

Un adecuado manejo de los equipos de refrigeración, garantizará que las vacunas se mantengan intactas, no pierdan sus propiedades y lleguen con todas sus características al paciente. Algunas consideraciones que se deben tomar en cuenta a la hora de refrigerar vacunas en los equipos son:

- Los equipos de refrigeración deben permanecer en el interior de recintos, a la sombra y en lugares frescos (Ministerio de Salud Pública de Argentina, 2013).
- Los equipos no deben colocarse en contacto con paredes. (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005)

- Las vacunas deben estar clasificadas según su contenido, utilizando canastillas, bandejas, etc., tomando en consideración que las vacunas más próximas a expirar deben emplearse más pronto (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).
- Es recomendable usar botellas de agua, agua sal o suero fisiológico, ya que funcionan como acumuladores de frío y ayudan a estabilizar la temperatura en caso de corte de electricidad o avería del equipo. Estos acumuladores de frío pueden mantener la cámara fría por cierto período de tiempo, siempre y cuando no se abran las puertas (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).
- Las cámaras frigoríficas deben contar con sistemas de seguridad que indiquen un posible fallo de energía, apertura de puertas, etc. (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).
- Las vacunas deben ocupar la mitad del espacio disponible y se debe dejar espacios vacíos entre envases, con el fin de permitir la circulación de aire frío y se garantice que todas las vacunas sean refrigeradas ((Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).

En la Figura 1. 1 se muestra el manejo técnico para la colocación de vacunas en un refrigerador comercial. En el congelador (espacio superior) se ubican vacunas que soporten bajas temperaturas, vacunas que se quieran conservar por más tiempo o paquetes fríos. En los compartimentos intermedios (en el espacio de refrigeración) se ubican las vacunas por nombres, tipos, fechas de caducidad, etc.; dejando espacio para la circulación de aire frío. En la parte inferior se ubican botellas de agua u otros compuestos para mantener la temperatura constante o en caso de un corte energético (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).



Figura 1. 1 Ubicación y manejo de las vacunas con la recomendación del Ministerio de Salud Pública del Ecuador (Ministerio de Salud Pública del Ecuador, 2005).

Por lo dicho anteriormente, la refrigeración y conservación de vacunas merece un especial cuidado. Para el efecto, se debe contar con sistemas de refrigeración en toda la cadena de frío. Una nueva tecnología que se ha desarrollado en los últimos años son los refrigeradores termoeléctricos o refrigeradores Peltier que pueden suplir esta necesidad. Estos dispositivos usan el efecto Peltier con el fin de garantizar una temperatura como lo establece la norma con una alta precisión (Zhao & Tan, 2014).

1.4 EFECTO PELTIER

Cuando se ponen en contacto dos metales diferentes, en la unión fluyen electrones en una dirección hasta que quedan equilibradas las fuerzas eléctricas debido a que la distribución electrónica inicial es diferente para cada metal. Este efecto provoca que aparezca una diferencia de voltaje (potencial de contacto) entre los metales, ya que uno de ellos quedó cargado negativamente por los electrones que recibió y el otro quedó cargado positivamente por los electrones que perdió (PROFÍSICA, 2005).

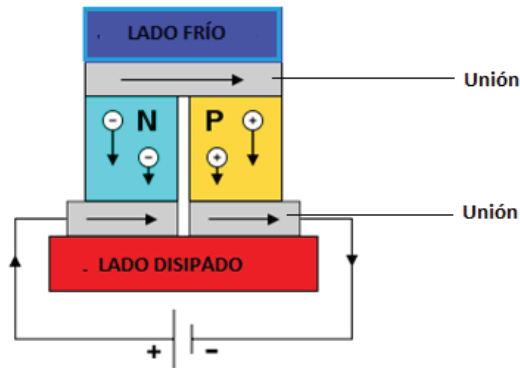


Figura 1. 2 Esquema del efecto Peltier

(INTELLECTUALVENTURES LABORATORY, 2015)

Si se conecta una fuente de corriente directa a un lazo formado por dos metales “N” y “P”, como muestra la Figura 1. 2, en una unión, la corriente que va desde N hacia P es favorecida por el potencial de contacto, y en la otra unión, la corriente que va desde P hacia N debe vencer una barrera de energía debida al potencial de contacto opuesto. Por lo tanto, la corriente al atravesar las uniones, por un lado, libera el calor (se calienta) y en la otra lo absorbe del medio ambiente (se enfría). Este fenómeno se conoce como el “Efecto Peltier” (PROFÍSICA, 2005).

Al suministrar mayor energía eléctrica al sistema, el movimiento de electrones es mayor, provocando que se absorba más energía, pero así mismo que sea mayor la cantidad de calor que se tenga que disipar (PROFÍSICA, 2005).

Debido a que los metales poseen distribuciones electrónicas similares, los potenciales de contacto son muy bajos (del orden de los 100 mV) y, por lo tanto, el intercambio de energía mediante el efecto Peltier es muy pequeño (PROFÍSICA, 2005).

1.4.1 CELDA PELTIER

Con el fin de aprovechar de mejor manera el efecto Peltier, se han desarrollado “Celdas Peltier”. A pesar de que el efecto Peltier se lo conoce más de 150 años, no es sino con el desarrollo de la electrónica y el empleo de los materiales semiconductores, que ha sido posible que en las últimas décadas se desarrolle la celda Peltier (PROFÍSICA, 2005).

Las celdas Peltier son dispositivos que están compuestos por elementos semiconductores dispuestos sobre una superficie cerámica. Una celda tiene una serie de semiconductores unidos entre sí por un metal conductor, en donde la conversión de energía calórica en eléctrica o viceversa es más apreciable, comparado con el efecto que se obtiene con dos metales unidos (Ferrotec, 2016).

Al aplicar corriente continua a una celda Peltier, los electrones se mueven a través de los semiconductores (Figura 1.3). Cuando un electrón pasa de un material positivo (tipo P) a uno negativo (tipo N), este pasa de un nivel energético inferior a otro superior, luego absorbe energía y por lo tanto calor. Esta energía absorbida es depositada en el lado contrario en donde se lleva a cabo la disipación de calor. Este ciclo se repite en los siguientes semiconductores (Ferrotec, 2016).

Asimismo, si se cambia el sentido de la corriente, también se produce un cambio en la circulación de los electrones lo que produce el efecto contrario (PROFÍSICA, 2005).

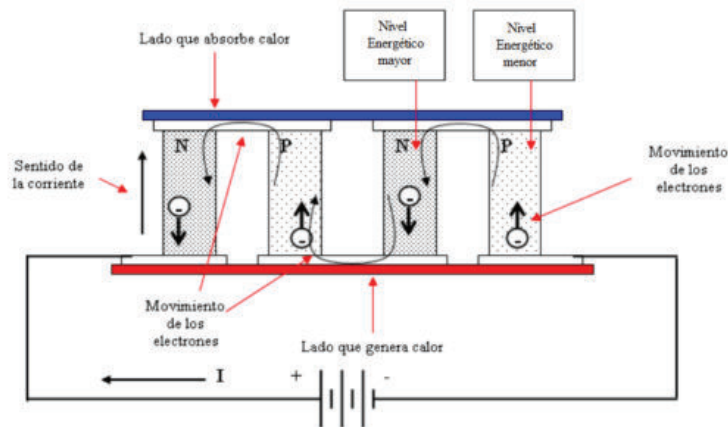


Figura 1. 3 Esquema de funcionamiento de una célula Peltier
(Guerra, 2011).

Por otro lado, para obtener un mejor resultado del efecto Peltier es necesario el empleo de materiales semiconductores. Un semiconductor es un compuesto tetravalente, es decir que no posee electrones libres en su configuración electrónica, pero cuando se le añaden ciertas sustancias o se somete a determinadas condiciones como de temperatura o presión, se vuelve conductor.

Esto quiere decir que, de acuerdo a determinados factores, el semiconductor actúa a modo de aislante o de conductor. Para conseguir aumentar de manera considerable la conductividad de un elemento semiconductor se debe elevar su temperatura o bien realizar lo que se conoce como “dopaje”. Un dopaje es un procedimiento que consiste en introducir impurezas en la estructura cristalina del material semiconductor. Las impurezas que convierten en conductor a un material semiconductor pueden ser: materiales metálicos como el Pb, Bi, Co; o metaloides como el Ge, Sb, Te. En la actualidad, varias son las empresas que fabrican semiconductores donde las distribuciones electrónicas de estos materiales se controlan artificialmente agregando impurezas. Según el elemento de la impureza, el material se convierte en un semiconductor tipo-P donde los portadores de carga son positivos, o tipo-N portadores negativos (Pérez & Merino, 2014).

Desde aproximadamente 1960 muchos módulos *Peltier* se fabrican con Bi_2Te_3 tipo-p, y con Bi_2Te_3 tipo-n. Estos semiconductores son por lo general de pequeños bloques de 1 mm x 1 mm x 2 mm conectados alternadamente, tipo-n - tipo-p - tipo-n - tipo-p - etc., de tal modo que todas las uniones donde la corriente va del bloque p al n estén en contacto térmico con la misma cara del módulo donde se liberará calor, y todas las uniones donde la corriente va del bloque n al p, estén en contacto térmico con la otra cara, que absorbe calor. Los electrones que se dirigen hacia el material tipo p, pierden energía en forma de calor, mientras que para ir hacia el material tipo n, los electrones deben absorber calor. (Zhao & Tan, 2014).

Como muestra la Figura 1. 4, los materiales semiconductores son dispuestos sobre una superficie cerámica superconductor, conectada eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo. Esta superficie cerámica sirve como conductor de calor tanto en el lado “caliente” como en el lado “frío”. Los semiconductores son unidos mediante un metal conductor como el cobre y conectados a una fuente de corriente directa en cada uno de los extremos del conductor para garantizar el movimiento de electrones.

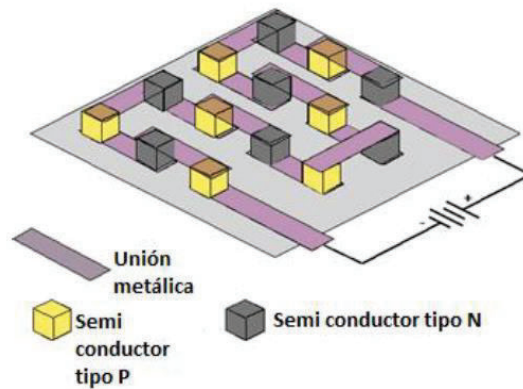


Figura 1. 4 Esquema de una celda Peltier

(Guerra, 2011)

Según Zhao & Tan, los materiales más usados en las celdas Peltier son Bi_2Te_3 , $PbTe$, $SiGe$ y $CoSb_3$, siendo el Bi_2Te_3 el más empleado. Cabe recalcar que cada empresa fabricante de celdas las elabora con un único número de semiconductores, materiales de construcción, tamaño, disposición, etc., lo cual confiere características especiales tanto de calor absorbido o calor bombeado, calor disipado o calor rechazado, energía de suministro necesaria para llevar a cabo el efecto Peltier y COP.

Un COP se puede definir de forma general como el cociente entre la energía o trabajo útil producido por una máquina, y la energía o el trabajo externo que requiere. Este coeficiente es siempre menor a uno debido a que en la naturaleza no existen procesos ideales. Los valores de COP sirven para poder tener una idea del funcionamiento de una máquina, valores más cercanos a uno significan que las máquinas son más eficientes (Ortíz, 2015).

Según Chatterjee & Pandey el COP para las celdas Peltier se puede definir como el cociente entre el calor absorbido por la celda Peltier y la energía de suministro.

En el caso de una celda Peltier los valores de COP se deben a cinco flujos de calor (Zhao & Tan, 2014):

- Calor absorbido por efecto Peltier, Q_c
- Calor cedido o disipado por efecto Peltier, Q_h

- Calor perdido por efecto Joule, Q_j
- Calor perdido por conducción, Q_{cond}
- Calor perdido por efecto Thompson, Q_{pt}

En la Figura 1. 5 se muestra la dirección de los flujos de calor que intervienen en una celda Peltier. Se puede observar que en la celda tienen lugar cinco efectos: efecto Peltier tanto para absorber como para ceder calor, el efecto joule que se produce al suministrar energía eléctrica, ya que tanto los semiconductores como el metal conductor se calientan; el calor perdido por conducción que se produce por la transmisión de calor por el contacto directo entre los materiales, y finalmente el efecto Thompson que se produce debido a que la corriente recorre el material cerámico de las caras de la celda, en el que existe un gradiente de temperaturas (Ferrotec, 2016).

Se denota además que la suma del calor disipado y perdido (efecto Peltier, efecto Joule, conducción y efecto Thompson) es mayor que el calor absorbido por efecto Peltier. Este fenómeno hace que el COP dependa en este caso de la cantidad de calor que se pueda ceder o disipar por efecto Peltier.

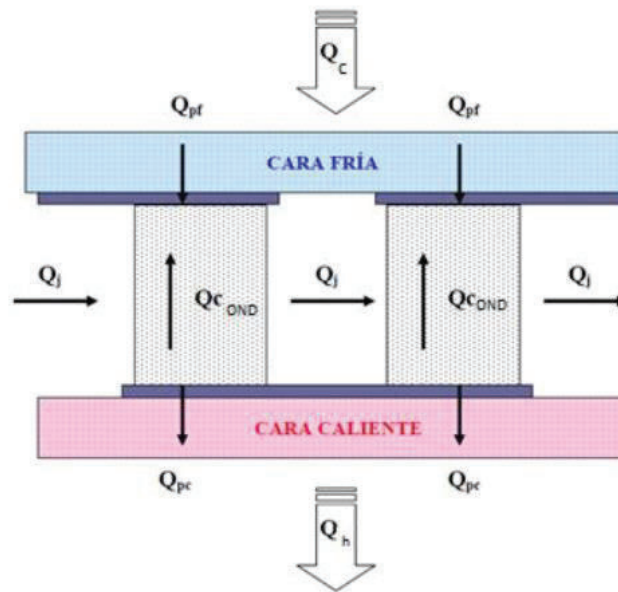


Figura 1. 5 Flujos de calor de una celda Peltier

(Ferrotec, 2016)

En general, el COP para sistemas de refrigeración tanto de uso doméstico o portable y para sistemas que usan celdas Peltier es menor que 0,5 cuando operan a una diferencia de temperaturas entre el lado frío y lado caliente entre 20°C a 25°C. Es decir, por ejemplo, que si se logra tener una temperatura en el lado caliente de 23°C, la temperatura en el lado frío podrá ser de entre 3°C hasta -3°C y se calcula como se muestra en la ecuación: (Zhao & Tan, 2014).

$$COP = \frac{Q_{abs}}{P}$$

Según Min & Rowe una refrigeradora Peltier es comparable con un sistema convencional en muchos aspectos excepto en el consumo energético anual. Un sistema Peltier puede consumir más energía debido a que no solo necesitará suministrar energía a su o sus celdas, sino también a sus ventiladores, disipadores de calor, sistema de control, entre otros. De ahí la importancia de un eficiente diseño de la cámara y sus elementos auxiliares, para que esta energía de suministro disminuya.

En lo que tiene que ver con la eficiencia de una celda Peltier, se ha encontrado experimentalmente que este valor es de solo 1% comparado con el 14% de eficiencia de un sistema tipo Stirling y un sistema por compresión para refrigeración. Sin embargo, las celdas Peltier tienen otras ventajas, por ejemplo: (Zhao & Tan, 2014)

- Más ecológicas, más silenciosas y más precisas en lograr las temperaturas requeridas.
- Estos sistemas pueden ser construidos en espacios menores ya que usan menos componentes.
- Pueden ser portables mediante el uso de baterías o paneles solares ya que son alimentadas con corriente directa.
- No trabajan con fluidos que pueden ser contaminantes.
- No necesitaran de un mantenimiento muy especializado.
- Su valor no es muy elevado comparado con los sistemas convencionales, etc.,

Las ventajas antes mencionadas hacen que los sistemas que usan las celdas Peltier puedan ser empleados en:

- Refrigeración de pequeñas cámaras (se recomienda de hasta 50 litros, (Güler & Ahiska, 2002))
- Enfriamiento de dispositivos electrónicos
- Enfriamiento de sistemas en automóviles
- Sistemas de aire acondicionado
- Enfriamiento de agua o algún fluido
- Enfriamiento de LEDs de alto poder, entre otros.

Además, para tratar de disminuir el consumo energético de las celdas Peltier (con el fin de mejorar su COP) es importante la adecuada selección de estos dispositivos según los requerimientos de la aplicación (Zhao & Tan, 2014).

En general, el rendimiento de las celdas Peltier depende de:

- Una correcta adhesión de las caras de la celda a los disipadores con el uso de una pasta térmica que garantice una mejor conducción entre ellos.
- El coeficiente de conductividad de los disipadores. Un disipador con aletas y un adecuado material de construcción, por ejemplo, tendrá un alto coeficiente de conductividad.
- La superficie de contacto entre los elementos. El tamaño del disipador tiene que estar acorde con el tamaño de la celda. Una mayor superficie de contacto permite que se absorba y disipe calor de manera más uniforme.
- Que exista transferencia de calor por convección, puede ser forzada o natural.
- El ajuste de la energía de suministro óptima. Un adecuado suministro de energía permite que la celda pueda emplear toda su capacidad para beneficio del sistema, o a su vez, que la celda absorba tan solo el calor requerido por el sistema.

1.4.2 SELECCIÓN DE UNA CELDA PELTIER

Según Ferrotec para una correcta selección de una celda Peltier se requiere de una previa evaluación acerca de la aplicación que se va a dar a la celda. Para la selección de una celda Peltier es necesario resolver varias interrogantes como:

- ¿Es un objeto o un sistema el que debe ser enfriado?
- ¿A qué temperatura el objeto o mi sistema debe mantenerse?
- ¿Cuánto calor debe ser removido del objeto o el sistema?
- ¿Es importante el tiempo de enfriamiento? Si la respuesta es positiva, ¿Cuán rápido debe ser el objeto enfriado después de ser conectada la fuente de energía?
- ¿A qué condiciones ambientales está sometido el objeto o el sistema a enfriar?
- ¿Cuáles podrían ser las condiciones ambientales extremas a las que podría estar expuesto el objeto o el sistema?
- ¿Con cuanto espacio se cuenta tanto para la celda como para su sistema de disipación?
- ¿Qué fuente de energía está disponible?

- ¿Necesita la temperatura de enfriamiento ser controlada?

Una vez respondidas estas preguntas se procede a la selección de la celda más adecuada dependiendo la aplicación que se le quiera dar siguiendo los métodos que se detallan más adelante.

Cualquier catálogo del mercado en cuanto a celdas Peltier, proporciona el valor de los siguientes parámetros:

- Calor disipado y calor absorbido máximo
- Intensidad de corriente entrada máxima
- Tensión de entrada máxima (voltaje)
- Dimensiones de la celda
- Coeficiente de operación
- Curvas características
 - Gráfica calor bombeado o absorbido (W) VS Intensidad de entrada (A)
 - Gráfica de la tensión de entrada VS Intensidad de entrada (A)
 - Gráfica del calor disipado (W) VS Intensidad de entrada (A)
 - Gráfica del coeficiente de operación COP VS La intensidad de entrada.

Muchas empresas fabricantes de celdas Peltier en sus páginas web ofrecen softwares que mediante cálculos preestablecidos permiten conocer los datos anteriormente mencionados a partir del ingreso de parámetros como:

Temperatura ambiente, temperatura de refrigeración, resistencia térmica en el disipador, número de celdas, etc. Estos valores proporcionados por el fabricante son calculados por datos de pruebas realizadas en laboratorio (Ferrotec, 2016).

Finalmente, la selección de la celda Peltier para esta aplicación puede hacerse de dos formas: a partir de las curvas de rendimiento termoeléctrico y/o a partir del software proporcionado por el fabricante (Marlow Industries, n.d.).

Cabe recalcar que los valores necesarios para la selección de la celda también se pueden encontrar realizando el balance de energía para las celdas Peltier. Pero

para ello se debe conocer datos como propiedades de los materiales constituyentes de la celda, número de semiconductores, etc. Estos valores son muy difíciles de encontrar debido a que cada empresa se guarda el derecho de difusión de esta información. Es por esto que es preferible usar los dos métodos anteriormente nombrados.

La mayoría de los cálculos y programas que se usan en el mercado para la selección de una celda Peltier están basados en unas curvas normalizadas llamadas gráficas Universales de Rendimiento (Corporation Tellurex, 2014).

Estas curvas relacionan los siguientes parámetros:

- La diferencia de temperaturas: temperatura ambiental y temperatura a la que se desea llegar.
- El calor máximo absorbido en vatios. Este valor será la carga máxima calculada para el sistema.
- La tensión de entrada máxima a la que puede trabajar la celda, en voltios.
- La corriente máxima de entrada a la que puede trabajar la celda, en amperios.

Como resultado se obtienen gráficas que devuelven un valor aproximado de las características de la celda Peltier, por lo tanto, es necesario complementarlo con un software que tiene en cuenta otras variables como el calor generado por la conducción interna, efecto Joule y efecto Thompson (Corporation Tellurex, 2014).

En la Figura 1. 6 se muestran las gráficas universales de rendimiento para la selección de una celda dependiendo de los requerimientos definidos por el usuario. Estas gráficas permiten obtener valores para todo tipo de celdas y aplicaciones (Tellurex Corporation, 2014).

Muchas empresas fabricantes de celdas Peltier permiten el ingreso de información en un software libre en la web para sugerir a sus consumidores el empleo de una celda para cada necesidad.

La demanda de celdas Peltier ha producido un incremento en el desarrollo de las mismas. En el mercado actual existe una gran variedad de empresas que se

dedican al desarrollo de estas celdas. Inclusive estas empresas trabajan en celdas bajo orden del usuario y sus requerimientos. Entre los principales tipos de celdas se encuentran: Celdas estándar, Celdas Multietapa o en cascada, Microceldas, Celdas de alta potencia, Celdas de alta temperatura, Celda serie-paralelo, entre otras (Ferrotec, 2016).

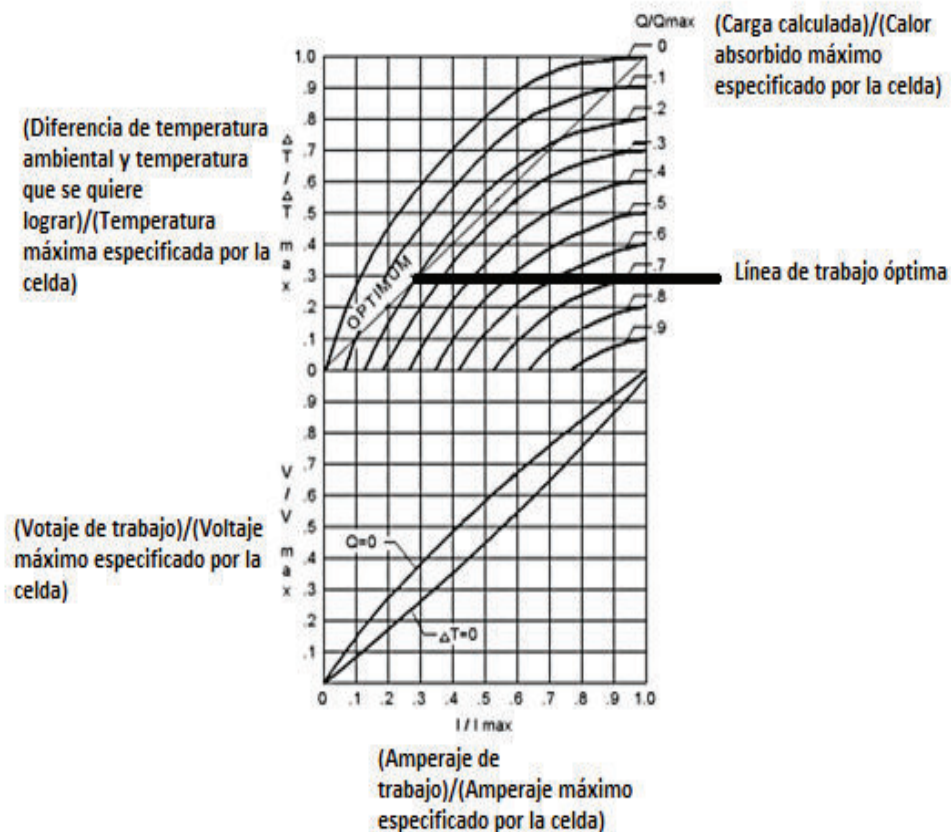


Figura 1. 6 Gráfica universal de rendimiento

(Corporation Tellurex, 2014)

Entre los tipos de celdas, las celdas estándar son las más sencillas y comercialmente más disponibles. Esta característica hace que este tipo de celdas puedan aplicarse tanto a procesos industriales como comerciales (Ferrotec, 2016).

Usando una o más celdas estándar se puede diseñar un sistema de enfriamiento con un amplio rango de potencia. Normalmente estas celdas trabajan dentro de rangos como se muestra en la tabla 1.1:

Tabla 1. 1 Características generales de una celda Peltier estándar

Magnitud	Rango		Unidades
	Desde	Hasta	
Intensidad	1	40	A
Voltaje	2,3	18,1	V
Variación de temperatura lado frío y lado caliente	70	83	°C
Calor absorbido Máximo	0,6	146	W
Dimensiones	4x4x4	55x55x55	mm

(Ferrotec, 2016)

En la Tabla 1. 1 se muestran las características generales de varios tipos de celdas Peltier estándar, sus rangos generales tanto de trabajo, como de construcción. Cada empresa fabricante ofrece sus rangos específicos y dependerán de las solicitudes o forma de trabajo definida por el usuario.

Las celdas estándar son las más usadas en sistemas de refrigeración, ya que, son de fácil montaje, manejo y trabajan en amplios rangos de temperatura. Además, son altamente accesibles en el mercado y por esta razón se las puede encontrar a precios muy económicos que van desde los tres dólares hasta los treinta dólares dependiendo de la empresa fabricante (Zhao & Tan, 2014).

Una celda Peltier estándar es usualmente empleada cuando se quiere enfriar pequeñas cámaras, dispositivos electrónicos, enfriamiento o calentamiento de fluidos como el agua y aire, etc. (Zhao & Tan, 2014).

Cabe recalcar que para obtener valores óptimos de rendimiento de la celda Peltier se deberá garantizar que la temperatura del lado frío y la del lado caliente sean las más cercanas entre sí. Es por esto que se debe acoplar a las celdas dispositivos de disipación y de absorción de calor (Zhao & Tan, 2014).

1.5 MÓDULOS PELTIER.

Módulo Peltier se llama al conjunto formado principalmente de la celda y sus

disipadores (Supercool, 2004).

Para alcanzar un óptimo rendimiento y una buena transmisión de calor, en las celdas Peltier se instalan en unos dispositivos que favorecen la transmisión de calor, tanto en el lado frío como caliente, llamados módulos Peltier (Supercool, 2004).

La misión de este sistema es la de evacuar principalmente y absorber por convección natural o forzada la mayor cantidad de calor posible. Un óptimo diseño del módulo permitirá que las temperaturas tanto del lado caliente como del lado frío de la celda, sean las más cercanas entre sí ya que una diferencia muy alta entre estas temperaturas provoca que los elementos conductores de la celda se fundan.

La Figura 1. 7 muestra un ejemplo de las partes de un módulo Peltier. Este módulo principalmente debe contar con dispositivos de disipación, como aletas, superficies extendidas, radiadores, etc. De igual forma se sugiere que en el lado caliente se coloque un ventilador para que el calor sea evacuado de mejor manera. Los demás componentes son opcionales, pero ayudarán a mejorar el rendimiento de la celda.

Así como existe una gran variedad de celdas Peltier, también existen varias formas de absorción y disipación del calor generado por la celda. De este modo también se pueden clasificar a las celdas Peltier en función del medio de disipación u absorción, el cual depende del fluido utilizado para crear dicho efecto. Por este motivo se pueden encontrar módulos Peltier con sistemas aire-aire, aire-líquido, aire-directo, líquido directo, líquido-aire y líquido-líquido (Supercool, 2004).

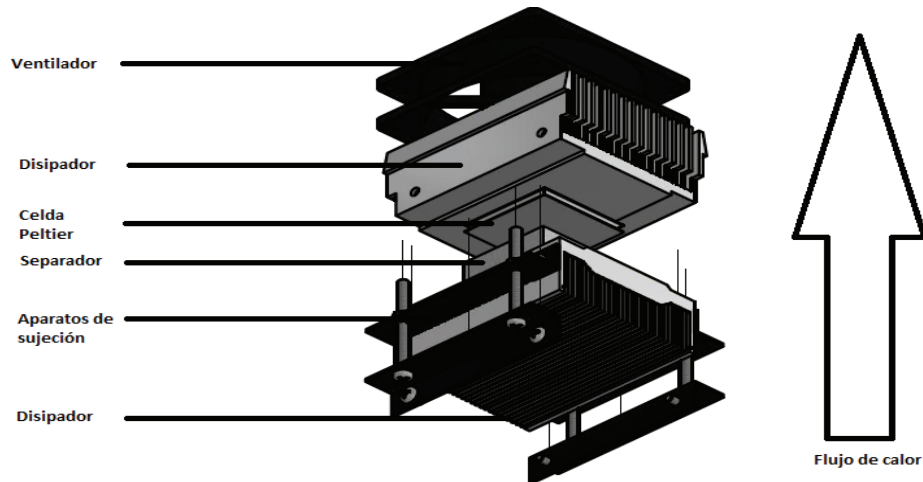


Figura 1. 7 Partes de un módulo Peltier
(Elaboración propia)

Para enfriar objetos en contenedores los sistemas aire-aire son los mayormente utilizados. Estos sistemas funcionan como se muestra en la Figura 1. 8, el calor es absorbido en el lado frío por aletas y ventiladores, y disipado de la misma manera en el lado caliente. Su rendimiento depende de la potencia del ventilador, así como del tamaño de las aletas. De la misma manera estos sistemas permiten que no se forme escarcha alrededor de los disipadores. La ubicación del módulo puede ser indistinto, pero debe garantizar sobre todo que los ventiladores puedan tomar el aire necesario (Min & Rowe, 2006) .

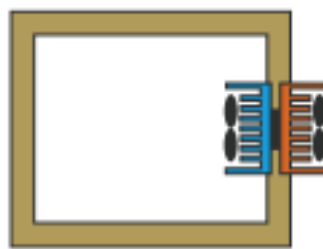


Figura 1. 8 Sistema aire-aire (AA)
(Supercool, 2004)

Otro mecanismo para enfriar contenedores, son los sistemas aire-líquido y son ideales cuando se necesita un alto rendimiento en un diseño compacto (Figura 1.

9). El calor es absorbido por un módulo con una superficie extendida y un ventilador en el lado frío y luego, este calor se disipa a un líquido en el lado caliente. El circuito de líquido cuenta normalmente con un tipo de recirculación, equipado con una bomba y un intercambiador de calor aire-líquido, para eliminar el calor en el aire ambiente como se muestra en Figura 1. 9 (Min & Rowe, 2006).

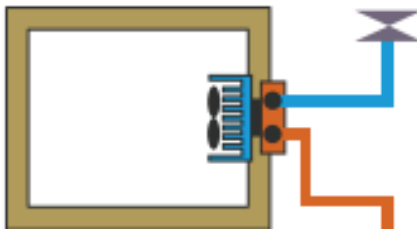


Figura 1. 9 Sistema aire-líquido (AL)
(Supercool, 2004)

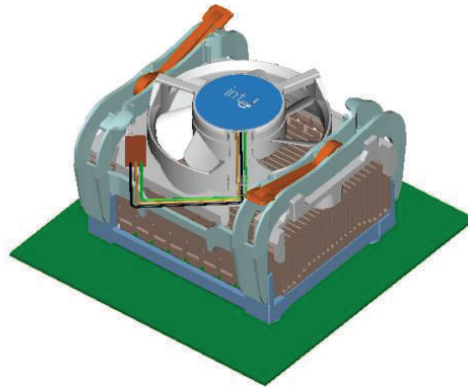
Dependiendo del diseño de cada módulo y la cantidad de elementos que usen para cumplir con su propósito, estos pueden llegar a ser muy costosos.

Una alternativa enfocada en el ahorro energético y económico es el uso de módulos reciclados provenientes de aparatos electrónicos como: proyectores de video y computadoras de escritorio fuera de uso.

En general muchos dispositivos electrónicos como las computadoras de escritorio usan módulos Peltier para enfriar componentes que alcanza altas temperaturas. Se ubican estos módulos sobre el procesador y/o en las tarjetas de video. Estos módulos principalmente están compuestos de disipadores con aletas de aluminio. Cuentan además en muchos casos con ventiladores que provocan un flujo forzado del aire que circula por las aletas (Guide & Applications Intel processors, 2004).

En el caso de los procesadores de las familias Intel Pentium 1, Pentium 2, Pentium 3 y Pentium 4, Intel Celeron y algunos procesadores AMD, cuentan con módulos llamados "Socket 478", que pueden ser perfectamente reutilizados para la absorción o disipación de calor en las celdas Peltier, debido a que estos

módulos cuentan con una resistencia térmica aproximada de $0,5 [K/W]$ (Guide & Applications Intel processors, 2004).



**Figura 1. 10 Módulo de disipación para procesadores Intel Pentium Socket 478
(Guide & Applications Intel Processors, 2004)**

En la Figura 1. 10 se muestra un módulo Peltier para disipar el calor producido por el calentamiento del procesador Intel. Este módulo cuenta con disipador de aletas rectangulares, un ventilador y un sistema de acoplamiento (Guide & Applications Intel processors, 2004).

1.6 ANÁLISIS MATEMÁTICO

El análisis matemático del presente proyecto se basa en: el cálculo del espesor del aislante de las paredes de la cámara, los coeficientes de convección externo e interno, las cargas de los diferentes elementos que necesitan ser refrigerados y la selección del módulo en donde se calcula las resistencias térmicas de los disipadores, que son los parámetros a considerar para llevar a cabo el proyecto.

1.6.1 CÁLCULO DEL ESPESOR DEL AISLANTE.

En la Tabla 1. 2 se muestran las propiedades de algunos materiales que pueden ser empleados para las paredes de la cámara

Tabla 1. 2 Listado de materiales usados en equipos de refrigeración.

Material	Conductividad térmica $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$	Densidad $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$
Poliestireno expandido (R-11)	0,04	625
Madera común	0,14	145
Acero galvanizado ASTM-653	45,3	7913
Pintura de color claro	0,2	1200 $\epsilon=0,9$

(Cengel, 2004) & CDA, 2016)

Como se muestra en la figura 1.11 se considera la pared compuesta en serie y la transferencia unidimensional de calor para las paredes de cámara con sus materiales. Para el cálculo del espesor de la pared se usará el método de circuito térmico para la pared compuesta. El método nombrado toma en cuenta las resistencias térmicas en serie debido a las capas diferentes de material. (Incropera, 1999).

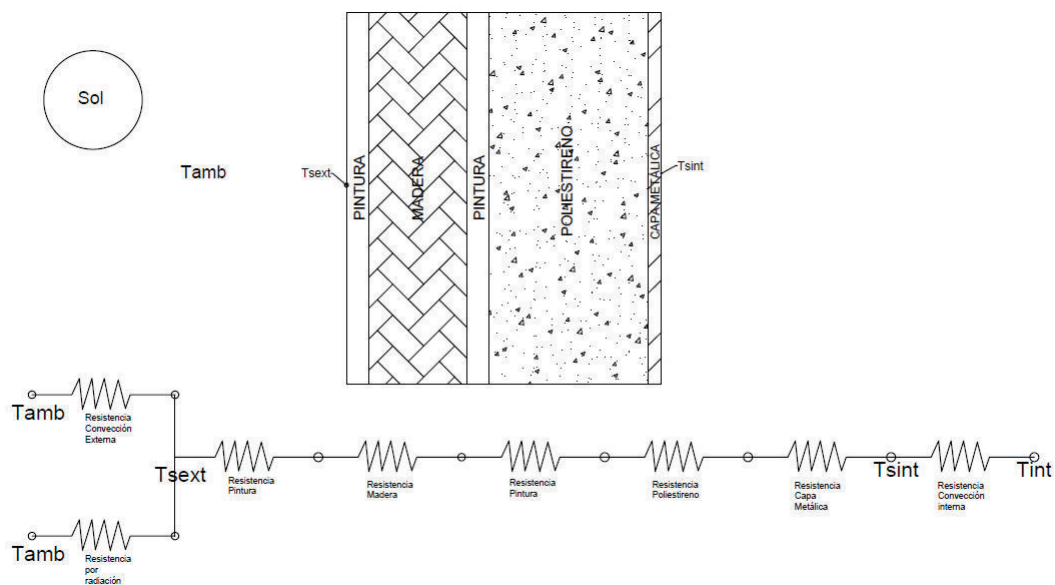


Figura 1. 11 Circuito térmico equivalente para la pared compuesta de la cámara (elaboración propia).

Para el circuito térmico en serie, el cálculo de la tasa de transferencia de calor en una pared, cuyo valor constituye la pérdida de calor por paredes para el caso de estudio; se realiza con la Ec. 1.1 (Incropera, 1999).

$$\frac{Q_p}{A} = \frac{T_{amb} - T_{int}}{\frac{1}{(h_e + h_r)} + \frac{L_p}{k_p} + \frac{L_m}{k_m} + \frac{L_p}{k_p} + \frac{L_a}{k_a} + \frac{L_c}{k_c} + \frac{1}{h_i}} \quad (\text{Ec. 1. 1})$$

Donde:

$\frac{Q_p}{A}$	Pérdida de calor permisible por paredes, por unidad de área $\left(\frac{W}{m^2}\right)$
T_{amb}	Temperatura ambiental externa (K)
T_{int}	Temperatura en el interior de la cámara (K)
h_e	Coefficiente de convección externo $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$
h_r	Coefficiente por radiación $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$
h_i	Coefficiente de convección interno $\left(\frac{W}{m^2 \cdot K}\right)$
L_p	Espesor de la capa de pintura (m)
L_m	Espesor de la capa de madera (m)
L_a	Espesor de la capa de aislante (m)
L_c	Espesor de la capa metálica (m)
k_p	Conductividad térmica de la pintura $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$
k_m	Conductividad térmica de la madera $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

k_a Conductividad térmica del aislante $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

k_c Conductividad térmica de la capa metálica $\left(\frac{W}{m \cdot K}\right)$

1.6.2 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN EXTERNO

En primer lugar, se calcula la temperatura de película. Esto se muestra en la Ec. 1.2 (Incropera, 1999).

$$T_{fe} = \frac{T_{amb} + T_{s_{ext}}}{2} \quad (\text{Ec. 1. 2})$$

Donde:

T_{fe} Temperatura de película al exterior de la cámara (K)

T_{amb} Temperatura del aire exterior (K)

$T_{s_{ext}}$ Temperatura de la superficie de la pared exterior (K)

Con el valor de la temperatura de película se puede conocer las propiedades del aire externo como densidad, capacidad calorífica, viscosidad, etc. Estos valores permiten conocer los números adimensionales característicos para la convección natural, Prandtl y Grashof, tanto para pared vertical como horizontal con sus respectivas longitudes características (Incropera, 1999).

$$Pr_e = \frac{Cp_e \cdot \mu_e}{k_e} \quad (\text{Ec. 1. 3})$$

$$Gr = \frac{g * \beta_e * (T_{amb} - T_{fe}) * L^3}{\nu_e^2} \quad (\text{Ec. 1. 4})$$

Donde:

Gr Número de Grashof

Pr_e Número de Prandtl para el aire externo

g Aceleración de la gravedad $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

β_e	Coeficiente de expansión (K^{-1})
L	Longitud característica (m)
ν_e	Viscosidad cinemática del aire exterior ($\frac{m^2}{s}$)

Con las Ec. 1.3 y 1.4 se calcula el número de Rayleigh como muestra la Ec. 1.5 (Incropera, 1999).

$$Ra_{\nu_e} = Gr * Pr_e \quad (\text{Ec. 1.5})$$

Encontrado el número de Rayleigh se calcula el número de Nusselt, para pared vertical y horizontal, como se muestra en la Ec. 1.6 y 1.7, respectivamente (Incropera, 1999).

- Pared vertical (Nu_{ν_e})

Para flujo laminar ($Ra_{\nu_e} < 10^9$)

$$Nu_{\nu_e} = 0,68 + \frac{0,67 * Ra_{\nu_e}^{\frac{1}{4}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr_e}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{4}{9}}} \quad (\text{Ec. 1.6})$$

Para flujo turbulento ($Ra_{l_{ext}} > 10^9$)

$$Nu_{\nu_e} = \left\{ 0,825 + \frac{0,387 * (Ra_{\nu_e})^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0,492}{Pr_e}\right)^{\frac{9}{16}}\right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 \quad (\text{Ec. 1.7})$$

- Pared horizontal (Nu_{h_e})

Para $10^4 < Ra < 10^7$

$$Nu_h = 0.54 * Ra^{\frac{1}{4}} \quad (\text{Ec. 1. 8})$$

Para $10^7 < Ra < 10^{11}$

$$Nu_{he} = 0.15 * Ra^{\frac{1}{3}} \quad (\text{Ec. 1. 9})$$

Con los valores de Nusselt anteriormente calculados se puede obtener el valor del coeficiente de convección externo para ambas disposiciones de las paredes como se muestra en la Ec. 1. 10 (Incropera, 1999).

$$h_e = \frac{Nu_e * k_e}{L} \quad (\text{Ec. 1. 10})$$

En lo que respecta al cálculo del coeficiente de transferencia de calor por radiación se aplica la Ec. 1.11

$$h_r = \varepsilon * \sigma * (T_{amb} + T_{S_{ext}}) * (T_{amb}^2 + T_{S_{ext}}^2) \quad (\text{Ec. 1. 11})$$

En donde ε es la emisividad de la pintura blanca y la constante de Boltzman es igual $\sigma = 5,67 * 10^{-8} \left(\frac{W}{m^2 * K^4} \right)$

1.6.3 CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE CONVECCIÓN INTERNO Y COMPROBACIÓN DE TEMPERATURAS ASUMIDAS

Para la parte interior de la cámara la temperatura de película se calcula con la Ec. 1.12 (Incropera, 1999).

$$T_{fi} = \frac{T_{int} + T_{S_{int}}}{2} \quad (\text{Ec. 1. 12})$$

Donde:

T_{fi} Temperatura de película al interior de la cámara (K)

T_{int} Temperatura del aire interno (K)

$T_{S_{int}}$ Temperatura de la superficie de la pared interior (K)

Con el valor de la temperatura de película se puede conocer las propiedades del aire externo como densidad, capacidad calorífica, viscosidad, etc. Estos valores permiten conocer los números adimensionales característicos para la convección natural, Prandtl y Grashof (Incropera, 1999).

Si existe la presencia de un ventilador se calcula primero la velocidad con la Ec. 1.13 y se considera flujo forzado.

$$v_{aire} = Q_{vent} * \frac{1}{A_{vent}} \quad (\text{Ec. 1. 13})$$

Donde:

v_{aire} Velocidad del aire $\left(\frac{m}{s}\right)$

Q_{vent} Flujo volumétrico de aire entregado por el ventilador $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

A_{vent} Área del ventilador (m^2)

Una vez encontrada la velocidad del aire dentro de la cámara se calcula el diámetro hidráulico equivalente en el interior de la cámara como se indica en la Ec. 1.14 (Mills, 1995).

$$Dh_{int} = \frac{4 * A_m}{P_m} \quad (\text{Ec. 1. 14})$$

Donde:

Dh_{int} Diámetro hidráulico al interior de la cámara (m)

A_m Área mojada (m^2)

P_m Perímetro mojado (m)

Con los valores tanto de velocidad del aire, como de diámetro hidráulico y las propiedades del aire a la temperatura asumida; se calcula el número de Reynolds al interior de la cámara con la Ec. 1.15 (Cengel, 2004).

$$Re_{int} = \frac{\rho_{int} * v_{c_{int}} * Dh_{int}}{U_{int}} \quad (\text{Ec. 1. 15})$$

Donde:

Re_{int} Número de Reynolds al interior de la cámara

ρ_{int} Densidad del aire en el interior $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

$v_{c_{int}}$ Velocidad del aire en el interior $\left(\frac{m}{s}\right)$

Dh_{int} Diámetro hidráulico equivalente (m)

U_{int} Viscosidad dinámica interior $\left(\frac{N.s}{m^2}\right)$

El resultado del número de Reynolds debe ser mayor a 4000, con ello se afirma que existe flujo turbulento y, por lo tanto, al interior de la cámara existe convección forzada.

Una vez que se logra obtener flujo turbulento, se calcula el número de Nusselt para el valor de Reynolds calculado con la Ec. 1.16 (Cengel, 2004). Para ductos no circulares con convección forzada en flujo interno se aplica la siguiente ecuación (Mills. 1995):

Si $Re > 10000$; $0,6 < Pr < 160$; $L/D > 10$; $n = 0,4$ para $T_s > T_m$; $n = 0,3$ para $T_s < T_m$.

$$Nu_i = 0,023 * Re_{int}^{4/5} * Pr^n \quad (\text{Ec. 1. 16})$$

Donde

D Diámetro de la tubería que es el diámetro hidráulico equivalente (m)

L Longitud característica de la tubería que es la altura interior de la cámara (m)

Si el número de Reynolds es menor a 10000 calcular con las ecuaciones para flujo externo.

Con los valores de Nusselt anteriormente calculados se puede obtener el valor del coeficiente de convección interno que será el mismo para todas las paredes (Incropera, 1999).

$$h_i = \frac{Nu_i * k_i}{L_c} \quad (\text{Ec. 1. 17})$$

Comprobación de temperaturas asumidas

Cálculo de las áreas de las paredes de la cámara.

- Áreas internas

$$A_{l_i} = L_{ancint} * L_{altint} \quad (\text{Ec. 1. 18})$$

$$A_{s_i} = L_{ancint} * L_{larint} \quad (\text{Ec. 1. 19})$$

- Áreas externas

$$A_{l_e} = L_{ancext} * L_{altext} \quad (\text{Ec. 1. 20})$$

$$A_{s_e} = L_{ancext} * L_{larext} \quad (\text{Ec. 1. 21})$$

Dicho esto, también se puede llegar a la conclusión de que tanto el área de las paredes laterales internas y externas son iguales; al igual que el área superior internas y externa.

Una vez calculadas las áreas, para poder calcular las pérdidas de calor se calcula el área media para cada superficie como se muestra en la Ec. 1.22 y Ec. 1.23.

$$A_{m_l} = \frac{A_{l_i} + A_{l_e}}{2} \quad (\text{Ec. 1. 22})$$

$$A_{m_s} = \frac{A_{s_i} + A_{s_e}}{2} \quad (\text{Ec. 1. 23})$$

Con los valores de área promedio para cada superficie, ya es posible calcular el flujo de calor promedio para cada cara de la cámara reemplazando del flujo de calor constante admitido por las paredes para refrigeración en la Ec. 1.24 y Ec. 1.25.

$$Q_{lat} = \frac{Q_p}{A} * A_{m_l} \quad (\text{Ec. 1. 24})$$

$$Q_{sup} = \frac{Q_p}{A} * A_{m_s} \quad (\text{Ec. 1. 25})$$

Estos valores de flujo de calor perdido en las paredes servirán para comprobar si las temperaturas asumidas para cada superficie son las correctas y así validar los cálculos. Esto se logra despejando las temperaturas de superficie externa e interna con la ecuación del fenómeno de transporte de calor de convección natural al exterior de la cámara Ec. 1.26 y el fenómeno de transporte de calor por convección forzada al interior de la cámara Ec. 1.27 (Incropera, 1999).

$$Q_{lat} = h_e * A_{m_l} * (T_{amb} - T_{s_{extn}}) \quad (\text{Ec. 1. 26})$$

$$Q_{lat} = h_i * A_{m_l} * (T_{s_{intn}} - T_{int}) \quad (\text{Ec. 1. 27})$$

Con el valor de las temperaturas de superficie exterior e interior se calcula el porcentaje de error, como se muestra en la Ec. 1.28 y Ec. 1.29.

$$\%error_{T_{s_{ext}}} = \frac{T_{s_{extn}} - T_{s_{ext}}}{T_{s_{extn}}} * 100\% \quad (\text{Ec. 1. 28})$$

$$\%error_{T_{s_{int}}} = \frac{T_{s_{intn}} - T_{s_{int}}}{T_{s_{intn}}} * 100\% \quad (\text{Ec. 1. 29})$$

1.6.4 CÁLCULO DE CARGAS

- Por transmisión

$$Q_{tp} = 4 * Q_L + Q_s \quad (\text{Ec. 1. 30})$$

- Cambios de aire

Una vez recolectada la información suficiente se calcula la carga por cambios de aire con la Ec. 1.31 (Bohn, 2001).

$$Q_{ca} = V_{int} * CA * F_{ca} \quad (\text{Ec. 1. 31})$$

Donde:

Q_{ca} Carga por cambios de aire $\left(\frac{W}{24hr}\right)$

V_{int} Volumen al interior de la cámara (m^3)

CA Número de cambios de aire en 24 horas

F_{ca} Factor cambio de aire $\left(\frac{W}{pie^3}\right)$

- Misceláneas

Se refiere a otras cargas que forman parte del equipo o se usan para la refrigeración del mismo.

- Por producto

Para el cálculo de la carga del producto se utiliza la Ec.1.32:

$$Q_p = m_{max} * Cp * \Delta T \quad (\text{Ec. 1. 32})$$

Donde:

Q_p Cantidad de calor a ser removido por producto (W)

m_{max} Masa máxima del producto (Kg)

Cp Calor específico arriba de la congelación $\left(\frac{W}{Kg*K}\right)$

ΔT Diferencia de temperatura entre el ingreso y de cámara (K)

- Carga total

$$Q_{abs} = \frac{(Q_{t_p} + Q_{ca} + Q_m + Q_p) * 110\%}{horas\ de\ funcionamiento} \quad (Ec. 1. 33)$$

1.6.5 PRIMERA Y SEGUNDA LEY DE LA TERMODINÁMICA APLICADAS AL SISTEMA

Un sistema sometido a un proceso se analiza mediante el principio de la conservación de la energía o balance de energía, esto se encuentra ligado a la primera ley de la termodinámica que se expresa como: El cambio total de energía de un sistema que se somete a un proceso es igual a la energía total que entra al sistema menos la energía total que sale del sistema durante dicho proceso. En forma de ecuación, aplicada al sistema en estudio, se tiene (Cengel, 2004):

$$Q_{dis} = Q_{abs} + V * I \quad (Ec. 1. 34)$$

Donde:

Q_{dis}	Calor disipado por la celda Peltier (W)
Q_{abs}	Calor absorbido por la celda Peltier (W)
V	Voltaje del suministro (V)
I	Corriente del suministro (A)

Por otra parte, la segunda ley de la termodinámica afirma que: cuando un sistema real se somete a un proceso, cierta parte de su energía no es útil para producir un trabajo y, más bien, tiende a incrementarse con el tiempo. Esto quiere decir que, en el caso de un sistema de refrigeración, se introduce un término que relaciona el calor absorbido por el sistema con respecto a la potencia que se suministra al mismo, que es el COP y es una medida de la eficiencia del sistema de refrigeración.

1.6.6 RESISTENCIA TÉRMICA DE LOS DISIPADORES

- Resistencia térmica mínima (Incropera, 1999).

$$R_{d,m} = \frac{T_{amb} + T_{int}}{Q_{dis}} \quad (\text{Ec. 1. 35})$$

$$L_c = L + \frac{t}{2} \quad (\text{Ec. 1. 36})$$

Donde:

L_c Longitud corregida (m)

L Longitud de la aleta (m)

t Altura de la aleta (m)

$$A_f = 2 * w * L_c \quad (\text{Ec. 1. 37})$$

Donde

A_f Área superficial (m^2)

w Ancho de la aleta (m)

$$A_b = S * w * N_{esp} \quad (\text{Ec. 1. 38})$$

Donde:

A_b Área de la superficie primaria (m^2)

S Ancho promedio del espacio entre aletas (m)

N_{esp} Número de espacios

$$A_t = N * A_f + A_b \quad (\text{Ec. 1. 39})$$

Donde:

A_t Área total de la parte expuesta a la convección (m^2)

N Número de aletas del arreglo de aletas

$$mL_c = \left(\frac{2 * h}{k_{al} * t} \right)^{\frac{1}{2}} * L_c \quad (\text{Ec. 1. 40})$$

Donde:

h Coeficiente de convección $\left(\frac{W}{m^2 * K} \right)$

k_{al} Conductividad térmica del aluminio 2024 $\left(\frac{W}{m * K} \right)$

$$\eta_f = \frac{\tanh(mL_c)}{mL_c} \quad (\text{Ec. 1. 41})$$

Donde:

η_f Eficiencia de una sola aleta

Una vez encontrada la eficiencia de una sola aleta y con la Ec. 1.37, Ec. 1.39 y la Ec.1.41, se encuentra la eficiencia del arreglo de aletas con la Ec. 1.42 (Incropera, 1999).

$$\eta_o = 1 - \left(\frac{N * A_f}{A_t} \right) * (1 - \eta_f) \quad (\text{Ec. 1. 42})$$

Donde:

η_o Eficiencia del arreglo de aletas

Finalmente, con los valores de la Ec. 1.39, Ec. 1.42 y el coeficiente de convección, se reemplaza en la Ec. 1.43, para obtener la resistencia térmica de las aletas (Incropera, 1999).

$$R_t = \frac{1}{\eta_o * h * A_t} \quad (\text{Ec. 1. 43})$$

1.6.7 Modelo del Estado transitorio

Con el fin de determinar el número de celdas que serán necesaria para llegar a la temperatura de 5°C en un tiempo que esté dentro de un rango permisible de entre 70 minutos y 120 minutos que es según Min & Rowe (2006) un valor esperado

para cámaras de refrigeración con un COP de entre 0,3 y 0,8, se emplea la ecuación del balance de energía de la cámara como se muestra en la Ec.

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sist}$$

En donde desarrollando queda:

$$Q_m + Q_{tp} - Q_{abs} = \frac{(m_a + m_{bandejas})}{t} * (Cp_a + Cp_{bandejas}) * (Tf - Tamb)$$

Donde se asignara un tiempo en minutos para obtener los valores de Tf con el número de celdas que se necesite.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL EQUIPO

2.1 DISEÑO DE LA CÁMARA

La recopilación de datos para el estudio se basa en una revisión bibliográfica. De esta revisión se determinan los parámetros para el diseño de la cámara de refrigeración por efecto Termoeléctrico o efecto Peltier. Como parte del diseño de la cámara en primer lugar se dimensiona el equipo.

2.1.1 CAPACIDAD DEL EQUIPO DE REFRIGERACIÓN

Para un correcto dimensionamiento de la cámara, es necesario tener en cuenta la cantidad de vacunas que se deberán contener en el sistema de refrigeración. Una aproximación de ello es evaluar en primera instancia el número de personas a las que están dirigidas las campañas de vacunación. Una campaña de vacunación es un período de tiempo en el que se suministran dosis de una vacuna para la prevención de cierta enfermedad en un lugar específico, estos lugares pueden ser: hospitales, centros de salud, brigadas móviles, etc. Según el Ministerio de Salud Pública del Ecuador, los niños menores de cinco años, las mujeres embarazadas, las personas mayores de 65 años y los enfermos crónicos son el grupo vulnerable al que se presta principal atención en las campañas de vacunación.

En la Tabla 2. 1 se indica una tabla de Metas, Poblaciones Objetivos y estrategias de las campañas de vacunación en el Ecuador. Donde se observa que estas campañas duran cierto período de tiempo (ya que existen vacunas que deben permanecer en stock todo el tiempo sobre en todo en hospitales). Para una campaña de vacunación es importante definir los grupos a los que están dirigidos estas campañas, el número de personas a las que se espera llegar y las estrategias que se van a emplear para cumplir con este objetivo (Organización Mundial De La Salud, 2014).

Tabla 2. 1 Tabla de metas, poblaciones y estrategias de una campaña de vacunación en el Ecuador.

NOMBRE DE PAÍS/TERRITORIO	¿CUALES SON SUS METAS PARA LA SVA 2014?	¿CUALES SON SUS POBLACION(ES) OBJETIVO(S)?	¿A CUANTAS PERSONAS (ESTIMADAS) ESPERAN VACUNAR/ALCANZAR CON LAS INTERVENCIONES?	¿CUALES ESTRATEGIAS SERÁN UTILIZADAS PARA ALCANZAR LAS METAS?
Ecuador	Iniciado en diciembre 2013 finaliza 30 de mayo 2014 Inicia 29 de abril 2014 finaliza 30 mayo 2014	De 6 meses a 4 años Estudiantes de 5 a 17 años	Denominador: 1.522.627 A vacunar: 828.835 (54.4%) Denominador: 4.181.272 A vacunar: 1.965.132 (47%)	1. Vacunación a población cautiva en guarderías, centros de cuidado infantil, escuelas 2. Vacunación institucional en U.O 3. Vacunación a población cautiva en Colegios 4. Vacunación institucional en U.O
Ecuador	Iniciada en diciembre 2013	Embarazadas Enfermos crónicos Adultos mayores 65 y +	Denominador 421.933 A vacunar: 147.676 (35%) Denominador: 500.000* A vacunar: 300.000 (60%) Denominador 1.049321 A vacunar: 482.765 (46%)	1. Vacunación Institucional en Unidades Operativas 2. Vacunación a población cautiva
Ecuador	Iniciada en diciembre 2013	Trabajadores de salud	Denominador: 58000 A vacunar: 29.000 (50%)	

(Organización Mundial De La Salud, 2014)

Se debe aclarar que la Tabla 2. 1 fue diseñada como parte del programa “Semana de Vacunación de las Américas”, en donde cada año la Organización Mundial de Salud trabaja en conjunto con los Ministerios o entidades de salud Pública de América. Estas entidades se alinean para crear campañas de vacunación de prevención de varias enfermedades en cada país. Se replica cada año y proveerá de vacunas específicas para cada población para erradicar cierta enfermedad o enfermedades (Organización Mundial De La Salud, 2014).

La Tabla 2. 1 es un buen punto de partida ya que provee de información de una campaña de vacunación que pretende cubrir de medicamentos a la mayor cantidad de grupos vulnerables en el Ecuador. Esta tabla también permite reconocer los lugares en los que se llevan a cabo las campañas de vacunación, siendo guarderías, escuelas, colegios, unidades móviles, etc., los lugares en los que las brigadas de salud suministran las diferentes vacunas (Organización Mundial De La Salud, 2014).

La cámara que se propone en este proyecto debe, además, estar en la capacidad de funcionar en cualquier lugar como los que indica la Tabla 2. 1. La característica de estos lugares es que cuentan con fluido eléctrico, es decir que la cámara podrá operar al momento de ser conectada.

Por ejemplo, según el Ministerio de Salud Pública del Ecuador para una campaña de vacunación contra la influenza AH1N1, adquirió 300,000 dosis en base a un análisis del número de personas que no accedieron a la vacunación durante una campaña pasada. La inmunización se llevó a cabo en horarios laborables a donde acudieron a un centro de salud de Cotacollao en Quito, 503 personas en su mayoría adultos mayores en cinco días laborales. El grupo de personas que acudieron a esta campaña principalmente llegaron de lugares desde el sector El Condado hasta Calacalí al norte de Quito (PP Digital, 2014).

Este ejemplo indica que cada día en una típica jornada laboral se suministraron aproximadamente 100 dosis de medicamento. Cabe recalcar que este dato estadístico fue tomado en una jornada donde apenas empezaba la campaña de vacunación, en donde las personas acudieron de forma masiva y en su máxima cantidad.

Que se suministren 100 dosis diarias es un hecho que pocas veces sucede, debido a que la frecuencia de gente que asiste a los centros de salud es menor después de que inicia alguna campaña de vacunación. Asimismo, tanto los centros de salud, como los hospitales y brigadas móviles no solo cuentan con un consultorio u oficina para suministrar las vacunas. Ahora sí, la campaña de vacunación se realiza en un centro educativo o institucional, se llevan algunos stands donde los enfermeros suministran las vacunas con mayor agilidad (Comité Asesor de Vacunas, 2015).

Lo que nos indica que el equipo de refrigeración debe estar en la capacidad de refrigerar al menos 50 ml de vacunas que pueden estar contenidas en frascos o ampollas de 0,5 ml, frascos de 5 ml o jeringas de 0,5 ml de capacidad. Esta cámara debe garantizar además que pueda refrigerar el doble de la capacidad por lo explicado en el Capítulo acerca del adecuado manejo de los equipos de refrigeración.

Una vez evaluada la cantidad promedio de vacunas que debe tener un equipo de refrigeración, es pertinente calcular la cantidad de medicamento que se debe suministrar o que debe estar contenido en algún envase. En el Anexo 1 se muestra una tabla donde se indica la cantidad de dosis que se debe suministrar para vacunas más empleadas dependiendo de cada enfermedad.

Como se puede observar en general las vacunas están contenidas en dosis de 0,5 ml, solo en casos especiales su dosis aumenta como es el caso del rotavirus con 1 y 2 ml dependiendo de su composición. En casos especiales para niños, como indica el Ministerio de Salud Pública del Ecuador (2005), el suministro varía desde los 0,2 ml para la mayoría de casos y 0,5 ml para niños obesos.

Con esta información, se concluye que una cámara de refrigeración para vacunas que se pueda emplear para campañas de vacunación tanto en hospitales, centros médicos, guarderías, colegios, unidades móviles e instituciones Públicas o privadas debe poder en promedio refrigerar y contener al menos 100 vacunas.

En la Figura 2. 1 se muestra una vacuna para prevenir la Influenza, donde se encuentra además las medidas promedio de su frasco. Además, estos medicamentos están contenidos en frascos de vidrio para que se conserven de mejor manera, cuentan con una tapa metálica que en su parte superior está compuesta por un material elástico para que no se tenga que abrir su tapa sino la aguja de la jeringa ingrese sin problemas. En la Figura 2. 2 se muestra una serie de contenedores de vacunas, estos contenedores también son empleados y en muchos casos ya vienen contenidos en jeringas con agujas que varían de tamaños desde los 13 mm hasta los 40 mm además muchos fabricantes comercializan frascos de 5 ml de capacidad (Comité Asesor de Vacunas, 2015).

Con la información de la cantidad y tipos de vacunas que la cámara de refrigeración debe estar en la capacidad de almacenar, se procede a dimensionar la misma.



**Figura 2. 1 Vacuna promedio con dimensiones
(Comité Asesor de Vacunas, 2015)**



**Figura 2. 2 Varios tipos de contenedores de vacunas
(Comité Asesor de Vacunas, 2015)**

2.1.2 DIMENSIONES DEL EQUIPO

Como se ha visto en el capítulo 1, donde se habla de los tipos de cámaras de refrigeración de vacunas, existen una gran variedad de estos dispositivos. En la cadena de frío la capacidad de los equipos es variada, tanto para contener vacunas para un país, provincia o ciudad donde se emplean equipos de gran tamaño, con sistemas de refrigeración convencional, así como, para centros de salud, hospitales, unidades móviles, que cuentan con sistemas de enfriamiento que muchas veces emplean contenedores de frío, cajas térmicas, termos o sistemas continuos de refrigeración (refrigeradoras convencionales o refrigeradores Peltier).

Un trabajo presentado por Guerra (2011), presenta el diseño de una refrigeradora Peltier de aproximadamente 50 l de capacidad, para almacenar vacunas. En este caso, se selecciona la cámara a partir de una empresa que ofrece cajas térmicas para el transporte de vacunas.

Así mismo Chatterjee & Pandey (2003), diseñaron y construyeron tres cámaras con celdas Peltier: dos de refrigeración y una de congelamiento para transportar vacunas en regiones remotas en la India. Estas cámaras de refrigeración se construyeron para 2,5 L, 1 L de capacidad y la congeladora para 2,5 L de capacidad.

En ambos casos las capacidades son variadas y se observa que es posible refrigerar e incluso congelar vacunas con celdas Peltier, pero se puede observar también que en ambos casos no se usan criterios de distribución o de almacenamiento de las vacunas.

Es por esto que, en varios hospitales, centros de salud, unidades móviles, farmacias y otras entidades optan por adquirir refrigeradoras que emplean refrigeración continua, para refrigerar cantidades que suplan las necesidades en campañas de vacunación o simplemente para cuando se necesite la administración de cierta vacuna y esta permanezca al alcance del médico o enfermero, permitiendo el almacenamiento de más vacunas y estas no sufran daño.

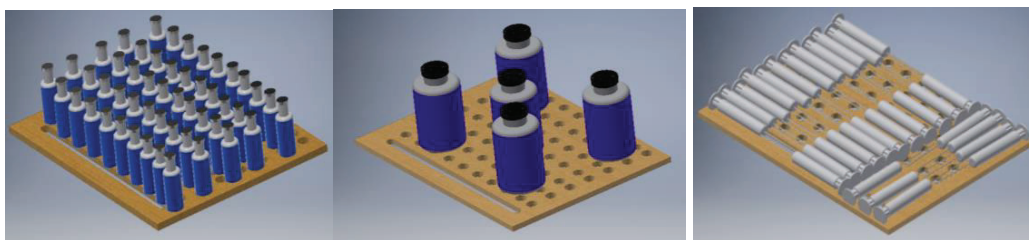
Es por las razones mencionadas, que en el presente proyecto se plantea diseñar una cámara que primero: garantice un sistema continuo de refrigeración con el empleo de celdas Peltier, segundo: permita aprovechar el espacio. Para lograr este segundo objetivo es importante que la cámara cuente con un sistema de varios contenedores o "cajones" y que permita la refrigeración de vacunas de 0,5 ml, 5 ml y jeringas. Además, la cámara debe permitir un fácil acceso a las vacunas tanto al ingresarlas como al retirarlas para su uso. Una vez que las vacunas estén dentro de la cámara, estas no deben estar en contacto entre sí ni tampoco con las paredes de la cámara. Esto permitirá que cada vacuna sea refrigerada correctamente, además, que la cámara no esté sobrecargada.

Para lograr el objetivo de aprovechamiento del espacio, se plantea una cámara de dos niveles, o dos cajones, en los que cada uno tiene la capacidad de almacenar 50 viales (recipientes contenedores de vacunas) de 0,5 ml, 10 viales de 5 ml o 50 jeringuillas aproximadamente de distintos tamaños; o la combinación de los mismos.

Cumpliendo con lo planteado anteriormente, se diseña una cámara cuya altura será mayor que su ancho y largo, ya que debe permitir el ingreso de vacunas de diferente altura. El ancho y el largo puede ser de las mismas dimensiones, tomando en cuenta que se debe reservar espacio para el módulo Peltier en la cara vertical trasera por razones que se explicaran más adelante.

En la Figura 2. 3 (a) se muestra la distribución de 50 viales de 0,5 ml en una bandeja rectangular, tomando en cuenta que las mismas no están en contacto entre sí y que exista un espacio para que tampoco estén en contacto con las paredes internas de la cámara. Para cumplir con este propósito la bandeja debe tener unas medidas aproximadas 20 cm X 17 cm.

En la Figura 2. 3 (b) y (c) se muestran viales de 5 ml y jeringas de 0,5 ml con aguja de 40 mm (es la más grande de las agujas empleadas para la administración de vacunas), respectivamente. En las figuras se puede observar como para las mismas dimensiones de la bandeja, es posible también contener otras formas de almacenamiento de vacunas siguiendo las mismas normas de precaución que se tomó en cuenta para las vacunas de 0,5 ml.



(a)

(b)

(c)

**Figura 2. 3 Distribución de varios tipos de vacunas en una bandeja 22 cm X 17 cm
(Elaboración propia)**

Según la empresa Tempack (2016) para poder mantener 100 vacunas a una temperatura entre 3 °C y 8°C en una de sus cajas frías es necesario una cámara de aproximadamente 10 litros de capacidad.

Con este valor de capacidad total (10 L), para mantener vacunas y los valores de dimensiones de las bandejas podremos dimensionar la cámara que se desea construir despejando de la siguiente ecuación su altura interna:

$$V_{tc} = L_{ancint} * L_{larint} * L_{altint} \quad (\text{Ec. 2. 1})$$

Donde:

- V_{tc} Volumen total interno de la cámara en (m^3)
 L_{ancint} Longitud del ancho interno de la cámara en (m)
 L_{larint} Longitud del largo interno de la cámara en (m)
 L_{altint} Longitud de la altura interna de la cámara en (m)

De esta ecuación obtenemos los siguientes resultados que se muestran en la Tabla 2. 2.

Tabla 2. 2 Resultados de las dimensiones de la cámara.

Dimensión	Valor	Unidades
L_{ancint}	0,20	m
L_{larint}	0,20	m
V	0,01	m^3
L_{altint}	0,25	m

Una vez dimensionada la cámara a partir de la cantidad de vacunas que debe poder refrigerar el equipo se sigue con la selección de los materiales de las paredes de la cámara que deben contar con materiales aislantes.

2.1.3 SELECCIÓN DE MATERIALES PARA LAS PAREDES DE LA CÁMARA

Uno de los principales inconvenientes a la hora de refrigerar o congelar productos son las pérdidas que se producen a través de las paredes. Esto ocurre ya que, en presencia de un gradiente de temperatura, se produce una transferencia de energía por conducción y ocurre en la dirección de la temperatura decreciente (Incropera, 1999)

Una de las formas de reducir esta pérdida de calor, es seleccionar materiales con baja conducción térmica, que permita que la diferencia de temperaturas interna y externa sean máximas (Incropera, 1999).

En la industria, para equipos de refrigeración y congelación la selección de materiales para paredes es variada, pero como característica general el material de aislamiento comúnmente seleccionado es el poliestireno. Este material tiene la característica de tener una baja conductividad térmica, además resiste las bajas temperaturas, es muy fácil de manejar y es económico; lo que lo vuelve ideal para equipos de refrigeración y congelación (Bohn, 2001).

El poliestireno solo o unido a otros materiales como la madera, el plástico, pintura, etc., permite que se reduzca la tasa de pérdidas de calor por las paredes, lo que afecta directamente al consumo energético del equipo y puede provocar un aumento en la temperatura interna del mismo (Bohn, 2001).

Al estudiar el proceso de refrigeración y congelación, varios autores hacen una recomendación a la hora de diseñar un equipo para estos propósitos: el flujo de calor permitido en cerramientos, o el valor de pérdidas de calor por conducción en paredes permitido, por economía, debe ser de máximo $9,28 \text{ (W/m}^2\text{)}$ para refrigeración y $6,26 \text{ (W/m}^2\text{)}$ para congelación. Este valor representa el punto de partida para el diseño de paredes de dichos equipos (Melgarejo, 2000).

En este proyecto se pretende usar materiales que puedan ser adquiridos fácilmente en el mercado ecuatoriano, cumpliendo con las normas mencionadas anteriormente. En la Tabla 1. 2 se ha creado un listado de materiales más usados en equipos de refrigeración donde están los valores de conductividad térmica y de densidad. En la misma tabla se puede también observar que el Poliestireno es el

material con menor conductividad térmica es por esto que será el material aislante a usar en la cámara de refrigeración propuesta.

Los otros materiales detallados en la Tabla 1. 2 son alternativos, accesibles comercialmente y contribuyen a que el equipo tenga un buen aspecto, se pueda limpiar y sea más firme ya que se le acoplaran otros elementos como es el caso de los módulos Peltier. No se han incluido a la lista materiales como el plástico ya que elevaría el costo del proyecto.

Para el proyecto se ha decidido emplear madera común que se puede adquirir en cualquier carpintería de 0,012 m de ancho. A esta madera se la pintará de un color claro (blanco) para que sirva como recubrimiento, también para reflejar la luz y como aislante. Como principal material de aislamiento de la cámara se empleará poliestireno, cuyo espesor deberá ser calculado. En el interior de la cámara, y adherida al poliestireno se colocará una capa de acero galvanizado de 0,7 mm de espesor que ayudará a proteger el aislante y permitirá una fácil limpieza dentro de la cámara.

Con la selección de materiales, a continuación, se calculará el espesor del poliestireno necesario para aislar la cámara.

2.1.4 CÁLCULO DEL ESPESOR DEL AISLANTE

El cálculo del espesor adecuado del material para aislar la cámara se calcula a partir del valor permisible de pérdidas de calor por paredes, recomendado para refrigeración, que se mencionó anteriormente. Para ello se usa el método de circuito térmico para la pared compuesta. El método nombrado toma en cuenta las resistencias térmicas en serie debido a las capas diferentes de material como se muestra en la Figura 1.11 (Incropera, 1999).

Para el cálculo se ha considerado a la temperatura ambiental como la mayor temperatura registrada entre enero del 2015 y diciembre del 2015, este valor fue de 27,1 °C y tomado en una estación meteorológica ubicada en el Consejo Nacional Electoral en Quito y registrado en el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables.

Para la temperatura interior de la cámara, este valor es un promedio entre las temperaturas permitidas para refrigeración de vacunas (3 °C y 8 °C), por lo indicado anteriormente es decir 5°C.

Tanto los valores de conductividad térmica, como de los espesores de cada material ya fueron expuestos anteriormente; excepto el espesor del poliestireno, que será calculado.

Los valores de coeficientes de convección interno y externo, se van a calcular a continuación.

2.1.4.1 Cálculo del coeficiente de convección externo

Para el cálculo del coeficiente de convección interno en primera instancia se debe estimar la temperatura de la pared externa, la cual según Guerra (2011) disminuye en aproximadamente 2 °C con respecto a la temperatura ambiental. Entonces, el valor de la temperatura de la pared exterior de la cámara será en un inicio de 25,1 °C.

Con los valores de temperatura tanto ambiental como de superficie exterior de la cámara, se obtiene la temperatura de película para continuar con los cálculos. Esto se muestra en la Ec. 1.2.

Cabe recalcar que no se toma en cuenta la pérdida de calor por la base de la cámara, ya que esta superficie es el apoyo del equipo en todo momento. Después de realizar los cálculos previos mostrados en el capítulo de cálculo de convección externo se calcula este coeficiente con la Ec. 1.8.

2.1.4.2 Cálculo del coeficiente de convección interno

Para empezar el cálculo de este coeficiente, se obtiene el valor de temperatura de película asumiendo que el valor de temperatura de pared interna es 1 °C más que la temperatura interna, es decir 6 °C y con este valor encontramos las propiedades del aire (Guerra, 2011).

Con la finalidad de mantener una temperatura uniforme en el interior de la cámara, evitar la formación de escarcha en las aletas internas del módulo Peltier y

reducir la condensación en la estructura interior de la cámara; es necesario el uso de un ventilador sobre las aletas del módulo Peltier interior (Min & Rowe, 2006).

Por lo tanto, para el cálculo del coeficiente de convección interno, se hablará de convección forzada al interior de la cámara y se deberá calcular la velocidad de este aire interno como se indica en la Ec. 1.10 (Cengel, 2004).

Los valores de los parámetros característicos del ventilador se han tomado de un catálogo proporcionado por el fabricante ADDA. Esto se puede apreciar en el Anexo 2.

Se debe tener en cuenta que el número de ventiladores al interior de la cámara influirán directamente en la carga que deberá la celda retirar, es por esto que se recomienda seleccionar un ventilador o ventiladores que permitan que esta carga sea la mínima.

2.1.4.3 Resultados del cálculo de los coeficientes de convección interna y externa

Los resultados tanto de los valores previos como de los coeficientes se muestran en la Tabla 2. 3.

Tabla 2. 3 Resultados de los coeficientes de convección interno y externo.

Parámetro	Valor		Unidades	Ecuación empleada
T_{amb}	27,1		°C	-
T_{sext}	25,1		°C	-
T_{fe}	26,1		°C	Ec. 1.2
	<i>Vertical</i>	<i>Horizontal</i>		
Gr_e	24506882,63	27749141,10	-	Ec. 1.4
Ra_e	17324405,47	19616422,80	flujo laminar	Ec. 1.5
Nu_e	22,54	40,45	-	Ec. 1.6 y Ec. 1.7
he	1,87	3,22	$\frac{W}{m^2K}$	Ec. 1.8
$he_{promedio}$	2,55		$\frac{W}{m^2K}$	-
T_{int}	5		°C	-

T_{sint}	6	°C	-
T_{fi}	5,5	°C	Ec. 1.9

**Tabla 2. 3 Resultados de los coeficientes de convección interno y externo.
(Continuación)**

Parámetro	Valor	Unidades	Ecuación empleada
v_{aire}	3.12	$\frac{m}{s}$	Ec. 1.10
Dh_{int}	0.21	m	Ec. 1.11
Re_i	34289,95	>10000 flujo turbulento	Ec. 1.12
Nu_i	88,1	-	Ec. 1.13
hi	10,24	W/m2K	Ec. 1.14
hr	5,46	W/m2K	Ec. 1.8

2.1.4.4 Resultado del espesor del aislante.

Con los resultados de las Ec. 1.8 y Ec. 1.14, los valores de conductividad en la Tabla 1. 2, el valor de pérdida de calor permitido para refrigeración y los valores de espesores para los materiales, se calcula el espesor necesario para el poliestireno despejando de la Ec. 1.1.

Los espesores de los diferentes aislantes se muestran en la Tabla 2. 4.

Tabla 2. 4 Resultados de espesores de la pared de la cámara.

Espesores de los diferentes materiales	Valor	Unidades
Lm	0,02	m
Lc	0,00025	m
Lp	0,002	m

La	0,037	m
Total Espesor Pared	0,059	m

Asimismo, en la Figura 2. 4 se muestran las diferentes dimensiones que tendrá la cámara.

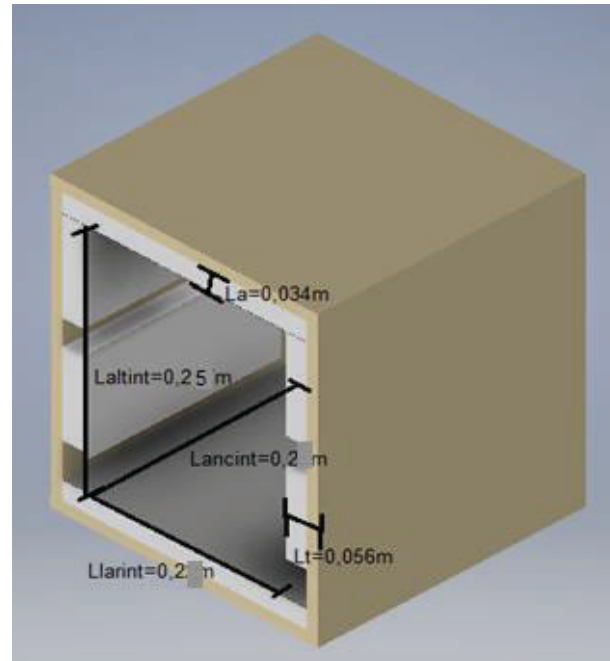


Figura 2. 4 Dimensiones del equipo
(Elaboración propia).

Una vez encontrado el espesor necesario de poliestireno se procede a calcular el calor por pérdidas para cada pared. Esto se logra primero encontrando el área de cada pared mostrado en el capítulo de comprobación de las temperaturas asumidas al igual que el resto de valores para poder obtener las pérdidas de cada pared.

En la Figura 2. 5 se muestran las cargas perdidas para cada pared además las dimensiones tanto de la parte interna de la cámara, así como la parte externa.

Por lo dicho anteriormente, en la parte del dimensionamiento de la cámara, se puede decir que la longitud del ancho interno (L_{ancint}) es igual a la longitud del

largo interno (L_{larint}) y, consecuentemente, la longitud del ancho externo (L_{ancext}) es igual a la longitud del largo externo (L_{larext}). De esta manera es posible calcular las áreas laterales interna y externa, así como el área interna y externa superior como se indica en la Ec. 1.15, Ec. 1.16 y Ec. 1.17.

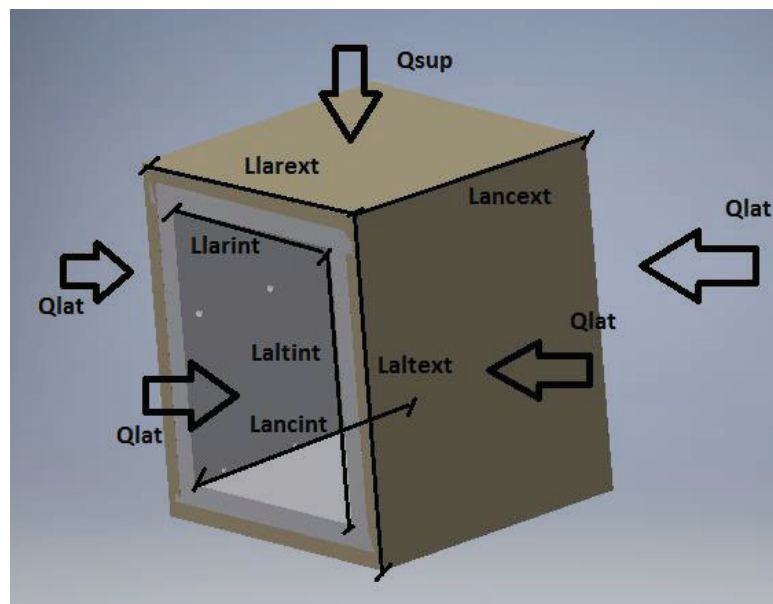


Figura 2. 5 Flujos de calor para cada pared de la cámara

(Elaboración propia)

Con los valores anteriores se calculan los nuevos valores de temperatura, que servirán para comprobar el cálculo en las Ec. 1.25 y Ec. 1.26.

Si este error es menor que el 10% se aceptan como válidas las temperaturas de superficie asumidas, caso contrario se tomarán nuevos valores y se repetirán los cálculos hasta que los mismos cumplan con el error (Guerra, 2011).

Verificado que el error es menor al 10% se obtienen los resultados de pérdida de carga por cada pared mostrado en la Tabla 2. 5.

Tabla 2. 5 Resultados de pérdidas por paredes.

Parámetro	Valor	Unidades	Ecuación empleada
-----------	-------	----------	-------------------

A_{mt}	0,07583	m^2	Ec. 1.19
A_{ms}	0,07953	m^2	Ec. 1.20
Q_{lat}	0,47472	W	Ec. 1.21
Q_{sup}	0,49788	W	Ec. 1.22

Una vez que se ha podido dimensionar el equipo y sus elementos para tener una baja transmisión de calor por paredes, se van a calcular las cargas que también van a estar presentes en el equipo de refrigeración. Para el propósito se van a seguir los pasos que sugiere el “Manual de Ingeniería” de BOHN (2001) para refrigeración y estos son:

1. Cálculo de la carga por transmisión
2. Cálculo de la carga por cambios de aire
3. Cálculo de cargas misceláneas
4. Cálculo de la carga del producto
5. Factor de seguridad
6. Carga térmica por hora

2.1.5 CÁLCULO DE LA CARGA POR TRANSMISIÓN

Esta carga es la total que se obtienen sumando debida a las pérdidas de calor por las paredes de la cámara, como muestra la Ec. 1.27.

$$Q_{t,p} = 4 * 0,47 + 0,497 = 2,397 (W)$$

2.1.6 CÁLCULO DE LA CARGA POR CAMBIOS DE AIRE

Se considera que existe una pérdida de calor cuando se abren las puertas de un espacio refrigerado, ya que el aire exterior que se encuentra a mayor temperatura ingresa a interior del equipo. Esta pérdida se conoce como carga por cambios de aire. Este valor se puede calcular conociendo la localización y tamaño de la cámara; un número estimado de veces que se abren las puertas y la temperatura a los alrededores de la cámara (Bohn, 2001).

Como se ha mencionado anteriormente, la cámara constará de dos puertas tipo “cajón” que ocupará cada una la mitad de una de las paredes laterales de la cámara. Además, se debe tomar en cuenta la temperatura en el interior del recinto donde se encuentre la cámara, que corresponde a la temperatura ambiental y, como se ha dicho será de 27,1 °C.

En el manual de Bonh, se ha estimado que, para una cámara de 10 L de capacidad,

el número de aperturas de la puerta será de 67 para cuartos de almacenamiento con temperaturas sobre los 0 °C.

$$Q_{ca} = 0,353 * 6,7 * 2 = 4,621 (W)$$

2.1.7 CÁLCULO DE CARGAS MISCELÁNEAS

Estas cargas son producidas por agentes externos o extras en la cámara. Estos pueden ser: luces, motores u ocupación (Carrier, 2001).

Como se ha mencionado, la cámara contará en su interior con un ventilador y esta será la única carga por motor. Tanto la carga por luces como por ocupación no son tomadas en cuenta ya que el sistema tipo “cajón” hace que no sea necesario iluminar ni ingresar personas a la cámara.

Para motores eléctricos dentro de un espacio refrigerado se denota Q_m .

$$Q_m = 12 * 0,2 = 2,4 (W)$$

2.1.8 CARGA DEL PRODUCTO Y RESULTADOS

Siempre que un producto tenga una temperatura más alta y sea colocado en una cámara de refrigeración, el producto perderá su calor hasta que éste alcance la temperatura de almacenamiento (Yajamín, 2012).

Para el caso de los medicamentos termolábiles, no existen registros de calores específicos, por lo que es práctica general utilizar la información de un producto similar. En la Tabla 2. 6 se pueden observar valores de calores específicos que pueden ser seleccionados para el cálculo tanto de la composición del producto como del material del empaquetamiento (Yajamín, 2012).

La presentación de la mayoría de vacunas termolábiles puede ser sólida o líquida, envasadas herméticamente en frascos de cristal. Es por esta razón que la humedad relativa para este producto no se considera. Bajo el mismo criterio, no existe el calor producido por respiración del producto (proceso en el cual el oxígeno del aire se combina con los carbohidratos en el tejido de cierta sustancia, dando como resultado la formación de dióxido de carbono y calor), como se da en el almacenamiento de frutas y vegetales (Yajamín, 2012).

Tabla 2. 6 Calor específico de varios productos

Producto	Calor específico $\left(\frac{J}{kg \cdot K}\right)$	Densidad $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$
Cerveza	4186,80	288,33
Jugo de manzana	3851,85	384,44
Leche en botella	3768,12	1025,18
Vidrio	41,86	2498,88
Alcohol metílico	2553,94	784,90

(Bohn, 2001)

Como ya se mencionó, el espacio que deben ocupar las vacunas dentro de una cámara de refrigeración no debe exceder el 50% de espacio útil. Tomando en cuenta esta consideración, se puede calcular la cantidad de producto (en masa, mediante la densidad) máxima que puede ser refrigerada; conociendo que el equipo tendrá una capacidad para 10 L, de los cuales 100 vacunas de 0,5 ml podrán ser refrigeradas, y esto representa menos de la mitad del espacio.

Con la Ec. 2.2 se puede calcular la masa de las vacunas máxima que pueden ser refrigeradas.

$$m_{max} = \rho * V_t \quad (\text{Ec. 2. 2})$$

Donde:

m_{max} Masa total del producto que puede ser refrigerado (Kg)

ρ Densidad del producto $\left(\frac{lb}{pie^3}\right)$

V_t Volumen total de vacuna que puede ser refrigerada (pie^3)

Además, se debe considerar que, debido a que las vacunas están contenidas en envases de vidrio este material también debe ser considerado en la carga. Se ha considerado que este ocupará el 10% del volumen de las vacunas (Yajamín, 2012).

Hay que tomar en cuenta que las vacunas no deben superar los 8°C en ninguno momento durante la cadena de frío. De aquí que se considera que esta será la temperatura máxima a la que ingresarán las vacunas a la cámara para la refrigeración; siendo 5 °C la temperatura a la que se mantendrán las mismas. Todos estos valores se reemplazan en la Ec. 2.2 y se obtienen las cargas tanto para las vacunas como para su envase contenedor para ocho horas de refrigeración.

$$Q_p = 5x10^{-3} * 1025,18 * 235,5 * (8 - 5) + 5x10^{-6} * 2498,88 \\ * 2,616 * (8 - 5) = 9,07 (W)$$

En lo que respecta al factor de seguridad recomienda que se debe tomar un 10% y debe ser agregado a la carga total de refrigeración. Este factor sirve para considerar la mínima omisión o inexactitud. Para este proyecto, esta consideración puede ser tomada ya que no se ha calculado la carga por bandejas u otro elemento que se encuentra dentro de la cámara o forma parte del equipo de refrigeración (Bohn, 2001). Finalmente, la carga térmica por horas sirve como guía en la selección del equipo y esta se obtiene dividiendo la carga térmica final que está calculada para 24 horas, por el tiempo de funcionamiento deseado que, como se ha dicho anteriormente será de 8 horas (jornada laboral en un centro de salud); tiempo en el que estará en funcionamiento el equipo. El calor total que la celda debe absorber se calcula con la Ec. 1.30. Los resultados de las cargas se observan en la Tabla 2. 7

Tabla 2. 7 Resultados de las cargas.

Carga	Nomenclatura	Valor	Unidades	Ecuación
-------	--------------	-------	----------	----------

				empleada
Por transmisión	Q_{tp}	2,39	W	Ec. 1.27
Por cambios de aire	Q_{ca}	4,62	W	Ec. 1.28
Misceláneas (Potencia ventilador interno)	Q_m	2,40	W	-
Por Producto	Q_p	10,13	W	Ec. 1.29
Total Absorbido	Q_{abs}	20,50	W	Ec. 1.30

2.2 SELECCIÓN DE LA CELDA PELTIER

Una vez que se ha calculado la carga total que el sistema de refrigeración debe retirar y las temperaturas tanto exterior como interior; ya se puede seleccionar la celda Peltier que puede ser empleada en el equipo.

Para el propósito, en primera instancia se debe responder las preguntas que se plantean en el apartado de selección de las celdas Peltier.

- ¿Es un objeto o un sistema el que debe ser enfriado?

Es un sistema conformado por las vacunas, el aire en su interior y demás objetos que forman parte del equipo (bandejas, rieles, disipadores, etc.).

- ¿A qué temperatura el objeto o el sistema debe mantenerse?

5 °C.

- ¿Cuánto calor debe ser removido del objeto o el sistema?

20,5 (W).

- ¿Es importante el tiempo de enfriamiento? Si la respuesta es positiva, ¿Cuán rápido debe ser el objeto enfriado después de ser conectada la fuente de energía?

No es importante, pero deberá ser el mínimo posible por motivos de ahorro de energía.

- ¿A qué condiciones ambientales está sometido el objeto o el sistema a enfriar?

La temperatura considerada será 27,1 °C, siendo el único factor ambiental considerado como importante.

- ¿Cuáles podrían ser las condiciones ambientales extremas a las que podría estar expuesto el objeto o el sistema?

Debido a que la cámara estará en todo momento dentro de un recinto y no se expone a la intemperie, se ha considerado como condición extrema solamente a la

máxima temperatura ambiental para la ciudad de Quito, que es de 27,1 °C.

- ¿Con cuánto espacio se cuenta tanto para la celda como para su sistema de disipación?

Por motivos estéticos y de diseño se contará con la pared vertical trasera para la instalación del sistema de disipación. La cámara tendrá el espacio suficiente para colocar uno o más sistemas de disipación, de ser el caso.

- ¿Qué fuente de energía está disponible?

Al ser accesible en el mercado y económica, se usará una fuente de energía de corriente directa de 12 voltios y 8,2 amperios. Esta fuente cuenta con la ventaja de que también permitirá suministrar de energía tanto a ventiladores, el sistema de control o más celdas, en caso de ser necesario.

- ¿Necesita la temperatura de enfriamiento ser controlada?

Si necesita ser controlada. A pesar de que se requiere que la temperatura se mantenga constante, es importante que esta temperatura no cambie y para esto será necesario controlar el suministro de energía a la celda Peltier.

Una vez respondidas estas preguntas se procederá a seleccionar la o las celdas con las que se logrará cumplir el objetivo de refrigerar a las vacunas, con el uso de las curvas de rendimiento universales.

Para el presente proyecto, y como los trabajos de Zhao & Tan (2014) y Guerra (2011) lo demuestran; se considera la utilización de celdas Peltier estándar, debido a que son celdas que trabajan entre varios rangos de temperatura, son económicas, accesibles en el mercado ecuatoriano y sirven de buena manera para refrigerar cámaras. Estas celdas pueden ser alimentadas con 12 voltios y 6 amperios, para lo cual es factible el uso de la fuente de poder seleccionada.

Se cuenta con la posibilidad de adquirir una celda Peltier estándar TEC-12706, que como muestra la Tabla 2.8, permite tranquilamente refrigerar vacunas para la cámara planteada en este proyecto; ya que la diferencia de temperaturas es de hasta 67 °C entre el lado frío y el lado caliente de la celda, y permite absorber hasta 51,4 (W).

Tabla 2. 8 Especificaciones de una celda Peltier estándar TEC-12706 40X40(mm)

Especificaciones		Condiciones
Imax	6A	Th=30°C
Vmax	15V	Th=30°C
ΔTmax	≥67°C	Qc=0, Th=30°C
Qmax	51,4W	ΔT=0°C, Th=30°C
Tr	Desde -50 hasta 100°C	
Dimensiones	40X40mm	

(Everredronics Limited, n.d.)

Con esta información es posible, con las gráficas universales de rendimiento, validar que la celda adquirida permitirá refrigerar vacunas.

En primer lugar, se calcula con la Ec. 2.3 la diferencia entre las temperaturas interna y ambiental.

$$\Delta T = T_{amb} - T_{int} \quad (\text{Ec. 2. 3})$$

Con este valor de ΔT , y la diferencia de temperaturas máxima normalizada ΔT_{max} (valor de la Tabla 2. 8) se encuentra la relación que muestra la Ec. 2.4.

$$\frac{\Delta T}{\Delta T_{max}} \quad (\text{Ec. 2. 4})$$

Con el resultado del cociente entre las diferencias de temperatura, se traza una recta *A*, en este valor, paralela al eje *x*; hasta que dicha recta se cruce con la diagonal "OPTIMUM". A continuación, desde el punto *O* se traza una paralela *C* a las curvas de calor absorbido hasta que dicha curva se cruce con el eje *y*; este cruce indicará el valor de la relación $\frac{Q_o}{Q_{max}}$. Por otra parte, desde el mismo punto *O* se traza una línea vertical *B* hasta encontrar el eje *x*; y este valor indica la relación $\frac{I}{I_{max}}$. Un ejemplo de esta operación se muestra en la Figura 2. 6.

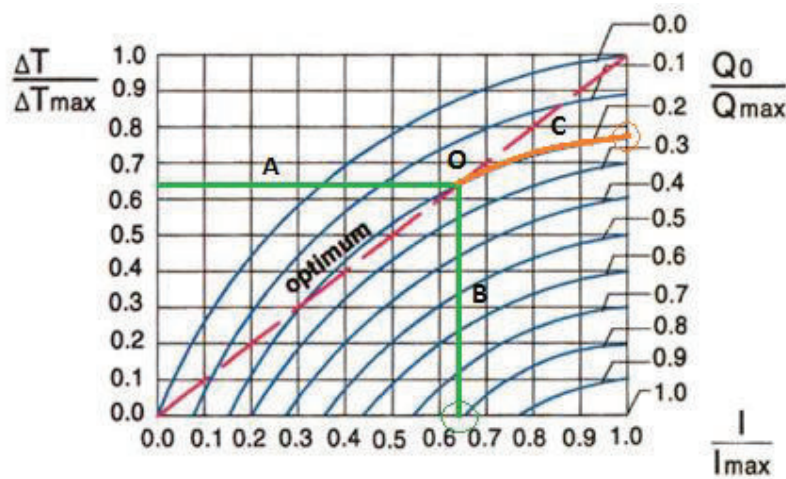


Figura 2. 6 Curvas universales de rendimiento
(meerstetter engineering, 2016)

Con el valor de la relación $\frac{Q_o}{Q_{max}}$ encontrado en las gráficas universales de rendimiento y el valor del flujo de calor máximo normalizado Q_{max} (Tabla 2. 8); es posible encontrar Q_o , que es el flujo de calor que la celda debe retirar del sistema a fin de llegar a la temperatura requerida (meerstetter engineering, 2016).

De igual manera, con el valor encontrado en las gráficas de $\frac{I}{I_{max}}$, conociendo el valor de la intensidad de corriente máxima normalizada I_{max} (Tabla 2. 8); se calcula la intensidad de corriente I a la que la celda debe ser sometida para cumplir con el objetivo de remoción de calor del sistema (meerstetter engineering, 2016).

Una vez encontrados los parámetros de flujo de calor que debe ser absorbido y de amperaje necesarios para llegar a la temperatura requerida, se puede comprobar que la celda adquirida si cumple con los requerimientos necesarios. Estos valores, como se dijo anteriormente, deben ser complementados y corroborados con los softwares que varias empresas fabricantes brindan a los usuarios para seleccionar las celdas.

Con el valor de la relación $\frac{Q_o}{Q_{max}}$ encontrado en las gráficas universales de rendimiento y el valor del flujo de calor máximo normalizado Q_{max} (Tabla 2. 8); es posible encontrar Q_o , que es el flujo de calor que la celda debe retirar del sistema a fin de llegar a la temperatura requerida (meerstetter engineering, 2016).

De igual manera, con el valor encontrado en las gráficas de $\frac{I}{I_{max}}$, conociendo el valor de la intensidad de corriente máxima normalizada I_{max} (Tabla 2. 8); se calcula la intensidad de corriente I a la que la celda debe ser sometida para cumplir con el objetivo de remoción de calor del sistema (meerstetter engineering, 2016).

Una vez encontrados los parámetros de flujo de calor que debe ser absorbido y de amperaje necesarios para llegar a la temperatura requerida, se puede comprobar que la celda adquirida si cumple con los requerimientos necesarios. Estos valores, como se dijo anteriormente, deben ser complementados y corroborados con los softwares que varias empresas fabricantes brindan a los usuarios para seleccionar las celdas.

Al seleccionar una celda con el software, este tiene la ventaja de mostrar también las curvas características de la celda como indica la Figura 2. 7 (Ferrotec, 2016).

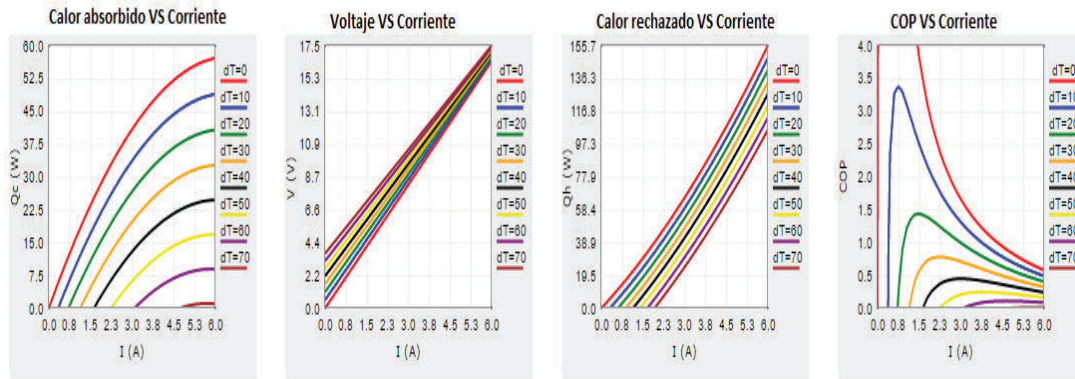


Figura 2. 7 Curvas de rendimiento característico de celda TEC-12706 (Ferrotec, 2016).

Con este software se puede también observar cómo la resistencia térmica del disipador en el lado caliente influye directamente en el rendimiento de la celda. En la Figura 2. 7 se muestran las curvas de rendimiento para una resistencia térmica ideal o cercana a cero, aspecto que no sucede en la realidad ya que no existe un material capaz de lograr ese objetivo. Para conseguir mejores resultados, se debe seleccionar un módulo Peltier que tenga la menor resistencia térmica.

2.3 SELECCIÓN DEL MÓDULO PELTIER

Si el calor absorbido no se disipa correctamente, puede provocar que la temperatura de la cara caliente de la celda aumente y, que exista en ese lado, un calor remanente que en el peor de los casos pueda traspasarse por conducción al lado frío de la celda; lo que puede provocar el deterioro de la celda así como una fusión parcial o total de los termopares que la componen (Guerra, 2011)

Como se señaló en el marco teórico, existe la posibilidad de tomar módulos Peltier que fueron usados en computadoras de escritorio y reutilizarlos tanto para la absorción como para la disipación de calor que la celda requiere en la presente aplicación, además, las dimensiones de la celda (40x40 mm) calzan perfectamente en la superficie del disipador.

Para seleccionar el módulo Peltier, en primer lugar, se calcula la resistencia térmica mínima que debe disipar la celda, ya que este calor será mayor que el

calor absorbido. Dicho esto, con la Ec. 1.31 se calcula el calor disipado (Zhao & Tan, 2014).

El calor absorbido por la celda Peltier es igual a la carga térmica total calculada anteriormente y la potencia será la suministrada por la fuente de poder calculadas en la parte de selección de la celda, tomando en cuenta que el voltaje máximo debe ser 12 voltios.

Una vez calculado el calor disipado, se calcula la resistencia térmica mínima que deberá disipar el módulo con la Ec. 1.32 (Incropera, 1999).

En lo dicho en el capítulo de los disipadores, la resistencia térmica de los disipadores Intel “socket 478” es de $0,5 \left(\frac{K}{W}\right)$. Si se comprueba que el valor de resistencia térmica calculada en la Ec. 1.32 es igual o menor, dicho disipador puede ser empleado en el módulo Peltier de este proyecto. Este valor de resistencia puede ser mejorado acoplando a los mismos ventiladores más potentes como los empleados en proyectores de pantalla. Estos ventiladores trabajan con 12 voltios, lo que resulta ideal ya que pueden ser alimentados con la misma fuente de poder que alimenta a la celda. Además, brindan un flujo de aire de $46,4 \left(\frac{m^3}{h}\right)$, el cual es un mayor valor comparado con el flujo que proporcionan los ventiladores que están incorporados a los disipadores de fábrica ($34,28 \left(\frac{m^3}{h}\right)$). Por otra parte, los ventiladores de proyectores de pantalla poseen un tamaño compacto que permite un fácil acople a los disipadores que se van a utilizar.

Como se muestra en la Figura 2. 8 y la Figura 2. 9, existen dos tipos de disipadores “Socket 478” para procesadores Intel Pentium que pueden ser empleados en el proyecto, ya que tienen una superficie suficiente para el acople de la celda. La primera figura es de un disipador para procesador Pentium 4 y para la segunda figura, para procesador Celeron.

Actualmente, se cuenta con la posibilidad de adquirir ambos tipos de disipadores mostrados en las anteriores figuras, ya que se los puede conseguir en cualquier tienda de mantenimiento de computadores o por internet, debido a que los mismos ya no son empleados en nuevos equipos.

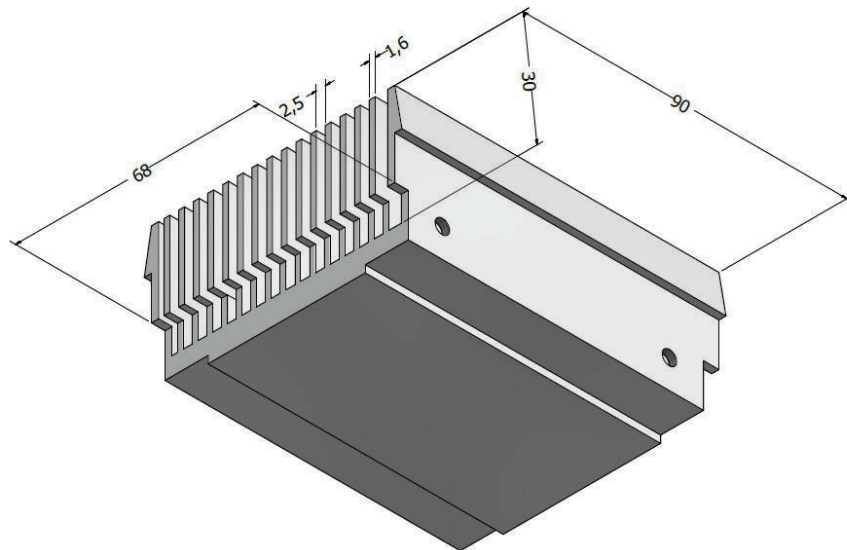


Figura 2. 8 Dimensiones de disipador “Socket 478” para procesadores Pentium 4 (Elaboración propia).

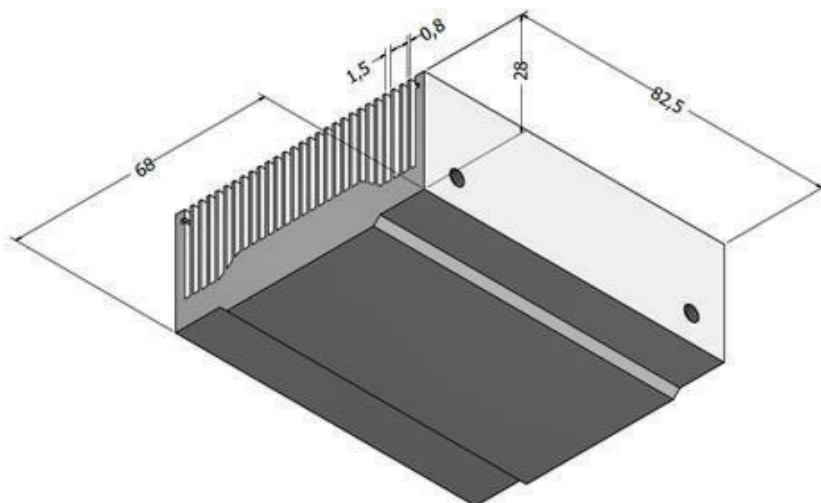


Figura 2. 9 Dimensiones de disipador “Socket 478” para procesadores Pentium Celeron (Elaboración propia).

Para disipar el lado caliente, que se encontrará en la parte exterior de la cámara, se selecciona el disipador mostrado en la Figura 2. 8, por tener mayores dimensiones, permitiendo que se disipe mayor calor por conducción. Además, a

pesar de que tiene menor número de aletas (17 aletas para el primer disipador y 21 aletas para el segundo disipador) permitirá que el aire en sus canales (con el acople de ventiladores) circule de mejor manera y se disipe calor por convección de manera más eficiente.

En el interior de la cámara se utilizará el segundo disipador, ya que es en este lugar donde se necesitará mayor superficie para la absorción de calor, proporcionado por las aletas.

Con esta información se calcula la resistencia térmica para cada aleta. Para ello, se calcula la longitud corregida, el área superficial y el área superficial primaria con la Ec. 1.33, Ec. 1.34, Ec. 1.35 respectivamente. Posteriormente, y con esta información, se calcula el área total expuesta a la convección con la Ec. 1.36 (Incropera, 1999).

Con los valores constantes de conductividad térmica de la aleta dada por el material de construcción (aluminio 2024) y del coeficiente de transferencia de calor por convección calculado anteriormente, se obtiene con la Ec. 1.37 el valor adimensional que tendrá que ser reemplazado en la Ec. 1.38 para encontrar la eficiencia de una aleta. Se debe tomar en cuenta que para los cálculos se consideran aletas rectangulares (Incropera, 1999).

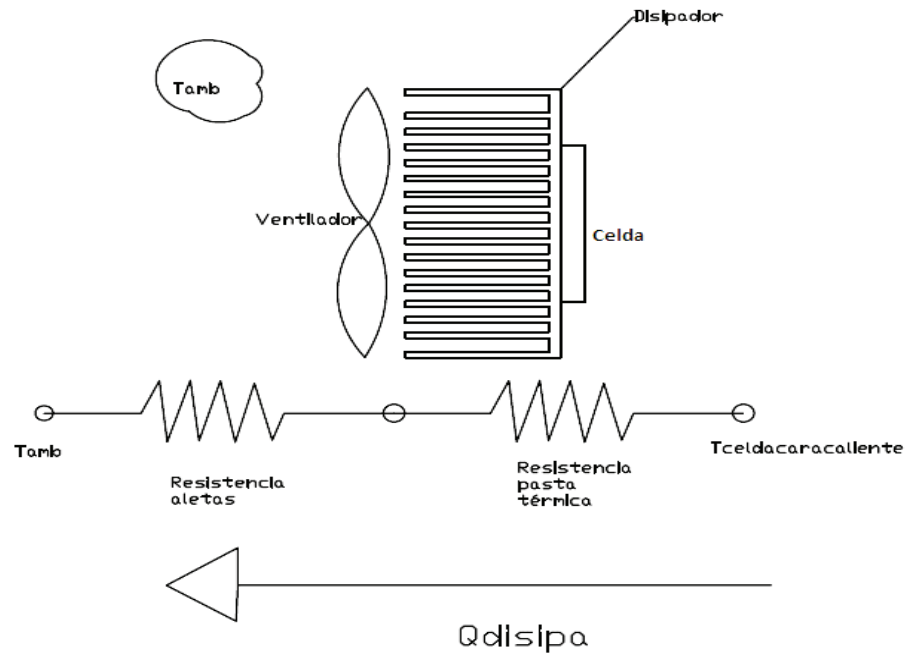
Es importante aclarar que para encontrar las resistencias térmicas tanto de la aleta interna como de la externa se debe tomar en cuenta que; el coeficiente de convección y las dimensiones son los valores propios para cada aleta. Para el caso de la aleta que estará en el interior, este coeficiente será el mismo que ha sido calculado en la Ec. 1.14 y se lo denotará con $R_{t,i}$.

Para el caso de la aleta exterior, estará acoplado un ventilador. Este proporcionará de un flujo de aire único para la aleta y convertirá el flujo de convección de natural en flujo forzado; es así que se emplearán los correspondientes valores de los parámetros para flujo forzado en la Ec. 1.8, para obtener valores de resistencia térmica para la aleta exterior, que se denotará con $R_{t,e}$.

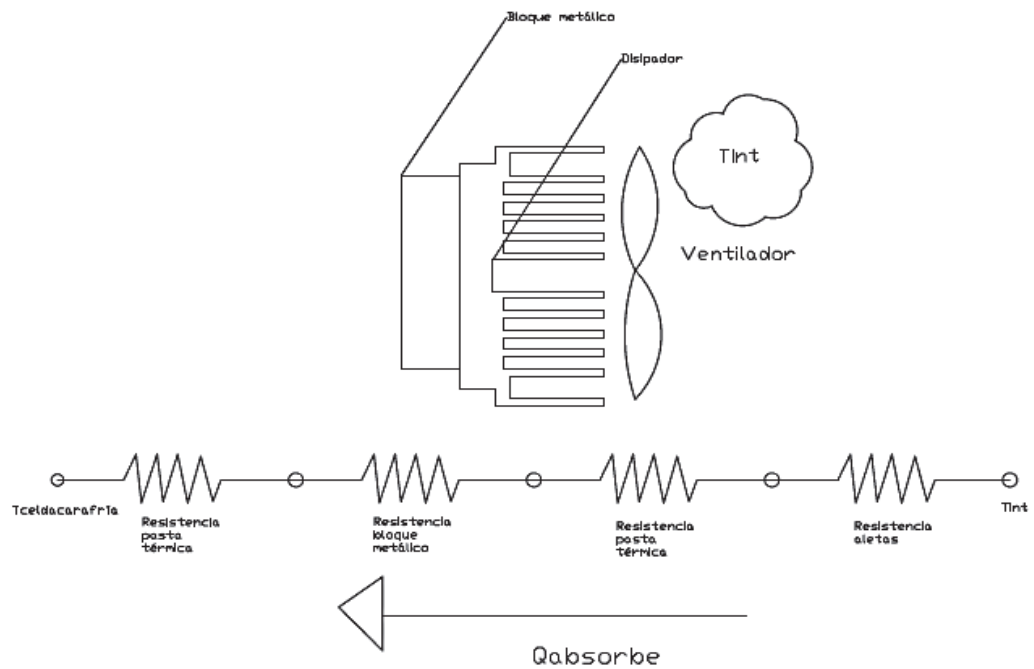
Una vez encontradas las resistencias térmicas para cada aleta, se debe comprobar que estos valores sean menores o iguales a $0,5 \left(\frac{K}{W} \right)$ y al valor de resistencia térmica de la Ec. 1.32. Si se cumple este requisito, las aletas podrán ser empleadas. Para poder mantener una baja resistencia térmica, se ha encontrado en bibliografía que es recomendable el uso de pasta térmica para adherir las caras de las celdas y así garantizar el contacto total entre las caras de la celda con los disipadores (Min & Rowe, 2006).

Además, Chetterjee & Pandey (2003) recomiendan también el uso de un “bloque conductor” que se coloque en el medio entre la celda y el disipador del lado frío. Este bloque permite que la separación entre los disipadores sea mayor y exista mínima transferencia de calor por entre el lado frío y caliente.

En la Figura 2. 10 y la Figura 2. 11 se muestran el esquema del circuito térmico del módulo Peltier. Aquí se puede observar que se incluyen los valores de resistencia de la pasta térmica en todas las caras en donde exista superficies en contacto, así como la resistencia térmica del bloque.



**Figura 2. 10 Resistencias térmicas del disipador exterior
(Elaboración propia).**



**Figura 2. 11 Resistencias térmicas del disipador interior
(Elaboración propia).**

Para el cálculo de la resistencia térmica total del disipador externo se emplea la Ec. 2.5, para lo cual se conoce que la pasta térmica tiene una resistencia térmica aproximada de $0,001 \left(\frac{K}{W}\right)$ y la resistencia térmica del disipador externo $R_{t,e}$ calculada con la Ec. 1.40 (Incropera, 1999).

$$R_{t,te} = R_{t,e} + R_{t,p} \quad (\text{Ec. 2. 5})$$

Donde:

$R_{t,te}$ Resistencia térmica total exterior $\left(\frac{K}{W}\right)$

$R_{t,p}$ Resistencia térmica pasta $\left(\frac{K}{W}\right)$

Para el disipador interno, primero se calcula la resistencia térmica del bloque metálico (siendo el aluminio 2024, igual que el material del disipador) con la Ec. 2.6 y luego su resistencia térmica total con la Ec. 2.7 (Incropera, 1999).

$$R_{t,b} = \frac{1}{L_b * k_{al}} \quad (\text{Ec. 2. 6})$$

Donde:

$R_{t,b}$ Resistencia térmica del bloque $\left(\frac{K}{W}\right)$

L_b Longitud del bloque (m)

$$R_{t,ti} = R_{t,i} + 2 * R_{t,p} + R_{t,b} \quad (\text{Ec. 2. 7})$$

Donde:

$R_{t,ti}$ Resistencia térmica total interior $\left(\frac{K}{W}\right)$

Una vez calculadas las resistencias térmicas, se puede calcular las temperaturas de las caras de la celda despejando estos valores de la Ec. 2.8 y la Ec. 2.9. Estos datos servirán para poder encontrar, en las gráficas de la celda que provee la empresa fabricante. Los valores reales de calor que la celda puede absorber, disipar y su COP; ya que para valores diferentes a cero de resistencia térmica la

celda ya no logra alcanzar los valores de absorción máxima y estos deben ser corregidos con el software.

$$R_{t,te} = \frac{T_{amb} + T_{cc}}{Q_{dis}} \quad (\text{Ec. 2. 8})$$

$$R_{t,ti} = \frac{T_{int} + T_{cf}}{Q_{dis}} \quad (\text{Ec. 2. 9})$$

Donde:

T_{cc} Temperatura de la cara caliente de la celda (K)

T_{cf} Temperatura de la cara fría de la celda (K)

Una vez encontradas las temperaturas, se debe calcular la diferencia de temperaturas entre las caras de la celda con la Ec. 2.10 (Ferrotec, 2016).

$$dT = T_{cc} - T_{cf} \quad (\text{Ec. 2. 10})$$

Ya con el valor de la Ec. 2.10, el valor de la resistencia térmica en el lado caliente, la temperatura ambiente y el voltaje de la fuente de poder; se puede, por medio del software de la empresa Ferrotec, encontrar las líneas de rendimiento de la celda. Los resultados de los cálculos se muestran en la Tabla 2. 9.

Se puede establecer también que es posible que la celda no alcance el valor de calor que se deba absorber calculado con la Ec. 1.30. Para solucionar este inconveniente se deberá sumar al equipo los módulos que sean necesarios, en paralelo, hasta alcanzar o sobre pasar el valor de calor absorbido necesario. Se debe tomar en cuenta que si se colocan en paralelo estos módulos se sumaran los calores de absorción de cada uno, con lo que traerá como consecuencia mayor consumo energético y consecuentemente un menor COP.

Tabla 2. 9 Resultados de las condiciones de la celda según las gráficas de rendimiento.

Parámetro	Nomenclatura	Valor	Unidades	Ecuación empleada	
Carga total que debe absorber la celda	Q_{abs}	11,421	W	Ec. 1.30	
Calor total que debe disipar la celda	Q_{dis}	35,181	W	Ec. 1.31	
Resistencia térmica mínima	$R_{t,m}$	16,432	$\frac{K}{W}$	Ec. 1.32	
<i>Superficies Extendidas</i>					
Parámetro	Nomenclatura	Valor		Unidades	Ecuación empleada
		Intern a	Extern a		
Longitud Característica	L_c	0,028	0,031	m	Ec. 1.33
Área Superficial	A_f	0,005	0,006	m^2	Ec. 1.34
Área Superficie Primaria	A_b	0,003	0,004	m^2	Ec. 1.35
Área Total expuesta a convección	A_t	0,101	0,098	m^2	Ec. 1.36
Eficiencia de una aleta	η_f	0,911	0,935	-	Ec. 1.38
Eficiencia del arreglo de aletas	η_0	0,914	0,938	-	Ec. 1.39
Resistencia térmica	R_t	0,610	0,500	$\frac{K}{W}$	Ec. 2.5 y Ec. 2.7

2.3.1 RESULTADOS DE LA SELECCIÓN DEL MÓDULO PELTIER

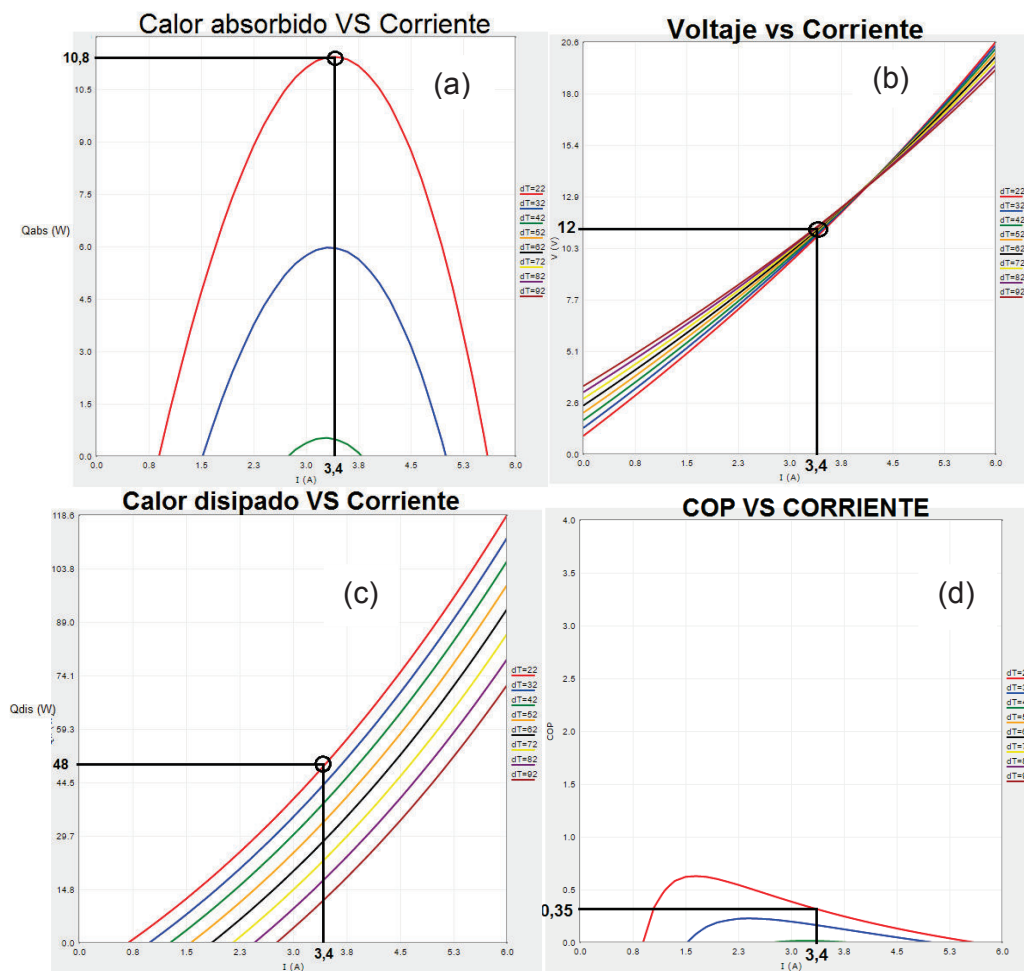
Con los valores de resistencia térmica del disipador exterior y las condiciones a las que estará expuesta la cámara se puede obtener las gráficas universales de rendimiento para la celda TEC-12706 que serán suministradas por el software del fabricante, para que posteriormente, se pueda seleccionar el número de celdas que deberá tener el equipo para absorber la carga total.

En la figura 2.12 (a) se observa que: para las condiciones ingresadas en el software, el calor máximo que puede absorber una celda Peltier TEC-12706 es de 10,8 (W), empleando para el efecto 12 (V) y 3,4 (A) (los valores de potencia se muestran en la figura 2.12 (b)). De la misma manera el calor disipado será de 48 (W) (figura 2.12 (c)) y, con estos valores se obtendrá un COP de 0,35 (figura 2.12

(d)). Para obtener las gráficas de la figura 2.12, se deben en primer lugar, ingresar los siguientes valores de la Tabla 2. 10:

Tabla 2. 10 Datos que se ingresan al software.

Parámetro a ingresar	Valor	Unidades
Temperatura ambiente.	27,1	°C
Resistencia térmica del disipador exterior.	0,50	$\frac{K}{W}$
Número de módulos.	1	
Diferencia de temperaturas interna y externa (dt).	22,1	°C



**Figura 2. 12 Gráficas de rendimiento para la celda TEC-12706
(Ferrotec, 2016).**

El valor de calor absorbido muestra que una sola celda no logrará disipar el calor necesario para lograr la temperatura deseada (ya que se necesitan absorber 20,5 (W)). Por lo tanto, será necesario incluir otra celda con su respectivo módulo para que logre absorber el calor faltante (dos celdas absorberán 21,6 (W)). Además, el calor sobrante (1,1 (W)) permitirá que la cámara logre llegar a la temperatura estimada más rápidamente y, también será capaz de retirar una parte de calor sensible generado por las vacunas.

El valor del voltaje obtenido en las gráficas de rendimiento de la celda, coincide con el entregado por la fuente DC que se consideró en el proyecto, pero su amperaje será mayor al estimado, lo que no provoca ningún inconveniente ya que la propia celda controla la cantidad de amperaje que necesita, siendo el máximo el que se encontró en la Figura 2. 12 (a). Esto conlleva (debido al balance de energía) a que el calor que debe disipar la aleta sea mayor al calculado y al mismo tiempo sea retirado del sistema por el uso de los dos módulos.

Con estos valores de calor absorbido, calor disipado y potencia, se observa que se obtendrá un COP de 0,35 lo cual, según Min & Rowe (2006), está dentro de los valores esperados para una refrigeradora que emplea celdas Peltier.

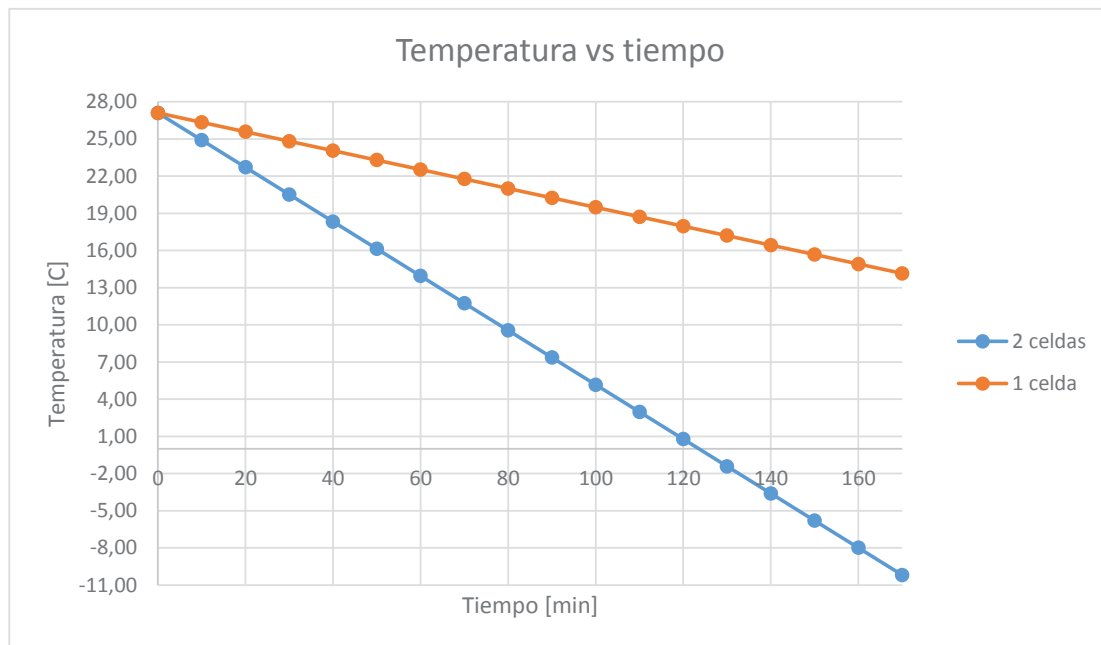
Una vez encontrado el número de módulos necesarios para llegar a la temperatura interna deseada para la refrigeración, se procede a diseñar el sistema de control con el cual contará el equipo.

2.3.2 CÁLCULO DEL NÚMERO DE MÓDULOS PELTIER.

Calculada la carga total que deberá retirar el sistema (20,5 (W)) se procede a realizar el análisis del modelo en estado transitorio. Como se indica en el capítulo 1 se realiza el balance de energía del sistema y se prueba el sistema empezando con una celda que absorberá 10,5 (W) luego se seguirá probando con más celdas tomando en cuenta que el tiempo máximo que debe emplear el equipo para lograr

la temperatura esperada sea de 120 minutos, además se debe considerar que el COP no disminuya de 0,35.

Reemplazando en la ecuación tenemos la temperatura interna en función del tiempo.



$$Q_m + Q_{tp} - Q_{abs} = \frac{(m_{aire} + m_{bandejas})}{t} * (Cp_{aire} + Cp_{bandejas}) * (Tf - Tamb)$$

En la figura 2.13 se muestra los resultados de la temperatura interna en función del tiempo, en donde se puede observar que con dos celdas se logra disminuir la temperatura en aproximadamente 100 minutos.

Figura 2.13 Gráfica de Temperatura VS Tiempo
(Elaboración propia).

2.4 SISTEMA DE CONTROL

Debido a que la cámara puede contar con la capacidad de refrigerar a menor temperatura que la esperada, ya que el calor absorbido por los módulos Peltier puede ser mayor al calor absorbido necesario para llegar a 5 °C, es importante contar con un sistema que controle, por medio de un sensor de temperatura, que esta variable permanezca en un valor regular.

Como estudios de Guler & Ahiska (2002) lo demuestran, una cámara de refrigeración con celdas Peltier debe contar con un sistema de control, que entre sus principales componentes deben constar: Una fuente de poder de corriente continua, un circuito eléctrico que transforme la energía para que alimente a los diferentes dispositivos, un procesador en donde se puedan ingresar los parámetros necesarios para establecer el control.

En la figura 2.14 se muestran los elementos con los que debe contar el sistema de control. En primer lugar, una fuente de corriente directa que alimentará al sistema, seguido por un circuito eléctrico que primero, proveerá de energía a los diferentes elementos y a su vez albergará al controlador. En la misma figura se muestra que los ventiladores externos no son conectados al sistema de control ya que los mismos funcionarían todo el tiempo que el sistema esté conectado, lo contrario sucede con el ventilador interno, que se encenderá cada vez que los sensores de puerta están activados (Güler & Ahiska, 2002).

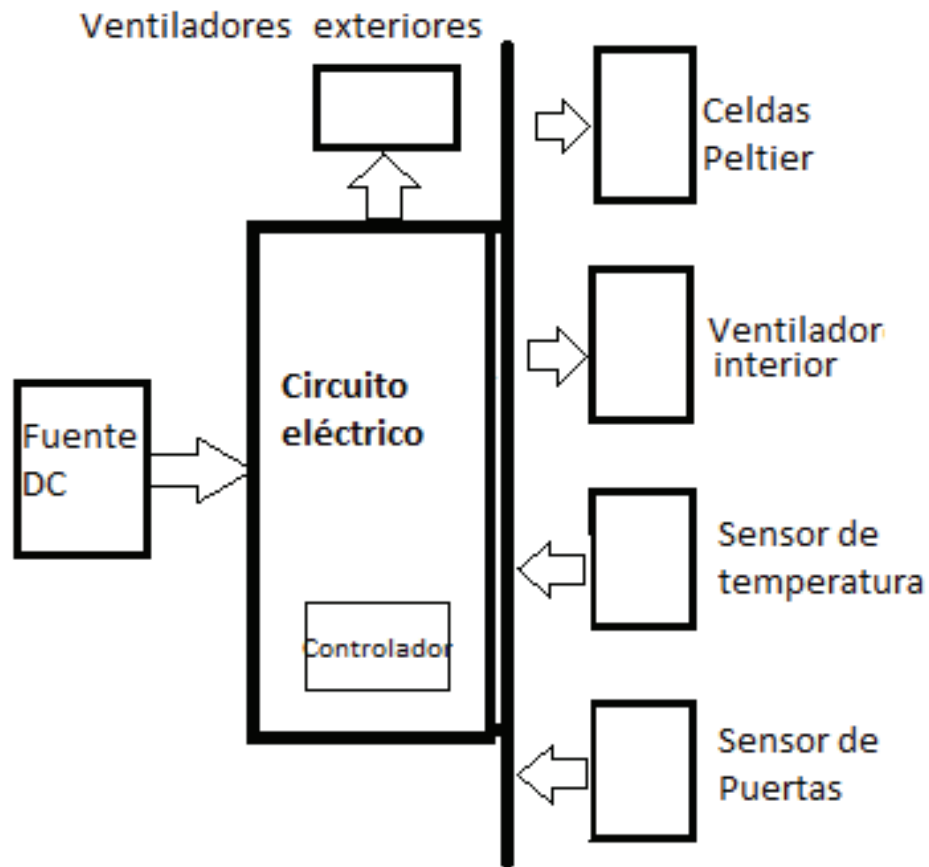


Figura 2.14 Esquema del sistema eléctrico

(Elaboración propia).

El sensor de temperatura y los sensores de puerta que están conectados a sus respectivos transmisores, son los encargados de medir y enviar la señal de la variable requerida, al controlador. El controlador es el encargado de procesar la señal generada por el transmisor para que, posteriormente, enviar una señal a los actuadores que llevaran a cabo la orden que se estableció en el controlador como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.5**.

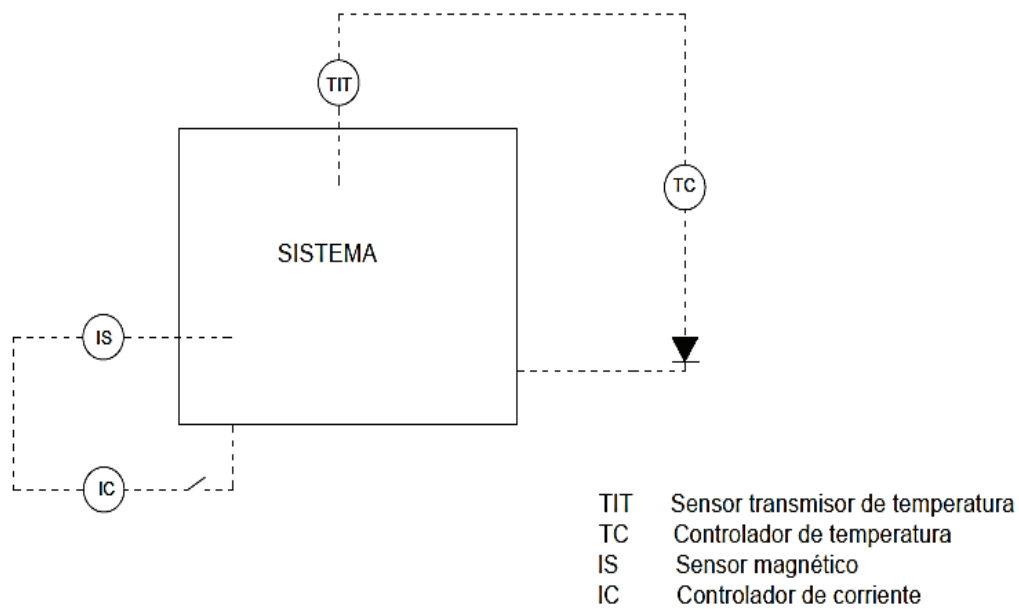


Figura 2.15 Esquema del sistema de control

(Elaboración propia).

Una vez realizado el diseño de los elementos y parámetros necesarios con los que debe contar el equipo de refrigeración, se continúa con la construcción del equipo.

CAPÍTULO 3

CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

3.1 CONSTRUCCIÓN DE LA CÁMARA

Para la construcción del equipo de refrigeración, se han considerado 3 etapas; primero se construye la cámara, seguido por el módulo Peltier y finalmente el sistema de control.

Para la construcción de la cámara se sabe que la misma estará compuesta por paredes de madera, las cuales estarán expuestas al ambiente y deberán ser pintadas de un color claro. A continuación, se adherirá con pegamento la capa de poliestireno o espuma Flex, cuyo espesor fue calculado. Finalmente, al interior de la cámara estará adherida una pequeña lámina de metal como muestra la Figura 3.1.

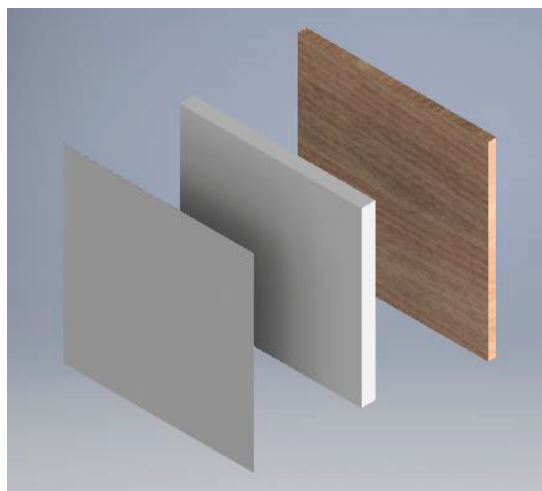


Figura 3.1 Esquema de armado de una pared de la cámara

(Elaboración propia).

Para unir las paredes de la caja de madera que conforma la cámara, se utilizará la menor cantidad de tornillos para madera y también pegamento, para que no existan infiltraciones de aire. En la cara vertical trasera de la cámara se debe dejar los espacios necesarios para colocar los módulos Peltier. Además, la cara

vertical delantera se debe dividir en dos partes iguales, para conformar los cajones.

Como muestra la Figura 3. 2, después de que la caja de madera está pintada y unida, se adhiere con pegamento: primero el poliestireno a la madera y luego el material metálico al poliestireno.

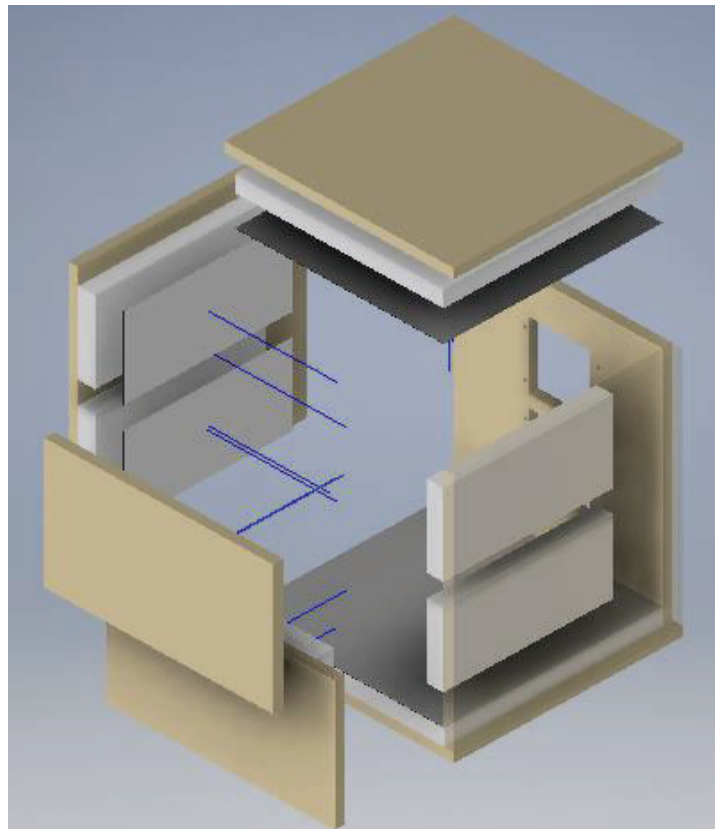


Figura 3. 2 Esquema de la cámara

(Elaboración propia).

Se muestra también en la Figura 3. 2 que en las paredes verticales el poliestireno está cortado, debido a que se deja espacio para colocar los rieles que conforman los cajones.

Para la construcción de los soportes para los cajones, se utilizan rieles normalizados de 250 mm de largo. Estos rieles permitirán colocar la bandeja que soportará a las vacunas. La bandeja deberá cumplir con las dimensiones que ya fueron calculadas tomando en cuenta que la bandeja debe acoplarse a los rieles

como muestra la Figura 3. 3 (a). En la misma figura se puede observar el mecanismo en la cámara cuando los cajones estén cerrados (b) y cuando estén abiertos (c).

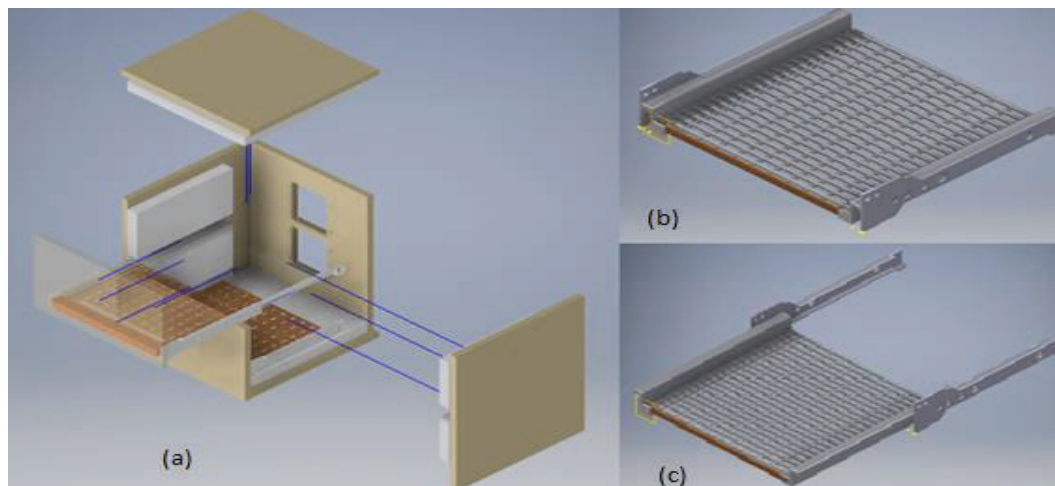


Figura 3. 3 Cámara con las rieles y bandeja

(Elaboración propia).

En la Figura 3. 3 (a) también se puede observar que se han considerado como material para las bandejas: madera, aluminio y plástico. Con el fin de tratar de usar materiales disponibles y accesibles en el mercado para la construcción de la cámara, se ha seleccionado plástico como el material para las bandejas, ya que en el mercado están a la venta bandejas, las cuales son para uso en refrigeradores y cuentan también con orificios que permitirán la circulación del aire en el interior de la cámara.

Un aspecto de diseño que se ha tomado en cuenta para optimizar y direccionar el flujo de aire dentro de la cámara, generado por el ventilador que está acoplado a los disipadores, así como para aislar de mejor manera la pared vertical donde estarán las celdas, es el uso de elementos conocidos como “deflectores”. Los deflectores son dispositivos que direccionan un fluido y permiten que el mismo llegue a todas partes; son empleados en equipos que requieren un adecuado movimiento de los fluidos internos como los intercambiadores de calor (Núñez, 2015).

En la Figura 3. 4 se muestran los deflectores en la cámara. Además, se esquematiza como el flujo de aire es absorbido por el ventilador, luego enfriado por las aletas del disipador e inmediatamente es enviado por el deflector de nuevo a la cámara de una manera más eficiente que sin el uso de deflectores. Cabe aclarar que dichos elementos no utilizan el espacio útil que van a ocupar las bandejas en donde estarán las vacunas.

Una vez construida la cámara y calculado el número de módulos Peltier que llevará la misma, se procede a la construcción de estos módulos.

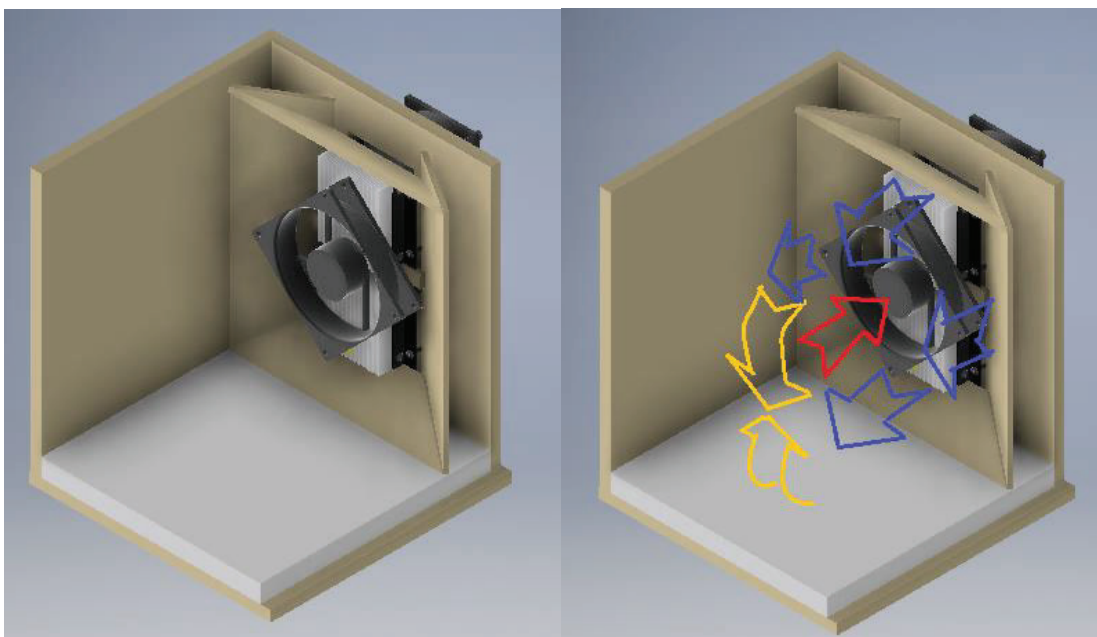


Figura 3. 4 Esquema de deflectores en la cámara

(Elaboración propia).

3.1.1 CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO PELTIER

Como se dijo anteriormente el módulo Peltier debe contar con la celda Peltier, sus disipadores socket 478 para procesadores Intel Pentium 4 y Pentium Celeron con su respectivo ventilador, un bloque separador de las dimensiones de la celda (40x40 mm) y, además, se han añadido unos aparatos sujetadores que permitirán que el conjunto se acople de mejor manera. El esquema de acople de los diferentes dispositivos que conforman el módulo Peltier se muestran en la Figura 1. 7.

En la figura 3.5 se muestra el aparato sujetador que cuenta con 4 perfiles L de la misma longitud que los disipadores. Estos perfiles cuentan con 4 agujeros, dos en cada superficie. Para unir ambos disipadores se utilizarán 2 tornillos M4X50 con sus respectivas tuercas, en cada lado. Y, para unir los perfiles con los disipadores se utilizarán tornillos M4X6.

Previamente y como muestra la Figura 2. 8 y la Figura 2. 9, los disipadores deben ser maquinados para permitir el ingreso de los tornillos M4X6.

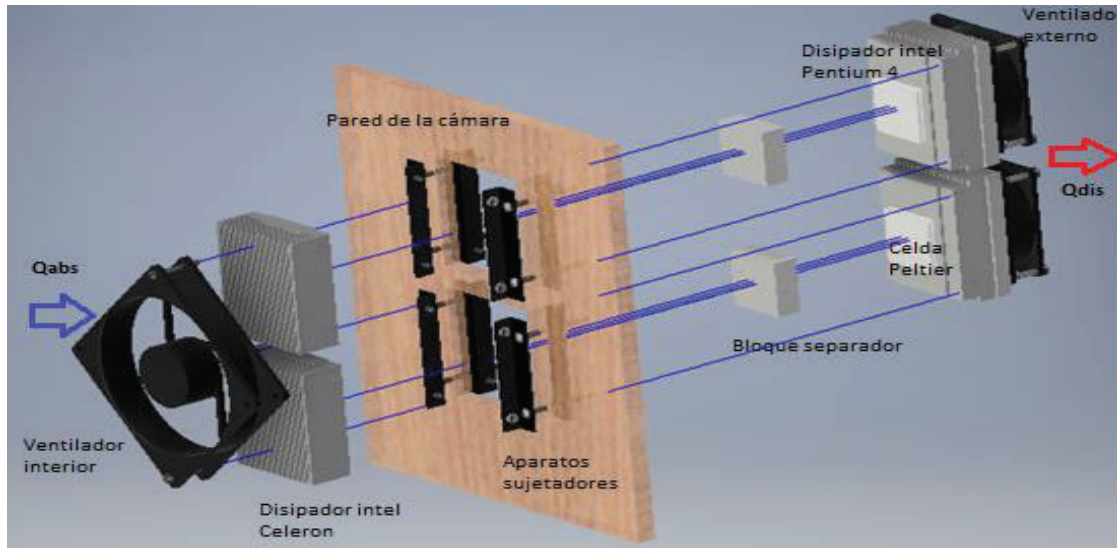
Como característica adicional, este aparato sujetador permitirá el fácil desarmado del módulo Peltier, en caso de que la celda necesite ser cambiada.



Figura 3.5 Esquema del aparato sujetador del módulo Peltier

(Elaboración propia)

En la figura 3.6 se muestra el esquema de armado del módulo Peltier en la pared de la cámara. En esta figura también se denota que en el interior de la cámara está un ventilador de mayor tamaño para minimizar las cargas internas por motores en el caso de que se requiera utilizar más módulos.



**Figura 3.6 Esquema de armado del módulo Peltier en la pared de la cámara
(Elaboración propia)**

Una vez instalados los módulos Peltier que se encargarán de refrigerar la cámara, se procederá a la construcción del sistema de control.

3.1.2 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE CONTROL

Para un correcto funcionamiento de la cámara de refrigeración, es importante que esta cuente con un sistema de control automático que permita, por un lado, mantener la temperatura de refrigeración adecuada; y por otro, que al abrir uno o los dos cajones, su ventilador interno se apague, para que el ingreso de aire sea el mínimo posible.

La variable crítica que debe ser controlada en el sistema de refrigeración es la temperatura. Para ello, es necesaria la implementación de un lazo de control que permita tener dicha variable en un valor deseado. Este lazo de control constará de: un sensor de temperatura ubicado en el interior de la cámara, un controlador PID ubicado en el circuito eléctrico anexo a la cámara y un actuador que modificará la corriente que alimenta a la celda Peltier.

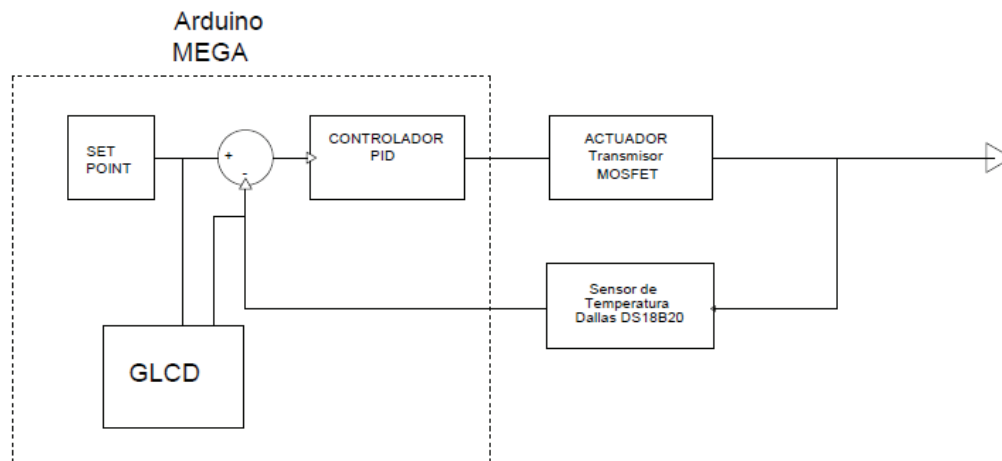
Para el caso de evitar el ingreso de una cantidad considerable de aire ambiental: un sensor magnético de contacto en los cajones de la cámara, un controlador tipo

ON/OFF situado en el circuito eléctrico y un actuador que apagará el ventilador cada vez que los cajones se abran.

Otros elementos que necesitan ser conectados al circuito eléctrico, pero no al sistema de control (ya que no necesitan ser controlados), son los ventiladores externos.

Los valores de temperatura en el interior de la cámara serán mostrados en un GLCD (pantalla de cristal líquida gráfica). En esta pantalla también se mostrará la temperatura a la que se espera llegar ya que el sistema permite, además, cambiar la temperatura para tener la posibilidad de refrigerar otras sustancias, como: insulinas, sangre, líquidos o bebidas (U.S. Food and Drug Administration, 2016).

En la figura 3.7 se observa que tanto el controlador PID como la GLCD están conectados a una placa microcontroladora llamada "Arduino MEGA". El controlador, con base en el valor de la temperatura deseada "Set Point", toma una acción que posteriormente enviará una señal para que el actuador ubicado en el circuito eléctrico, mediante un transmisor tipo "MOSFET", manipule la potencia que alimenta a las celdas Peltier. Este tipo de transmisor es usado en aplicaciones que requieran de elevados valores de potencia. Por otra parte, el sensor de temperatura tipo "Dallas DS18B20", que trabaja con una precisión de 0,01°C; vuelve a medir el valor de la variable controlada y envía la señal al controlador para repetir el lazo de control hasta que dicha variable se mantenga lo más cercana del Set Point.



**Figura 3.7 Diagrama de bloques del sistema de control
(Elaboración propia)**

El sistema de control debe contar además con un interruptor de encendido y apagado, que irá directamente conectado al circuito eléctrico, y luces indicadoras del correcto funcionamiento del sistema.

En la figura 3.8 se muestran los diferentes componentes que conforman el sistema de control que estarán en la cámara de refrigeración, además, se muestran las diferentes conexiones de los aparatos del sistema de control. Aquí se puede observar que tanto la fuente DC, los ventiladores, las celdas Peltier, el controlador y los sensores son conectados al circuito eléctrico.

En la figura 3.9 se muestra el esquema del sistema de control en la cámara de refrigeración. Además, en la misma figura se puede observar que la fuente de poder se encuentra sobre una capa de poliestireno aislante, ya que esta genera calor cuando está en funcionamiento, lo que puede afectar a la cámara. También se observa la ubicación de los sensores. El sensor de temperatura se encontrará en la pared vertical superior, debido a que en este lugar la temperatura será la menor, y los sensores magnéticos estarán cerca de las puertas de los cajones.

Finalmente, se muestran los esquemas de la cámara totalmente armada con todos sus componentes, en la figura 3.10 (a) se muestra la vista frontal, en la

figura 3.10 (b) se muestra la vista trasera de la cámara, la figura 3.10 (c) y (d) muestran las vistas diagonales de la cámara.

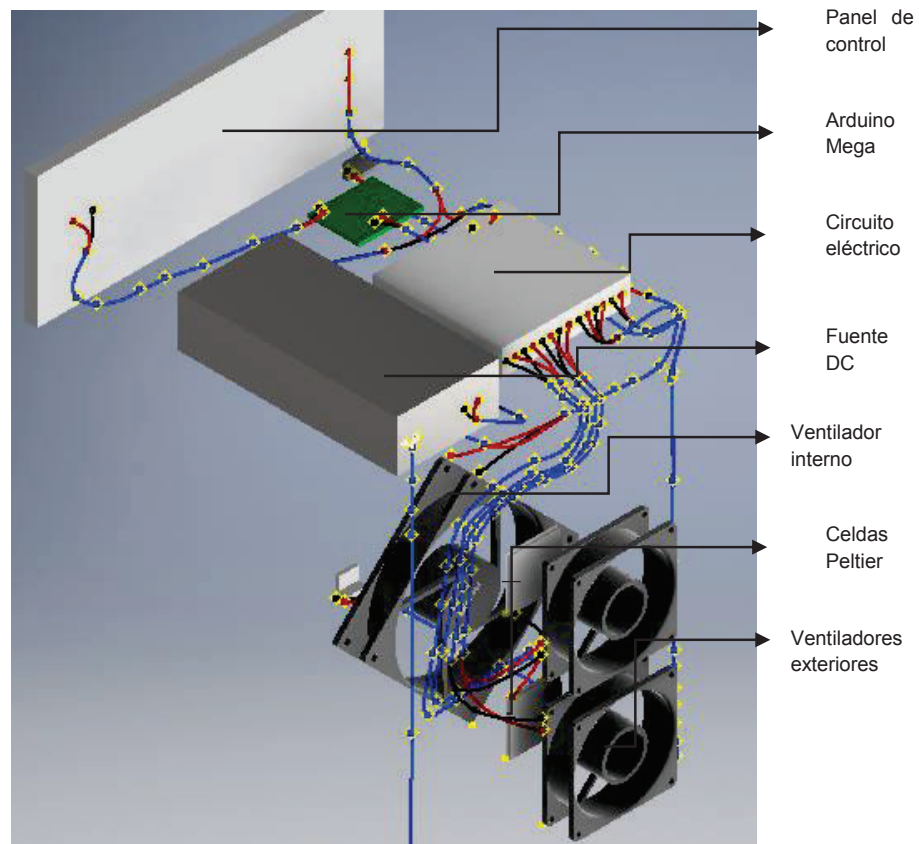


Figura 3. 8 Esquema de las conexiones de los aparatos del sistema de control (Elaboración propia)

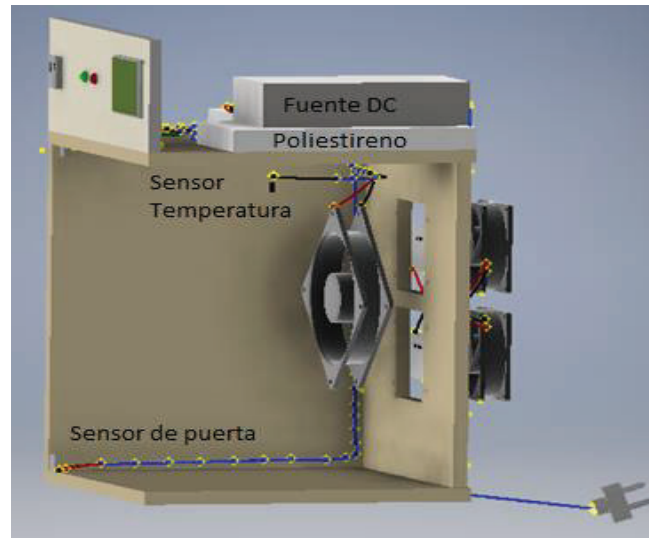


Figura 3.9 Esquema del sistema de control en la cámara de refrigeración
(Elaboración propia).

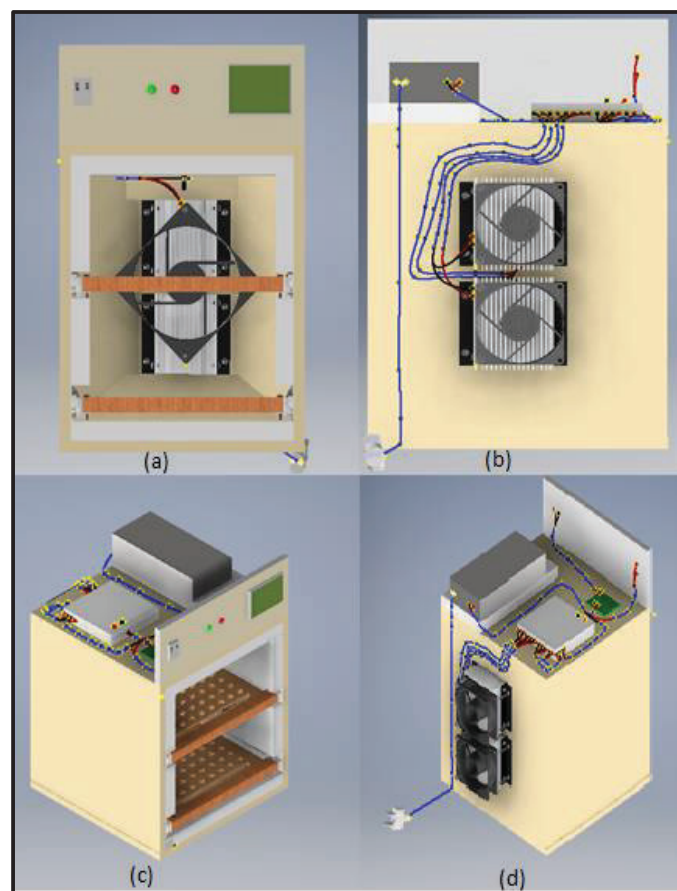


Figura 3.10 Diferentes vistas de la cámara de refrigeración para vacunas
(Elaboración propia)

3.1.3 DIAGRAMA DE OPERACIONES DE LA CONSTRUCCIÓN

Tabla 3. 11 Diagrama de operaciones de la construcción de la cámara.

OPERACIÓN	DÍA																					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
BUSCAR INFORMACIÓN	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
ADQUISICIÓN MATERIALES		X	X	X																		
Cámara					X	X	X	X	X	X	X											
Cortar materiales					X																	
Ensamblaje de la cámara						X	X															
Pintado y secado								X	X	X												
Construcción cajones						X	X															
Pegado del aislante											X											
Unión del deflector											X											
Módulos Peltier												X	X	X								
Arreglo disipadores												X										
Construcción de los perfiles												X										
Ensamblaje del módulo													X									
Unión cámara de refrigeración														X								
Unión entre los módulos y la cámara															X							
Unión de los ventiladores															X							
Unión de los cajones															X							
Sistema de control																X	X	X	X	X	X	X
Armado del circuito eléctrico																X						
Unión de los componentes de potencia en el circuito																X						
Unión del arduino																	X					
Posición de los sensores en la cámara																		X				
Unión de los sensores en el circuito																			X			
Armado total del sistema de control																				X		
Programación del sistema de control																					X	
Armado del sistema de control en la cámara																						X

(Elaboración propia)

3.1.4 COSTOS

Tabla 3. 12 Precio de los elementos necesarios para la construcción de la cámara

Elemento	Dimensiones y/o modelo	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Precio total (USD)
CÁMARA				
Madera común	1,5X,1,5X0,035	1	8	8
Espuma flex (poliestireno)	0,5X0,5X0,02	1	1,38	1,38
Lámina offset	0,5X0,5X0,0001	1	0,5	0,5
Masilla para madera	N/A	1	3	3
Tiradera	96 mm	2	1,55	3,1
Rieles cajón	25 cm	2	1,8	3,6
Adhesivo transparente	50 ml	1	1,75	1,75
Pintura spray	400 ml	4	2,25	9
Angular para esquina	N/A	6	0,24	1,44
Tornillo para madera	2X12	22	0,1	2,2
Bandejas para refrigerador	N/A	2	2,1	4,2
MÓDULO PELTIER				
Celda Peltier	TEC-12706	2	2,8	5,6
Disipadores socket 478	Celeron y Pentium 4	4	5	20
Ventilador	120X120	1	6	6
Ventilador	85x85	2	20	40
Ángulos	N/A	8	4	32
Bloque separador	40X40	2	2	8
Pasta térmica	N/A	1	0,8	0,8
Tornillos y tuercas	M4	32	0,1	3,2
SISTEMA DE CONTROL				
Fuente DC	12 V-8,1 A	1	30	30
Fuente DC-DC	12 V a 5 V	1	7,6	7,6
Arduino	Mega	1	23	23
Sensor magnético	N/A	2	2,8	5,6
Sensor temperatura	DS18B20	1	3,6	3,6
Mosfet	N/A	2	1,4	2,8
Protoboard	W-108	2	7	14
GLCD	N/A	1	20	20
Cable de timbre	5 m	1	4	4
Otros electrónicos	N/A	1	30	30
			Total	294,37

(Elaboración propia).

Una vez realizado el diseño y construcción de la cámara de refrigeración; y como último paso, se realizará el análisis energético de la cámara, en donde se comprobará si el diseño que se utilizó, logra refrigerar vacunas a la temperatura deseada. Además, se analizarán las estrategias empleadas en su construcción.

3.2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL ANÁLISIS ENERGÉTICO

El objetivo de un análisis energético es crear y mantener una base de datos, de manera que, estos datos estén disponibles y sirvan para optimizar y mejorar el equipo (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL, 2016).

Un análisis energético debe incluir: recolección y documentación de datos técnicos, descripción del consumo energético de los diferentes dispositivos utilizados en el equipo, pruebas del equipo en uso e identificación de opciones dirigidas a ahorrar energía y sus costos (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL, 2016).

En lo que respecta a la recolección de datos y documentación de datos técnicos en el ANEXO 3, se muestran las descripciones de los equipos utilizados en el proyecto, en donde se pueden identificar: aparatos que llevan a cabo la refrigeración (módulos Peltier), los sensores de puerta y de temperatura, el suministro de poder (fuente DC), el controlador y el circuito eléctrico.

En la descripción del consumo energético de los diferentes dispositivos utilizados en el equipo, se analizará la potencia que necesita la fuente DC para lograr refrigerar la cámara. Para lograr este objetivo, se debe medir primero, el voltaje y amperaje que suministra la fuente al sistema, y luego, se mide la potencia que llega a las celdas, ventiladores y circuito eléctrico.

Las pruebas del equipo en uso, se dividirán en dos: la primera sin carga, es decir, analizar el equipo en funcionamiento cuando no se le ha ingresado producto; y la segunda prueba con carga, es decir, cuando se le ha ingresado producto. Las pruebas incluirán: registro de temperatura en distintos tiempos, medición de tiempo empleado en llegar a la temperatura deseada y la potencia de suministro entregada por la fuente DC durante el tiempo en que se toman los datos. Además,

se debe analizar el funcionamiento del sistema de control. Las pruebas se llevarán a cabo como máximo para 8 horas de funcionamiento, en donde también se evaluarán cambios en el comportamiento del sistema por aperturas de puertas. Se debe recordar que las pruebas con carga deben hacerse ingresando toda la cantidad de vacunas que admite la cámara después de que ha llegado a los 5 °C, por lo mencionado en el capítulo de refrigeración de vacunas.

Una vez analizado el funcionamiento del equipo, se deben identificar las opciones para el ahorro de energía y su costo. El análisis energético se realiza en el capítulo 4.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Construido el equipo, se llevan a cabo las pruebas que permiten determinar si el equipo cumple con los requerimientos planteados en este proyecto. En este proyecto a este estudio se lo ha denominado “Análisis energético”.

4.1 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ENERGÉTICO.

Para llevar a cabo el análisis energético, en primer lugar, se realiza el balance de energía de la cámara de refrigeración utilizando para ello la primera ley de la termodinámica. En la Figura 4.1 se observan los resultados de los flujos de calor de las diferentes cargas del equipo. Además, se observa en la misma figura que el balance de energía de la cámara es regido por el equipo que lleva a cabo la refrigeración (módulos Peltier). También, se puede observar que el calor absorbido es igual a la suma de todas las cargas que deberán ser retiradas por los módulos Peltier para alcanzar la temperatura estimada.

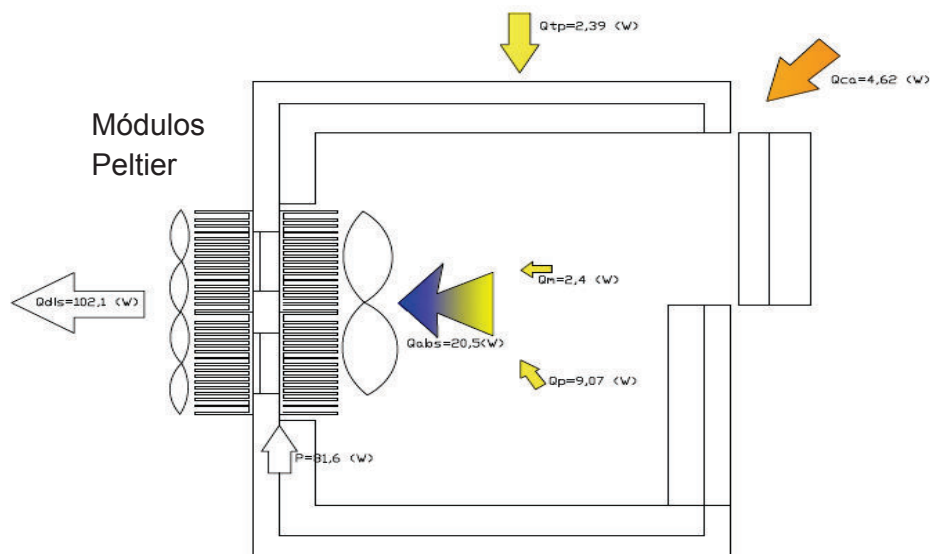


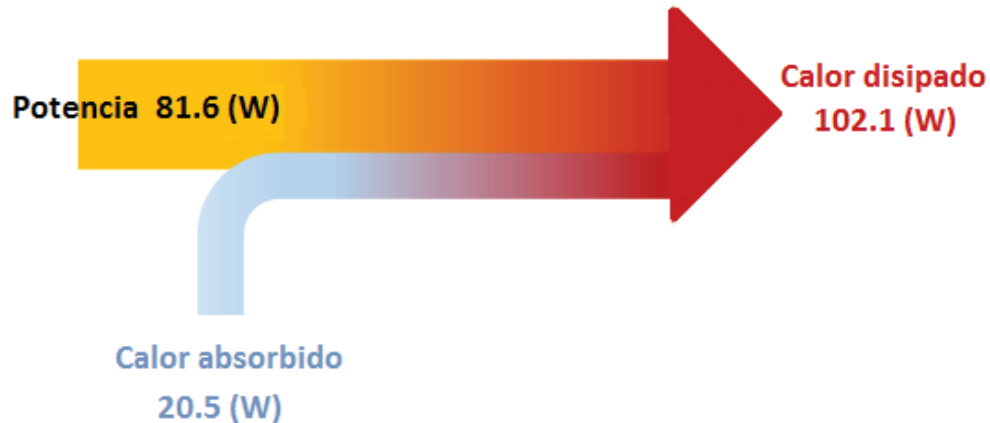
Figura 4. 1 Flujo de calores de la cámara de refrigeración

(Elaboración propia)

Empleando la Ec. 1.31 para el balance de energía se obtiene:

$$Q_{dis} = Q_{abs} + P = 20,5 + 81,6 = 102,1 \text{ (W)}$$

Este resultado se puede observar de mejor manera en el diagrama de Sankey mostrado en la Figura 4. 2.



**Figura 4. 2 Diagrama de Sankey aplicado al equipo de refrigeración
(Elaboración propia).**

La Figura 4.2 muestra que: al aplicar energía eléctrica (Potencia) a las celdas Peltier, estas generan el efecto Peltier (y otros efectos termoeléctricos) que llevan a cabo la absorción de calor dentro de la cámara (refrigeración). Esta suma de energías se disipa en forma de calor a la parte exterior por medio de los disipadores o superficies extendidas.

Otro dato importante que es necesario calcular en el análisis energético es el COP del equipo. Este valor es calculado aplicando la segunda ley de la termodinámica y se lo obtiene mediante la Ec. 4.1.

$$COP = \frac{Q_{abs}}{P} = \frac{20,5}{81,6} = 0,25 \quad \text{(Ec. 4.1)}$$

A pesar de que este valor es inferior al observado en la Figura 2.12 (d) (COP=0,35), está dentro de los valores esperados para equipos que emplean estos sistemas de refrigeración. Esta diferencia se puede producir porque el valor

obtenido de la figura es un valor aproximado ya que se produce un error intrínseco de apreciación en el momento de la toma del dato. Además, el valor de la figura es un dato experimental, en el cual se toman en cuenta otros efectos (efecto Thompson, conducción, etc.) que se suscitan tanto en la absorción como en la disipación de calor y, dependen de los datos constructivos de cada fabricante.

Continuando con el análisis energético, la descripción del consumo energético de los diferentes dispositivos utilizados en el equipo de refrigeración se observa en la Tabla 4. 1, en donde se detallan los diferentes componentes eléctricos utilizados en el equipo.

Tabla 4. 1 Consumo energético de los dispositivos empleados en el equipo.

Dispositivo	Cantidad	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia total (W)
Celda Peltier	2	12	3,4	81,6
Ventilador interno	1	12	0,2	2,4
Ventilador externo	2	12	0,3	7,2
Arduino Mega	1	5	0,04	0,2
Total			7,34	91,4

En esta tabla se observa que la fuente DC (que permite la salida de hasta 12 V y 8,1 A) no se encuentra sobre cargada, ya que la corriente utilizada no sobrepasa la corriente que posee.

Las pruebas del equipo incluyen las pruebas sin carga, con carga, funcionamiento del sistema de control y cambios de aire (apertura de cajones).

4.2 PRUEBAS SIN CARGA

En el ANEXO 4 se muestra la tabla de resultados de las mediciones para cada minuto de: temperatura, voltaje, corriente, calor absorbido y calor disipado del equipo de refrigeración.

En la Figura 4.3 se muestran los resultados de temperatura para cada minuto hasta llegar a los 5 (°C). En la figura se puede observar que la disminución de temperatura (desde aproximadamente 18 (°C) hasta 5 (°C)) se lleva a cabo en 90 minutos.

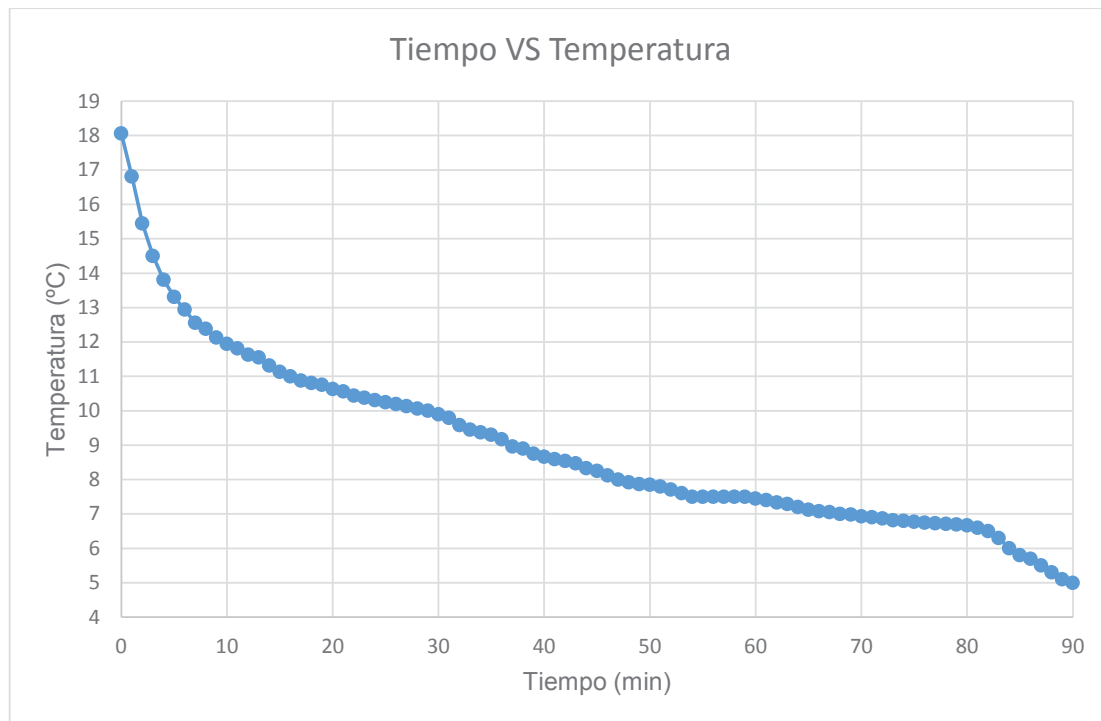


Figura 4.3 Resultados de las pruebas de temperatura en cada minuto.

Se puede observar que la temperatura de 5 °C, es alcanzada a los 90 minutos de encendido el equipo. Lo que se encuentra dentro del valor esperado en equipos que emplean módulos Peltier. Este valor puede ser menor dependiendo de las condiciones ambientales a las que este sujeto y la ubicación del equipo.

En la figura 4.4 se muestra la comparación de los resultados entre lo teórico con lo experimental. Se puede observar primero que el coeficiente de correlación es uno para lo teórico y cercano a uno para lo experimental, lo que demuestra la validez del resultado. Además se puede observar que la temperatura inicial es diferente para ambos casos, pero el tiempo esperado es similar, lo que demuestra que refrigerar la cámara tomará entre 90 a 100 minutos, empleando para el efecto dos módulos Peltier.

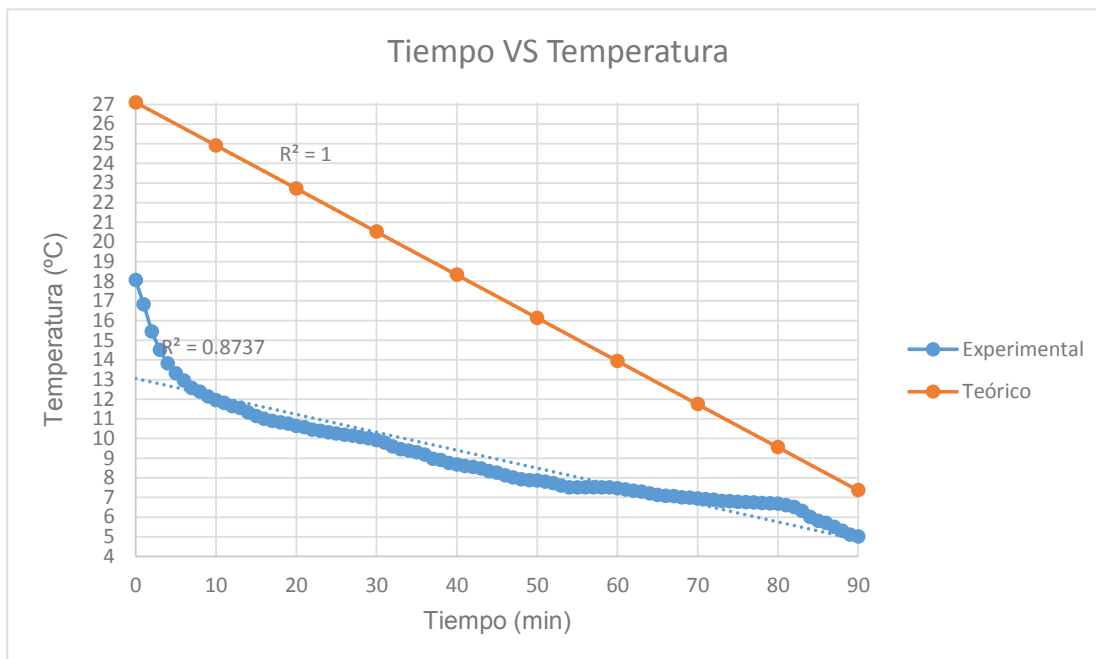


Figura 4. 4 Comparación modelo experimental VS Modelo teórico.

4.3 PRUEBAS CON CARGA

En la Figura 4.5 se muestran los resultados de las mediciones de temperatura para un determinado tiempo cuando ingresa la carga a los 40 minutos aproximadamente. Se observa que, al abrir los cajones, por el tiempo que toma colocar la carga en las bandejas, el aumento de temperatura es instantáneo, pero nunca excede los 8 (°C).

Se debe recalcar que el producto que ingresó a la cámara es alcohol en contenedores de vidrio que simulan los medicamentos. Esto debido a que no es posible disponer de la cantidad de vacunas que se ha planteado, porque estos medicamentos no están disponibles para el acceso público. Para reproducir el ensayo de la manera más cercana a la realidad se midió el volumen total que tendrán los 100 viales y se distribuyeron en 6 vasos de vidrio. De igual manera, estas muestras ingresaron a la cámara a 8 (°C) como distribuidas 3 en la bandeja superior y tres en la bandeja inferior. Se puede observar que al ingresar la carga la temperatura dentro de la cámara no sobrepasa los 8 °C y es disminuida casi inmediatamente, esto se debe a la acción del sistema de control.

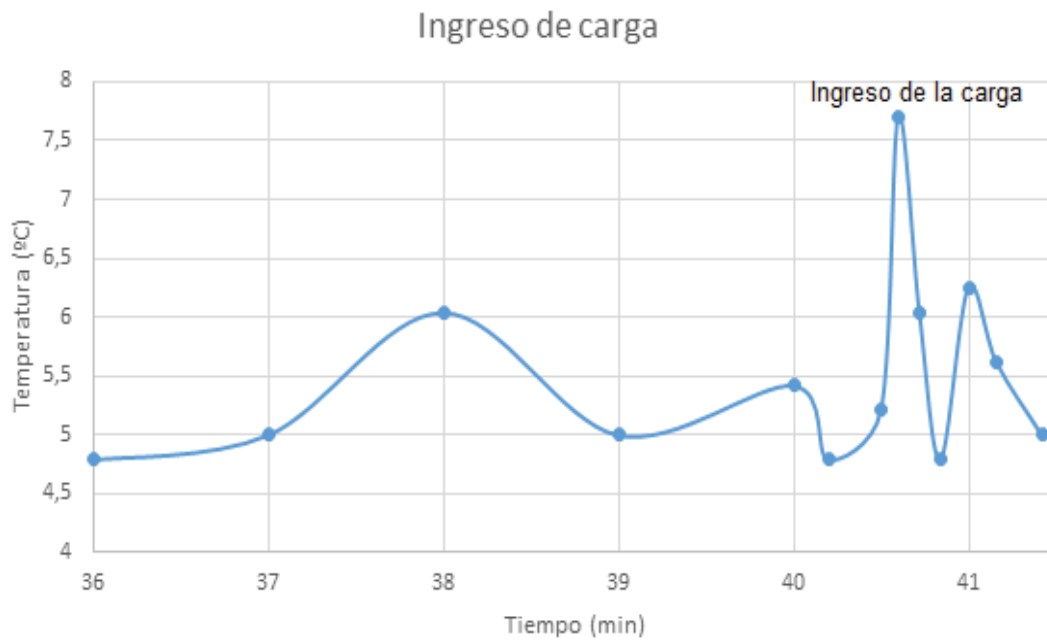


Figura 4. 5 Resultados de las pruebas al ingreso de la carga.

4.4 PRUEBAS DEL SISTEMA DE CONTROL.



Figura 4. 6 Funcionamiento del sistema de control.

En la Figura 4.6 se muestra cómo actúa el sistema de control cuando la temperatura ha llegado a los 5 (°C). Se puede observar que una vez que la temperatura está cerca de los 5 (°C) la programación del sistema de control entra en funcionamiento, tratando de mantener constante la temperatura, al inicio se nota un cambio brusco de temperatura que no excede los 6,5 (°C), pero durante aproximadamente 20 minutos el sistema logrará permanecer constante debido al control PID.

4.5 PRUEBAS DE APERTURA DE CAJONES

En la Figura 4.7 se muestra el comportamiento de la temperatura cuando se produce la apertura de los cajones. Debido a que el sistema de control ya entró en funcionamiento cíclico casi constante, a partir de aproximadamente los 65 minutos, la temperatura no varía demasiado con la apertura de las puertas (no excede los 7°C). Además, otro factor que influye en que no cambie demasiado la temperatura con la apertura de puertas es que la cantidad de aire que entra no es representativa, por la presencia de los cajones y el hecho de que se apague el ventilador cuando se produzca esta apertura.

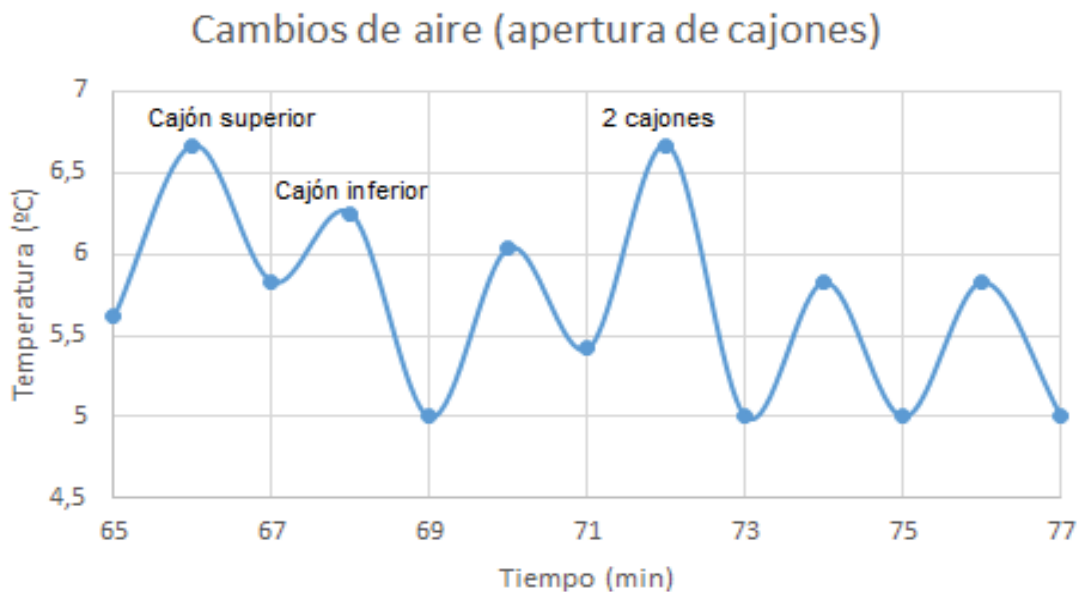


Figura 4. 7 Comportamiento de la temperatura en la apertura de los cajones

4.6 OPCIONES DE AHORRO DE ENERGÍA

En lo que respecta a los dispositivos empleados en el equipo, se puede decir que la fuente DC genera mucho calor después de prolongadas horas de uso, lo que puede afectar el desempeño de la cámara (ya que se encuentra en la parte superior). Además, se recomienda ubicar el sistema de control en un lugar ventilado o aislado de mejor manera ya que otros dispositivos también desprenden calor.

Se debe prestar atención al circuito eléctrico ya que el mismo estará expuesto a manejar altas potencias, es por esto que la selección de cables y transistores debe ser primordial para diseñar el mismo para no obtener caídas de voltaje.

En lo que respecta al consumo energético, se observa que a pesar de que la fuente empleada en el proyecto no trabaja con sobrecarga, se podría adquirir otra fuente que provea de mayor potencia, en el caso de colocar otra celda y que también tenga un ventilador propio para que disipe su propio calor de mejor manera.

Con las pruebas se notó que la ubicación de la cámara es importante, la cámara deberá estar ubicada a una suficiente distancia de la pared, para que los ventiladores puedan tomar el aire necesario y disipar el calor de mejor manera.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El principal objetivo del proyecto de titulación es cumplido. Se diseña y se construye una cámara de refrigeración con celdas Peltier para vacunas en donde se alcanza la temperatura de 5 °C en un tiempo aproximado de 90 minutos.

En base a un promedio estimado de personas que acuden en un día para ser vacunados en una campaña de vacunación para la prevención de cierta enfermedad en centros médicos; se diseña una cámara de 10L de capacidad para que refrigere 100 viales, los mismos que están distribuidos en dos bandejas. Las vacunas almacenadas pueden ser viales de 0,5 ml, 5 ml y jeringas. Estos valores permiten dimensionar la cámara y son tomados en cuenta a la hora de crear estrategias de diseño (empleo de cajones y uso de un deflector) para que todas las vacunas estén correctamente refrigeradas.

Se considera que el valor de pérdidas de calor por conducción en paredes permitido, por economía, debe ser de máximo 9,28 (W/m^2) y para lograr con este objetivo se calcula el espesor de poliestireno que debe tener las paredes de la cámara y es igual a 0,034m, considerando constantes los espesores tanto de la madera, el acero galvanizado y la pintura que también conforman las paredes de la cámara.

Para lograr la refrigeración se ha empleado dos celdas Peltier con sus respectivos disipadores, ambos dispositivos absorben 21,6 (W) y se necesita (para lograr la temperatura estimada) 20,4 (W). Estas celdas son adquiridas a un precio de USD\$ 2,8. Además, los disipadores son retirados y reutilizados de computadores de escritorio que están en desuso, al igual que los ventiladores, que son retirados de un proyector de pantalla. Esto resulta perfecto para el proyecto, no solo porque disminuye el costo del módulo Peltier y consecuentemente el costo total del proyecto; sino también porque se logra absorber la suficiente cantidad de calor para lograr la temperatura deseada.

La resistencia térmica de los disipadores ubicados en la parte exterior o en el lado caliente de la celda es igual a 0,5 (K/W). Este valor se logró acoplado a las aletas ventiladores que generan un alto caudal sobre las aletas del disipador. Además, este valor está dentro de los valores esperados y logran que la celda trabaje de manera correcta.

El balance de energía de la celda Peltier considera algunos fenómenos que también se suscitan junto al efecto Peltier. Estos fenómenos son difíciles de determinar ya que no se cuenta con la información necesaria, debido a que existen datos constructivos que son únicos de cada empresa fabricante. Una alternativa es utilizar las gráficas de rendimiento que se basan en pruebas de laboratorio, estas gráficas se encuentran en softwares libres proporcionados por las empresas fabricantes. Su ventaja es que permiten obtener resultados de manera inmediata para poder dimensionar el equipo que lleva a cabo la refrigeración.

Junto con el módulo Peltier, el uso de sujetadores que mantienen unida la celda a los disipadores; también la pasta térmica que permite que las caras de la celda permanezcan adheridas en su totalidad y; el uso del bloque metálico separador para que el calor por convección entre las caras de los disipadores sea mínimo; son artefactos esenciales que deben incluirse en la construcción del sistema de refrigeración para lograr absorber y disipar todo el calor requerido.

El sistema de control permite que la temperatura en el interior de la cámara permanezca constante en 5 °C. Además, contribuye a la eficiencia de la cámara al momento de apagar el ventilador interno cada vez que ocurre una apertura de uno o dos cajones. El sistema también muestra el valor de temperatura actual y temperatura esperada en la GLCD. Para llevar a cabo la programación y funcionamiento de los diferentes dispositivos de control, se emplea un arduino Mega, lo que resulta ideal ya que no solo permite la programación del control PID, sino que permite el manejo directo de la GLCD y otros dispositivos.

El COP de la cámara de refrigeración teórico es 0,35 y calculado es 0,25, valor que está dentro del rango esperado de funcionamiento para equipos que usan esta tecnología. Este parámetro de rendimiento está ligado al calor absorbido por

el sistema de refrigeración y se observa que este valor puede variar dependiendo de la temperatura ambiental a la que este sujeto el equipo.

Mediante el análisis energético se logra observar el comportamiento de los diferentes dispositivos que componen el equipo de refrigeración, así como de las pruebas que se llevan a cabo. Aquí se puede observar que el sistema de control permite que la cámara trabaje de manera eficiente, ya que regula la potencia que llega a las celdas para lograr mantener una temperatura constante.

Las pruebas de la cámara demuestran: primero, que la refrigeración de vacunas con el uso de celdas Peltier es posible y se lleva a cabo dentro de un tiempo comparable a un equipo que emplea sistemas convencionales, luego, que al ingresar la carga, el rango de temperatura permitido de 3°C a 8°C no se sobrepasa; después, que el sistema de control trabaja correctamente y hace que la temperatura permanezca constante y finalmente, que las aperturas de cajones en ningún momento hacen que sobrepase la temperatura máxima de almacenamiento.

Los resultados experimentales demuestran que el tiempo calculado que se espera que la cámara llegue a la temperatura de 5 °C es el indicado y se logra con 2 celdas Peltier. Si se desea llegar a la temperatura de una manera más rápida se debe aumentar el número de celdas, esto implicaría disminuir el COP, ya que el consumo energético de las celdas sería mayor.

Los dispositivos que permiten el funcionamiento del sistema de control, así como la fuente de poder deben también permanecer aisladas y correctamente ventiladas, ya que su calor puede afectar el desempeño de la cámara.

Para la medición de temperatura se utiliza un sensor que permite tener una alta precisión en la toma del dato. Este sensor debe ser ubicado en un lugar en el que se obtenga una temperatura promedio de la cámara, para cumplir con este aspecto es necesario que el flujo de aire dentro de la cámara debe llegar a todos los espacios.

Un aspecto que disminuye la resistencia térmica de los módulos Peltier es la ubicación del equipo. Si los módulos están muy cerca de una pared y esta no

permite que los ventiladores tomen el aire necesario para disipar el calor, la temperatura al interior de la cámara no se puede alcanzar.

Los ventiladores que se ubican en el disipador exterior o del lado caliente, que llevan a cabo la disipación de calor deben ser de gran desempeño, ya que al lograr disipar mayor calor la celda podrá absorber calor de mayor y mejor manera. Además, unas aletas de mayores dimensiones permiten que el calor pueda ser retirado mejorando el desempeño de la aleta.

El presente proyecto demuestra que es posible la construcción de una cámara que emplea celdas Peltier de fácil acceso en el mercado, para la refrigeración de cierto producto. Esto dentro de parámetros coherentes de diseño, empleando, además, estrategias que permiten disminuir el consumo energético del mismo.

5.2 RECOMENDACIONES

La ventaja de estos equipos de refrigeración que emplea módulos Peltier es que pueden convertirse en sistemas portátiles. Una recomendación para ello es acoplar baterías o paneles solares como suministro de energía considerando que estos puedan proveer del flujo de potencia necesario que el equipo requiera.

En caso de que se requiera un menor tiempo para llevar a cabo la refrigeración, es decir, alcanzar la temperatura deseada dentro de la cámara más rápidamente; es recomendable: aumentar el número de módulos Peltier, diseñar un sistema de disipación de calor con una menor resistencia térmica, optar por la implementación de otro sistema de disipación de calor que use, por ejemplo, agua; o seleccionar otro tipo de celda Peltier con mayor capacidad.

Si se necesita que la cámara sea más ligera, se recomienda el uso de otros materiales para su construcción como el plástico en lugar de la madera, o acoplar el o los módulos Peltier en recipientes de almacenamiento tipo “coolers”.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADDA. (2016). *Data Sheet AQ12025*. Obtenido de ADDA:
<http://www.adda.com.tw/data/file/AQ12025.pdf>
- ARDUINO. (2016). *Arduino Mega*. Obtenido de Summary:
<https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega>
- Bohn (2005) Manual de ingeniería, Obtenido de www.bohn.com.mx.
- Carrier. (2001). *Manual de aire acondicionado*. New York: MARCOMBO SA.
- Chatterjee, S., & Pandey, K. G. (2003). Thermoelectric cold-chain chests for storing/transporting vaccines in remote regions. *Applied energy*, 76(4), 415-433.
- CDA. (2016). *ULPGC*. Obtenido de Conductividad térmica y densidad:
<http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/2-%20CALOR/4-Construccion/C.6.4%20Conductividad%20t%E9rmica%20y%20densidad.PDF>
- Colegio de farmacéuticos de Barcelona. (2016). *Medicamentos. Cómo conservarlos*. Obtenido de Colegio de farmacéuticos de Barcelona:
<http://www.farmacauticonline.com/es/el-medicamento/610-medicamentos-como-conservarlos?showall=1>
- Comité Asesor de Vacunas. (2015). *El acto de la vacunación: Antes, Durante y Después*. Obtenido de Asociación española de pediatría:
<http://vacunasaep.org/documentos/manual/cap-5>
- datasheets. (2016). *Dallas DS18B20*. Obtenido de Datasheet:
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>
- Everredtronic limited (2016). Specifications: thermoelectric module TEC1-12706T125.
- Ferrotec. (2016). *Mathematical Modeling of Thermoelectric Cooling Modules*. Obtenido de Thermoelectric Technical Reference.
- Grupo Farmacéutico D.F.T. (14 de Junio de 2016). *Vacunas*. Obtenido de Frigoríficos Farmacia:
<http://www.frigorificosfarmacia.com/2016/06/14/vacunas/>
- Grupo Sancor Seguros. (22 de Abril de 2014). *Importancia de la vacunación*. Obtenido de Prevención Salud:
<http://www.prevencionsalud.com.ar/promocion-salud/Importancia-de-la-vacunacion-73#.V5U89uh97IU>

Guerra, A. (2011). Refrigeración de vacunas mediante una máquina frigorífica por efecto Peltier.

Güler, N. F., & Ahiska, R. (2002). Design and testing of a microprocessor-controlled portable thermoelectric medical cooling kit. *Applied Thermal Engineering*, 22(11), 1271-1276.

Huang, B., Chin, C. J., & Duang, C. L. (2000). A design method of thermoelectric cooler. *International Journal of Refrigeration*, 23(3), 208-218.

Incropera, F. (1999). *Fundamentos de transferencia de calor*. México: Prentice Hall.

INTELLECTUALVENTURES LABORATORY. (2015). *Thermoelectric effect*. Obtenido de <http://www.intellectualventureslab.com/invent/thermoelectric-effect>

Intel (2004). Intel Pentium 4 processor and Intel Celeron processor in the 478-Pin Package. Thermal design guide for embedded applications.

LEDBOX. (2016). *Catálogo*. Obtenido de Fuente de alimentación DC12V/100W/8,5A: <http://www.ledbox.es/comprar/Fuente-de-alimentaci%C3%B3n-DC12V-100W-8,5A/11421-16/>

Llugsí, F (Julio, 2015). Tesis de pregrado. Automatización del control de temperatura en un entorno líquido, para verificar el correcto funcionamiento de sensores de temperatura, por el método de comparación. Escuela Politécnica Nacional.

Lineykin, S., & Ben-Yaakov, S. (2007). User-friendly and intuitive graphical approach to the design of thermoelectric cooling systems. *International Journal of Refrigeration*, 30(5), 798-804.

Marlow industries (2016). User manual- Marlow web Based Model Software.

meerstetter engineering. (2016). *TEC/Peltier Element Design Guide*. Obtenido de Engineering: <http://www.meerstetter.ch/compendium/tec-peltier-element-design-guide>

Melgarejo. (2000).

Mills. A. (1995) *Transferencia de calor*. México. Irwin.

Min, G., & Rowe, D. M. (2006). Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators. *Applied Energy*, 83(2), 133-152.

Ministerio de salud pública de Argentina (2013). Vacunación segura: Cadena de frío "Manual de almacenamiento de las vacunas para el nivel operativo".

Ministerio de salud pública del Ecuador (2005). Manual de normas técnico-administrativas, métodos y procedimientos de vacunación y vigilancia epidemiológica del programa ampliado de inmunizaciones (PAI).

Núñez, T. (9 de Octubre de 2015). *Slideshare*. Obtenido de Intercambiadores de calor: <http://es.slideshare.net/mikiP1/diseo-de-intercambiadores-de-calor>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL. (2016). *Manual de producción más limpia*. Obtenido de Análisis energético: https://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Environmental_Management/CP_ToolKit_spanish/PR-Volume_04/4-Textbook.pdf

Organización Mundial de la Salud. (2016). *Temas de salud: Vacunas*. Obtenido de Organización Mundial de la Salud: <http://www.who.int/topics/vaccines/es/>

Ortíz, J. M. (22 de Octubre de 2015). *Coefficientes de rendimiento (COP) y eficiencia energética en el ciclo de refrigeración (EER) de la bomba de calor*. Obtenido de caloryfrio.com: <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/bomba-de-calor/definiciones-cop-y-eer.html>

Pérez, J., & Merino, M. (2014). *Definición de semiconductor*. Obtenido de DEFINICIÓN.DE: <http://definicion.de/semiconductor/>

PP Digital. (28 de Diciembre de 2014). 5,7 millones de vacunas para personas de grupos de riesgo en el Ecuador. *EL MINISTERIO DE SALUD INVIRTIÓ MÁS DE \$ 23 MILLONES PARA ADQUIRIR LAS VACUNAS DE PREVENCIÓN AL CONTAGIO DE LA INFLUENZA TIPO AH1N1, AH2N3 Y TIPO B PARA EL PERIODO 2014-2015.*, págs. <http://www.ppdigital.com.ec/noticias/ciudadania/4/57-millones-de-vacunas-se-suministraran-para-las-personas-de-5-grupos-de-riesgo>. Obtenido de EL MINISTERIO DE SALUD INVIRTIÓ MÁS DE \$ 23 MILLONES PARA ADQUIRIR LAS VACUNAS DE PREVENCIÓN AL CONTAGIO DE LA INFLUENZA TIPO AH1N1, AH2N3 Y TIPO B PARA EL PERIODO 2014-2015.

PROFÍSICA. (11 de Febrero de 2005). *El refrigerador termoeléctrico*. Obtenido de Cómo funciona: <http://www.profisica.cl/comofuncionan/como.php?id=15>

Punina, S (2015). Tesis de pregrado: Estudio de un sistema de refrigeración de elementos electrónicos para el control de temperatura en tierra del UAV Gavilán del centro de investigación y desarrollo de la fuerza aérea ecuatoriana. Universidad técnica de Ambato.

- Salud CiberCuba. (2012). *La estabilidad de los medicamentos*. Obtenido de CiberCuba:
http://salud.cibercuba.com/la_estabilidad_de_los_medicamentos
- Supercool (2016). Thermoelectric solutions. Obtenido de Supercool:
www.supercool.com.
- Tanyx . (2016). *Seguridad electrónica*. Obtenido de Sensor magnético de puerta ZDD-412M:
http://tanyx.com.ar/productos/alarmas_de_intrusion/ver/40_zdd-412m
- Tellurex (2016). Manual for thermoelectric systems. Obtenido de:
www.tellurex.com.
- Tempack. (2016). *Temperature packing solutions* . Obtenido de Tempack:
<http://www.tempack.com/soluciones-precalificadas/pharma-24-36h-foldable-detail>
- U.S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. (2012). *Complete list vaccines for immunization*. Obtenido de U.S. FOOD AND DRUG ADMINISTRATION:
www.fda.gov
- U.S. Food and Drug Administration. (2016). *FDA*. Obtenido de Información sobre la conservación de la insulina y cambio de productos durante una emergencia:
<http://www.fda.gov/Drugs/EmergencyPreparedness/ucm323073.htm>
- Yajamín, O (Octubre, 2012). Tesis de pregrado. Diseño e implementación de un módulo didáctico que realice el monitoreo y control de temperatura, para la conservación de medicamentos termolábiles. Escuela Politécnica Nacional.
- Zhao, D., & Tan, G. (2014). A review of thermoelectric cooling: materials, modeling and applications. *Applied Thermal Engineering*, 66(1), 15-24.

ANEXOS

ANEXO 1

Listado de vacunas usualmente empleadas.

Product Name	Trade Name	Sponsor	Maximum Formaldehyde Content (µg/dose)	Dose Size (mL)	Form	Initial Approval	
Diphtheria & Tetanus Toxoids Adsorbed	No Trade Name	Sanofi Pasteur, Inc		100	0.5	Intramuscular	2003
Diphtheria & Tetanus Toxoids Adsorbed	No Trade Name	Sanofi Pasteur, Ltd	n/a		0.5	Intramuscular	n/a
Diphtheria & Tetanus Toxoids & Acellular Pertussis Vaccine Adsorbed	Tripedia	Sanofi Pasteur, Inc		100	0.5	Intramuscular	1991
Diphtheria & Tetanus Toxoids & Acellular Pertussis Vaccine Adsorbed	Infanrix	GlaxoSmithKline Biologicals		100	0.5	Intramuscular	1997
Diphtheria & Tetanus Toxoids & Acellular Pertussis Vaccine Adsorbed	DAPTACEL	Sanofi Pasteur, Ltd		5	0.5	Intramuscular	2002
Diphtheria & Tetanus Toxoids & Acellular Pertussis Vaccine Adsorbed, Hepatitis B (recombinant) and Inactivated Poliovirus Vaccine Combined	Pediarix	GlaxoSmithKline Biologicals		100	0.5	Intramuscular	2002
Diphtheria and Tetanus Toxoids and Acellular Pertussis Adsorbed and Inactivated Poliovirus Vaccine	KINRIX	GlaxoSmithKline Biologicals		100	0.5	Intramuscular	2008
Diphtheria and Tetanus Toxoids and Acellular Pertussis Adsorbed, Inactivated Poliovirus and Haemophilus b Conjugate (Tetanus Toxoid Conjugate) Vaccine	Pentacel	Sanofi Pasteur Limited		5	0.5	Intramuscular	2008
Haemophilus b Conjugate Vaccine (Meningococcal Protein Conjugate)	PedvaxHIB	Merck & Co, Inc		0	0.5	Intramuscular	n/a
Haemophilus b Conjugate Vaccine (Tetanus Toxoid Conjugate)	ActHIB	Sanofi Pasteur, SA		0.5	0.5	Intramuscular	1993
Haemophilus b Conjugate Vaccine (Tetanus Toxoid Conjugate)	Hiberix	GlaxoSmithKline Biologicals, S.A		0.5	0.5	Intramuscular	2009
Haemophilus b Conjugate Vaccine (Meningococcal Protein Conjugate) & Hepatitis B Vaccine (Recombinant)	Comvax	Merck & Co, Inc		0.2	0.5	Intramuscular	1996
Hepatitis A Vaccine, Inactivated	Havrix	GlaxoSmithKline Biologicals		100	0.5	Intramuscular	1995
Hepatitis A Vaccine, Inactivated	VAQTA	Merck & Co, Inc		0.8	0.5	Intramuscular	1996
Hepatitis A Inactivated and Hepatitis B (Recombinant) Vaccine ¹	Twintrix	GlaxoSmithKline Biologicals		100	1	Intramuscular	2001
Hepatitis B Vaccine (Recombinant)	Recombivax HB	Merck & Co, Inc		7.5	0.5	Intramuscular	n/a
Hepatitis B Vaccine (Recombinant)	Engerix-B	GlaxoSmithKline Biologicals		0	0.5	Intramuscular	1989
Human Papillomavirus Quadrivalent (Types 6, 11, 16, 18) Vaccine, Recombinant	Gardasil	Merck and Co, Inc.		0	0.5	Intramuscular	2006
Human Papillomavirus Bivalent (Types 16, 18) Vaccine, Recombinant	Cervarix	GlaxoSmithKline Biologicals		0	0.5	Intramuscular	2009
Influenza A (H1N1) 2009 Monovalent Vaccine [†]	No Trade Name	CSL Limited		0	0.5	Intramuscular	2007
Influenza A (H1N1) 2009 Monovalent Vaccine	No Trade Name	MedImmune LLC		0	0.2	Intranasal	2003
Influenza A (H1N1) 2009 Monovalent Vaccine [‡]	No Trade Name	ID Biomedical Corporation of Quebec		25	0.5	Intramuscular	2006
Influenza A (H1N1) 2009 Monovalent Vaccine [‡]	No Trade Name	Novartis Vaccines and Diagnostics Limited		0	0.5	Intramuscular	2009
Influenza A (H1N1) 2009 Monovalent Vaccine [‡]	No Trade Name	Sanofi Pasteur, Inc.		100	0.5	Intramuscular	1980
Influenza Virus Vaccine [†]	Afluna	CSL Limited		0	0.5	Intramuscular	2007
Influenza Virus Vaccine, H5N1 (for National Stockpile) ^{1, 2}	No Trade Name	Sanofi Pasteur, Inc.		200	1	Intramuscular	2007
Influenza Virus Vaccine, Trivalent, Types A and B ¹	FluLaval	ID Biomedical Corp of Quebec		25	0.5	Intramuscular	2006
Influenza Vaccine, Live, Intranasal	FluMist	MedImmune, LLC		0	0.2	Intranasal	2003
Influenza Virus Vaccine, Trivalent, Types A and B	Fluarix	GlaxoSmithKline Biologicals		5	0.5	Intramuscular	2005
Influenza Virus Vaccine, Trivalent, Types A and B ²	Fluvirin	Novartis Vaccines and Diagnostics Ltd		0	0.5	Intramuscular	1988
Influenza Virus Vaccine, Trivalent, Types A and B	Agriflu	Novartis Vaccines and Diagnostics S.r.l.		10	0.5	Intramuscular	2009
Influenza Virus Vaccine, Trivalent, Types A and B ²	Fluzone and Fluzone High-Dose	Sanofi Pasteur, Inc		100	0.5	Intramuscular	1980
Measles Virus Vaccine, Live	Attenuvax	Merck & Co, Inc		0	0.5	Subcutaneous	n/a
Measles and Mumps Virus Vaccine, Live	M-M-Vax	Merck & Co, Inc (not available)		0	n/a	n/a	n/a
Measles, Mumps, and Rubella Virus Vaccine, Live	M-M-R II	Merck & Co, Inc		0	0.5	Subcutaneous	n/a
Measles, Mumps, Rubella and Varicella Virus Vaccine Live	ProQuad	Merck & Co, Inc		0	0.5	Subcutaneous	2005
Meningococcal (Groups A, C, Y, and W-135) Oligosaccharide Diphtheria CRM197 Conjugate Vaccine	Menveo	Novartis Vaccines and Diagnostics, Inc.		0.3	0.5	Intramuscular	2010
Meningococcal Polysaccharide (Serogroups A, C, Y and W-135) Diphtheria Toxoid Conjugate Vaccine	Menactra	Sanofi Pasteur, Inc		2.66	0.5	Intramuscular	2005
Meningococcal Polysaccharide Vaccine, Groups A, C, Y and W-135 Combined ²	Menomune-A/C/Y/W-135	Sanofi Pasteur, Inc		0	0.5	Subcutaneous	1981
Mumps Virus Vaccine Live	Mumpsvax	Merck & Co, Inc		0	n/a	n/a	n/a
Pneumococcal Vaccine, Polyvalent	Pneumovax 23	Merck & Co, Inc		0	0.5	Subcutaneous or Intramuscular	1983
Pneumococcal 7-valent Conjugate Vaccine (Diphtheria CRM197 Protein)	Prevnar	Wyeth Pharmaceuticals Inc		0	0.5	Intramuscular	2000
Pneumococcal 13-valent Conjugate Vaccine (Diphtheria CRM197 Protein)	Prevnar 13	Wyeth Pharmaceuticals Inc		0	0.5	Intramuscular	2010
Poliovirus Vaccine Inactivated (Human Diploid Cell)	Poliovax	Sanofi Pasteur, Ltd (not available)	n/a	n/a	n/a	n/a	
Poliovirus Vaccine Inactivated (Monkey Kidney Cell)	IPOL	Sanofi Pasteur, SA		100	0.5	Subcutaneous or Intramuscular	1989
Rotavirus Vaccine, Live, Oral	ROTARIX	GlaxoSmithKline Biologicals		0	1	Oral	2008
Rotavirus Vaccine, Live, Oral, Pentavalent	RotaTeq	Merck & Co., Inc.		0	2	Oral	2006
Rubella Virus Vaccine Live	Meruvax II	Merck & Co, Inc		0	0.5	Subcutaneous	n/a
Tetanus & Diphtheria Toxoids Adsorbed for Adult Use	No Trade Name	MassBiologics		100	0.5	Intramuscular	n/a
Tetanus & Diphtheria Toxoids Adsorbed for Adult Use	DECAVAC	Sanofi Pasteur, Inc		100	0.5	Intramuscular	1955
Tetanus & Diphtheria Toxoids Adsorbed for Adult Use	TENIVAC	Sanofi Pasteur, Ltd (not available)		100	0.5	Intramuscular or Intramuscular or Subcutaneous	2003
Tetanus Toxoid ²	No Trade Name	Sanofi Pasteur, Inc		100	0.5	Subcutaneous	n/a
Tetanus Toxoid Adsorbed ²	No Trade Name	Sanofi Pasteur, Inc		100	0.5	Intramuscular	2005
Tetanus Toxoid, Reduced Diphtheria Toxoid and Acellular Pertussis Vaccine, Adsorbed	Adacel	Sanofi Pasteur, Ltd		5	0.5	Intramuscular	2005
Tetanus Toxoid, Reduced Diphtheria Toxoid and Acellular Pertussis Vaccine, Adsorbed	Boostrix	GlaxoSmithKline Biologicals		100	0.5	Intramuscular	2005
Varicella Virus Vaccine Live	Varivax	Merck & Co, Inc		0	0.5	Subcutaneous	1995
Zoster Vaccine, Live, (Oka/Merck) ¹	Zostavax	Merck & Co., Inc.		0	0.65	Subcutaneous	2006

¹ Adult Only² Multidose Vial Only[†] 25 µg Ethylmercury/Dose for Multidose Vial[‡] 24.5 µg Ethylmercury/Dose for Multidose Vial

ANEXO 2

Características de ventiladores.

Part#	Dimensions mm	Voltage V DC nom	Current A	Air flow		Static Pressure		Noise dB	Moisture protection
				CFM	m ³ /h	inch water	Pascal		
F-04010-12-2	40 x 40 x 10	12	0.1	6.7	11.6	0.098	24.5	25.0	none
F-06020-12-2	60 x 60 x 20	12	0.16	16.3	27.7	0.135	33.5	31.0	none
F-06025-12-2	60 x 60 x 25	12	0.23	23.2	39.4	0.188	46.9	32.3	none
F-06025U12-2	60 x 60 x 25	12	0.27	28.3	48.1	0.246	61.3	37.0	none
F-06025-24-2	60 x 60 x 25	24	0.15	23.2	39.4	0.185	46.1	32.3	none
F-08020-12-2	80 x 80 x 20	12	0.24	27.3	46.4	0.136	33.8	32.4	none
F-09220-12-2	92 x 92 x 20	12	0.25	32.8	55.8	0.106	26.4	32.8	none
F-09220-24-2	92 x 92 x 20	24	0.14	32.8	55.8	0.104	26.0	32.8	none
F-09225-12-2	92 x 92 x 25	12	0.25	52.5	89.3	0.131	32.6	35.0	none
F-09225-12-3	92 x 92 x 25	12	0.25	52.5	89.3	0.131	32.6	35.0	IP55
F-09225U12-2	92 x 92 x 25	12	0.39	60	102	0.163	40.7	39.4	none
F-09225-24-2	92 x 92 x 25	24	0.15	52.5	89.3	0.129	32.1	35.0	none
F-09225-24-3	92 x 92 x 25	24	0.15	52.5	89.3	0.129	32.1	35.0	IP55
F-09225U24-2	92 x 92 x 25	24	0.21	60	102	0.163	40.7	39.4	none
F-12025-24-2	120 x 120 x 25	24	0.19	85.2	144	0.136	33.8	39.1	none
F-12032-24-2	120 x 120 x 32	24	0.25	108	183	0.215	53.5	43.3	none
F-12038-24-2	120 x 120 x 38	24	0.4	120	204	0.320	79.8	48.0	none
F-12038-24-3	120 x 120 x 38	24	0.4	122	207	0.394	98.1	48.0	IP55
F-12038X24-2	120 x 120 x 38	24	0.6	190	323	0.5	125	60.0	IP55

ANEXO 3

Especificaciones de los componentes de la cámara

Ventiladores exteriores

ADDA AD0812UX-A76GL 80MM Fan



Descriptions / Features / Specifications

ADDA AD0812UX-A76GL 80MM Fan

- ADDA AD0812UX-A76GL
- Dimensions: 80x80x25 MM
- Voltage: DC 12V
- Current: 0.3A
- Speed: 3700 RPM
- Air Flow: 46 CFM
- Bearing: Hypro
- 3-Pin Connector

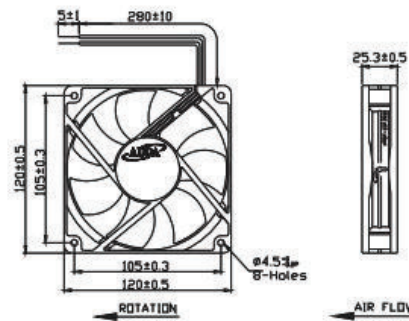
(ADDA, 2016)

Ventilador Interior

ADDA AQ1212MB



External Dimensions



Frame:Plastic(UL:94V-0)
Impeller:Plastic(UL:94V-0)
Lead wire:UL1007AWG24

Specifications(Nominal)

*Noise is measured at the distance of one (1) meter from the axis of intake.

Bearing type: ○=Ball □=Sleeve ●=Hypro bearing

Frame size (mm)	Model No.	Bearing System Type	Rated Voltage (VDC)	Current (A)	Power (W)	Rated Speed (rpm)	Maximum AirFlow (CMM)	Maximum AirFlow (CFM)	Maximum Pressure (InAq)	Maximum Pressure (mmAq)	*Noise Level (dB/A)	Weight (g)
120x120x25	AQ1212DB-A71GL(N)	○	12	0.11	1.32	1500	1.618	57.205	0.074	1.879	27.2	156.0
	AQ1212LB-A71GL(N)	□	12	0.15	1.80	1800	2.032	71.806	0.093	2.362	34.3	
	AQ1212MB-A71GL(N)	○	12	0.16	1.92	2050	2.293	81.054	0.113	2.870	38.0	
	AQ1212HB-A71GL(N)	○	12	0.29	3.48	2200	2.486	87.870	0.134	3.403	39.1	
	AQ1224DB-A71GL(N)	○	24	0.08	1.44	1500	1.618	57.205	0.074	1.879	27.2	
	AQ1224LB-A71GL(N)	□	24	0.08	1.92	1800	2.032	71.806	0.093	2.362	34.3	
	AQ1224MB-A71GL(N)	○	24	0.11	2.64	2050	2.293	81.054	0.113	2.870	38.0	
	AQ1224HB-A71GL(N)	○	24	0.13	3.12	2200	2.486	87.870	0.134	3.403	39.1	

Specifications subject to change without notice.

(ADDA, 2016)

Celda Peltier

Tabla 2. 8

Sensores de puerta



Sensor de puerta ZDD-412M

Distancia de detección (espacio)	15 ~ 25 mm
Housing	Plástico ABS blanco
Instalación	Instalar exteriormente
Dimensión	27 x 14 x 8mm

(Tanyx , 2016)

Sensor de temperatura

DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground.....-0.5V to +6.0V
 Operating Temperature Range.....-55°C to +125°C

Storage Temperature Range.....-55°C to +125°C
 Solder Temperature.....Refer to the IPC/JEDEC J-STD-020 Specification.

These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C; $V_{DD} = 3.0V$ to $5.5V$)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{DD}	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		V_{DD}	
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	V_{IL}	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V_{IH}	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	I_L	$V_{IO} = 0.4V$	4.0			mA
Standby Current	I_{DDS}	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	I_{DD}	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	I_{DQ}	(Note 10)		5		µA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Note 1: All voltages are referenced to ground.

Note 2: The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU} . In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.

Note 3: See typical performance curve in Figure 1.

Note 4: Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

Note 5: To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.

Note 6: Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

Note 7: Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3µA at +125°C.

Note 8: To minimize I_{DDS} , DQ should be within the following ranges: $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$ or $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$.

Note 9: Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

Note 10: DQ line is high ("high-Z" state).

Note 11: Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with $V_{DD} = 5.5V$.

(datasheets, 2016)

Fuente DC

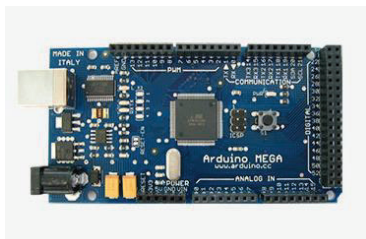


- **Potencia:** 100 Watos
- **Corriente:** 8,5 Amperios
- **V. de Salida:** 12 Voltios DC
- **Conexión:** Bornes
- **Protecciones:** Cortocircuito, sobrecarga, temperatura
- **Grado Protección:** IP20
- **Certificación:** CE, RoHS

(LEDBOX, 2016)

Controlador (Arduino MEGA)

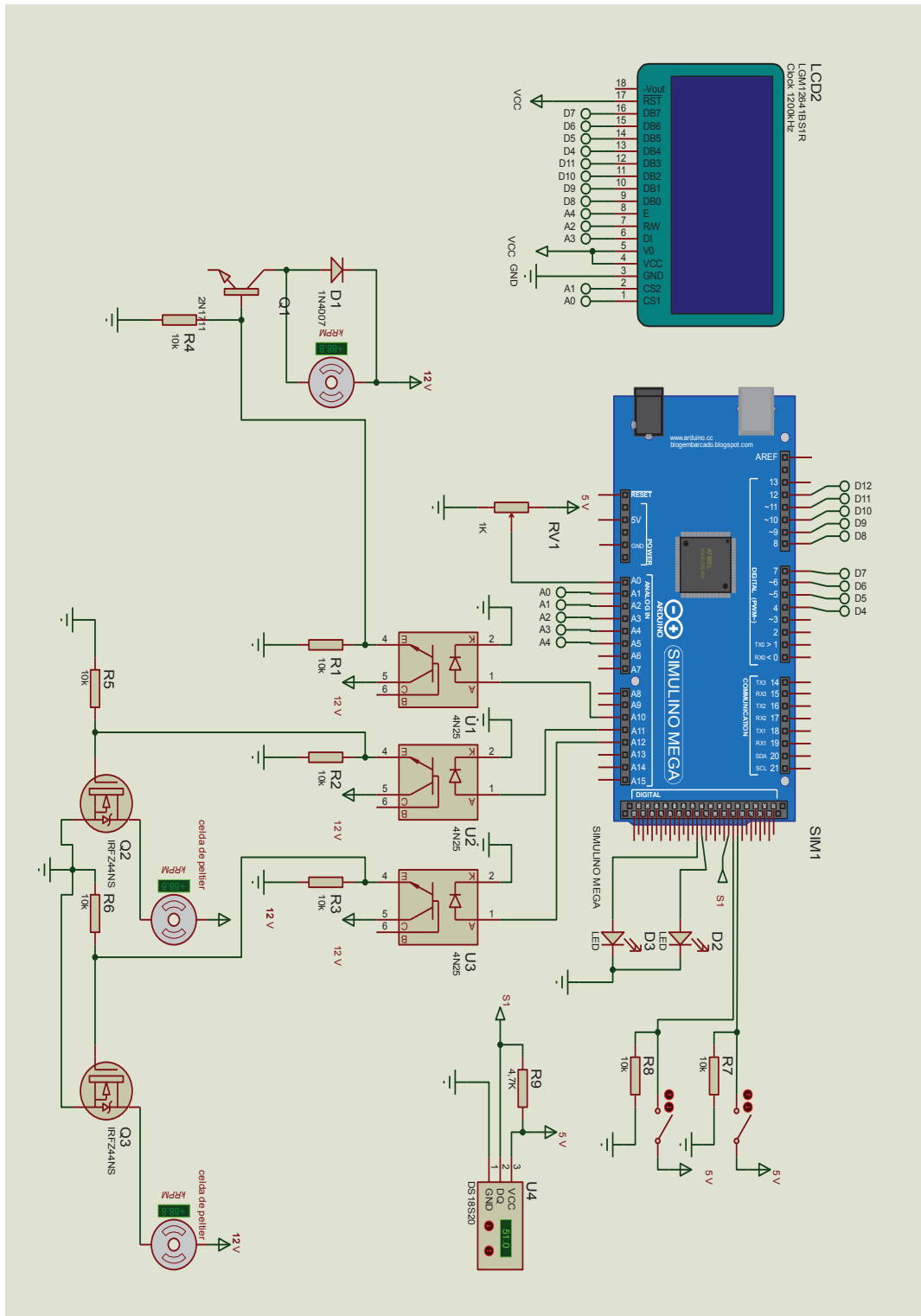
Summary



Microcontroller	ATmega1280
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	128 KB of which 4 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

(ARDUINO, 2016)

Circuito eléctrico



(Elaboración propia)

ANEXO 4

Tabla de datos de la prueba de la cámara.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Voltaje (V)	Corriente (A)	Qabs (W)	Qdis (W)
0	18,06	12	3	11,42	47,42
1	16,81	12	3,1	11,42	48,62
2	15,44	12	3,4	11,42	52,22
3	14,5	12	3,4	11,42	52,22
4	13,81	12	3,4	11,42	52,22
5	13,31	12	3,4	11,42	52,22
6	12,94	12	3,4	11,42	52,22
7	12,56	12	3,4	11,42	52,22
8	12,38	12	3,4	11,42	52,22
9	12,13	12	3,4	11,42	52,22
10	11,94	12	3,4	11,42	52,22
11	11,81	12	3,4	11,42	52,22
12	11,63	12	3,4	11,42	52,22
13	11,55	12	3,4	11,42	52,22
14	11,31	12	3,4	11,42	52,22
15	11,13	12	3,4	11,42	52,22
16	11	12	3,4	11,42	52,22
17	10,88	12	3,4	11,42	52,22
18	10,81	12	3,4	11,42	52,22
19	10,75	12	3,4	11,42	52,22
20	10,63	12	3,4	11,42	52,22
21	10,56	12	3,4	11,42	52,22
22	10,44	12	3,4	11,42	52,22
23	10,38	12	3,4	11,42	52,22
24	10,31	12	3,4	11,42	52,22
25	10,25	12	3,4	11,42	52,22
26	10,19	12	3,4	11,42	52,22
27	10,13	12	3,4	11,42	52,22
28	10,06	12	3,4	11,42	52,22
29	10	12	3,4	11,42	52,22
30	9,9	12	3,4	11,42	52,22
31	9,79	12	3,4	11,42	52,22
32	9,58	12	3,4	11,42	52,22
33	9,45	12	3,4	11,42	52,22
34	9,37	12	3,4	11,42	52,22
35	9,3	12	3,4	11,42	52,22
36	9,17	12	3,4	11,42	52,22
37	8,96	12	3,4	11,42	52,22
38	8,9	12	3,4	11,42	52,22

39	8,75	12	3,4	11,42	52,22
40	8,66	12	3,4	11,42	52,22
41	8,59	12	3,4	11,42	52,22
42	8,54	12	3,4	11,42	52,22
43	8,47	12	3,4	11,42	52,22
44	8,33	12	3,4	11,42	52,22
45	8,25	12	3,4	11,42	52,22
46	8,12	12	3,4	11,42	52,22
47	8	12	3,4	11,42	52,22
48	7,92	12	3,4	11,42	52,22
49	7,87	12	3,4	11,42	52,22
50	7,85	12	3,4	11,42	52,22
51	7,8	12	3,4	11,42	52,22
52	7,71	12	3,4	11,42	52,22
53	7,6	12	3,4	11,42	52,22
54	7,5	12	3,4	11,42	52,22
55	7,5	12	3,4	11,42	52,22
56	7,5	12	3,4	11,42	52,22
57	7,5	12	3,4	11,42	52,22
58	7,5	12	3,4	11,42	52,22
59	7,5	12	3,4	11,42	52,22
60	7,45	12	3,4	11,42	52,22
61	7,4	12	3,4	11,42	52,22
62	7,33	12	3,4	11,42	52,22
63	7,29	12	3,4	11,42	52,22
64	7,2	12	3,4	11,42	52,22
65	7,12	12	3,4	11,42	52,22
66	7,08	12	3,4	11,42	52,22
67	7,05	12	3,4	11,42	52,22
68	7	12	3,4	11,42	52,22
69	6,98	12	3,4	11,42	52,22
70	6,93	12	3,4	11,42	52,22
71	6,9	12	3,4	11,42	52,22
72	6,87	12	3,4	11,42	52,22
73	6,82	12	3,4	11,42	52,22
74	6,8	12	3,4	11,42	52,22
75	6,77	12	3,4	11,42	52,22
76	6,75	12	3,4	11,42	52,22
77	6,73	12	3,4	11,42	52,22
78	6,71	12	3,4	11,42	52,22
79	6,69	12	3,4	11,42	52,22
80	6,67	12	3,4	11,42	52,22
81	6,6	12	3,4	11,42	52,22

82	6,5	12	3,4	11,42	52,22
83	6,3	12	3,4	11,42	52,22
84	6	12	3,4	11,42	52,22
85	5,8	12	3,4	11,42	52,22
86	5,7	12	3,4	11,42	52,22
87	5,5	12	3,4	11,42	52,22
88	5,3	12	3,4	11,42	52,22
89	5,1	12	3,4	11,42	52,22
90	5	12	3,4	11,42	52,22

ANEXO 5

PLANO DE CONJUNTO