



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN REFRIGERADOR TERMOELECTRICO SOLAR PARA ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE DE VACUNAS COVID-19

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

JEFFERSON ALEXANDER CALVACHE BAILON
jefferson.calvache@epn.edu.ec

Ing. Carlos Naranjo Mendoza, PhD.
carlos.naranjo@epn.edu.ec

Quito, noviembre 2021

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **JEFFERSON ALEXANDER CALVACHE BAILON**, bajo mi supervisión.



Ing. Carlos Naranjo, PhD.

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **JEFFERSON ALEXANDER CALVACHE BAILON**, declaro bajo juramento 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.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



Jefferson Alexander Calvache Bailon

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a mi padre Roberto por haberme brindado su apoyo y confianza desde siempre, por enseñarme a no rendirme y superar las adversidades. A mis tíos; Gladys, José y Rafael, por ser mi segunda familia y por enseñarme a perseguir los objetivos que me he propuesto, sin ellos nada de esto sería posible. A mis primos; Evelyn y Andrés por hacerme sentir parte de su familia, por las enseñanzas y los consejos brindados durante todo este tiempo, gracias por ser un gran ejemplo a seguir.

AGRADECIMIENTO

A la Escuela Politécnica Nacional por ser cuna de anécdotas y enseñanzas no solo a nivel educativo, si no a nivel personal. Por la formación prestada para poder cumplir con mi labor profesional con confianza y determinación.

A mis amigos con los que compartí durante la carrera, en especial a Víctor Aguilar, Xavier Aman, Patricio Guayasamín, Luis Palacios, Jefferson Medina, Mateo Narváez, Diego Bustamante, gracias por estar en los buenos y malos momentos. Quiero agradecer también a quienes forman parte del grupo “LOS MAMADITOS”, su amistad fue un apoyo fundamental durante toda la carrera.

“La amistad duplica las alegrías y divide las angustias por la mitad”

Francis Bacon

ÍNDICE

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
INDICE DE FIGURAS.....	viii
INDICE DE TABLAS.....	ix
RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
Objetivo general	5
Objetivos específicos	5
1. MARCO TEÓRICO.....	6
1.1 Antecedentes.....	6
1.2 Generalidades de las vacunas.....	7
1.3 Transporte y conservación de vacunas.....	7
1.3.1 Cadena de frío.....	7
1.3.2 Transporte.....	8
1.3.3 Almacenamiento.....	8
1.4 Consideraciones técnicas para contenedores de vacunas.....	9
1.5 Fenómeno termoeléctrico y efecto Peltier.....	10
1.5.1 Celda Peltier.....	13
1.5.2 Criterios de selección de una celda Peltier.....	15
1.5.3 Módulos Peltier.....	16
1.6 Energía solar.....	18
1.6.1 Efecto fotovoltaico.....	19
1.6.2 Baterías.....	21
1.7 Sistema de control.....	21

1.7.1	Arduino	21
1.7.2	Sensores de temperatura	22
2.	METODOLOGÍA	23
2.1	Generalidades	23
2.2	Criterios de diseño.....	25
2.2.1	Capacidad del contenedor.....	25
2.2.2	Materiales de la cámara	26
2.2.3	Consideraciones geográficas.....	27
2.3	Cálculo de cargas térmicas.....	31
2.3.1	Carga de transmisión.....	31
2.3.2	Carga del producto	34
2.3.3	Carga por intromisión de aire.....	35
2.3.4	Carga total.....	36
2.4	Dimensionamiento del sistema termoelectrico	37
2.5	Sistema de control	41
2.5.1	Sensores de temperatura	41
2.5.2	Optoacoplador	42
2.5.3	Buzzer	42
2.5.4	Modulo RTC	43
2.5.5	Modulo microSD	43
2.5.6	Pantalla LCD y modulo I2C.....	44
2.5.7	Relé.....	44
2.6	Programación de la placa Arduino.	45
2.7	Dimensionamiento de la batería	46
2.8	Dimensionamiento del sistema fotovoltaico	49
2.8.1	Simulación de panel fotovoltaico.....	50
2.9	Construcción del prototipo	52
2.9.1	Construcción de la cámara	52
2.9.2	Ensamblaje modulo Peltier	54

2.9.3	Construcción del sistema de control.	55
2.10	Costos	57
2.11	Análisis energético.....	58
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
3.1	Prototipo final.....	59
3.2	Resultados del análisis energético.....	59
3.3	Pruebas del equipo sin carga	60
3.4	Prueba del equipo con carga	61
3.5	Prueba del sistema de control.....	62
4.	CONCLUSIONES	64
4.1	Trabajos futuros.....	65
	Referencias Bibliográficas	66
	Anexos	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Distribución de vacunas, sensores y acumuladores de frío.....	10
Figura 1.2 Efecto Seebeck.....	11
Figura 1.3 Uniones de semiconductores N-P-N	11
Figura 1.4 Celda Peltier	12
Figura 1.5 Esquema de una celda Peltier	13
Figura 1.6 Flujos de calor que actuan en una celda Peltier	14
Figura 1.7 Módulo Peltier y sus componentes	17
Figura 1.8 Enfriamiento de espacios mediante módulo Peltier.....	18
Figura 1.9 Componentes de la celda solar.....	19
Figura 1.10 Partes del panel fotovoltaico	20
Figura 2.1 Metodología del caso de estudio.....	24
Figura 2.2 Distribución de temperaturas durante el día.....	28
Figura 2.3 Distribución de temperaturas durante la noche	29
Figura 2.4 Velocidad del viento en la provincia de Orellana.....	30
Figura 2.5 Irradiancia típica en Orellana.....	30
Figura 2.6 Curva universal de rendimiento.....	39
Figura 2.7 Placa Arduino	41
Figura 2.8 Módulo Optoacoplador.....	42
Figura 2.9 Buzzer	43
Figura 2.10 Módulo RTC.....	43
Figura 2.11 Módulo microSD	44
Figura 2.12 Pantalla LCD acoplada al módulo I2C.....	44
Figura 2.13 Relé de potencia	45
Figura 2.14 Flujograma del sistema de control.....	45
Figura 2.15 Bateria First Power modelo FP12180.....	48
Figura 2.16 Conexión Virtual del panel fotovoltaico para la simulación	50
Figura 2.17 Configuración de las características técnicas del panel.....	50
Figura 2.18 Curva característica del panel a) Simulación realizada en Matlab b) Ficha técnica del fabricante	51
Figura 2.19 Simulación del panel en Simulink con los valores de laboratorio.....	51
Figura 2.20 Potencia entregada por el panel obtenida mediante simulación.....	52
Figura 2.21 Capas de Alucubond y PIR que conforman las paredes del prototipo.....	53
Figura 2.22 Cara superior del prototipo.....	53
Figura 2.23 Representación de la cámara ensamblada	54
Figura 2.24 Módulo Peltier.....	55

Figura 2.25 Diagrama del circuito de control	56
Figura 2.26 Sistema de control ensamblado	57
Figura 3.1 Pototipo final	59

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Posibles materiales a utilizar	26
Tabla 2.2 Propiedades y características del PIR	26
Tabla 2.3 Características panel de Alucubond	27
Tabla 2.4 Conductividad térmica de los materiales a usar en el prototipo	32
Tabla 2.5 Área de las superficies de la cámara	32
Tabla 2.6 Ganancia por efecto solar	32
Tabla 2.7 Calor absorbido por las paredes durante el día	33
Tabla 2.8 Calor absorbido por las paredes durante la noche	33
Tabla 2.9 Propiedades psicrometricas del aire	36
Tabla 2.10 Cargas térmicas totales del sistema	37
Tabla 2.11 Ficha tecnica placa Peltier TEC-12706	38
Tabla 2.12 Dimensiones de los elementos del modulo Peltier	40
Tabla 2.13 Ficha técnica del sensor DS18B20	41
Tabla 2.14 Consumo de los componentes del sistema de control	46
Tabla 2.15 Propiedades del panel fotovoltaico	49
Tabla 2.16 Costos de los materiales usados para la construccion del prototipo	58

RESUMEN

En el presente trabajo se diseñó y construyó un prototipo de refrigerador termoeléctrico con la capacidad de funcionar mediante energía solar y energía convencional con el fin de almacenar y transportar vacunas COVID-19. El prototipo fue diseñado tomando en cuenta las recomendaciones brindadas por la Organización Mundial de la Salud, lo que garantiza la inmunogenicidad de los viales. Además, se diseñó un sistema de control que permite mantener un ambiente adecuado para el almacenamiento de las vacunas. El sistema termoeléctrico consta de un módulo Peltier, el cual fue seleccionado mediante el cálculo de las cargas a las que se va a exponer. Para la selección del panel solar, se realizó una simulación en Simulink en la que se utilizaron datos reales de irradiancia de la provincia de Orellana, ya que esta alberga varias comunidades a las que difícilmente llegan vacunas debido a su ubicación geográfica. Para el sistema de control se utilizó una placa Arduino, programada en lenguaje C++ para controlar los sensores y actuadores que forman parte del prototipo. En las pruebas de funcionamiento se logró enfriar el interior del prototipo hasta llegar a los 5°C en un tiempo aproximado de 2 horas, y el sistema de control logró mantener la temperatura en un rango entre 4,5°C y 5,5°C. Así mismo mediante la simulación realizada se constató que el panel fotovoltaico es capaz de suplir la energía necesaria para el funcionamiento del sistema. El sistema tiene un COP de 0,29 por lo que se encuentra en un valor normal al de otros prototipos de su mismo tipo.

Palabras clave: control, energía solar, prototipo, simulación, termoeléctrico, vacunas.

ABSTRACT

In this work, a thermoelectric refrigerator prototype was designed and built with the capacity to operate using solar energy and conventional energy in order to transport and store COVID-19 vaccines. The prototype was designed following the recommendations provided by the World Health Organization, which guarantees the immunogenicity of the vaccines. A control system was designed to maintain a suitable environment for vaccine storage. The thermoelectric system consists of a Peltier module, it was selected by calculating the thermal loads to which the prototype will be exposed. For the selection of the solar panel, a simulation was carried out in Simulink using real irradiance data from the province of Orellana, as this is home to several communities where it is difficult for vaccines to reach due to their geographical location. An Arduino board was used for the control system, it was programmed in C++ language to control the sensors and actuators that form part of the prototype. In the operational tests, the interior of the prototype was cooled down to 5°C in approximately 2 hours, and the control system managed to maintain the temperature in a range between 4,5°C and 5,5°C. The simulation also showed that the photovoltaic panel can supply the necessary energy for the operation of the system. The system has a COP of 0,29, which is a normal value compared to other prototypes of the same type.

Keywords: control system, solar energy, prototype, simulation, thermoelectric, vaccines.

INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de detener la pandemia generada por el COVID-19, la Agencia Federal de Estados Unidos de administración de drogas y alimentos (FDA por sus siglas en inglés), aprobó el uso de las vacunas desarrolladas por diversas farmacéuticas [1]. La administración de estas tiene como objetivo alcanzar la protección inmunológica poblacional y de esta manera reducir la cadena de transmisión del virus.

De esta manera se busca prevenir el contagio de personas que por algún motivo no puedan acceder a la vacuna y aliviar la congestión del sistema de salud pública, así como evitar la aparición de nuevos brotes de virus e incluso nuevas variantes [2]. Actualmente se cuenta con una amplia variedad de vacunas en el mercado producidas por distintas farmacéuticas. Se tienen vacunas de una sola aplicación (monodosis) o de 4 dosis, dependiendo las indicaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Centro de Prevención y Control de Enfermedades (CDC por sus siglas en inglés).

Actualmente, Ecuador se encuentra ejecutando el plan nacional de vacunación, denominado “Plan Vacunarse”, mismo que tiene como objetivo inmunizar a los habitantes mayores de 16 años tomando en cuenta la capacidad del sistema de salud y la disponibilidad de vacunas en el país [3]. La importación y almacenamiento de las vacunas se encuentra a cargo de diversas empresas farmacéuticas las cuales siguen una rigurosa cadena de frío. En base a esto, se siguen las recomendaciones de los fabricantes para garantizar el buen estado de los viales, mismas que se aplican desde la etapa de fabricación hasta la entrega de los lotes de vacunas en aeropuertos [4].

La distribución de los viales está a cargo del ministerio de salud en conjunto con las fuerzas armadas, mismos que deben asegurar la conservación de los viales desde el aeropuerto hasta su entrega a los puntos de vacunación mientras dure el proceso de inoculación. Para llevar a cabo este proceso, se debe cumplir a cabalidad las recomendaciones otorgadas por la CDC. En el caso de contenedores para transporte y conservación, se recomienda que estos posean un grado farmacéutico, mantener un estricto control de la temperatura en los contenedores, la cual para el caso de todas las vacunas se encuentra en el rango de 2°C a 8°C. Además, se prohíbe el uso de recipientes de alimentos y bebida, refrigeradores domésticos y el uso de hielo seco [1].

En la campaña de vacunación del gobierno dirigida a pueblos y nacionalidades indígenas, afroecuatorianos y montubios se utilizan contenedores que no cumplen con

las recomendaciones de la CDC lo que supone un riesgo para la integridad de las vacunas [5]. A esto se suma también, las condiciones climatológicas a las que se exponen dichos contenedores en las regiones Costa, Sierra y Amazonia del país, perdiendo la trazabilidad de la cadena de frío y exponiendo los viales a condiciones distintas a las recomendadas [6]. El incumplimiento de la cadena de frío en el transporte de los viales tiene como consecuencia la pérdida de la eficiencia de las vacunas y en ciertas ocasiones, la aparición de efectos secundarios en algunos pobladores [7].

En base a esto, para garantizar la estabilidad biológica de las vacunas, el diseño del contenedor y la selección de materiales se realizará tomando como base las recomendaciones de la CDC, OMS y el Comité Asesor de Vacunas (CAV). Para el cálculo de cargas del contenedor se tomará como guía el Handbook de la ASHRAE [8].

Así mismo, se plantea aprovechar el recurso solar con el que cuenta el país mediante la implementación de un panel fotovoltaico como fuente de alimentación del sistema. Esto se realizará con el objetivo de trasladar los viales a lugares donde la red eléctrica no tenga acceso. Además, se desarrollará un sistema integrado de control de temperaturas mediante el uso de sensores para tener un seguimiento del estado de los viales acorde con lo especificado por la OMS [1].

Una vez diseñado el contenedor y seleccionados los materiales se procederá a la construcción del prototipo. Finalmente se procederá a realizar pruebas de desempeño energético, esperando obtener un prototipo que cumpla con las especificaciones de la OMS y mantenga la cadena de frío con el fin de evitar que las vacunas pierdan su poder inmunológico.

Objetivo general

Diseñar y construir un refrigerador termoeléctrico solar para el almacenamiento y transporte de vacunas covid-19.

Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica referente a la conservación de las vacunas utilizadas en Ecuador.
- Diseñar una cámara de refrigeración ideal para el transporte de vacunas basado en celdas Peltier alimentadas por paneles fotovoltaicos.
- Construir la cámara de refrigeración con el sistema de control de temperatura.
- Evaluar el sistema fabricado para comprobar su funcionamiento.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes

El 11 de marzo del 2020 fue declarada oficialmente la pandemia causada por el virus SARS-CoV-2, marcando el inicio de uno de los desafíos sanitarios más grandes a nivel mundial. Con intención de detener la propagación del virus se decretaron estados de emergencia y toques de queda en gran parte del planeta, para así evitar el contacto de las personas portadoras del virus con el resto de la población que se encontraba sana. En Ecuador también se aplicaron los protocolos pertinentes para tratar de precautelar la salud de la población, a pesar de esto varias personas sucumbieron ante esta enfermedad [9].

Mediante el gran esfuerzo de varias farmacéuticas, se logró desarrollar vacunas para disminuir los efectos del virus, mismas que fueron aprobadas en febrero del 2021, obteniendo así una lista de 6 vacunas recomendadas por parte de la OMS. Esto influyó drásticamente para que varios países inicien con la adquisición de vacunas y vacunación de su población. Se iniciaron campañas de vacunación, las cuales tenían como objetivo inmunizar a la población con una sola dosis, pero debido a la resistencia que presentaba el virus se aumentaron a 4 dosis de refuerzo para controlar las distintas mutaciones que sufrió el virus.

Actualmente continúan las campañas de inmunización en el Ecuador, ya que no se ha logrado vacunar completamente a la mayoría de la población. Según estadísticas del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC), el 73.7% de la población cuenta con las dos primeras dosis contra el COVID, el 16.6% cuenta con una sola dosis, es decir tiene la vacuna parcial [10]. El 39.6% de la población cuenta con una dosis de refuerzo y solo el 9% cuenta con la segunda dosis de refuerzo [10]. Uno de los principales impedimentos para lograr una inmunización en todo el territorio nacional es la poca accesibilidad que existe por parte del personal de vacunación a diversas comunidades indígenas debido a su localización.

Con el propósito de llegar a estas comunidades, el ministerio de salud opto por el uso de *coolers* y contenedores, los cuales no cumplen con los requisitos necesarios para mantener los viales en buen estado. En el año 2019, un estudio llevado a cabo en 10 centros de salud de la ciudad de Quito, por parte del Instituto Tecnológico de la Cruz Roja Ecuatoriana (ITSCRE), demostró que tan solo el 52.3% del personal de salud posee conocimiento sobre los procesos y equipamiento necesario para mantener la

cadena de frío de cualquier tipo de vacuna. El 20.5% tiene una idea del proceso y el 27.1% no tiene idea ni recibió capacitación de como seguir la cadena de frío [11]. Este precedente es clave debido a que si no se respeta la cadena de frío, las vacunas pierden su eficiencia y también pueden causar efectos secundarios a la población, así como promover la aparición de nuevas variantes [12].

1.2 Generalidades de las vacunas

Las vacunas son sustancias biológicas que se administran con el fin de generar una respuesta inmunológica a ciertas infecciones o enfermedades, y de esta manera proteger el cuerpo humano [13]. El uso de vacunas permite evitar la propagación de enfermedades graves, además, ha contribuido al control de epidemias como es el caso del COVID-19. Por este motivo, las vacunas deben cumplir con características de inmunogenicidad, es decir generar la respuesta inmunitaria necesaria para proteger el organismo y brindar seguridad mediante el uso de distintas fases de ensayos clínicos previo a ser aprobadas [14].

Cabe recalcar que las vacunas son elementos formados por hidratos de carbono, ácidos nucleicos y ribonucleicos en caso de las vacunas ARNm y diluyentes con compuestos de proteínas, son elementos termolábiles. Esto quiere decir que cambian su composición y eficiencia con la variación de temperaturas y exposición a la radiación. Además, al ser compuestos termolábiles necesitan ser conservadas en ambientes especiales, considerando las recomendaciones del fabricante y los organismos de control [15].

1.3 Transporte y conservación de vacunas

Es fundamental cuidar el transporte y conservación de las vacunas para mantener su eficiencia y propiedades. Por esta razón la cadena de frío es la base del transporte, almacenamiento y manipulación de las vacunas. En base a esto las vacunas para el COVID y otras enfermedades se deben conservar en temperaturas en un rango de 2°C a 8°C.

1.3.1 Cadena de frío

La cadena de frío es el control de las condiciones de luz y principalmente temperatura, en las que se desarrolla todo el proceso de transporte, distribución, almacenamiento y

manipulación de las vacunas. Esto garantiza la eficiencia e inmunogenicidad de las vacunas desde su producción hasta su administración a la población.

Para cumplir a cabalidad con los parámetros de la cadena de frío, se necesita emplear equipamientos específicos, por lo que se distinguen la cadena móvil y la cadena fija. La cadena móvil la comprenden los insumos que se encargan de mantener la temperatura durante el transporte de las vacunas. Mientras que la cadena fija está constituida por los equipamientos que se encargan de almacenar la vacuna en centros de distribución y centros de vacunación por un largo periodo de tiempo hasta ser utilizadas.

En el proceso de la cadena de frío intervienen distintas entidades que controlarán el cumplimiento de esta en las diferentes etapas desde su producción hasta su aplicación. La farmacéutica o productor se encarga de mantener la cadena de frío desde su producción hasta su despacho a los diferentes países. El ministerio de salud y el ejército ecuatoriano deben mantener esta cadena desde la llegada de las vacunas al aeropuerto hasta su distribución en los distintos centros de salud y centros de vacunación [3].

1.3.2 Transporte

El transporte es la etapa esencial de la cadena de frío móvil, por lo que es necesario cumplir las recomendaciones del laboratorio fabricante. Esto se lo realiza en contenedores cuyas características garanticen la conservación de la temperatura ideal durante el recorrido. Además, se utilizan vehículos frigoríficos, contenedores isotérmicos, neveras portátiles y porta vacunas.

Los vehículos frigoríficos son usados para el transporte de un gran número de vacunas y trayectos de larga distancia, ya que cuentan con un sistema autónomo de enfriamiento. Los contenedores isotérmicos sirven para el transporte de pocas dosis y trayectos cortos, son usados también para almacenar viales. Los porta vacunas se usan exclusivamente para el transporte de pocas dosis de vacunas en trayectos muy cortos, ya que pueden mantener el frío por un tiempo máximo de 12 horas [5].

1.3.3 Almacenamiento

El almacenamiento es el eje fundamental de la cadena fija para la conservación de dosis por un largo periodo de tiempo. Esta es la razón por lo que necesita de condiciones altamente controladas y temperaturas muy bajas. Al ser usado para la conservación de grandes cantidades de vacunas se siguen normas más estrictas para su diseño y uso.

Los cuartos fríos son los principales centros de almacenamiento, además, se usan refrigeradores y cajas de frío dependiendo el tiempo y cantidad de vacunas a almacenar. Estos contenedores deben tener un suministro constante de energía eléctrica y un generador de emergencia. También deben disponer de alarmas y termostatos, así como ser de uso exclusivo para vacunas [11].

Existen más elementos para el almacenamiento de vacunas a corto plazo como termos, cajas térmicas y neveras portátiles, los cuales no cuentan con un sistema de enfriamiento propio. Este tipo de contenedores solo pueden ser empleados el día en que se van a usar los viales, ya que no cuentan con un sistema de control de temperaturas [13].

1.4 Consideraciones técnicas para contenedores de vacunas

Con la finalidad de mantener las vacunas en un ambiente controlado y así evitar la pérdida de sus características, las distintas organizaciones y entes reguladores desarrollaron ciertos criterios. Estos se deben tomar en cuenta para el diseño de los contenedores de vacunas. A continuación, se muestran los puntos más importantes [16].

- Si el contenedor cuenta con un sistema de refrigeración propio, este debe tener una conexión a la red y un generador propio en caso de cuartos frigoríficos.
- Los contenedores pequeños deben poseer baterías que se desempeñen como sistema de alimentación de emergencia.
- El sistema debe contar con un termostato para mantener la temperatura de 2°C a 8°C.
- El equipo debe poseer alarmas en caso de que la temperatura se encuentre fuera del rango recomendado.
- El sistema debe contar con un sello hermético en las puertas para evitar cualquier tipo de filtración.
- El sensor de temperatura debe estar sumergido en una solución alcohólica o salina para evitar censar variaciones de temperatura correspondientes a cambios térmicos producidos al abrir las puertas.
- Registrar las temperaturas mediante el uso de un *Digital Data Logger* (DDL) cada 30 minutos o cada hora.

- Se debe contar con espacio para colocar acumuladores de frío, es decir recipientes rellenos de agua, glicol o gel viscoso para ayudar a mantener la temperatura de las vacunas.
- Las bandejas sobre las que se almacenaran las vacunas deben contar con orificios que permitan la circulación de aire y eviten la acumulación de agua.
- Los viales deben tener una separación mínima de 2 cm entre sí y de 2.5 cm de las paredes para evitar el contacto con las mismas.
- Evitar el uso de frigoríficos tipo *No Frost* debido a que no mantienen una temperatura estable en su interior.
- El contenedor debe ser de uso exclusivo de las vacunas, no se debe colocar alimentos ni bebidas.

La CDC recomienda el uso de botellas de agua como acumuladores de frío, así como indica los lugares en los que se pueden colocar [17]. En ciertos casos el uso de botellas de agua como acumuladores está restringido, como es el caso de las vacunas para COVID-19 desarrolladas por AstraZeneca. En base a esto, ellos recomiendan el uso de recipientes con gel viscoso reemplazando las botellas de agua [1]. En la figura 1.1 se visualiza la distribución de algunos componentes del contenedor.

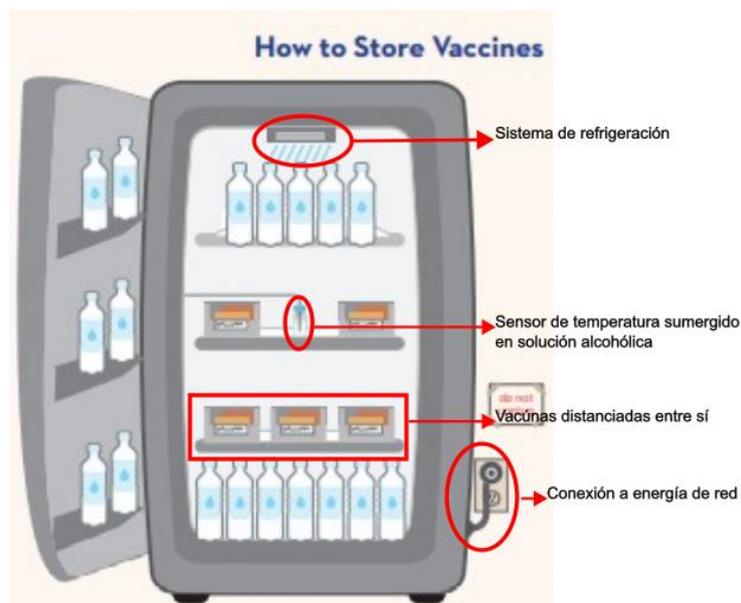


Figura 1.1 Distribución de vacunas, sensores y acumuladores de frío (Fuente:[1])

1.5 Fenómeno termoeléctrico y efecto Peltier

Se denomina fenómeno termoeléctrico a las relaciones existentes entre calor y electricidad. Existen tres efectos físicos que componen el fenómeno termoeléctrico, los cuales son: el efecto Seebeck, efecto Thomson y efecto Peltier.

Thomas Jhann Seebeck descubrió que al formar un circuito cerrado como se indica en la Figura 1.2 mediante la unión de dos metales distintos por un extremo y colocando un voltímetro en el otro, se genera una variación de voltaje al calentar la unión [18]. Esto sucede debido a que, por acción del calor, los electrones se mueven del lado caliente al lado frío. Esta redistribución de cargas y propiedades de los metales favorecen la generación del potencial eléctrico. Actualmente el efecto Seebeck se utiliza para la medición de temperaturas mediante el uso de termopares, la precisión de estos depende del material con que se fabrica el cable del termopar [18].

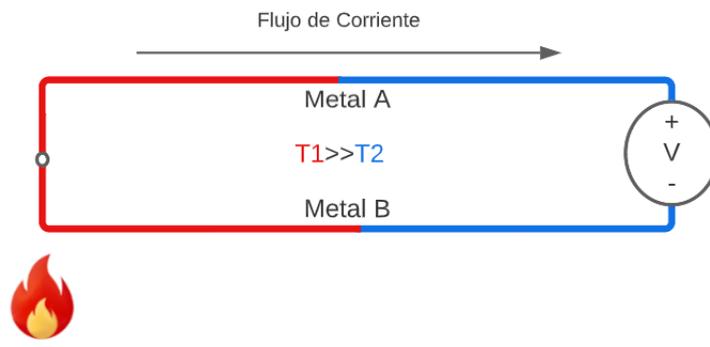


Figura 1.2 Efecto Seebeck
(Fuente:[18])

Jean Peltier descubrió que el efecto Seebeck es reversible, es decir que si a una unión bimetalúca se le aplica un potencial eléctrico esta sufrirá una variación de temperatura. El efecto Peltier indica que, mediante la aplicación del potencial eléctrico, los electrones se redistribuyen, lo cual generan un gradiente de temperatura. Para mejorar la acción de este efecto, se usan uniones de semiconductores tipo-n con uniones tipo-p Figura 1.3 [19].

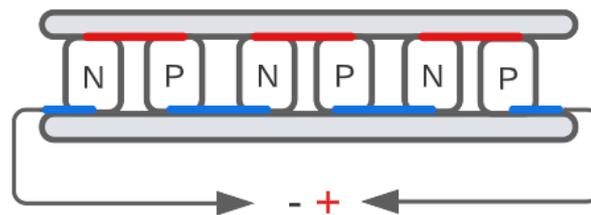


Figura 1.3 Uniones de semiconductores N-P-N
(Fuente:[19])

A este dispositivo se lo denomina celda Peltier, y consta de cientos de uniones semiconductoras conectadas en paralelo. Se alimentan con corriente continua, misma que genera una superficie caliente y una superficie fría en la placa cerámica, estas superficies se pueden cambiar al invertir la corriente como se muestra en la Figura 1.4.

La diferencia de temperaturas entre las caras de la celda Peltier dependerá de los materiales usados y en gran medida del calor que se pueda disipar de la cara caliente [19].

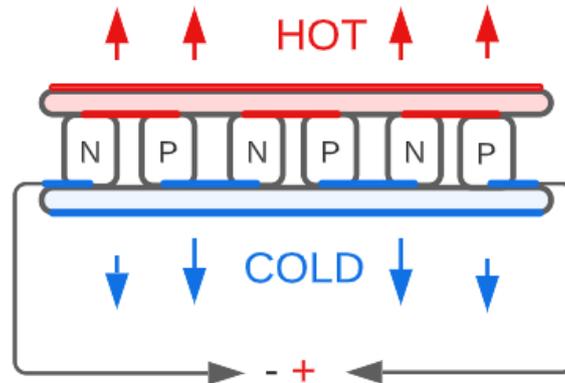


Figura 1.4 Celda Peltier
(Fuente:[19])

William Thomson, observó la relación existente entre los fenómenos descubiertos por Jean Peltier y Thomas Seebeck, y aplicando la teoría de la termodinámica estableció una relación entre los coeficientes de estos dos fenómenos, pero también teorizó la existencia de un conductor homogéneo [18]. Actualmente este fenómeno se conoce como efecto Thomson el cual describe como los materiales con un gradiente de temperatura de dos puntos emiten o absorben calor, esta teoría no se aplica a los superconductores.

En síntesis, podemos resumir que tanto el efecto Seebeck como el efecto Peltier dependen de las propiedades de los termopares involucrados y el fenómeno termoeléctrico que conllevan se debe a la alteración de la energía en el flujo de electrones que existe entre los materiales cuando una corriente pasa de un material a otro y esta alteración de la energía se expresa como enfriamiento o calentamiento. Thomson con sus experimentos demostró que estos efectos aplicados a dispositivos termoeléctricos tienen una amplia gama de aplicaciones, gracias a que se pueden comportar como motores térmicos, ya que aplicando el efecto Seebeck es posible generar electricidad aprovechando el calor y mediante el efecto Peltier es posible crear bombas de calor o refrigeradores mediante el uso de electricidad, pero también demostró que estos efectos no están exentos de fenómenos irreversibles como la conducción térmica y el calentamiento de Joule, haciendo que los termopares sean altamente ineficientes.

1.5.1 Celda Peltier

Para aprovechar el efecto Peltier se desarrollaron las celdas Peltier, las cuales están compuestas por elementos semiconductores, uniones metálicas y placas cerámicas. La celda Peltier es una placa a modo de sandwich, ya que sus extremos están conformados por placas de cerámica y en su interior están dispuestos los semiconductores tipo P y N conectados entre sí mediante un metal conductor. Esta configuración permite que la conversión de energía en calor sea más apreciable, ya que una cara cerámica se calentará y la otra se enfriará. En el caso de cambiar el sentido de la corriente, se invertirá también la cara caliente y la cara fría de la celda Peltier [20]. En la Figura 1.5 se muestra la disposición de los semiconductores sobre la superficie de cerámica, mismos que se encuentran conectados por un metal conector que generalmente suele ser cobre, y a su vez todo el arreglo está conectado a una fuente de corriente [21].

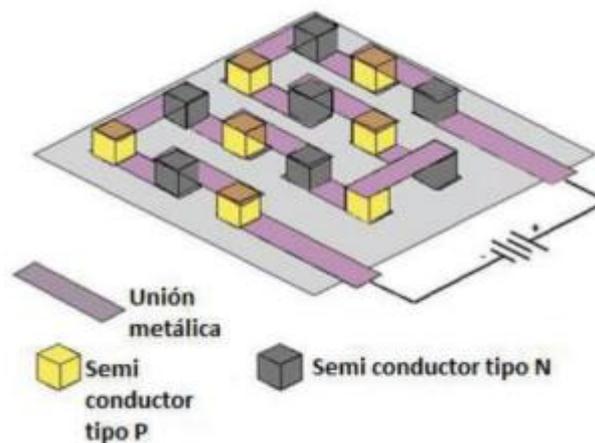


Figura 1.5 Esquema de una celda Peltier
(Fuente:[21])

Es importante mencionar que cada fabricante de celdas Peltier usa una configuración distinta, ya sea en materiales, número de semiconductores, dimensiones y disposición de los componentes, teniendo así una variedad significativa de tipos de celdas Peltier para distintas aplicaciones. Esto provoca que dentro de una misma gama de celdas Peltier se tenga variaciones en la energía absorbida, calor producido y eficiencia energética o COP de las celdas.

El COP se obtiene del cociente entre el calor disipado por la celda y la energía requerida para realizar dicho trabajo. Debido a que es prácticamente imposible que existan procesos ideales, el COP oscila entre valores menores a 1, es decir que mientras más se acerca a 1, la máquina es más eficiente. En el caso particular de la celda Peltier, el

COP se define como la relación entre el calor absorbido y la energía consumida o potencia suministrada al sistema y está dado por la Ecuación 1.1.

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

Ecuación 1.1

Es importante conocer que en la celda Peltier influyen 5 flujos de calor como se muestra en la Figura 1.6. Estos flujos de calor vienen dados por acción del efecto Joule, producido por el calentamiento de los metales por acción de la corriente eléctrica suministrada al sistema. Además, actúan los flujos de calor producidos por el efecto Peltier al absorber y disipar el calor por cada cara de la celda. Por otra parte, se tiene el gradiente de temperaturas producido por el flujo de corriente existente en la placa cerámica que, aunque es muy pequeña existe [22].

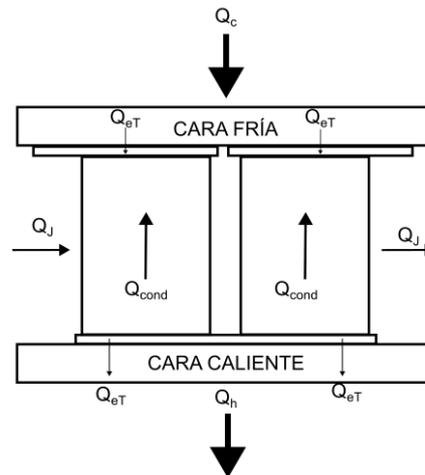


Figura 1.6 Flujos de calor que actúan en una celda Peltier
(Fuente: [22])

- Calor absorbido por efecto Peltier, Q_c
- Calor 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}

Normalmente el COP de sistemas de refrigeración portátiles convencionales y sistemas que usan celdas Peltier es menor a 0,5 para un gradiente de temperatura de 25°C entre caras. Desde el punto de vista energético los sistemas que funcionan mediante el uso de placas Peltier son menos eficientes que los sistemas convencionales. Esto se debe a que el consumo de energía es más alto por el uso de disipadores de calor, ventiladores

y el propio sistema de control, por lo que el diseño de una cámara eficiente se vuelve necesario para disminuir el suministro de energía. Además, la eficiencia obtenida en una celda Peltier llega a ser del 1%, mientras que los sistemas de refrigeración por compresión son del 14%, sin embargo, el uso de una celda Peltier tiene sus ventajas, por ejemplo [23]:

- Necesitan menos espacio, ya que son más compactas
- Al funcionar con corriente continua es fácil hacerlas portables mediante el uso de baterías y sistemas de producción de energía como paneles solares.
- No necesitan de mantenimiento especializado
- Al no usar refrigerantes ni gases contaminantes son más ecológicas
- Son de bajo costo, haciéndolas más accesibles comparado con sistemas convencionales.

Por otra parte, con el fin de disminuir el consumo energético de un sistema conformado por celdas Peltier y con ello mejorar su rendimiento se deben considerar ciertos puntos como los siguientes [24]:

- Seleccionar la celda Peltier adecuada según su aplicación.
- Seleccionar los disipadores adecuados para la celda.
- Usar pasta térmica de buena calidad para mejorar la disipación del calor y absorción de energía en la cámara.
- Se recomienda el uso de ventiladores para favorecer la convección forzada en el disipador.
- Suministrar la energía adecuada a la celda según las temperaturas que deseamos tener, con esto se prolonga la vida útil de la celda y se aprovecha al máximo la capacidad de esta.

1.5.2 Criterios de selección de una celda Peltier

Para proceder a la selección de una celda Peltier es importante tomar en cuenta las siguientes interrogantes [25]:

- ¿Qué se va a enfriar?
- ¿Cuáles son las condiciones ambientales a las que estará expuesto el sistema?
- ¿Cuál es la temperatura a la que se debe enfriar el sistema?
- ¿Qué cantidad de calor se necesita extraer del sistema?
- ¿Cuánto tiempo se necesita para enfriar el sistema?

Luego de resolver estas interrogantes se procede a la selección de la celda Peltier que se ajuste a las necesidades del sistema. Para facilitar la selección de la celda, las casas fabricantes incluyen en sus catálogos los siguientes parámetros:

- Máximo calor disipado y calor absorbido (Q_{max})
- Intensidad máxima de corriente en la entrada (I_{max})
- Voltaje máximo de entrada (V_{max})
- Diferencia de temperatura máxima entre las caras de la celda (ΔT_{max})
- Resistencia del módulo (ohmios)
- Dimensiones de la celda
- Curvas características de la celda, las cuales son:
 - Gráfica calor absorbido (W) VS ΔT_{max} VS Intensidad de corriente (A)
 - Gráfica Voltaje de entrada (V) VS ΔT_{max} VS Intensidad de corriente (A)

Generalmente los fabricantes incluyen calculadoras en sus páginas para ayudar al usuario en la selección de las celdas Peltier. En estas calculadoras el usuario debe ingresar solamente datos como el calor que necesita extraer, la temperatura ambiente y la temperatura del interior de la cámara. Se puede seleccionar las celdas Peltier también mediante un balance de energías, pero en ese caso se necesita información sobre los materiales con los que está construida la celda y demás características difíciles de encontrar.

El procedimiento más común para seleccionar la celda es usar las curvas universales de rendimiento, ya que relacionan el calor absorbido, es decir la carga del sistema, la diferencia de temperaturas en el interior y exterior de la celda, el voltaje y corriente necesarios para llevar a cabo dicho trabajo.

También es posible seleccionar la celda acorde a las curvas características que brinda el fabricante para cada celda. Para ello se deben comparar las gráficas de las curvas características del sistema con las proporcionadas por el fabricante hasta encontrar la que se ajusta a la necesidad del sistema, pero es un método que no se usa debido al porcentaje de error que conlleva usarlo.

1.5.3 Módulos Peltier

Se denomina módulo Peltier al arreglo formado por la celda Peltier, los disipadores de calor y los ventiladores. Este arreglo se realiza con el fin de mejorar la transmisión de calor en ambos lados de la celda. En el lado caliente tiene la función de disipar el calor

generado por la celda, mientras que, en la cara fría favorece a la absorción de calor en la cámara fría. Otra función del módulo es mantener las caras de la celda en temperaturas similares, ya que, si la diferencia de temperaturas llega a ser muy alta, la celda quedará obsoleta [20].

En la Figura 1.7 se muestra un módulo Peltier, el cual posee todas sus partes. Este se encuentra compuesto por disipadores, y ventiladores en ambas caras de la celda y un separador que actúa como aislante entre las dos caras de la celda Peltier.

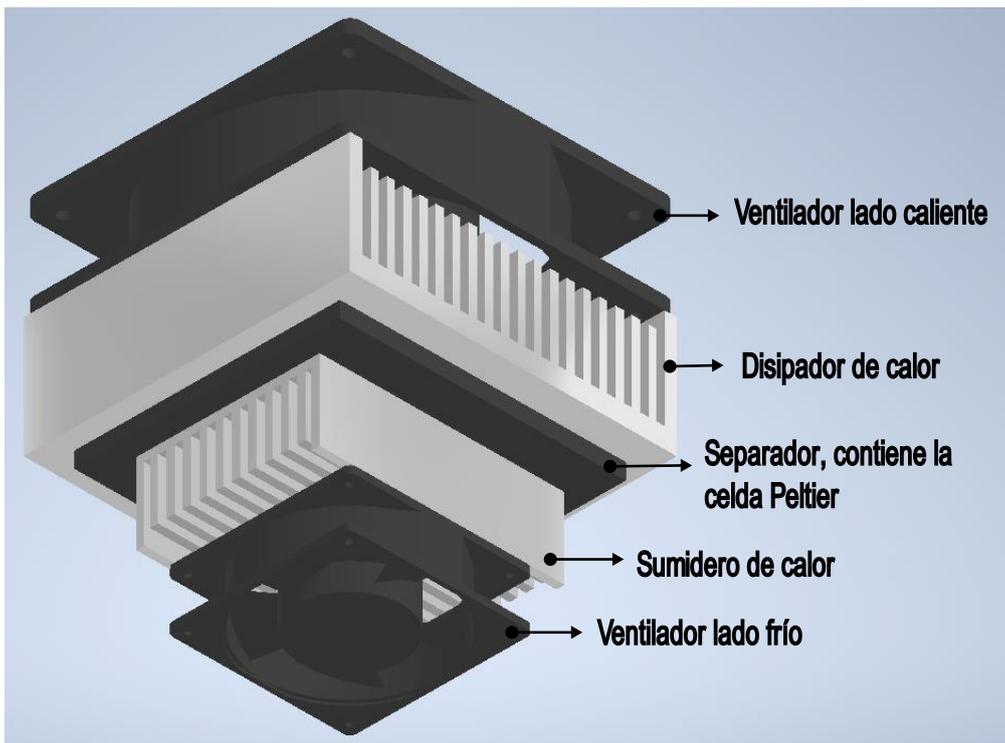


Figura 1.7 Módulo Peltier y sus componentes
(Fuente: Propia)

El sistema de enfriamiento de contenedores funciona como se muestra en la Figura 1.8. En el interior el calor es absorbido por el sumidero y a su vez se disipa por el exterior mediante la ayuda de los ventiladores. Los disipadores y ventiladores influyen en el rendimiento de la celda, es decir si las aletas son demasiado pequeñas o el ventilador no gira a una velocidad adecuada, la celda será menos eficiente [26].

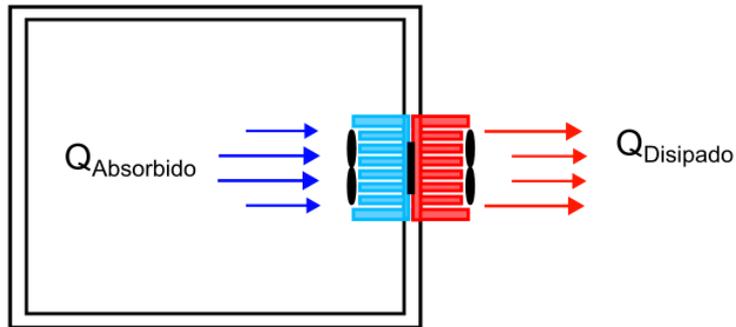


Figura 1.8 Enfriamiento de espacios mediante módulo Peltier
(Fuente: [26])

Actualmente los módulos Peltier ya tienen una configuración predeterminada para cada celda, por lo que solo se debe colocar el kit en el contenedor y el usuario se encarga de controlar las temperaturas del módulo mediante el suministro de energía. Otra forma de conseguir un módulo Peltier es reciclándolo de computadores y proyectores que no se usen o estén fuera de servicio.

1.6 Energía solar

Se denomina energía solar a aquella energía que tiene como fuente el sol. Aproximadamente el 46% de la energía del sol llega a la tierra como forma de luz, otro 46% en forma de radiación infrarroja que percibimos como calor. Se estima también que un 8% de la energía solar llega a la tierra en forma de radiación ultravioleta, la cual se clasifica en radiación UVA, UVB y UVC [27].

Actualmente la energía solar tiene una gran demanda, debido al aumento en los precios del petróleo y el inicio de escasez de energías no renovables. En 1982 se construyó en california el primer parque solar, con una capacidad de 1 MW, marcando un precedente, ya que a partir de aquí se comenzaron a construir más parques solares alrededor del mundo [28]. Entre ellos el parque solar en China cuya capacidad llega a los 850 MW, posteriormente en el 2017 China dispuso recursos para la construcción de una granja solar de 1GW de capacidad.

La luz solar tiene varias formas de ser aprovechadas, entre las cuales están la energía solar térmica, calentamiento solar de líquidos para generadores a vapor, energía fotovoltaica, estanques solares [28]. Estas formas de aprovechamiento también se usan para la calefacción de hogares, oficinas y demás espacios.

1.6.1 Efecto fotovoltaico

Becquerel en 1839 observó como ciertos semiconductores al ser expuestos a la luz solar, mejoraban significativamente su conductividad eléctrica. Con el desarrollo de nuevas investigaciones se evidenció la capacidad de estos materiales de absorber fotones y emitir electrones. Esto se debe a que están conformados por dos bandas de energía, una de conducción (sin presencia de electrones) y una de valencia (cuenta con un nivel de electrones) [29].

El silicio es el semiconductor más empleado en la fabricación de paneles fotovoltaicos, ya que tiene una pureza relativamente alta y es el segundo elemento más abundante en el planeta, haciéndolo ideal para este tipo de aplicaciones [27]. Otra de las razones por las que el Silicio es ideal para la generación de energía, se debe a que se necesita 1,12 eV de energía para lograr que los electrones fluyan a través de la capa de valencia, produciendo energía eléctrica [28]. También es capaz de absorber gran parte del espectro de energía solar. En la Figura 1.9 se muestra la configuración de una celda solar.

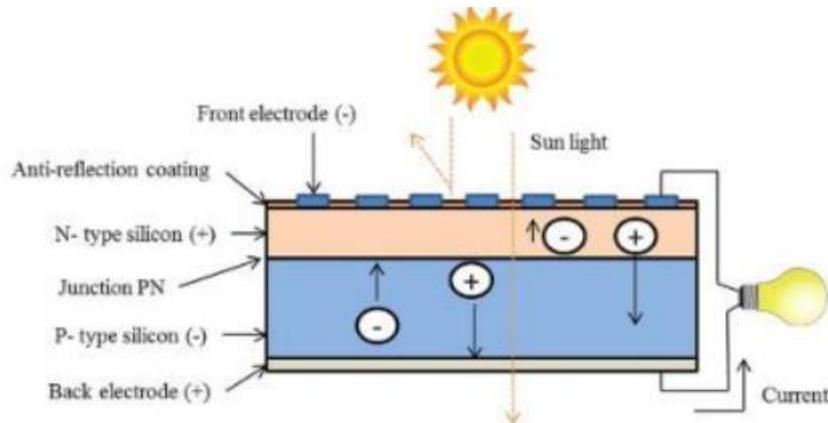


Figura 1.9 Componentes de la celda solar
(Fuente: [28])

Idealmente una celda solar puede producir un vatio de energía al día. Estas suelen tener un tamaño estándar y tienen una coloración azul oscura gracias al encapsulamiento con el que cuentan para su protección.

Los paneles fotovoltaicos son arreglos de celdas solares conectadas en serie o paralelo con la finalidad de transformar la radiación en energía eléctrica. Los paneles fotovoltaicos están conformados por varios componentes con la función de aprovechar

la radiación solar al máximo y alargar su vida útil. Sus principales componentes se muestran en la Figura 1.10 [28]:

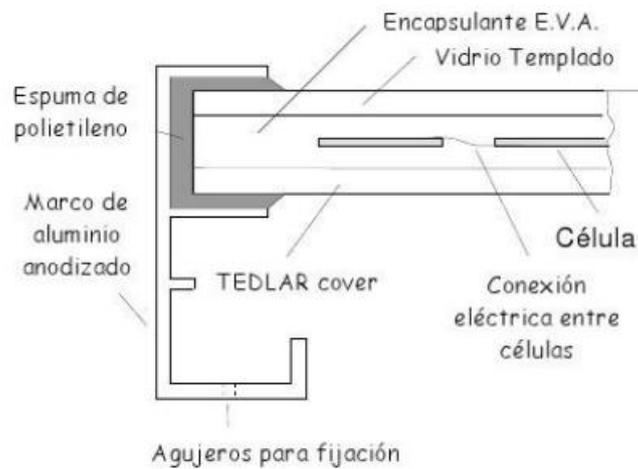


Figura 1.10 Partes del panel fotovoltaico
(Fuente:[28])

- Vidrio Templado: Se ubica en la parte exterior del panel, protege las celdas solares y permite el paso de la luz solar.
- Capa encapsulante: Permite la conducción de la radiación solar, generalmente está compuesto de etil-vinilo-acetileno (EVA) o silicona. También, cumple la función de amortiguar golpes y disminuir las vibraciones a las que pudiese estar expuesto el panel.
- Marco de soporte: Actúa como soporte de todos los componentes del panel y brinda protección más rígida al estar formado por acero inoxidable o aluminio anodizado.
- Contactos eléctricos: se encuentran por debajo de las celdas, conectadas en serie y paralelo para transmitir la energía recolectada, cuentan con protecciones contra agentes atmosféricos y la humedad.

La capacidad energética de un panel solar se mide en vatios pico (Wp), indicando la energía generada por el panel en condiciones de laboratorio o condiciones óptimas de operación. Para seleccionar un panel solar es importante conocer los siguientes parámetros [30]:

- La radiación incidente en el lugar a ser colocado el panel
- Consumo energético por suplir por el panel
- Ángulo de incidencia de la radiación solar en el lugar de funcionamiento del panel
- Temperaturas a las que estará expuesto el panel solar

1.6.2 Baterías

Son elementos con la capacidad de almacenar energía y usarla en cualquier momento, se alimentan con corriente continua, haciéndolas ideales para su uso con paneles fotovoltaicos. Para instalaciones fotovoltaicas que requieren un gran almacenamiento de energía como es el caso de instalaciones domésticas, las cuales usan baterías de plomo ácido o de gel. Son ideales para almacenar la energía excedente producida por el panel fotovoltaico y con ella suplir la energía durante la noche o días nublados [31].

La capacidad de almacenamiento de las baterías se cuantifica en amperios-hora (Ah), indicando la energía que puede proporcionar la batería hasta descargarse. Se denomina ciclo a un periodo de carga completa y descarga de la batería, es importante conocer este dato, ya que los fabricantes proporcionan el número de ciclos de vida promedio de las baterías.

Las baterías solares son especialmente diseñadas para ser usadas con paneles fotovoltaicos por lo que cuentan con un buen ciclo de vida, ya que tienen una vida útil de hasta 6 años en continuo uso. No suelen auto descargarse con el pasar del tiempo y tienen una alta tolerancia a los ciclos de carga profunda, por lo que pueden dejar fluir energía a través de ella una vez estén completamente cargadas [32].

1.7 Sistema de control

Existen varios tipos de sistemas de control, uno de los más básicos es el termostato cuya función es abrir o cerrar un circuito para mantener la temperatura de un espacio en un límite dado. Es muy empleado, debido a su sencillo funcionamiento, ya que cuenta con un termopar que censa la temperatura y un relé interno que abre o cierra el circuito encargado de enfriar el ambiente. Es común encontrar este tipo de sistema de control en automóviles, sistemas de aire acondicionado y climatización en general.

1.7.1 Arduino

Es un microcontrolador programable que cuenta con entradas y salidas, sean digitales o analógicas, permitiendo controlar y manejar una gran cantidad de sensores y actuadores. Existe una amplia gama de modelos de ARDUINO y cada una se utiliza para aplicaciones específicas, ya que cada una cuenta con características únicas.

Arduino tiene una gran ventaja ya que utiliza lenguaje de programación libre basado en C++, pudiendo así crear sistemas autónomos gracias a la amplia variedad de sensores

y actuadores que pueden ser acoplados en esta placa. La plataforma de Arduino posee varias ventajas que son [33]:

- Es libre y extensible en todo sentido: Esto permite al usuario estudiar, ampliar e incluso mejorar el diseño de las placas creando su propia versión de Arduino, enriqueciendo el ecosistema de placas y ayudando a la creación de sistemas de control para aplicaciones concretas.
- Tiene una gran comunidad de soporte: Al usar software libre, mucha gente lo utiliza existiendo así una amplia comunidad con conocimientos y soporte en línea entre usuarios.
- Es multiplataforma: Es posible programar una placa Arduino desde cualquier sistema operativo existente, haciéndolo muy versátil.
- Las placas son económicas: El costo de la placa más sencilla de Arduino oscila entre los \$15 y \$20 haciéndola accesible para cualquier aplicación.
- Son reutilizables y multifuncionales: Es posible usar la misma placa para diferentes proyectos, haciéndola muy versátil y útil en sistemas con múltiples funciones.

1.7.2 Sensores de temperatura

Los sensores de temperatura son usados para medir la temperatura del entorno, teniendo un funcionamiento similar entre sus variedades, pero con pequeñas diferencias como los materiales usados, su tipo de conectividad, etc. Existen algunos parámetros a tomar en cuenta previo a escoger un sensor de temperatura para un proyecto, y estos parámetros son [34]:

- Sensibilidad: Es la cantidad mínima de calor en la entrada, que es capaz de perturbar el voltaje del sensor.
- Precisión: Es el error existente entre la temperatura real y la temperatura censada.
- Rango de medición: Es la temperatura máxima y temperatura mínima en la que va a trabajar el sensor.
- Resolución: Es el valor de temperatura mínimo que detecta la señal de salida.
- Tiempo de respuesta: Es el tiempo que necesita el sensor para cambiar su estado, es decir el tiempo que tarda en producirse una variación.

2. METODOLOGÍA

El presente proyecto tiene como propósito desarrollar un prototipo de contenedor refrigerado para viales de vacunas. El prototipo debe cumplir con las recomendaciones de la organización mundial de la salud a la vez que sea autosustentable. Para el ensamble del prototipo se propone el uso de materiales reciclados.

2.1 Generalidades

La conceptualización de la metodología a emplear en el desarrollo del presente trabajo se presenta en la Figura 2.1. Para la realización del prototipo se inicia con el planteamiento de los objetivos y a su vez se realiza una revisión bibliográfica. La revisión bibliográfica se enfocará en la búsqueda de normativas y recomendaciones para equipos contenedores de viales de vacunas y demás medicinas por parte de los distintos entes reguladores en el ámbito de la salud. Una vez revisada la bibliografía se procederá a enlistar y analizar los criterios de diseño necesarios para cumplir con las recomendaciones anteriormente revisadas.

A continuación, se procederá con el dimensionamiento volumétrico de la cámara frigorífica para contener los viales necesarios para contribuir con la campaña de inoculación. Con las dimensiones de la cámara, se seleccionará los materiales con los que será construida, para lo cual se analizará la conductividad térmica, peso, precio y compatibilidad con los productos a almacenar, en este caso las vacunas.

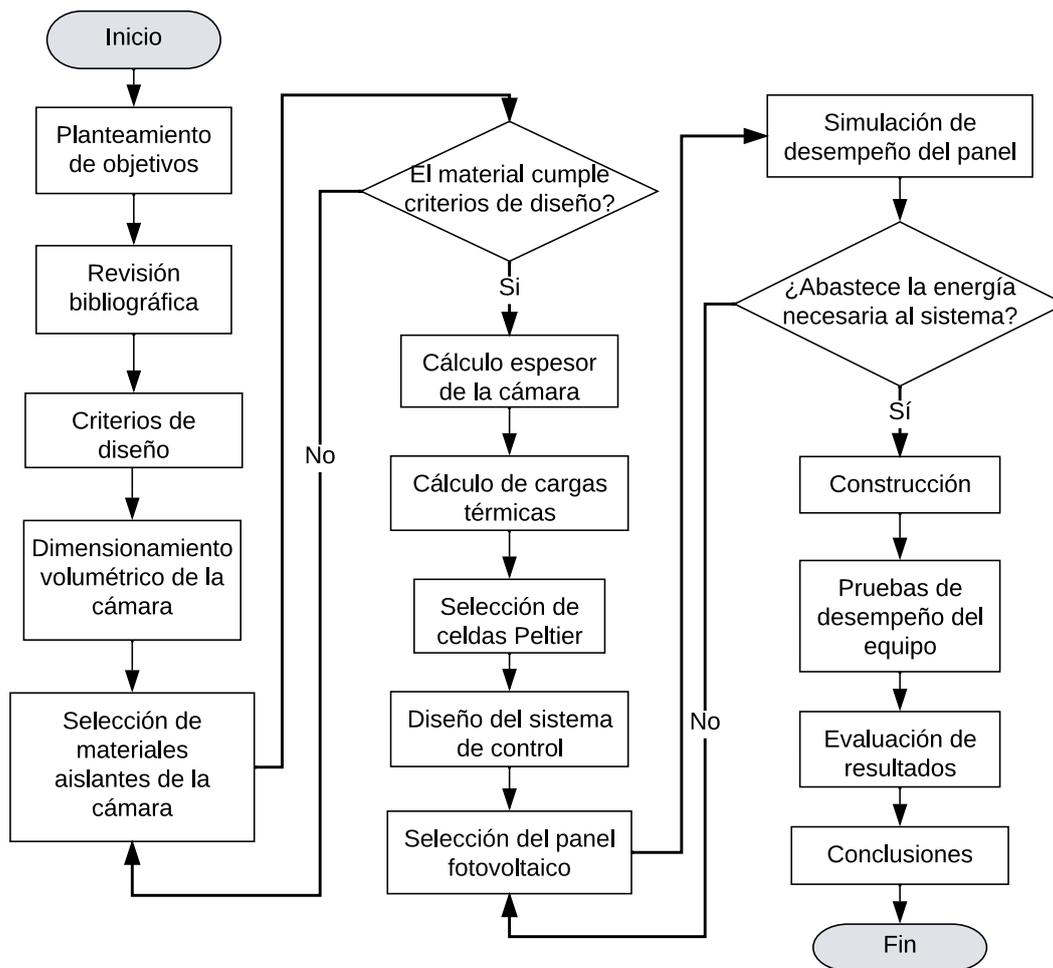


Figura 2.1 Metodología del caso de estudio
(Fuente: Propia)

Una vez seleccionados los materiales que compondrán la cámara, se procederá a calcular su espesor con el fin de aislar lo máximo posible la cámara frigorífica. El espesor dependerá también del grosor del material disponible en el mercado. Con las dimensiones y espesores de las paredes que van a componer el prototipo, se realizará el cálculo de cargas térmicas del sistema, mismas que deben tomar en cuenta las cargas de transmisión, carga del producto y cargas por intromisión. El cálculo de estas se realizará para obtener la carga de enfriamiento inicial, la carga de mantenimiento y para el desempeño del equipo durante el día y la noche.

Con la carga total del sistema se seleccionará el número de celdas Peltier y el modelo que se necesitará para enfriar la cámara. Luego de seleccionar la celda, se procederá con el diseño del sistema de control. El principal objetivo del sistema de control será mantener la cámara en el rango de temperatura ideal para conservar las vacunas. Este sistema será controlado por sensores de temperatura y se encargará también de distribuir la energía proveniente del panel solar hacia el sistema y las baterías.

Una vez diseñado el sistema de control y obtenido el consumo energético de este, se seleccionará el panel solar que pueda abastecer la energía necesaria al sistema. Para asegurarse que el panel elegido es el correcto, se realizara una simulación de desempeño en las condiciones climatológicas del Ecuador y con las características de desempeño dadas por el fabricante. En caso de que el panel cumpla con el abastecimiento de energía necesario, se procederá con la construcción del prototipo, de lo contrario se deberá seleccionar otro panel que si cumpla con este criterio.

Luego de haber seleccionado todos los materiales y componentes del sistema se procederá a realizar un modelo CAD para distribuir los componentes de manera adecuada y luego se construirá el prototipo. Finalmente se realizará las pruebas de desempeño del equipo para comprobar su adecuado funcionamiento y poder analizar la factibilidad de la construcción de más unidades.

2.2 Criterios de diseño

Para realizar un diseño eficiente se deben considerar las recomendaciones dadas por las CDC y las farmacéuticas productoras de las vacunas. En su mayoría, las consideraciones dadas por las distintas farmacéuticas son iguales, difiriendo únicamente en las temperaturas de conservación en congeladores de almacenamiento a largo plazo [1], [17]. Además, se tomará en cuenta los recursos disponibles para la construcción del prototipo. Considerando principalmente los siguientes puntos: la capacidad del contenedor, temperatura de la cámara, cargas térmicas, condiciones climatológicas y el gasto energético para diseñar el sistema de control.

2.2.1 Capacidad del contenedor

La CDC en colaboración con los fabricantes de vacunas ofrecen una amplia variedad de kits para facilitar la adquisición de las distintas vacunas. Estos kits están conformados por los viales y un contenedor pequeño que sirve solo para su almacenamiento y no cuenta con un sistema de enfriamiento propio. Según el ministerio de salud, los centros de salud ubicados en zonas rurales deben disponer de 10 a 40 dosis de distintas vacunas [4]. Para este caso se tomó como referencia el kit de 100 viales de 5 ml, mismos que contienen 5 dosis de vacuna, las características del kit se muestran en el ANEXO I. Las dimensiones del kit son de 355,6 mm x 330,2 mm x 228,6 mm [5].

Para el prototipo se empleará materiales reciclados, por lo que las dimensiones serán de 200 mm x 200 mm x 300 mm. La reducción de las dimensiones no afecta la capacidad del contenedor, ya que el kit referenciado sirve también para almacenar jeringas,

algodón y demás elementos auxiliares. Este prototipo contempla únicamente el almacenamiento de los viales que necesitan ser refrigerados, aumentando así la capacidad de almacenamiento de viales.

2.2.2 Materiales de la cámara

Los materiales que conforman la envolvente de la cámara deben ser aislantes térmicos y también deben evitar la proliferación de virus y bacterias. La función principal de la envolvente es crear una barrera que permita mantener estable la temperatura del interior de la cámara. Se debe tomar en cuenta también que el material sea “inerte”, ignífugo y que dificulte o imposibilite el crecimiento de hongos, microbios y también la formación de óxido [1] Con el fin de mantener un diseño económico y funcional, se tomará en cuenta los materiales mostrados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1 Posibles materiales a utilizar

Propiedades	Poliisocianurato	Poliestireno expandido	Poliuretano
	PIR	EPS	PUR
Densidad [Kg/m ³]	34-45	10-18	30-70
Temperatura de operación	-200°C a +120°C	-200°C a +120°C	-62°C a +93°C
conductividad térmica [W/mK]	0,022	0,030	0,036
Incombustibilidad	Alto bajo norma M1 NFP92501	Auto extinguido	Bajo
Resistencia al fuego	Medio-Alto	Bajo	Bajo

Fuente ([35])

Teniendo en cuenta las propiedades presentadas en la Tabla 2.1, el material a usar será el Poliisocianurato (PIR) debido a su baja conductividad térmica y resistencia al fuego. Este material se consigue en forma de panel tipo sándwich y es muy usado en la elaboración de ductos de ventilación, por lo que posee certificaciones de calidad haciéndolo ideal para esta aplicación. Es importante mencionar que este panel es compuesto por aluminio y PIR, lo cual impide el crecimiento de hongos y bacterias. En la Tabla 2.2 se muestran las características del panel elegido.

Tabla 2.2 Propiedades y características del PIR

Dimensión y tolerancia	20,5 mm ISO 1923 standard
Aislante	PIR Expandida
Conductividad y tolerancia	0,021 W/m°C ISO 8302

Temperatura de trabajo	-30 a +65
Espesor aluminio externo	80 micras

(Fuente: [35])

Adicionalmente se considera el uso de Alucubond para la parte interior y exterior de la cámara, debido a su dureza y composición. Este material es empleado para evitar daños en el prototipo durante su uso, ya que el PIR es un material fácil de dañar es decir tiene función aislante y de soporte estructural. En la Tabla 2.3 se indican las características del Alucubond.

Tabla 2.3 Características panel de Alucubond

Grosor	3 mm
Conductividad térmica (w/mK)	1,99
Resistencia al fuego	Muy Alta

(Fuente: [36])

2.2.3 Consideraciones geográficas

Las condiciones climatológicas serán consideradas en la región amazónica, en las provincias de Orellana y Sucumbíos. En estas provincias se concentra la mayoría de la población indígena de la amazonía y estas no cuentan con la infraestructura necesaria para el almacenamiento de vacunas y medicamentos, así como puntos de vacunación ya que habitan en zonas de difícil acceso [37]. Adicionalmente, esta provincia cuenta con un recurso solar anual de $4,8 \text{ KWh}/\text{m}^2$ al día, lo que la hace ideal para el uso del equipo a construir [38].

En la Figura 2.2 se muestra una gráfica de los datos de temperatura proporcionados por *Climate Onebuilding* para un año meteorológico típico. Se procede a escoger la temperatura de trabajo según el criterio del 1% en las temperaturas más altas, teniendo una temperatura de trabajo de $31,5^\circ\text{C}$ durante el día [39].

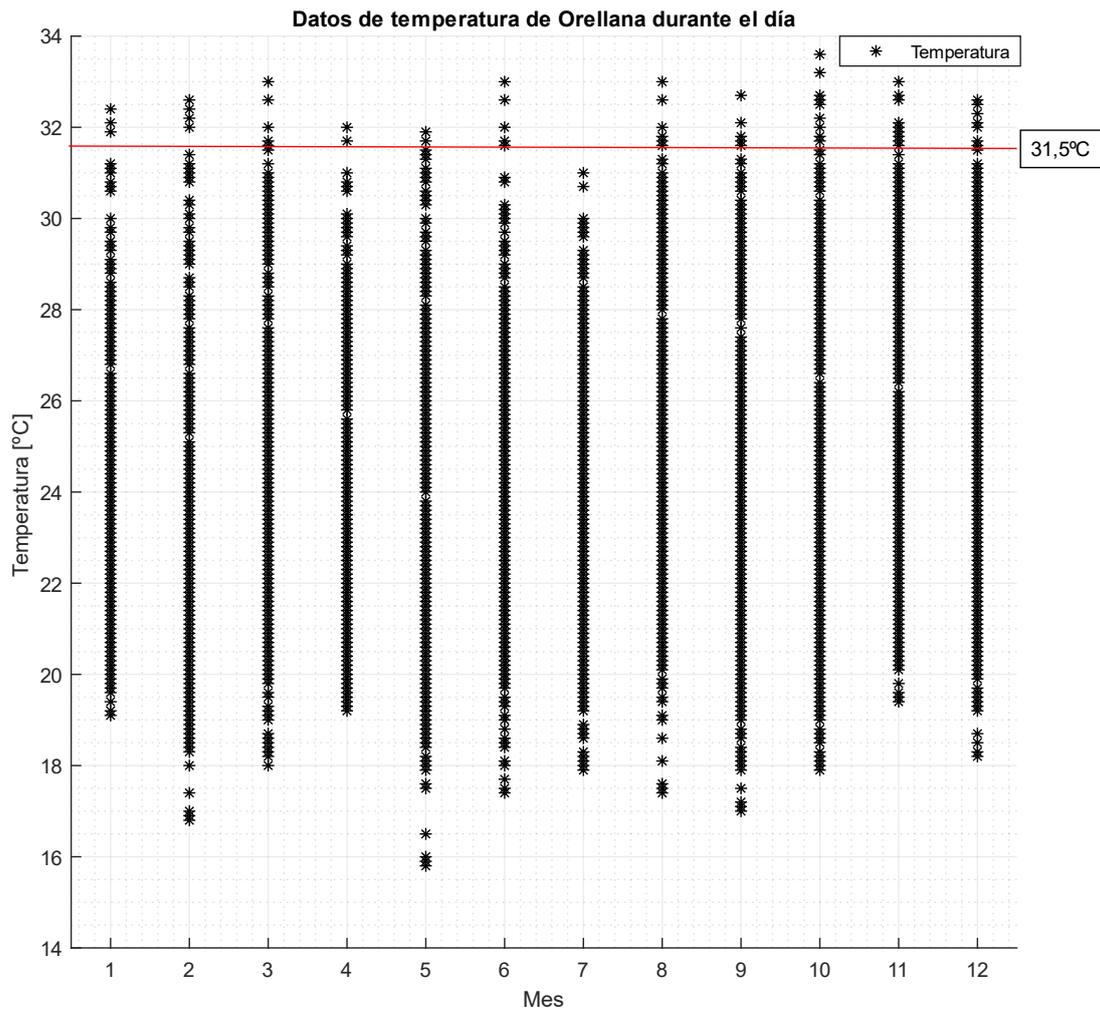


Figura 2.2 Distribución de temperaturas durante el día
(Fuente: [39])

Es importante conocer también la distribución de temperaturas durante la noche, ya que el prototipo seguirá en funcionamiento. Al estar expuesto a temperaturas menores que las del día, el trabajo realizado por el sistema será menor. Por recomendación de la CDC el equipo debe permanecer cerrado por 12 horas ya sea en el día o la noche [1]. En la Figura 2.3 se visualiza la distribución de temperaturas durante la noche de un año meteorológico típico. Usando el mismo criterio del 1% se tiene que la temperatura de trabajo durante la noche será de 25,5°C.

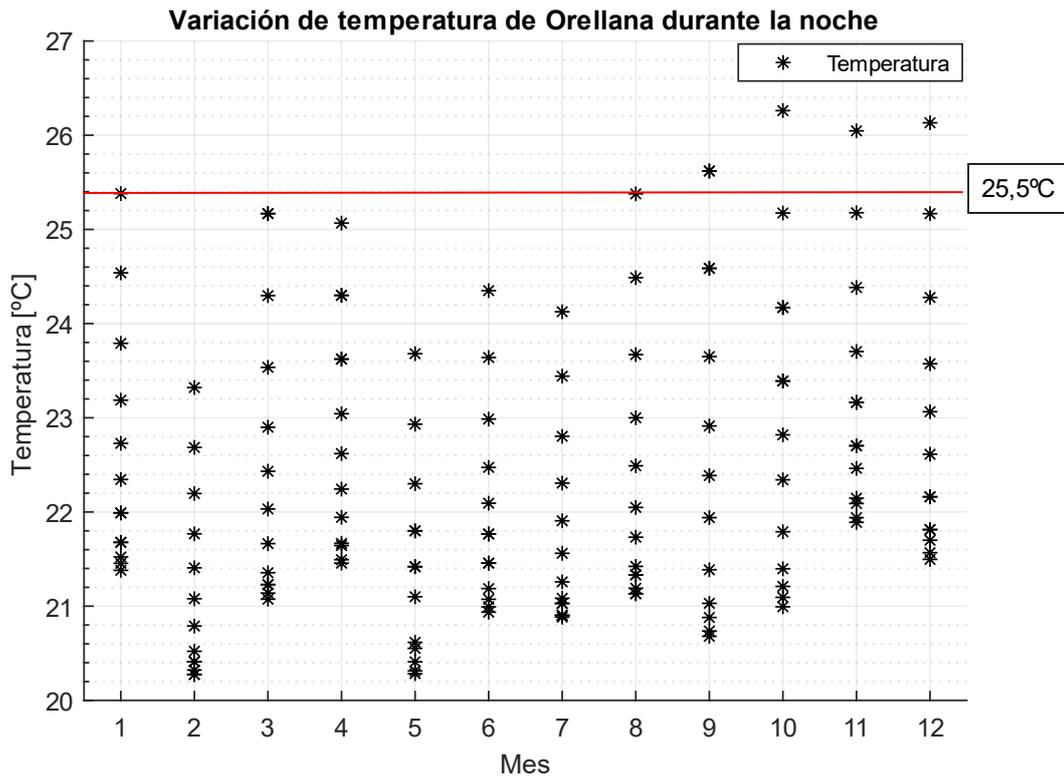


Figura 2.3 Distribución de temperaturas durante la noche
(Fuente: [39])

Otro parámetro importante que tomar en cuenta es la velocidad del viento en la zona, esto nos permitirá calcular las cargas por infiltración. Este valor se usa también para escoger el coeficiente de convección en las paredes del prototipo. La velocidad del viento se muestra en la Figura 2.4.

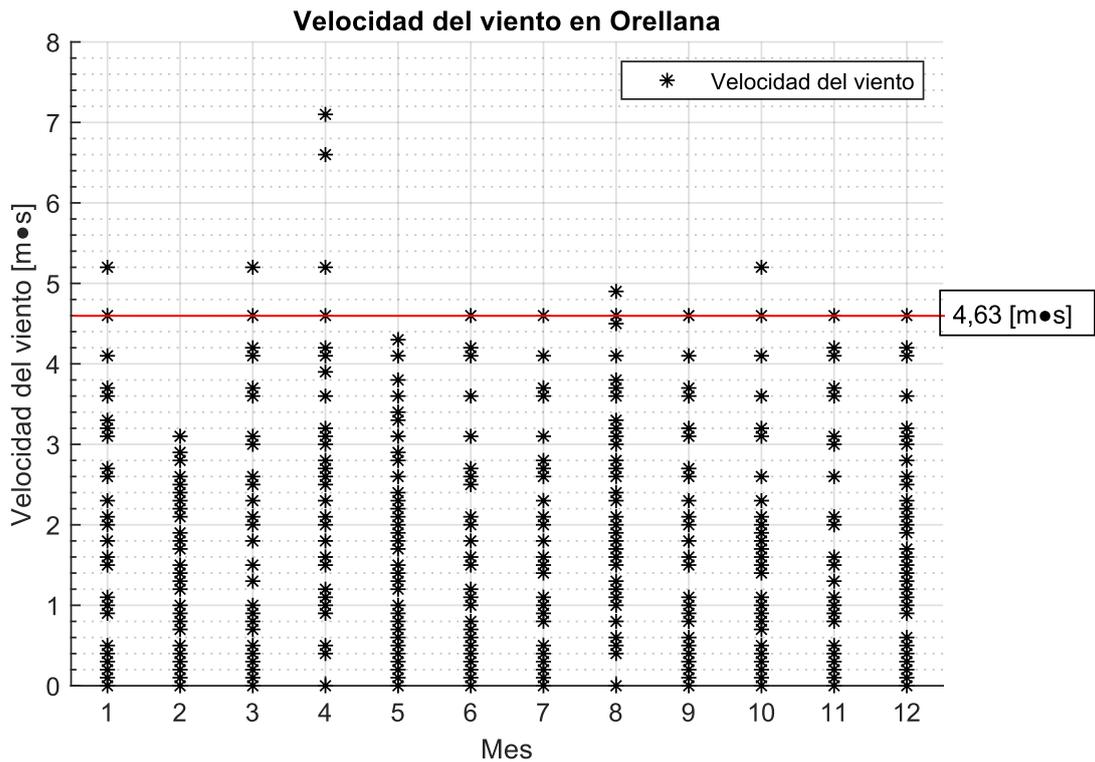


Figura 2.4 Velocidad del viento en la provincia de Orellana
(Fuente: [39])

En la Figura 2.5 se muestra la irradiancia en Orellana a lo largo de un año meteorológico típico. Este dato es importante ya que es el factor principal que nos dará una idea del desempeño del equipo en condiciones reales.

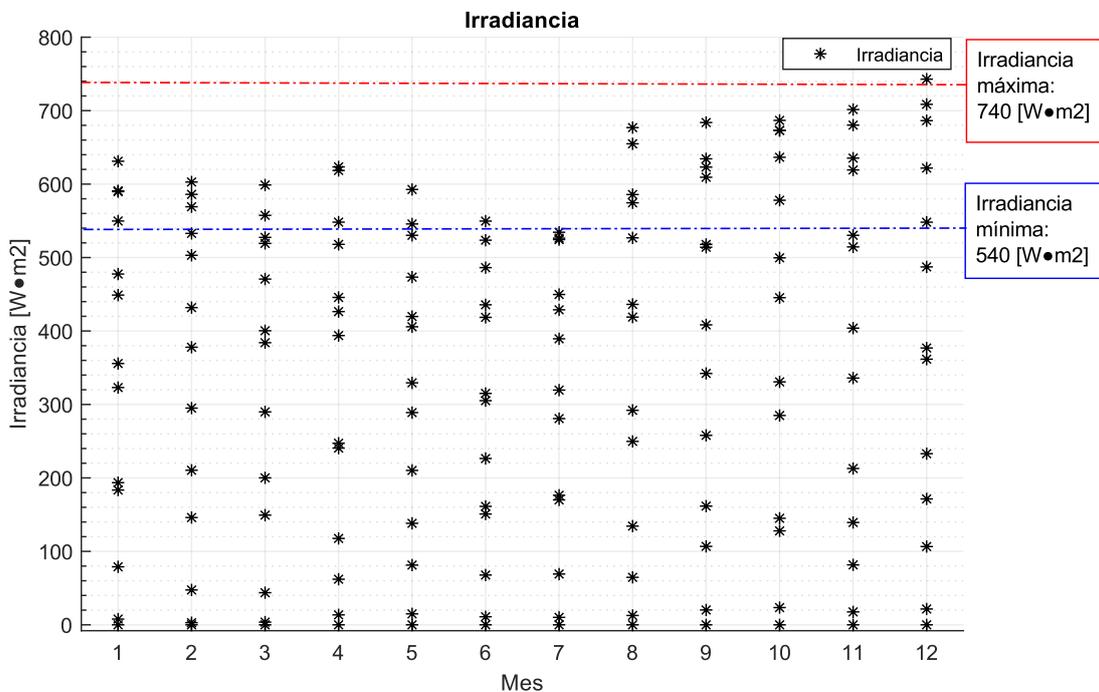


Figura 2.5 Irradiancia típica en Orellana
(Fuente: [39])

2.3 Cálculo de cargas térmicas

Se procede a calcular las cargas térmicas a las que estará sometido el prototipo. El análisis matemático que se realizará es el cálculo de cargas térmicas por transmisión, cargas del producto y la carga por intromisión usando como guía las ecuaciones dadas en el handbook de la ASHRAE [8].

2.3.1 Carga de transmisión

Para realizar el cálculo de la ganancia de calor por las paredes se usa la Ecuación 2.1:

$$Q_{tr} = UA(\Delta T + k)$$

Ecuación 2.1

Donde:

A = Área de la pared m^2

ΔT = Diferencia de temperatura del aire en el interior y exterior del contenedor

k = Valor de compensación por causa del efecto solar en exteriores

El cálculo del coeficiente de transferencia de calor U se realiza mediante la Ecuación 2.2:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{x}{k} + \frac{1}{h_o}}$$

Ecuación 2.2

Donde:

U = Coeficiente de transferencia de calor, $W/(m^2 \cdot K)$

x = Espesor de la pared, m

k =Conductividad térmica de la pared, $W/(m \cdot K)$

h_i =Coeficiente de convección interno, $W/(m^2 \cdot K)$

h_o =Coeficiente de convección externo, $W/(m^2 \cdot K)$

Siguiendo la guía del Handbook de la ASHRAE, en caso de que el refrigerador se encuentre al aire libre, h_i y h_o toman el valor de 9,1 mientras que si la velocidad del viento es igual o mayor a 25 km/h , toma el valor de 34 [8]. De acuerdo con los datos proporcionados en la Figura 2.4, la velocidad del aire en promedio es de 16,99 km/h por lo que el valor a tomar es de 9,1. La conductividad térmica de los materiales a usar en el prototipo se muestran en la Tabla 2.4:

Tabla 2.4 Conductividad térmica de los materiales a usar en el prototipo

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/mK)
Poliisocianurato	0,025	0,021
Alucubond	0,006	0,119
Aluminio	0,0002	205

(Fuente: [35])

Reemplazando los datos en la Ecuación 2.2, se obtiene un coeficiente global de transferencia de calor de $0,668 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$. Una vez obtenido este valor, se procede al cálculo de la carga de las paredes, para lo cual se utilizarán las dimensiones de área mostradas en la Tabla 2.5.

Tabla 2.5 Área de las superficies de la cámara

Superficie	Área [m^2]
Pared lateral	0,059
Pared frontal	0,058
Pared posterior	0,058
Suelo	0,038
Techo	0,038

(Fuente: Propia)

Es importante tomar en cuenta la ganancia de temperatura por radiación en las paredes, por lo que, para compensarlo se ajusta en el término Δt sumando un valor de acuerdo con lo sugerido en la Tabla 2.6.

Tabla 2.6 Ganancia por efecto solar

Ganancia por efecto solar				
Tipo de superficie	Pared Este, K	Pared Sur, K	Pared Oeste, K	Techo Plano, K
Superficies totalmente oscuras	5	3	5	11
Superficie gris	4	3	4	9
Superficies claras	3	2	3	5

(Fuente: [8])

Considerando que el Alucubond es un material de color blanco, tanto las paredes laterales, posterior y frontal adicionan un valor de 3. Mientras que el techo añade un valor de 5 y finalmente la cara que da al suelo no se toma en cuenta al no estar expuesta directamente al sol. Reemplazando los valores en la Ecuación 2.1 se calcula el calor absorbido por las paredes y se muestra en la Tabla 2.7:

Tabla 2.7 Calor absorbido por las paredes durante el día

Superficie	Calor absorbido W
Pared frontal	1,252
Pared posterior	1,252
Pared lateral izquierda	1,22
Pared lateral derecha	1,22
Techo	0,846
Suelo	0,72

(Fuente: Propia)

Debido a que las paredes son simétricas, se tiene la misma cantidad de calor absorbido en las paredes posterior y frontal, así como en las paredes laterales. Finalmente se procede a sumar el calor absorbido por cada pared para obtener la carga total de las paredes durante el día como se indica en la Ecuación 2.3, obteniendo un calor de transmisión de 6,509 W .

$$Q_{tr\ dia} = (2 \cdot Q_{pared\ lateral}) + (2 \cdot Q_{pared\ frontal}) + Q_{techo} + Q_{suelo}$$

Ecuación 2.3

En base a que el prototipo funcionará las 24 horas es necesario realizar el cálculo de la carga de las paredes durante la noche. Para ello se omite el factor de corrección por radiación y la temperatura exterior será de 25,5°C de acuerdo con la Figura 2.3. Los resultados de los cálculos realizados se muestran en la Tabla 2.8.

Tabla 2.8 Calor absorbido por las paredes durante la noche

Superficie	Calor absorbido [W]
Pared frontal	0.894
Pared posterior	0.894
Pared lateral izquierda	0.871
Pared lateral derecha	0.871

Techo	0.568
Suelo	0.568

(Fuente: Propia)

Al efectuar la sumatoria del calor absorbido por las paredes durante la noche se obtiene una carga total de 4,668 W, siendo este menor al calor absorbido durante el día debido a la ausencia de la radiación solar.

2.3.2 Carga del producto

La carga del producto es la cantidad de calor que se necesita extraer del producto, en este caso las vacunas. La cantidad de calor a extraer se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_{pr} = \frac{mC_1(T_o - T_f)}{\Delta t} \cdot 1000$$

Ecuación 2.4

Donde:

m = La masa del producto, kg

C_1 =Calor específico sobre el punto de fusión, $kJ/(kg \cdot K)$

T_o = Temperatura inicial del producto, $^{\circ}C$

T_f = Temperatura final del producto, $^{\circ}C$

Δt = Tiempo estimado de enfriamiento de la carga, s

Considerando que los viales contienen 5 ml de líquido [40], y el contenedor tiene una capacidad para almacenar 120 viales, la masa total a refrigerar es de 600 ml. Las propiedades de las vacunas son semejantes a las del agua, por lo que se considera una masa de 0,6 kg. De acuerdo con la guía de transporte y conservación de vacunas de la OMS, las vacunas deben ingresar a los contenedores de conservación a una temperatura máxima de 8°C, este valor corresponde a la temperatura inicial del producto, mientras que las vacunas se deben mantener a una temperatura de 4°C. Para mantener las unidades de energía en vatios, se divide el resultado en un tiempo estimado de refrigeración, en este caso de 15 minutos. Aplicando la Ecuación 2.4 se obtiene que la carga del producto es de 13,947 W:

Es importante conocer la carga del producto durante la noche, ya que el tiempo en el que se produce la reducción de temperatura es más prolongado debido a que no se abrirá la puerta del prototipo. Además, el sistema mantendrá los viales en un rango de

temperatura de 5°C a 3°C. Mediante el uso de la Ecuación 2.4, se obtiene que la carga del producto durante la noche es de 5,579 W.

2.3.3 Carga por intromisión de aire

Es el calor que ingresa en el contenedor cada vez que se abre la puerta para retirar un vial. La Ecuación 2.5 es recomendada para el cálculo de cargas por intromisión en cámaras frigoríficas expuestas al aire libre.

$$Q_{od} = VA_{puerta}(h_i - h_r)\rho_r D_t$$

Ecuación 2.5

Donde:

V = Velocidad promedio del aire m/s

A =Area de apertura de la tapa m^2

h_i = Entalpia del aire de infiltración kJ/kg

h_r = Entalpia del aire refrigerado kJ/kg

ρ_r =densidad del aire refrigerado kg/m^3

D_t = Porción decimal del tiempo que la puerta permanece abierta

Mientras que, para aperturas irregulares de la puerta, el factor de tiempo de uso de la puerta D_t se calcula mediante la Ecuación 2.6:

$$D_t = \frac{P\theta_p + 60\theta_0}{3600\theta_d}$$

Ecuación 2.6

Donde:

P = es el número de pasos de la puerta

θ_p = es el tiempo de apertura de la puerta por paso en segundos

θ_0 = tiempo que la puerta permanece abierta en minutos

θ_d = periodo de tiempo en horas

Continuando con el cálculo de la porción decimal de tiempo en la que la puerta permanece abierta, se proporciona un estimado del número de veces que se abrirá la puerta y que esta permanezca abierta, ya que esto define el tiempo en el que ocurre la infiltración del aire. Para un estimado de 15 dosis extraídas por hora, y un máximo de 3

minutos de apertura se calcula la porción de tiempo de infiltración usando la ecuación 2.6, obteniendo una porción decimal de 0,508 .

Una vez obtenida la porción decimal de tiempo que permanecerá abierta la puerta, se procede a calcular la carga por infiltración. Usando los datos conocidos de velocidad del viento, área de la puerta y tiempo de apertura de esta, es necesario encontrar la entalpía del aire refrigerado y del aire de infiltración. Para hallar estos valores se hizo uso de un software psicrométrico, en el que se ingresó las temperaturas del interior y exterior de la cámara, así como la humedad relativa del aire. La Tabla 2.9 muestra los resultados obtenidos del software.

Tabla 2.9 Propiedades psicrométricas del aire

Aire a temperatura ambiente		Aire refrigerado	
Temperatura de bulbo seco	31,5°C	Temperatura bulbo seco	5,0°C
Temperatura de bulbo húmedo	30,0°C	Temperatura bulbo húmedo	4,3°C
Punto de rocío	29,6°C	Punto de rocío	3,5°C
Humedad relativa	90,0%	Humedad relativa	90,0%
Humedad absoluta	0,0267 kg/kg	Humedad absoluta	0,0049 kg/kg
Entalpía	99,9 kJ/kg	Entalpía	17,2 kJ/kg
Densidad	1,141 kg/m ³	Densidad	1,265 kg/m ³

(Fuente: [41])

Una vez obtenidas las propiedades del aire, se procede a realizar el cálculo de la carga de infiltración, para lo cual se hizo uso de la Ecuación 2.5 y se obtuvo una carga de infiltración de 4,747 W .

2.3.4 Carga total

Finalmente se procede a realizar la sumatoria de los valores de calor obtenidos como se indica en la Ecuación 2.7. Además, se hace uso de un factor de seguridad de 1,2 como se muestra en la Ecuación 2.8. Esto nos permite obtener un sistema sobredimensionado el cual permite asegurar que el funcionamiento del equipo en condiciones extremas.

$$Q_T = Q_{tr} + Q_{pr} + Q_{od}$$

Ecuación 2.7

$$Q_{T\text{corregido}} = Q_T * 1,2$$

Ecuación 2.8

Donde:

Q_T = Carga total

$Q_{T\text{corregido}}$ = Carga con el factor de corrección

Q_{tr} = Carga de transmisión

Q_{pr} = Carga del producto

Q_{od} = Carga por intromisión

Mediante el uso de la Ecuación 2.7 se obtuvo una carga total de 25,203 W mientras que usando la Ecuación 2.8 se obtuvo una carga total de 30,24W, siendo esta última la carga usada para el dimensionamiento del sistema de refrigeración.

Debido a que por la noche el equipo debe permanecer cerrado, el cálculo de carga por infiltración no es necesario. Por lo que la carga total del sistema durante la noche depende únicamente de la carga de transmisión y la carga del producto, obteniendo de esta manera una carga total de 10,246 W y aplicando el factor de seguridad la carga obtenida es de 12,295 W. Las cargas totales obtenidas se muestran en la Tabla

Tabla 2.10 Cargas térmicas totales del sistema

	Tipo de Carga	Valor W
Día	Carga por transmisión	6,509
	Carga del producto	13,947
	Carga por intromisión	4,747
	Total	25,203
	Total, con factor de seguridad 20%	30,240
Noche	Carga por transmisión	4,668
	Carga del producto	5,579
	Total	10,246
	Total, con factor de seguridad 20%	12,295

(Fuente: Propia)

2.4 Dimensionamiento del sistema termoeléctrico

El dimensionamiento del sistema termoeléctrico se basa en la elección de la placa Peltier, para lo cual es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones [24]:

- Temperatura al interior de la cámara.
- Temperatura ambiente.
- Carga total de la cámara o calor a ser removido.

Con los datos mencionados se procede a elegir un módulo Peltier que cumpla con la carga que se va a trabajar. Una vez escogida la placa, se verifica los parámetros de esta. También se calcula los valores de voltaje y corriente a los que va a funcionar la celda mediante el uso de la curva universal de rendimiento.

Teniendo en cuenta que el calor a sustraer del prototipo es de 30,24 W, se busca una celda Peltier que tenga la capacidad de absorber esta cantidad de calor. Se pueden encontrar en el mercado varios modelos de celdas, entre ellas el modelo más común es la celda TEC-12706, la cual cuenta con las especificaciones mostradas en la Tabla 2.11.

Tabla 2.11 Ficha técnica placa Peltier TEC-12706

Temperatura lado caliente °C	25°C	50°C
Qmax W	51,1	55,4
ΔT °C	67	75
I _{max} A	6	6
V _{max} V	14,5	16,4
Resistencia eléctrica del módulo Ω	2,25	2,54

(Fuente: [42])

En base a las especificaciones detalladas en la Tabla 2.11, es posible calcular la relación de temperaturas del módulo Peltier mediante la Ecuación 2.9 y la Ecuación 2.10 obteniendo un valor de 0,39.

$$R_{Temp} = \frac{\Delta T}{\Delta T_{MaxCelda}}$$

Ecuación 2.9

$$\Delta T = T_{ext} - T_{in}$$

Ecuación 2.10

Donde:

ΔT = Diferencia de temperaturas interna y externa

T_{ext} =Temperatura exterior en °C

T_{int} = Temperatura interior en °C

$\Delta T_{MaxCelda}$ = Diferencia de temperaturas máxima entre las caras de la celda.

R_{Temp} = Relación de temperaturas de la celda Peltier.

Una vez obtenida la relación de temperaturas se debe trazar una línea horizontal en la gráfica de la curva universal de rendimiento en el eje de la relación de temperaturas. En la intersección de la línea trazada con la recta de funcionamiento óptimo se traza una recta vertical y a su vez una curva paralela a las curvas de calor óptimo. De esta manera se obtienen los valores pertenecientes a los cocientes de los valores de corriente ideal y corriente máxima de operación de la celda y los cocientes del calor mínimo y calor máximo que puede extraer la celda como se observa en la Figura 2.6.

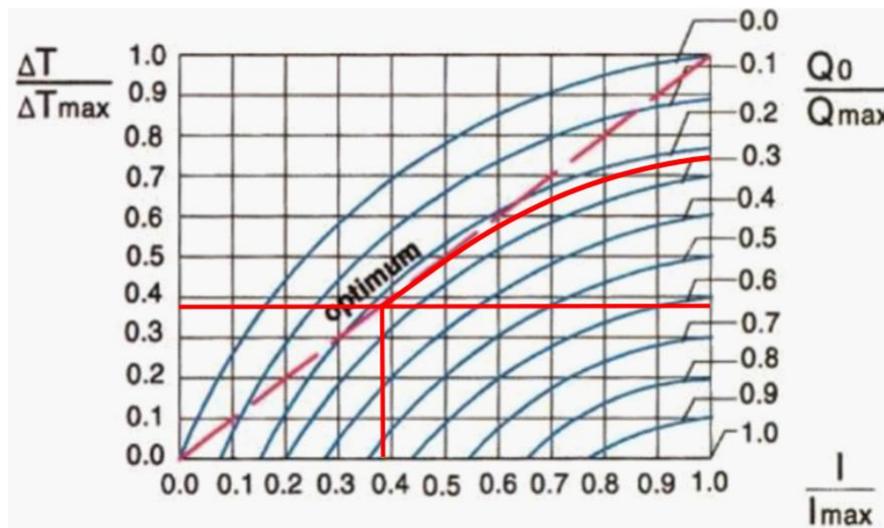


Figura 2.6 Curva universal de rendimiento
(Fuente: [14])

Una vez trazadas las rectas en la curva universal de rendimiento, se obtienen los valores de las relaciones de calor y corriente óptimos y máximos en los que funcionará la celda. La relación de energía Q_0/Q_{max} , servirá para obtener el calor máximo que podrá extraer la celda del ambiente. Mientras que la relación I/I_{max} nos permite encontrar el valor ideal de corriente necesaria para extraer dicho calor. Mediante la Ecuación 2.11 se obtiene el calor máximo que la celda es capaz de absorber y tiene un valor de 41,316 W. Mientras que mediante la Ecuación 2.12 se obtiene el valor de corriente al que la celda debe funcionar para extraer el calor del sistema, el valor de corriente obtenido es de 2,56 A.

$$\frac{Q_0}{Q_{max}} = 0,61$$

Ecuación 2.11

Donde:

Q_0 = Calor a extraer del sistema

Q_{max} = Calor que la celda es capaz de extraer

Para los valores de corriente se tiene lo siguiente:

$$\frac{I}{I_{max}} = 0,39$$

Ecuación 2.12

Donde:

I_{max} =Corriente máxima que soporta la celda Peltier.

I = Corriente a ser suministrada en la celda.

Con los datos obtenidos se calcula el consumo de la celda mediante la Ecuación 2.13, obteniendo un valor de 30,72 W.

$$Consumo = I \cdot V$$

Ecuación 2.13

Donde:

I = Corriente consumida por la celda

V = Voltaje de la celda

Una forma de comprobar el valor de corriente es mediante el uso de la ley de Ohm como se muestra en la Ecuación 2.14. Donde P es la potencia y es igual a la carga térmica del sistema. Se obtiene un valor de 2,52 A.

$$I = \frac{P}{V}$$

Ecuación 2.14

Al comparar los resultados de corriente, se tiene una diferencia del 1,56%, por lo que se da por válido el valor de corriente obtenido. Es importante resaltar que la celda Peltier viene en conjunto con el disipador y un ventilador que se adecuan al rendimiento óptimo de la celda, la combinación de estos elementos se denomina módulo Peltier. Las dimensiones de la celda Peltier y los disipadores de calor se muestran en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12 Dimensiones de los elementos del módulo Peltier

Elemento	Largo (mm)	Ancho (mm)	Espesor (mm)
Celda Peltier	40	40	3.6
Disipador de calor (Lado caliente)	80	80	30

Sumidero de calor (Lado frío)	60	45	20
Separador aislante	70	65	4

(Fuente: [43])

2.5 Sistema de control

Para el sistema de control se considera el uso de la placa Arduino UNO, debido a la capacidad que tiene para incorporar sensores y módulos de control. Otra de las ventajas de usar este tipo de sistema es la facilidad de programación que tiene ya que usa lenguaje C. En la Figura 2.7 se muestra la placa a usar.



Figura 2.7 Placa Arduino
(Fuente: Propia)

2.5.1 Sensores de temperatura

Una de las principales características que deben tener los sensores a utilizar, es que sean impermeables, además, deben tener una precisión alta, por lo que se escoge el sensor DS18B20. Este sensor es muy versátil, ya que viene en forma de sonda lo que le permite ser usado en ambientes húmedos o directamente en líquidos, el cual es muy usado en el área de climatización y refrigeración. En la Tabla 2.13 se muestran las características técnicas del sensor.

Tabla 2.13 Ficha técnica del sensor DS18B20

Sensor DS18B20	
Entrada	Digital
Voltaje de alimentación	3V a 5.5V
Rango de temperaturas	-55°C a 125°C

Error	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$
Resolución	Programable 9-bit, 10-bit, 11-bit, 12-bit
Resistencia pull-up	4.7k Ω

(Fuente: [34])

Siguiendo las recomendaciones de la OMS, se empleará dos sensores de temperatura, de esta manera el sistema se mantendrá en funcionamiento en caso de que uno de los sensores falle.

2.5.2 Optoacoplador

Es un módulo de Arduino que cuenta con sistema óptico infrarrojo, el cual constantemente envía una señal a un receptor. El momento en que el haz de luz es interrumpido, se produce una señal que puede ser usada para activar un actuador. En el prototipo, el optoacoplador tendrá la función de detectar si la puerta se encuentra abierta o cerrada para de esta forma no activar el sistema con la puerta abierta, ya que esto sería un gasto de energía inútil. Otra de las funciones que posee es la de activar un sistema de alarma en caso de que la puerta del equipo permanezca mucho tiempo abierta, debido a que esto ocasionaría un calentamiento indeseado de los viales. La Figura 2.8 se muestra el optoacoplador seleccionado.

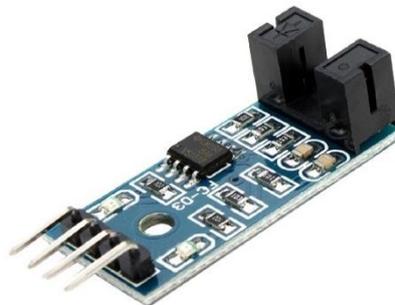


Figura 2.8 Módulo Optoacoplador
(Fuente: Propia)

2.5.3 Buzzer

Un buzzer es un elemento actuador que emite sonido en frecuencias programables. Cumple la función de alarma auditiva, la cual se activará en caso de dejar la puerta abierta y también si es que la temperatura interior del sistema llega a superar los límites establecidos por la OMS y CDC [1]. La Figura 2.9 muestra el buzzer a usar en la realización de este proyecto.



Figura 2.9 Buzzer
(Fuente: Propia)

2.5.4 Modulo RTC

Es un circuito integrado cuya función principal es la de servir como un reloj en tiempo real. Este módulo facilita la integración de mediciones en tiempos específicos, así como activar o desactivar sensores y actuadores. Cuenta también con una memoria interna que le permite almacenar los datos de tiempo, así como una batería que le permite seguir en funcionamiento en caso de que el sistema Arduino deje de funcionar. En la Figura 2.10 se muestra el módulo RTC a usar.

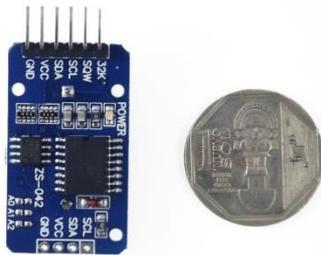


Figura 2.10 Módulo RTC
(Fuente: Propia)

2.5.5 Modulo microSD

Este módulo cuenta con un lector de tarjetas SD compatible con la placa Arduino, sirve para la lectura y escritura de tarjetas SD. Es un componente esencial en el prototipo, ya que junto a los sensores de temperatura y el RTC sirve para mantener una bitácora de funcionamiento del sistema. El objetivo principal de este módulo es registrar las temperaturas a las que se encuentran las vacunas a lo largo del día debido a las recomendaciones de los organismos de salud, es indispensable llevar un control cada 30 minutos [17].

El hecho de contar con una memoria extraíble es de gran ayuda, ya que permite visualizar los datos de una manera simple. Con estos datos se pueden realizar gráficas de tendencia y mantener el control de la cadena de frío de los viales. En la Figura 2.11 se observa el módulo a seleccionado.

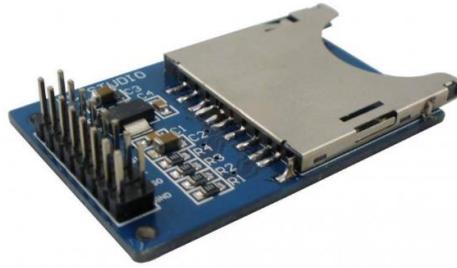


Figura 2.11 Módulo microSD
(Fuente: Propia)

2.5.6 Pantalla LCD y modulo I2C

Es necesario visualizar las temperaturas dentro de la cámara, por lo que se usa una pantalla LCD integrada a un módulo I2C, lo que permite mejorar la comunicación con la placa Arduino. Al ser un periférico de salida es muy versátil para proyectar alertas y los diferentes estados del sistema. La Figura 2.12 muestra el dispositivo a ser utilizado a lo largo del proyecto.

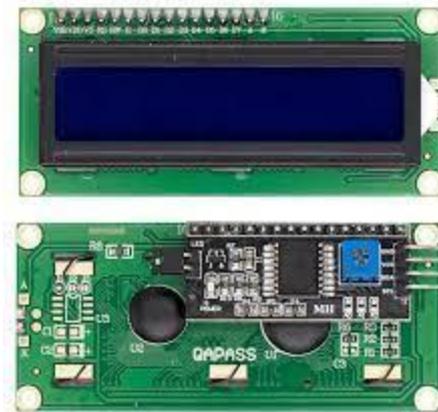


Figura 2.12 Pantalla LCD acoplada al módulo I2C
(Fuente: Propia)

2.5.7 Relé

Es un dispositivo actuador que cumple la función de un interruptor y está controlado por la placa Arduino. Al recibir una señal, permite o impide el paso de la corriente al sistema, haciéndolo ideal para controlar el encendido o apagado del módulo Peltier. Es un dispositivo electromagnético compacto, el cual se muestra en la Figura 2.13.



Figura 2.13 Relé de potencia
(Fuente: Propia)

2.6 Programación de la placa Arduino.

El microcontrolador tendrá la función de comunicar los sensores y actuadores que permitirán el funcionamiento del sistema de control del prototipo. El programa de control seguirá las instrucciones acordes al flujograma que se muestra en la Figura 2.14.

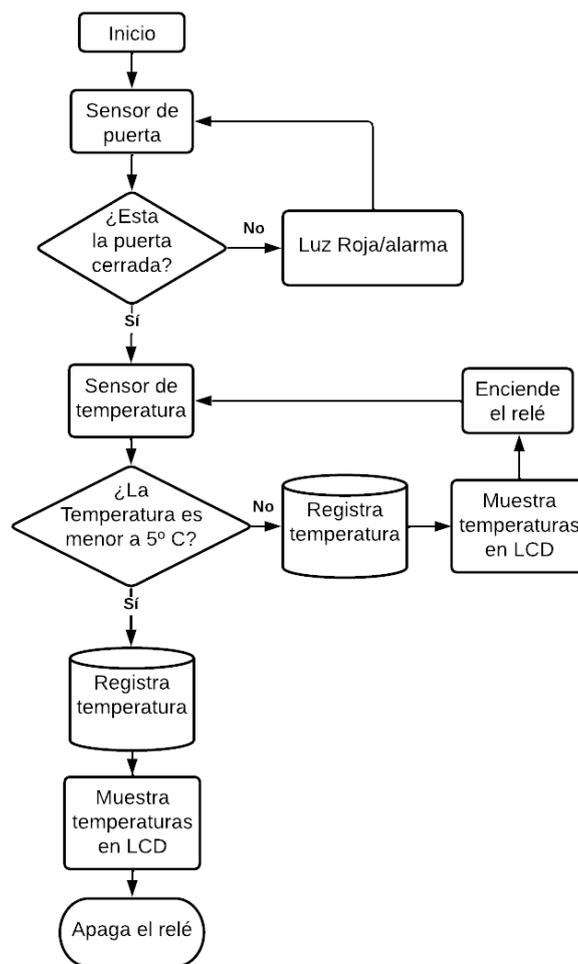


Figura 2.14 Flujograma del sistema de control
(Fuente: Propia)

El programa sigue una secuencia condicional, es decir depende de los valores obtenidos por los periféricos de entrada para funcionar. Se inicia con el encendido del sistema de control, permitiendo el paso de energía a la placa PCB que contiene los componentes de control. El programa recibe una señal del sensor de puerta, en caso de detectar que esta se encuentra abierta procederá a encender un led rojo y a activar el buzzer. Esto con el propósito de alertar al usuario de que la puerta se encuentra abierta por lo que las vacunas pueden perder su inmunogenicidad.

En caso de que el sensor detecte que la puerta se encuentra cerrada, se procede a sensar la temperatura de la cámara. Si esta es menor a 5°C se registra la temperatura obtenida por los sensores, así como la fecha y hora de la toma de datos. Al mismo tiempo que se realiza esta acción, en la pantalla LCD se muestra la temperatura y se apaga el relé que controla el circuito de potencia.

Si la temperatura sensada es mayor a 5°C, se procede a registrar de igual manera los valores mencionados anteriormente, así mismo se proyecta la temperatura en la pantalla y se enciende el relé que controla el sistema de potencia. Esta acción se realizará en bucle hasta que el sistema alcance una temperatura menor a 5°C.

2.7 Dimensionamiento de la batería

Para dimensionar la batería, es imprescindible conocer el consumo de los componentes del sistema de control. Al ser sensores y actuadores no consumen una gran cantidad de energía. En la Tabla 2.14 se muestra el consumo energético de cada componente según su ficha técnica.

Tabla 2.14 Consumo de los componentes del sistema de control

Componente	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia consumida [W]
Celda Peltier	12	2.56	30.72
Ventilador disipador lado caliente	12	0.08	0.96
Ventilador disipador lado frío	12	0.08	0.96
Arduino	5	0.15	0.23
LCD	5	0.025	0.125

(Fuente: Propia)

Con los valores indicados en la Tabla 2.14 se calcula el funcionamiento total del sistema sumando las potencias de cada elemento como se indica en la Ecuación 2.15, obteniendo un consumo de 32,535 W/h.

$$C_{total} = C_{cP} + C_{vc} + C_{vf} + C_A + C_{LCD}$$

Ecuación 2.15

Donde:

C_{total} = Es el consumo total del sistema

C_{cP} = Es el consumo energético de la celda Peltier

C_{vc} = Es el consumo energético del ventilador del lado caliente

C_{vf} = Es el consumo energético del ventilador del lado frío

C_A = Es el consumo energético de la placa Arduino

C_{LCD} = Es el consumo energético de la pantalla LCD

Es necesario conocer el consumo del sistema durante 24 horas, para que la batería supla este consumo en caso de no disponer de energía solar o energía convencional. Para realizar este cálculo se estima que el módulo Peltier entre en funcionamiento por 20 minutos cada hora, mientras que la placa Arduino funcione 10 minutos cada hora debido a que la lectura y escritura de datos sensados se realiza en menos de un segundo. Mediante el uso de la Ecuación 2.16. se obtiene un consumo del módulo Peltier de 97,92 W/día mientras que para el sistema de control se tiene un consumo de 0,855 W/día teniendo un consumo total de 98,775 W/día.

$$C_{P_{día}} = (C_{cP} + C_{vc} + C_{vf}) \cdot t_{f_{12h}}$$

Ecuación 2.16

Donde:

$C_{P_{día}}$ = Es el consumo del módulo Peltier durante el día

$t_{f_{12h}}$ = Es el tiempo de funcionamiento en 12 h

La capacidad de las baterías se mide en amperios, por lo que se divide el consumo total entre el voltaje de funcionamiento del módulo Peltier y del sistema de control. El voltaje de funcionamiento de la celda Peltier es de 12 V y el del sistema de control es de 5 V. Por lo que para obtener el consumo del sistema durante el día se emplea la Ecuación 2.17, obteniendo un consumo de 8,331 Ah

$$C_B = \frac{C_{P_{día}}}{12} + \frac{C_{SC_{día}}}{5}$$

Ecuación 2.17

Donde:

$C_{B_{día}}$ = Es la capacidad que necesita la batería para mantener el sistema funcionando durante el día.

Se calcula también la capacidad que necesita la batería para funcionar durante la noche obteniendo una capacidad de 3,245 Ah. La capacidad total de la batería se obtiene mediante la suma de la capacidad necesaria para mantener el funcionamiento del sistema durante el día y la noche, obteniendo un valor de 11,576 Ah.

Una vez obtenido el consumo total de la batería, se procede a la selección de la adecuada. En el mercado hay una gran variedad de baterías disponibles, por lo que de acuerdo con el uso que se le va a dar, se seleccionó una batería con 18 Ah de capacidad y 12 V de la marca *First Power* modelo FP12180 que se presenta en la Figura 2.15, la ficha técnica del modelo se encuentra en el ANEXO II.



Figura 2.15 Batería First Power modelo FP12180
(Fuente: [44])

2.8 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

Este sistema consta del panel fotovoltaico y en caso de que el sistema funcionase con corriente alterna se necesitaría de un inversor de energía alterna a corriente continua. En este caso, el sistema funciona con corriente continua, por lo que el uso de un inversor no será necesario.

Conociendo el consumo energético del sistema, se procede a seleccionar un panel fotovoltaico que supla esa energía. Así mismo para garantizar el funcionamiento del panel fotovoltaico en las condiciones geográficas del Ecuador, se realizará una simulación. Esto permite obtener una idea del desempeño del panel en condiciones reales. El panel escogido es un RESUN RSM110P de 100 W, cuyas características se enlistan en la Tabla 2.15 y su ficha técnica se adjunta en el ANEXO III.

Tabla 2.15 Propiedades del panel fotovoltaico RESUN RSM110P

Modelo	RSM110P
Potencia máxima (Wp)	110 W
Voltaje de circuito abierto (Voc)	21,88 V
Corriente de corto circuito (Isc)	6,26 A
Voltaje máximo (Vmp)	19,9 V
Corriente máxima (Imp)	5,88 A
Eficiencia del módulo	16%

(Fuente: [45])

Mediante el uso del programa Matlab y su herramienta Simulink, se pudo obtener el desempeño del panel en las condiciones meteorológicas de Orellana. El programa permite realizar la configuración del panel, ingresando los datos de irradiancia en W/m^2 y la temperatura a la que estará expuesto el panel. También, se ingresan las características técnicas del panel dadas por el fabricante. Para la simulación se realiza una conexión virtual de un panel como se muestra en la Figura 2.16.

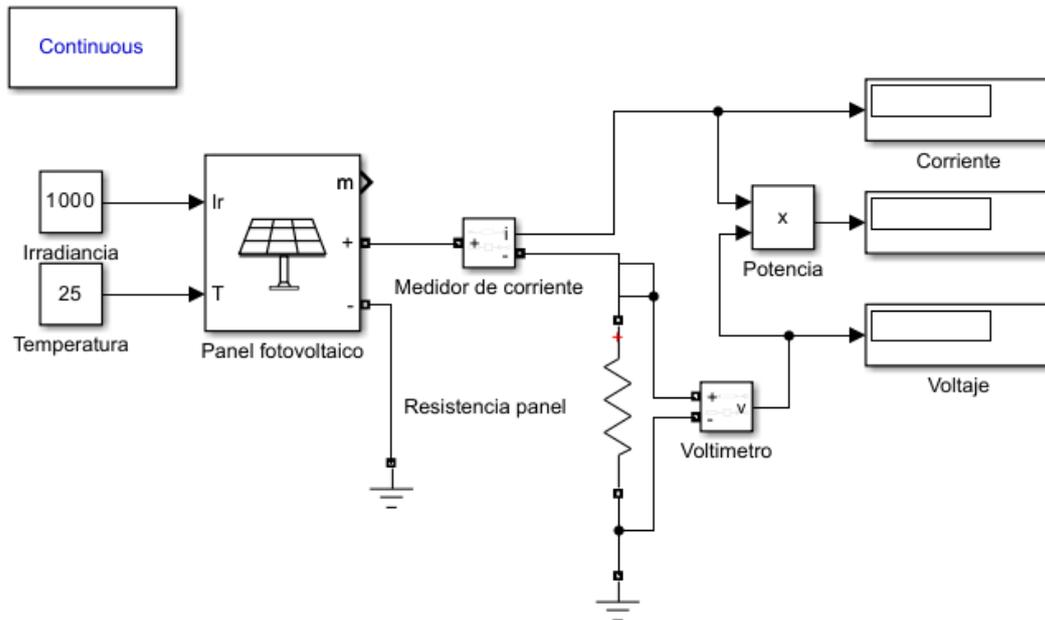


Figura 2.16 Conexión Virtual del panel fotovoltaico para la simulación
(Fuente: Propia)

Para el desarrollo de la simulación se usaron datos meteorológicos obtenidos de *climate onebuilding*. Por último, se tomó en cuenta la irradiancia máxima en cada mes como se muestra en la Figura 2.5 y la temperatura a la que se produjo esa irradiancia.

2.8.1 Simulación de panel fotovoltaico

Para analizar el desempeño del panel se realiza una simulación previa, en la cual se configuran las características técnicas del panel como se muestra en la Figura 2.17. La primera simulación ejecutada se realiza con los valores ideales de laboratorio, es decir una irradiancia de 1000 W/m^2 y temperatura de 25°C con el fin de obtener la potencia nominal del panel dada por el fabricante en la ficha técnica.

Module data	Model parameters
Module: User-defined	Light-generated current I_L (A) 6.2666
Maximum Power (W) 105.252	Diode saturation current I_0 (A) 4.7808e-11
Cells per module (Ncell) 36	Diode ideality factor 0.92467
Open circuit voltage V_{oc} (V) 21.88	Shunt resistance R_{sh} (ohms) 225.2081
Short-circuit current I_{sc} (A) 6.26	Series resistance R_s (ohms) 0.23754
Voltage at maximum power point V_{mp} (V) 17.90	
Current at maximum power point I_{mp} (A) 5.88	
Temperature coefficient of V_{oc} (%/deg.C) -0.32	
Temperature coefficient of I_{sc} (%/deg.C) 0.05	

Figura 2.17 Configuración de las características técnicas del panel
(Fuente: Propia)

Luego se procede a simular el panel con los datos de laboratorio, esperando obtener la potencia nominal, esto se realiza con el objetivo de validar la simulación y aseverar que cumplirá con los requerimientos para este proyecto. Una vez realizada la simulación, en la Figura 2.18 a) se observa la curva característica obtenida en la simulación y en la Figura 2.18 b) se observa la curva característica proporcionada por el fabricante. En las dos figuras se visualiza que los resultados obtenidos en la simulación concuerdan con la curva característica dada por el fabricante exceptuando en el valor de la corriente, pero la variación de este valor es mínima y la potencia nominal simulada, coincide con la potencia de la ficha técnica como se observa en la Figura 2.19.

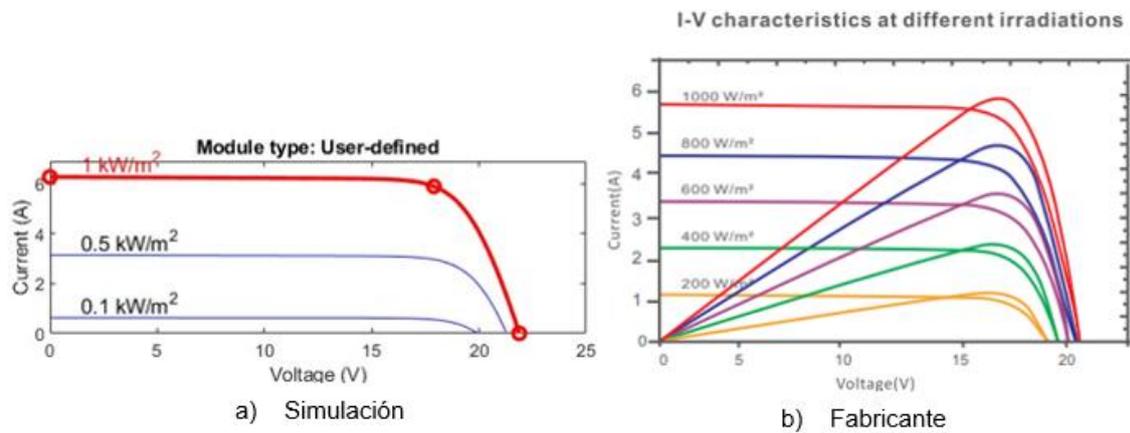


Figura 2.18 Curva característica del panel a) Simulación en Matlab b) Ficha técnica (Fuente: Propia)

De la misma forma, los valores obtenidos de corriente, voltaje y potencia de la simulación se muestran en la Figura 2.19 en la que se observa también los valores ingresados de irradiancia y temperatura.

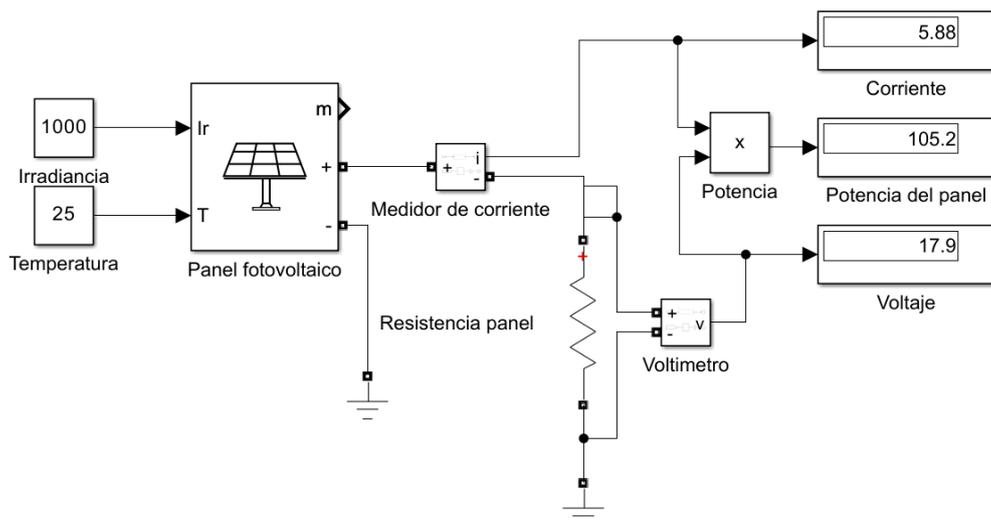


Figura 2.19 Simulación del panel en Simulink con los valores de laboratorio. (Fuente: Propia)

Una vez validados los resultados de la simulación con los datos proporcionados por el fabricante, se procede a simular el desempeño del panel usando los datos meteorológicos obtenidos en la provincia de Orellana con el fin de conocer la potencia que puede entregar el panel en condiciones reales. Se realizará una simulación por cada mes y los resultados obtenidos se muestran en la Figura 2.20.

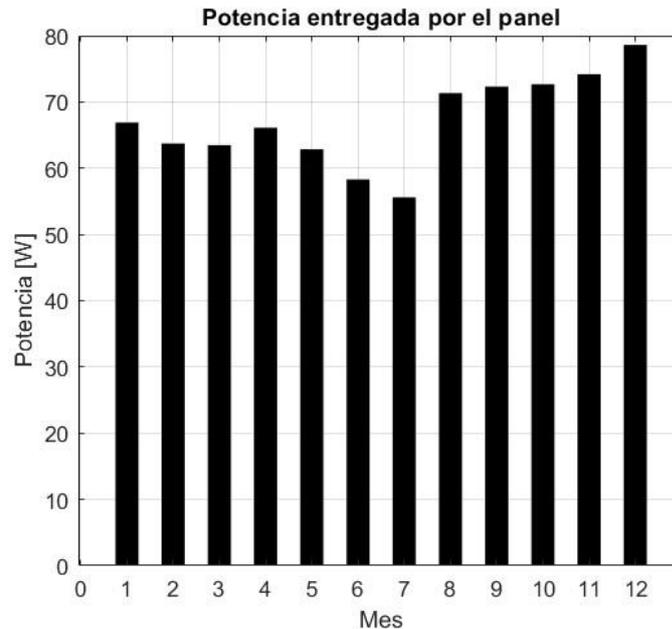


Figura 2.20 Potencia entregada por el panel obtenida mediante simulación.
(Fuente: Propia)

En la Figura 2.20 se observa que el panel entrega una potencia mínima en el mes de Julio, siendo de 55 W y la potencia máxima se obtiene en el mes de diciembre, siendo esta de 79 W. Esto quiere decir que el panel escogido provee la cantidad de energía necesaria para mantener en funcionamiento el sistema a lo largo del año. El excedente producido por el panel hace posible el almacenamiento de energía en la batería. Se abre también la posibilidad de aprovechar la energía sobrante para alimentar otros artefactos médicos o que sean necesarios en el lugar de vacunación.

2.9 Construcción del prototipo

La construcción del prototipo se divide en tres etapas: primero la construcción de la cámara, luego el ensamblaje del módulo Peltier y por último la construcción del sistema de control. El cronograma de fabricación de este prototipo se presenta a detalle en el ANEXO IV.

2.9.1 Construcción de la cámara

La cámara está compuesta de tres capas, siendo la interna y externa de Alucubond, mientras que la capa intermedia a modo de sánduche será de poliuretano expandido como se muestra en la Figura 2.21. Las tres capas se adhieren entre si mediante el uso de silicona fría para asegurar la hermeticidad de la cámara y también contribuye como otra capa resistente al calor.

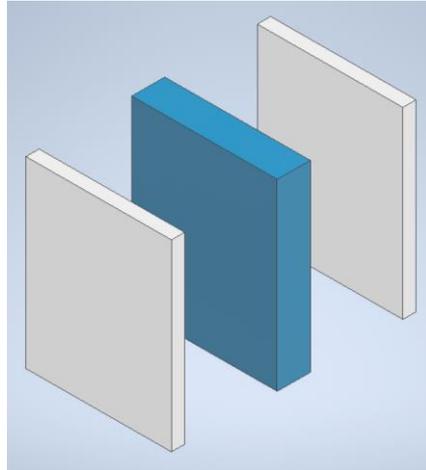


Figura 2.21 Capas de Alucubond y PIR que conforman las paredes del prototipo
(Fuente: Propia)

Es importante realizar un agujero en la cara superior de acuerdo con las dimensiones de los disipadores del módulo Peltier como se muestra en la Figura 2.22. En la cara exterior también se realiza un terminado en chaflán para mejorar la circulación del aire en el disipador de calor. De la misma forma se realizan las perforaciones para permitir el paso de los sensores y cableado de alimentación del módulo Peltier.

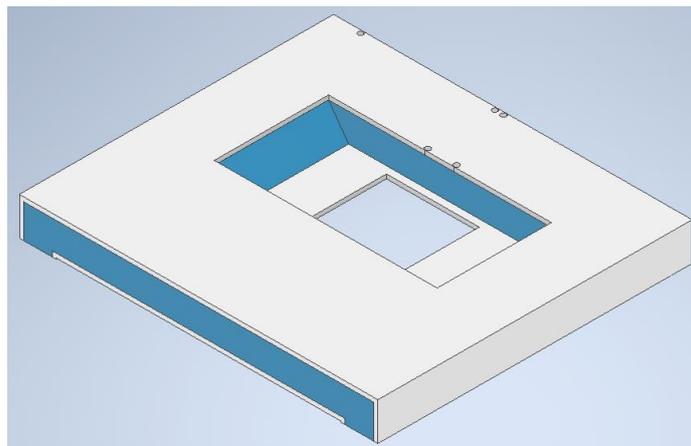


Figura 2.22 Cara superior del prototipo
(Fuente: Propia)

Así mismo, se usa el Alucubond para fabricar las guías de las bandejas, estas guías se acoplarán a la cámara con silicona. Las bandejas también están fabricadas en

Alucubond, ya que es un material resistente y fácil de trabajar. Las bandejas estarán perforadas a modo de rejilla para que permitan la circulación del aire en la cámara. En la Figura 2.23 se muestra el terminado final de la cámara.

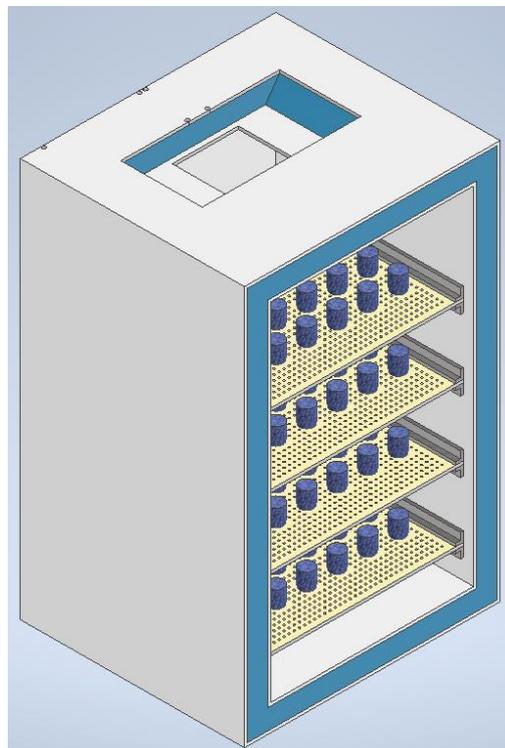


Figura 2.23 Representación de la cámara ensamblada
(Fuente: Propia)

2.9.2 Ensamblaje modulo Peltier

El ensamble del módulo Peltier es sencillo, ya que se aplica pasta térmica en ambas caras de la celda Peltier y luego esta se acopla a los disipadores. También se rodea la celda con el separador aislante de los disipadores y se ajusta todo el módulo con tornillos. Los ventiladores también se acoplan a los respectivos disipadores quedando el módulo como muestra la Figura 2.24.

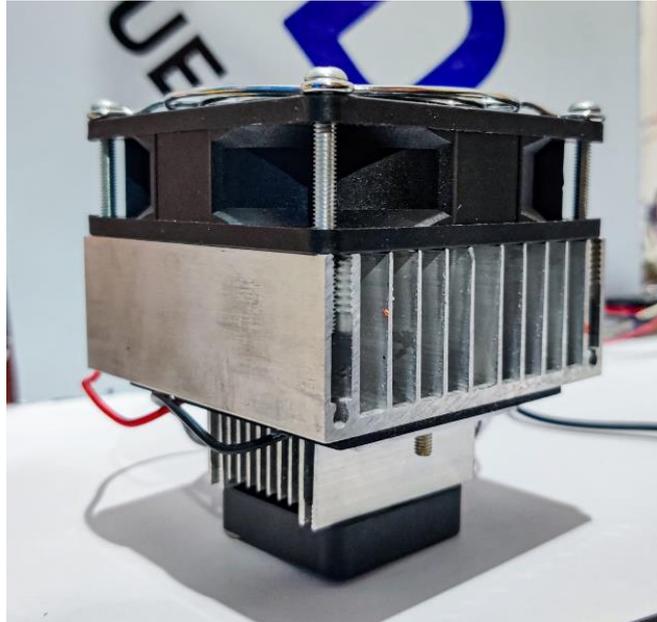


Figura 2.24 Modulo Peltier
(Fuente: Propia)

2.9.3 Construcción del sistema de control.

El sistema de control es el encargado de mantener estable la temperatura del sistema y registrar las lecturas temperaturas en un dispositivo de almacenamiento. También alerta al usuario en caso de que mantenga la puerta abierta por un tiempo muy prolongado o el sistema falle. Es evidente que la temperatura es el principal parámetro por controlar, debido a esto el sistema de control consta de sensores y actuadores que permitirán mantener la temperatura estable. Además, el sistema consta de un controlador PID y un relé actuador para controlar el sistema de potencia.

También se cuenta con un sensor de puerta que verifica si esta se encuentra abierta o cerrada con el fin de activar o desactivar el sistema en situaciones específicas, por lo que este sensor actúa como un switch de encendido y apagado del módulo Peltier. En caso de estar la puerta abierta, apaga el módulo, caso contrario activa el relé que permite el paso de la energía al circuito de potencia.

El sensor de temperatura es un componente importante del sistema de control, en este caso se hace uso de dos sensores para tener un sensor de *backup* en caso de que uno se estropee. Además, estos sensores estarán sumergidos en una solución alcohólica para obtener mediciones más precisas de la temperatura del líquido.

Se usa también una pantalla LCD para visualizar las temperaturas y el estado general del sistema, así como para visualizar alarmas del sistema de control. Para lograr el

funcionamiento del sistema de control se utiliza una placa Arduino UNO junto a una placa de circuito impreso y los sensores. Esta placa contiene el programa de control que permite el correcto funcionamiento del sistema. En la Figura 2.25 se muestra las conexiones correspondientes al sistema de control. La programación realizada para el sistema de control se presenta a detalle en el ANEXO V.

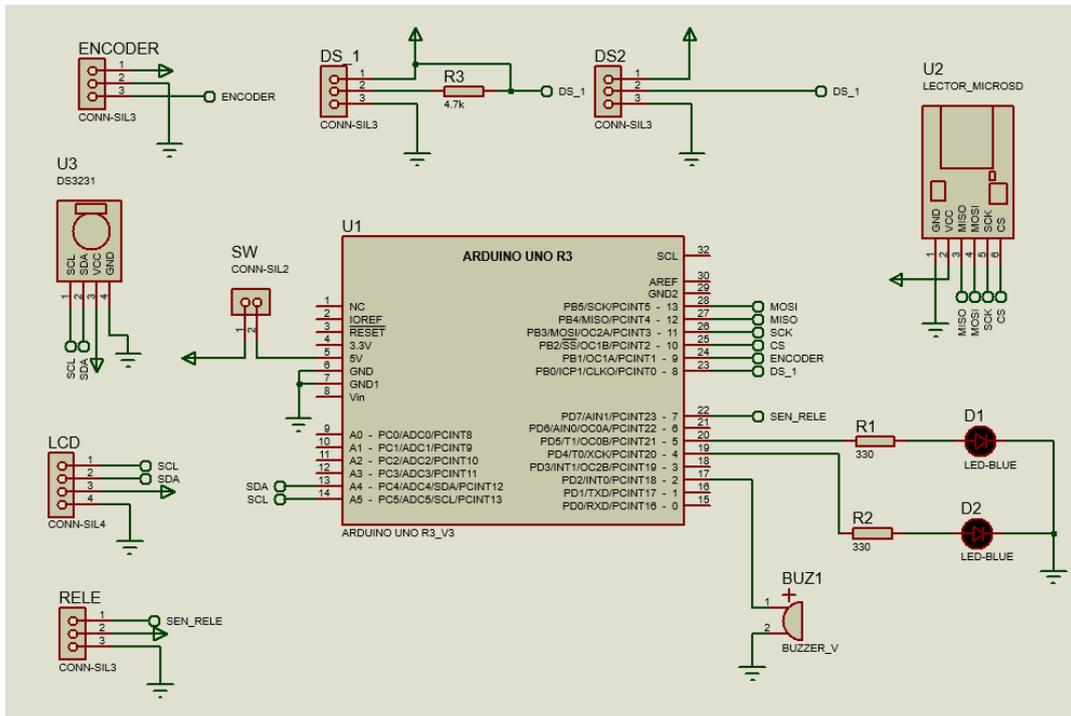


Figura 2.25 Diagrama del circuito de control
(Fuente: Propia)

Finalmente, el sistema de control ensamblado se presenta en la Figura 2.26. En la cual se puede observar que el relé actuador se encuentra en el exterior del sistema de control, esto se debe a que cumple con la función de separar el sistema de control, del sistema de potencia. El sistema de potencia se encuentra conectado directamente al transformador DC y este a su vez es conectado al panel solar o a la red eléctrica.

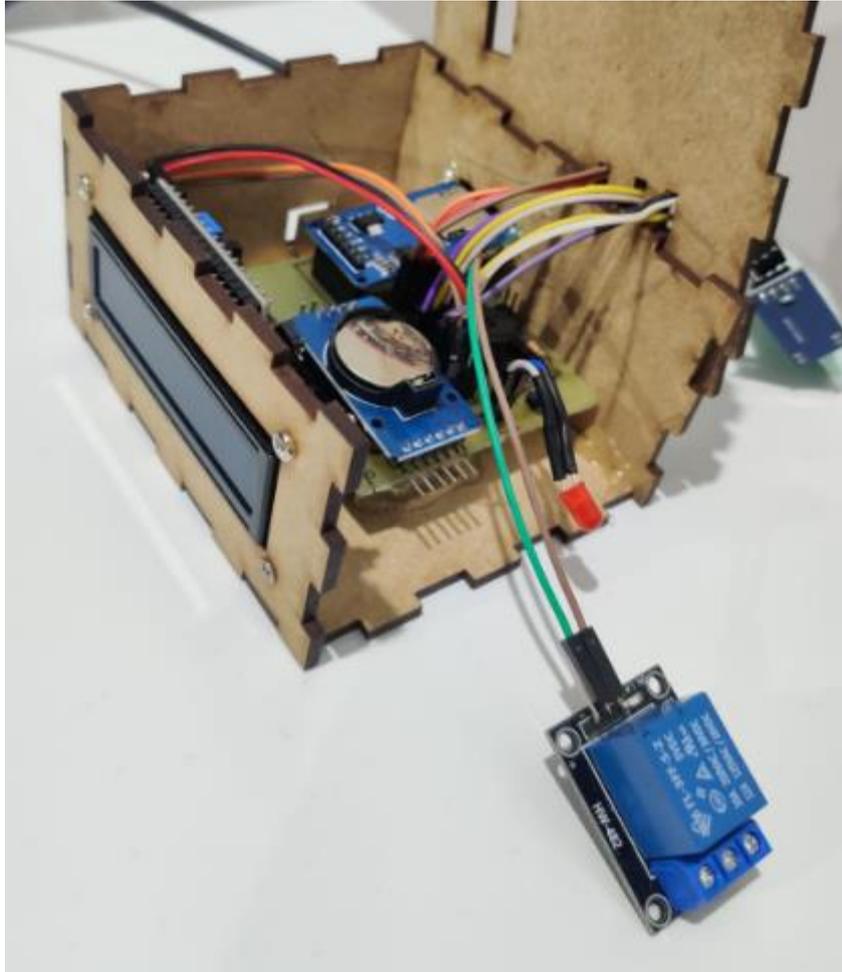


Figura 2.26 Sistema de control ensamblado
(Fuente: Propia)

2.10 Costos

En la Tabla 2.16 se presenta de forma detallada los precios de los elementos utilizados en la construcción del prototipo, cabe aclarar que no todos los materiales listados fueron adquiridos ya que fueron reciclados. El elemento más costoso del prototipo es el panel fotovoltaico, razón por la cual para verificar la factibilidad de su uso se realizó la simulación.

El resto de los elementos tienen precios convenientes, hay que recalcar también que en el caso del Alucubond y el PIR fueron reciclados por lo que el precio de mostrado es el de una plancha entera con la cual se pueden realizar múltiples prototipos. En general el costo de realiza con del prototipo tiene un costo alto debido al precio del panel fotovoltaico. El módulo Peltier también tiene un costo elevado, pero hay que aclarar que este incluye la placa, los disipadores y ventiladores.

Tabla 2.16 Costos de los materiales usados para la construcción del prototipo

	Elemento	Dimensiones/Modelo	Cantidad	Precio unitario	Total
Cámara	Alucubond	2,5X3,1X0,003	1	\$ 25,00	\$ 25,00
	PIR	1,5X1,5X0,024	1	\$ 20,00	\$ 20,00
	Silicona fría	400 ml	1	\$ 3,00	\$ 3,00
	Bisagras	N/A	2	\$ 1,50	\$ 3,00
	Manija	N/A	1	\$ 1,00	\$ 1,00
Módulo Peltier	Módulo Peltier	TEC-12706	1	\$ 30,00	\$ 30,00
	Pasta térmica	Artic Mx-2	1	\$ 1,00	\$ 1,00
Sistema de Control	Arduino	UNO	1	\$ 16,07	\$ 16,07
	Sensor de temperatura	DS18B20	2	\$ 2,50	\$ 5,00
	Enconder	N/A	1	\$ 3,12	\$ 3,12
	LCD	N/A	1	\$ 6,07	\$ 6,07
	PCB	N/A	1	\$ 6,25	\$ 6,25
	Led	N/A	4	\$ 0,09	\$ 0,36
	Buzzer	N/A	1	\$ 0,54	\$ 0,54
	Relé	5 V a 12 V	1	\$ 0,66	\$ 0,66
	Fuente DC	12 V-6 A	1	\$ 15,00	\$ 15,00
	Lector mini SD	N/A	1	\$ 3,13	\$ 3,13
	RTC I2C	N/A	1	\$ 3,13	\$ 3,13
Sistema de Potencia	Panel solar	100 W	1	\$ 98,00	\$ 98,00
	Batería	12 V-12 A	1	\$ 20,00	\$ 20,00
				Total:	\$ 260,33

(Fuente: Propia)

2.11 Análisis energético

Una vez construido el prototipo, se procede a realizar el análisis energético con el fin de crear una base de datos para conocer el funcionamiento del equipo y su consumo. Este análisis sirve también para optimizar el equipo y dejar una pauta para el diseño de un equipo mejorado. Se evaluará el consumo energético del prototipo mientras cumple con el objetivo de enfriar la cámara. Para esto se medirá el consumo del módulo Peltier y del sistema de control por separado. Así mismo se medirá la temperatura de la cámara durante 12 horas con lecturas cada 30 minutos. Las lecturas de los sensores durante el periodo de prueba se muestran a detalle en el ANEXO VI

La prueba se llevará a cabo en dos etapas, la primera se realizará con el equipo vacío hasta que este alcance una temperatura de 3°C. Una vez alcanzada esta temperatura se almacenarán pequeños envases con agua a 10°C, con el objetivo de simular el almacenamiento real de las vacunas. De esta manera se obtendrá el rendimiento del equipo en condiciones muy similares a las de uso real.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Prototipo final

El prototipo fue ensamblado acorde los planos presentados en el ANEXO VII. La Figura 3.1 muestra el resultado final del prototipo ensamblado, en el cual se indican sus componentes principales. Además, se adjunta un video del funcionamiento del prototipo en el enlace presentado en el ANEXO VIII.

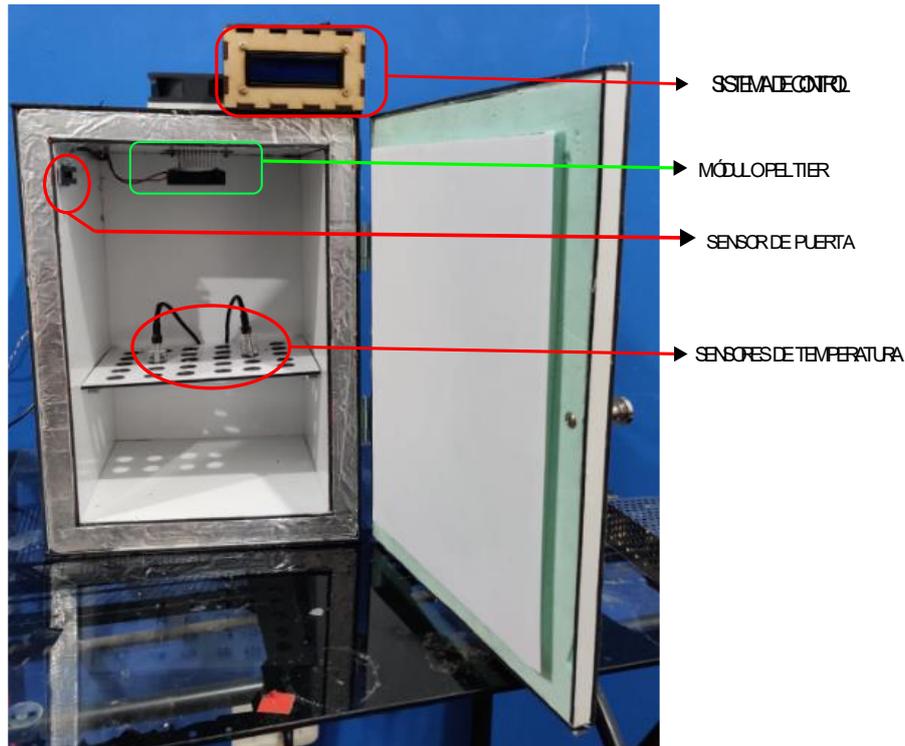


Figura 3.1 Prototipo final
(Fuente: Propia)

3.2 Resultados del análisis energético

En la Figura 3.2 se presenta un diagrama Sankey en el que se aprecian los flujos de energía que intervienen en el funcionamiento del prototipo. El calor disipado por el módulo Peltier está compuesto por la energía eléctrica suministrada al sistema para absorber el calor de la cámara y el calor a disipar por el módulo Peltier. Además, el calor absorbido se encuentra formado por las cargas a las que se expone el prototipo, es decir la carga del producto, la carga del calor absorbido por las paredes y la carga de infiltración.

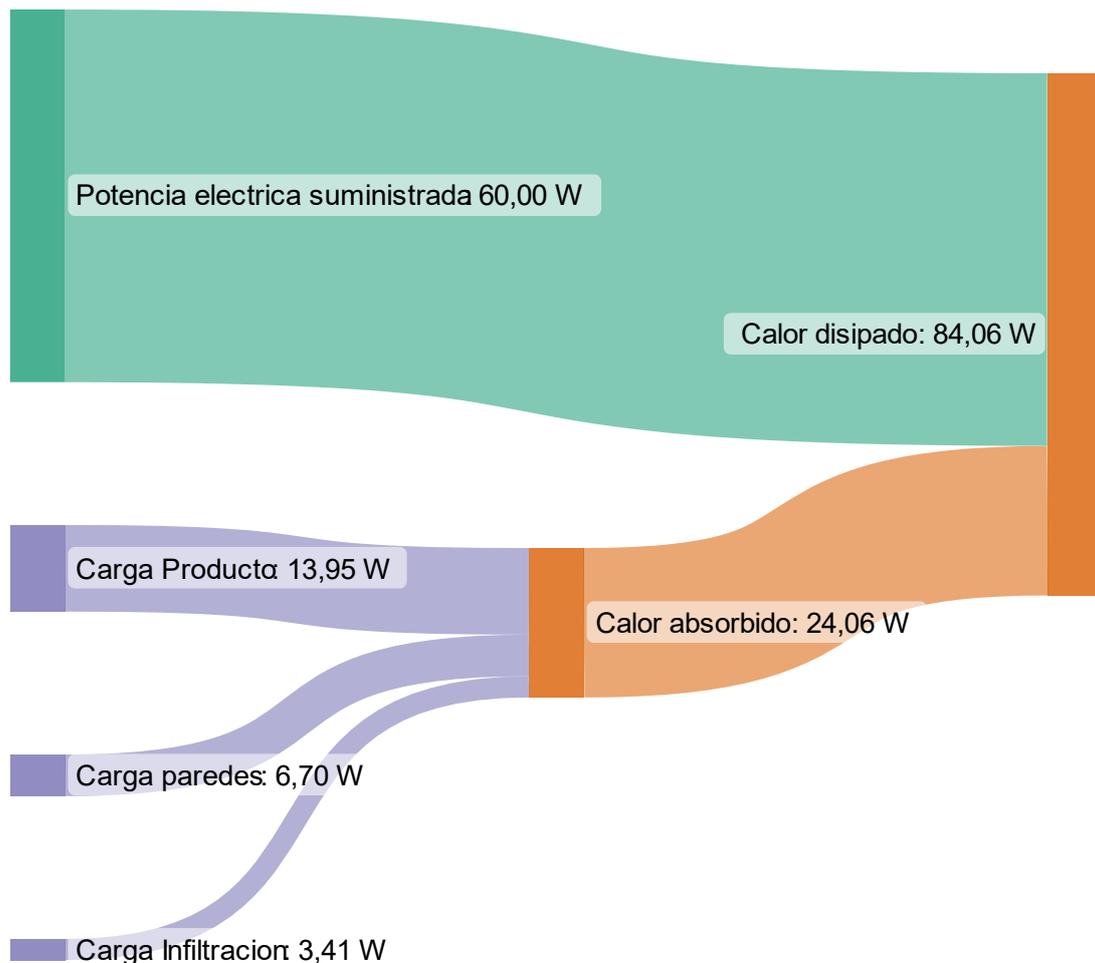


Figura 3.2 Diagrama Sankey
(Fuente: Propia)

Mediante el uso de la Ecuación 1.1 se calcula el COP del prototipo. El COP sirve para identificar la eficiencia del equipo, en este caso se obtuvo el valor de 0,29. El valor obtenido se encuentra dentro del rango normal para dispositivos de refrigeración termoeléctrica. A pesar de esto, es un COP muy bajo en comparación con los sistemas de refrigeración por compresión, pero se debe tomar en cuenta que el equipo compensa esa eficiencia en otros aspectos como la portabilidad, costo y dimensiones del sistema termoeléctrico.

3.3 Pruebas del equipo sin carga

Los resultados obtenidos por los sensores del equipo en funcionamiento se detallan en el ANEXO VI. Las temperaturas fueron obtenidas minuto a minuto por los sensores y registrados en la tarjeta SD. La Figura 3.3 presenta la gráfica de los resultados obtenidos del prototipo en funcionamiento al aire libre y sin carga.

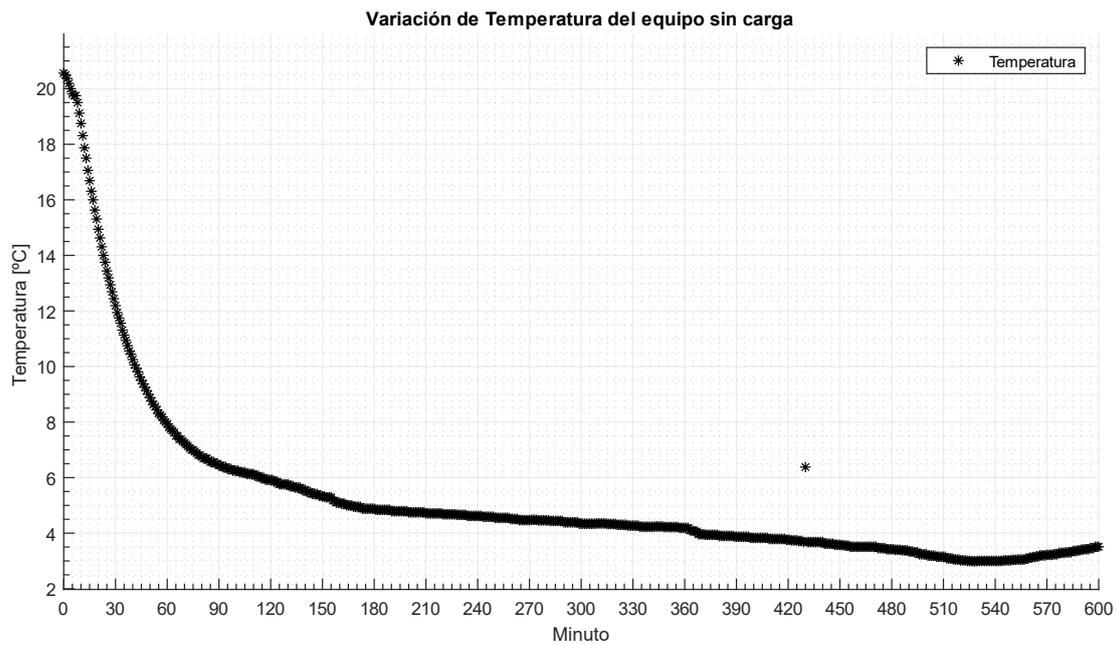


Figura 3.3 Prueba del equipo sin carga
(Fuente: Propia)

Se observa que el equipo logra disminuir la temperatura desde los 21°C hasta los 3°C en un tiempo alrededor de 8,5 horas. Es importante mencionar que la prueba se realizó desde las 11 de la mañana y el equipo estuvo expuesto al sol durante la prueba, lo que influye en el tiempo que tarda en disminuir la temperatura de la cámara. Igualmente se observa que el equipo llega a la temperatura de trabajo de 8°C en 50 minutos por lo que los viales pueden ser ingresados en ese momento.

3.4 Prueba del equipo con carga

Para esta prueba se ingresaron 15 frascos de 5ml con alcohol y una compresa de gel para emular las vacunas y conocer el comportamiento del sistema. La carga ingresada se encontraba a 10°C debido a que es la temperatura con la que se entregan los viales. Al momento de abrir la puerta para almacenar la carga, la temperatura dentro del contenedor es de 3°C. En la Figura 3.4 se observa el comportamiento de las temperaturas obtenidas.

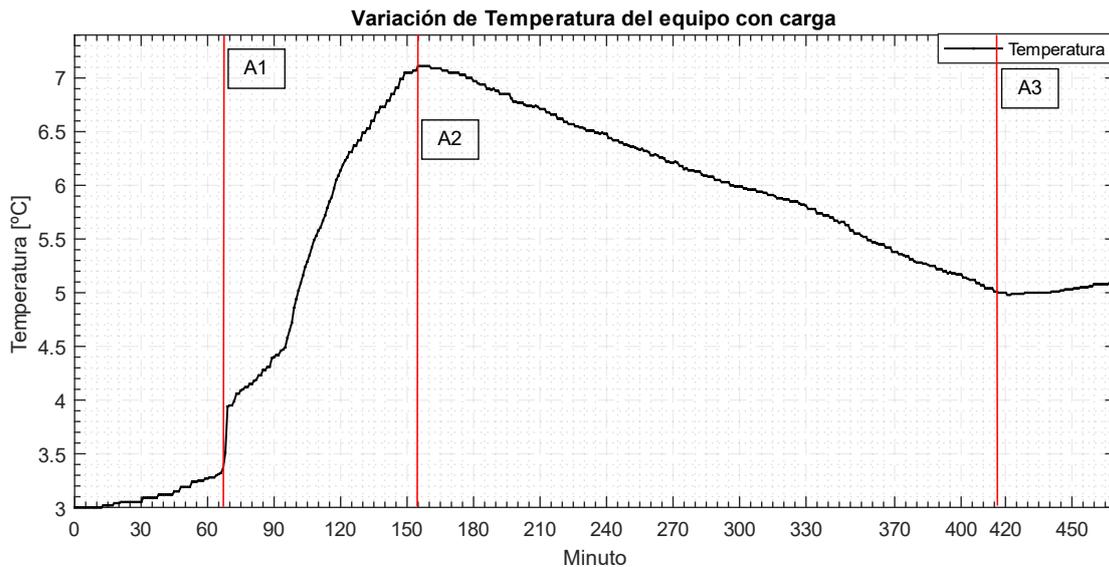


Figura 3.4 Prueba del equipo con carga
(Fuente: Propia)

En la Figura 3.4 se observa que desde el punto A1 hasta A2 se abre el equipo para introducir la carga, por lo que se denota el aumento de temperatura desde los 3°C hasta los 7.2°C. Este aumento de temperatura se estabiliza por un corto periodo de tiempo en el que se cierra la puerta. Desde el punto A2 hasta A3 disminuye la temperatura de forma paulatina hasta alcanzar un valor de 5°C, en este periodo el sistema se encuentra en pleno funcionamiento y tarda aproximadamente 4,3 horas en llegar a la temperatura deseada. A partir del punto A3, se observa una estabilidad de la temperatura en 5°C, con un leve aumento de temperatura que proviene de las ganancias externas del prototipo.

3.5 Prueba del sistema de control

Para el desarrollo de esta prueba se abrió la puerta del equipo por 20 minutos, permitiendo así que la temperatura de la cámara aumente. Posteriormente se cerró la puerta para que el sistema de refrigeración se ponga en marcha hasta llegar a la temperatura de 5°C. El sistema de control se activará cuando la temperatura sobrepasa los 5°C por un tiempo de 3 minutos hasta volver a los 5°C y luego se desactivará. En la Figura 3.5 se muestra los resultados obtenidos.

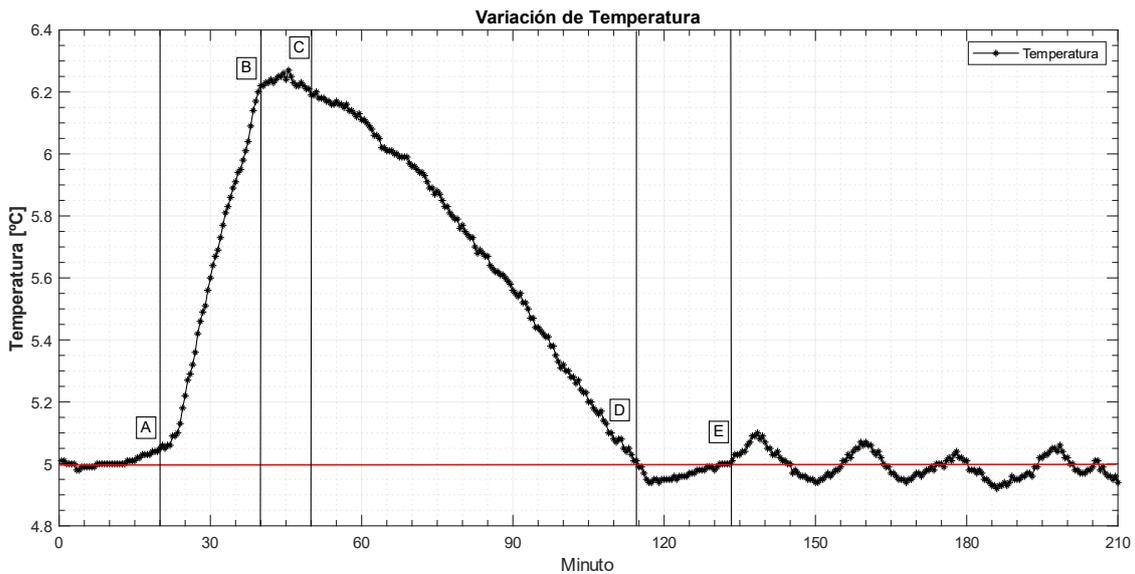


Figura 3.5 Prueba del sistema de control
(Fuente: Propia)

En la Figura 3.5 se visualiza la línea roja que representa la temperatura de control a los 5°C. Se observa un incremento brusco de temperatura desde el punto A hasta B, el cual corresponde a la apertura de la puerta, mientras que cerca al punto B la curva se suaviza un poco debido a que al cerrar la puerta la cámara deja de ganar calor y trata de estabilizarse la temperatura, al tiempo que se activa el sistema de enfriamiento. En el tramo B-C la temperatura se empieza a estabilizar, también se observa que la temperatura pico del sistema luego de abrir la puerta es de 6.3°C.

Luego, en el tramo C-D se visualiza la disminución de la temperatura por acción del sistema de enfriamiento, el sistema tarda 1 hora en llegar a la temperatura de control llegando a los 4,85°C. Posteriormente en el tramo D-E se nota un incremento constante de temperatura, el cual se atribuye a la ganancia de temperatura por parte del ambiente. Al llegar a la temperatura de control y sobrepasarla se pone en marcha el sistema de control nuevamente. A partir de este punto se observa que el sistema de control logra mantener la temperatura de la cámara dentro de los límites establecidos.

4. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un prototipo funcional que permite almacenar y enfriar vacunas y medicamentos mediante el uso de un módulo Peltier, logrando mantener su inmunogenicidad. Además, fue posible desarrollar un sistema de control automático para mantener estable la temperatura interior de la cámara. Es importante mencionar que se logró construir el prototipo empleando materiales reciclados, logrando reducir costos de fabricación.

Se diseñó un sistema de control mediante el uso de un microcontrolador con la capacidad de trabajar con múltiples sensores y módulos. Esto permite garantizar la trazabilidad de las temperaturas a las que se exponen las vacunas y de esta manera tener un mejor control sobre la cadena de frío.

En base al modelo construido se evidencia que el prototipo cumple con las especificaciones y recomendaciones dadas por la OMS y la CDC, por lo que es aplicable para el almacenamiento y transporte de medicamentos en casos de emergencia.

Se demostró mediante una simulación que el panel elegido puede suplir la demanda energética del prototipo durante todo el año en zonas rurales de la amazonia. Además, se obtiene un exceso de energía que puede ser almacenada para mantener el sistema en funcionamiento en casos de emergencia.

De acuerdo con las pruebas realizadas, se logró disminuir la temperatura de la cámara vacía desde los 20°C hasta los 3°C en un tiempo aproximado de 4 horas mediante el uso de un módulo Peltier. Además, al realizar la prueba del equipo con carga, se logró reducir la temperatura de los viales hasta los 5°C en aproximadamente 2 horas, y en ningún momento los viales superaron los 7°C. De la misma manera se comprobó que el sistema de control es funcional y logra mantener la temperatura ideal para el almacenamiento de viales.

En base al COP obtenido de 0,29 se concluye que el prototipo no cuenta con una buena eficiencia en comparación con métodos convencionales de refrigeración, debido a la cantidad de energía consumida por la celda Peltier. No obstante, esta eficiencia se ve compensada en las dimensiones y costo de la placa en comparación con un sistema a vapor.

Finalmente, se concluye que el desarrollo del presente trabajo logró cumplir con los objetivos planteados. Además, se planteó una metodología para desarrollar estudios posteriores y mejorar el prototipo.

4.1 Trabajos futuros

Una vez finalizado el presente trabajo, se vuelve necesario el desarrollo de un prototipo mediante el uso de materiales que permitan disminuir las cargas térmicas del sistema.

Así mismo, se puede desarrollar un prototipo que cuente con dos o más celdas Peltier con la finalidad de disminuir el tiempo de enfriamiento del sistema.

Además, se podría realizar estudios y prototipos referentes a las aplicaciones que tienen los dispositivos termoeléctricos, tratando de optimizarlos y aumentar su eficiencia.

Referencias Bibliográficas

- [1] CDC y Ncird, «Vaccine Storage and Handling Toolkit-Updated with COVID-19 Vaccine Storage and Handling Information, Addendum Aril 12, 2022», 2022. [En línea]. Available: www.cdc.gov/vaccines/imz-managers/awardee-imz-websites.html
- [2] H. E. Randolph y L. B. Barreiro, «Herd Immunity: Understanding COVID-19», *Immunity*, vol. 52, n.º 5, pp. 737-741, may 2020, doi: 10.1016/j.immuni.2020.04.012.
- [3] Ministerio de Salud Pública del Ecuador, «“PLAN VACUNARSE”», 2021.
- [4] Ministerio de Salud Pública del Ecuador, «DIRECCIÓN NACIONAL DEL PROCESO DE CONTROL Y MEJORAMIENTO EN SALUD PÚBLICA QUITO 2005 MANUAL DE NORMAS TÉCNICO-ADMINISTRATIVAS, MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE VACUNACIÓN Y VIGILANCIA EPIDEMIOLÓGICA DEL PROGRAMA AMPLIADO DE INMUNIZACIONES (PAI) PROGRAMA AMPLIADO DE INMUNIZACIONES», 2005.
- [5] Ministerio de Salud Pública del Ecuador, «Plan dirigido para Pueblos y Nacionalidades Indígenas, Afroecuatorianos y Montubios (PIAMs)-Proyecto de Respuesta a la Emergencia y Vacunación-COVID-19-Ecuador 7 de mayo de 2021 Tabla de Contenido Contenido», 2021.
- [6] P. R. Lewis, R. F. Reimer, y A. J. Dixon, «Evaluating the efficacy of vaccine storage in the general practice setting», *Aust N Z J Public Health*, vol. 25, n.º 6, pp. 547-550, dic. 2001, doi: 10.1111/j.1467-842X.2001.tb00322.x.
- [7] P. Ortega Molina *et al.*, «Mantenimiento de la cadena del frío para las vacunas: una revisión sistemática», 2007.
- [8] R. and A.-C. Engineers. American Society of Heating, *2018 ASHRAE handbook : refrigeration*.
- [9] UNDP, «COVID-19: la pandemia: Programa De Las Naciones Unidas Para El Desarrollo», 2022. <https://www.undp.org/es/ecuador/covid-19-la-pandemia> (accedido dic. 27, 2022).
- [10] Instituto Nacional de Estadística y Censos, «Vacunación – COVID 19», 2022. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/vacunacion-covid-19/> (accedido dic. 27, 2022).
- [11] Y. D. , G. C. , G. H. , C. A. , H. D. , C. L. , G. B. , I. A. , S. S. , E. J. , E. M. , P. M. , C. L. E. M. Espín A., «NIVEL DE CONOCIMIENTO SOBRE LA CADENA DE FRÍO EN VACUNAS, DEL PERSONAL DE SALUD DEL DISTRITO 17D06, AÑO 2019», *Revista de Investigación Académica y Educación*, pp. 17-31, jul. 2021.
- [12] D. Ndohe Ebong, C. V. Aloyem Kaze, y A. Paiguy Ngouateu, «Design and implementation of solar powered mini refrigerator using thermoelectric cooler

- module», *E3S Web of Conferences*, vol. 354, p. 01007, 2022, doi: 10.1051/e3sconf/202235401007.
- [13] Comité Asesor de Vacunas, «6. Transporte y conservación de las vacunas Capítulo 6-Transporte y conservación de las vacunas», 2022. [En línea]. Available: <http://vacunasaep.org/documentos/manual/cap-6>
- [14] R. Ochoa *et al.*, «Validación de inmunoensayos cualitativos usados para evaluar la inmunogenicidad de vacunas», 2009.
- [15] M. L. Fahrni *et al.*, «Management of COVID-19 vaccines cold chain logistics: a scoping review», *J Pharm Policy Pract*, vol. 15, n.º 1, p. 16, dic. 2022, doi: 10.1186/s40545-022-00411-5.
- [16] OMS, «COVID-19 VACCINE INTRODUCTION AND DEPLOYMENT COSTING (CVIC) TOOL», 2019.
- [17] CDC y Ncird, «Temperature Monitoring Best Practices for Refrigerated Vaccines-Celsius (C)», 2019. [En línea]. Available: www.cdc.gov/vaccines/SandH
- [18] E. Rayón Encinas y J. López Martínez, «Propiedades termoeléctricas de los materiales. Efecto Seebeck y Peltier. Fundamentos teóricos y propuesta experimental», 2020, Accedido: dic. 28, 2022. [En línea]. Available: <https://riunet.upv.es:443/handle/10251/145911>
- [19] I. TERASAKI, «Introduction to thermoelectricity», en *Materials for Energy Conversion Devices*, Elsevier, 2005, pp. 339-357. doi: 10.1533/9781845690915.3.339.
- [20] J. Luis Barahona-Avalos, «Celdas Peltier: Una alternativa para sistemas de enfriamiento con base en semiconductor», 2008. [En línea]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/268343902>
- [21] L. Guerra y A. Director, «REFRIGERACIÓN DE VACUNAS MEDIANTE UNA MÁQUINA FRIGORÍFICA POR EFECTO PELTIER Resumen del Proyecto».
- [22] Thermoelectric, «Mathematical Modeling of Modules», 2018. <https://thermal.ferrotec.com/technology/thermoelectric-reference-guide/thermalref11/> (accedido dic. 27, 2022).
- [23] D. Zhao y G. Tan, «A review of thermoelectric cooling: Materials, modeling and applications», *Appl Therm Eng*, vol. 66, n.º 1-2, pp. 15-24, may 2014, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2014.01.074.
- [24] G. Vaca y L. Felipe, «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»,

2016. Accedido: dic. 27, 2022. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/16901>
- [25] B. de La Cruz De La Cruz Heber Dey Bach Solis Maza Yefer Javier y I. Oblitas Vera Carlos Leonardo, «UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA ESTUDIO Y DISEÑO DE UN REFRIGERADOR UTILIZANDO CELDAS PELTIER Y ENERGÍA SOLAR PARA ALMACENAR MEDICAMENTOS TERMOLABILES. INGENIERO ELECTRÓNICO», 2019.
- [26] G. Min y D. M. Rowe, «Experimental evaluation of prototype thermoelectric domestic-refrigerators», *Appl Energy*, vol. 83, n.º 2, pp. 133-152, feb. 2006, doi: 10.1016/j.apenergy.2005.01.002.
- [27] Gevorkian y Peter, «Endorsements for Solar Power in Building Design», 2008.
- [28] Yogi Goswami, «SOLAR ENGINEERING Principles of», 2015.
- [29] H. ~J. Hovel, «Solar cells», *NASA STI/Recon Technical Report A*, vol. 76, p. 20650, ene. 1975.
- [30] F. Balo y L. Şağbanşua, «The Selection of the Best Solar Panel for the Photovoltaic System Design by Using AHP», *Energy Procedia*, vol. 100, pp. 50-53, nov. 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.10.151.
- [31] F. Boico, B. Lehman, y K. Shujaee, «Solar Battery Chargers for NiMH Batteries», *IEEE Trans Power Electron*, vol. 22, n.º 5, pp. 1600-1609, sep. 2007, doi: 10.1109/TPEL.2007.904164.
- [32] Issuu, «Energía solar fotovoltaica (manual técnico para instalaciones domiciliarias)», 2015. https://issuu.com/sinapsisarcar/docs/energ__a_solar_fotovoltaica__manual (accedido dic. 27, 2022).
- [33] R. Enríquez Herrador, «Guía de Usuario de Arduino», 2009.
- [34] R. por y J. Bausà Aragonés Carlos García Gómez Benito Zaragozaí Zaragozaí Alex Gil Martínez Daniel Moreno Campos Antonio Galiana Llinares, «SENSORES DE TEMPERATURA», 2020.
- [35] esalleras, «508-FT espuma PIR M Rev.4», 2022. [En línea]. Available: www.poliuretanos.com
- [36] Corporación Limatambo, «FICHA TÉCNICA PANEL DE ALUMINIO COMPUESTO (PAC)», 2021.
- [37] V. Salinas Castro y L. Rodríguez Wong, «Poblaciones indígenas amazónicas del Ecuador, su situación, cambios y diferencias reflejadas en su fecundidad», *Bulletin de l'Institut français d'études andines*, n.º 48 (3), pp. 257-281, dic. 2019, doi: 10.4000/bifea.10742.

- [38] Vaca Diego y Ordoñez Freddy, «Mapa_Solar_del_Ecuador_2019», 2019.
- [39] climatewebsite\WMO, «climate.onebuilding.org», 2022.
https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/ECU_Ecuador/index.html (accedido dic. 27, 2022).
- [40] OMS, «WHO Vaccine Management Handbook Module VMH-E3-01.1 HOW TO CALCULATE VACCINE VOLUMES AND COLD CHAIN CAPACITY REQUIREMENTS EVM Setting a standard for the vaccine supply chain», 2017.
- [41] Daikin Europe NV, «Psychrometrics». Accedido: dic. 27, 2022. [En línea]. Available: <https://www.daikin.eu/>
- [42] P&N Technology (Xiamen), «Thermoelectric Cooler Performance Specifications ModuleResistance(Ohms) 2.25 2.54 Mechanical Drawing : ». [En línea]. Available: www.pengnantech.com
- [43] CETRONIC, «Detalle del producto», 2022.
<https://www.cetronic.es/sqlcommerce/disenos/plantilla1/seccion/producto/DetalleProducto.jsp?idIdioma=> (accedido dic. 27, 2022).
- [44] First Power, «ficha-tecnica-bateria-gel-12v-18a-firstpower-fp12180-unidad».
- [45] RESUN, «Full range of products and certification systems», 2021.

Anexos

ANEXO I.

KITS BRINDADOS POR LA ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD

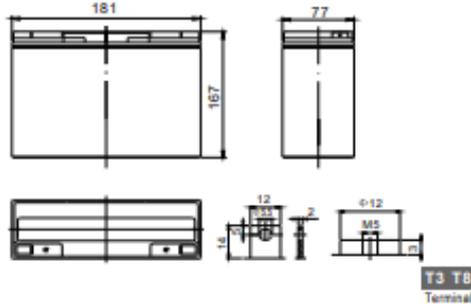
			
» Combined Administration and Mixing Kit-450 (Direct Ship)			
Kit description	Combined kit with small syringes for vaccine administration (with a 4:2 ratio of low dead-volume needles/syringes to non-low dead-volume needles/syringes), mixing supplies, and diluent.		
NDC # in VTrcks	11111-0013-02 (Adult)* 11111-0013-01 (Pediatric)		
Kit dimensions/weight	Kit box may be one of the following sizes: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Adult: 24 in x 15 in x 11 in /17.75 lbs ▪ Pediatric: 24 in x 15 in x 11 in / 16.5 lbs 		
Minimum order size and increment	Kit to support administration of 450 doses (plus overage), including 0.9% preservative- free normal saline diluent		
Accompanies 0.3mL-dose vaccines	Pfizer-BioNTech		
Order Intention	Kits to support vaccination of adults and children are available to order.		
Contents: Each kit contains a label on the outside of the box with a complete inventory list.	<table border="0"> <tr> <td style="vertical-align: top;"> Adult Kit* <ul style="list-style-type: none"> ▪ 315 needles (22-25G X 1") ▪ 315 syringes (1 mL, LDV) ▪ 75 needles (22-25G X 1") ▪ 75 syringes (1 mL) ▪ 85 needles (22G-25G X 1.5") ▪ 85 syringes (1 mL) ▪ 80 mixing needles (21-25G X 1.5") ▪ 80 mixing syringes (3 mL or 5 mL) ▪ 1,200 alcohol pads ▪ 450 vaccination record cards ▪ 4 needle gauge and length charts ▪ 10 face shields ▪ 20 surgical masks ▪ 75 diluent vials </td> <td style="vertical-align: top;"> Pediatric Kit <ul style="list-style-type: none"> ▪ 315 needles (25G X 1") ▪ 315 syringes (1 mL, LDV) ▪ 160 needles (25G X 1") ▪ 160 syringes (1 mL) ▪ 80 mixing needles (21G-25G X 1.5") ▪ 80 mixing syringes (3 mL or 5 mL) ▪ 1,200 alcohol pads ▪ 450 vaccination record cards ▪ 4 needle gauge and length charts ▪ 10 face shields ▪ 20 surgical masks ▪ 75 diluent vials </td> </tr> </table>	Adult Kit* <ul style="list-style-type: none"> ▪ 315 needles (22-25G X 1") ▪ 315 syringes (1 mL, LDV) ▪ 75 needles (22-25G X 1") ▪ 75 syringes (1 mL) ▪ 85 needles (22G-25G X 1.5") ▪ 85 syringes (1 mL) ▪ 80 mixing needles (21-25G X 1.5") ▪ 80 mixing syringes (3 mL or 5 mL) ▪ 1,200 alcohol pads ▪ 450 vaccination record cards ▪ 4 needle gauge and length charts ▪ 10 face shields ▪ 20 surgical masks ▪ 75 diluent vials 	Pediatric Kit <ul style="list-style-type: none"> ▪ 315 needles (25G X 1") ▪ 315 syringes (1 mL, LDV) ▪ 160 needles (25G X 1") ▪ 160 syringes (1 mL) ▪ 80 mixing needles (21G-25G X 1.5") ▪ 80 mixing syringes (3 mL or 5 mL) ▪ 1,200 alcohol pads ▪ 450 vaccination record cards ▪ 4 needle gauge and length charts ▪ 10 face shields ▪ 20 surgical masks ▪ 75 diluent vials
Adult Kit* <ul style="list-style-type: none"> ▪ 315 needles (22-25G X 1") ▪ 315 syringes (1 mL, LDV) ▪ 75 needles (22-25G X 1") ▪ 75 syringes (1 mL) ▪ 85 needles (22G-25G X 1.5") ▪ 85 syringes (1 mL) ▪ 80 mixing needles (21-25G X 1.5") ▪ 80 mixing syringes (3 mL or 5 mL) ▪ 1,200 alcohol pads ▪ 450 vaccination record cards ▪ 4 needle gauge and length charts ▪ 10 face shields ▪ 20 surgical masks ▪ 75 diluent vials 	Pediatric Kit <ul style="list-style-type: none"> ▪ 315 needles (25G X 1") ▪ 315 syringes (1 mL, LDV) ▪ 160 needles (25G X 1") ▪ 160 syringes (1 mL) ▪ 80 mixing needles (21G-25G X 1.5") ▪ 80 mixing syringes (3 mL or 5 mL) ▪ 1,200 alcohol pads ▪ 450 vaccination record cards ▪ 4 needle gauge and length charts ▪ 10 face shields ▪ 20 surgical masks ▪ 75 diluent vials 		

ANEXO II. FICHA TECNICA BATERIA FP12180H

Standard Series FP12180 12V18Ah

FirstPower®

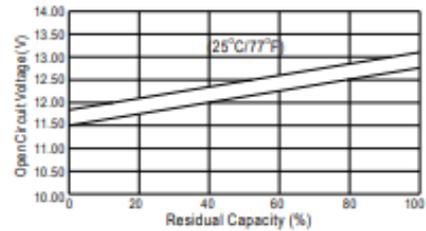
Dimension(mm)



Specification

Nominal Voltage	12 V	
Capacity(20HR, 25°C)	18Ah	
Dimension	Length	181mm (7.13inch)
	Width	77mm (3.03inch)
	Height	167mm (6.57inch)
	Total Height(T3/T8)	167mm(6.57inch)/167mm(6.57inch)
Approx. Weight	5.5kg (12.1lbs)	

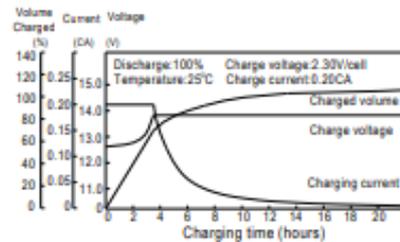
The Relationship for OpenCircuit Voltage and Residual Capacity (25°C)



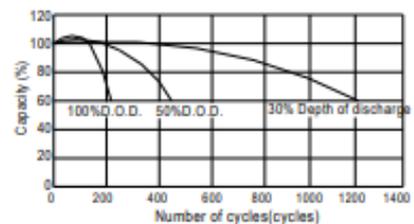
Characteristics

Capacity 20°C (68°F) To 1.70V/Cell	20 hour rate	18Ah
	10 hour rate	16.3Ah
	5 hour rate	14.4Ah
	1 hour rate	10.4Ah
	15 min rate	7.55Ah
Internal resistance(Fully charged, 25°C)	Approx. 17mΩ	
Capacity affected by temperature (20HR)	40°C	102%
	25°C	100%
	0°C	85%
	-15°C	65%
Self-discharge (25°C)	3 month	Remaining Capacity: 91%
	6 month	Remaining Capacity: 82%
	12 month	Remaining Capacity: 65%
Nominal operating temperature	25°C ±3°C (77°F ±5°F)	
Operating temperature range	-15°C ~50°C (5°F ~122°F)	
Float charging voltage(25°C)	13.60 to 13.80V	
Cyclic charging voltage(25°C)	14.50 to 14.90V	
Maximum charging current	5.4A	
Terminal material	Copper	
Maximum discharge current	270A(5 Sec.)	

Charging Characteristics(25°C)



Cycle Life(25°C)



Constant Current Discharge Characteristics(A, 25°C)

F.V/TIME	5min	10min	15min	30min	60min	3h	5h	10h	20h
9.60V	63.0	39.6	31.5	18.9	10.8	4.38	2.92	1.64	0.91
10.2V	59.9	37.6	30.2	18.1	10.4	4.32	2.88	1.63	0.91
10.8V	56.3	35.4	28.7	17.2	9.85	4.23	2.82	1.62	0.90

Constant Power Discharge Characteristics(Watt, 25°C)

5min	10min	15min	30min	60min	3h	5h	10h	20h
703	447	359	217	125	52.1	34.9	19.7	11.0
668	424	345	208	120	51.3	34.4	19.6	10.9
628	399	327	198	114	50.3	33.7	19.6	10.8

ANEXO III.

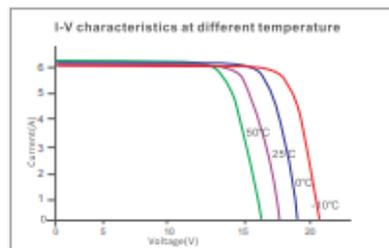
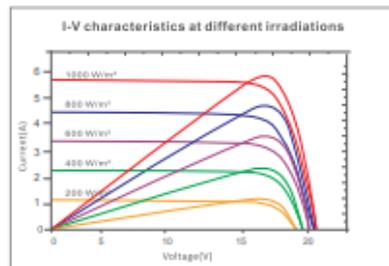
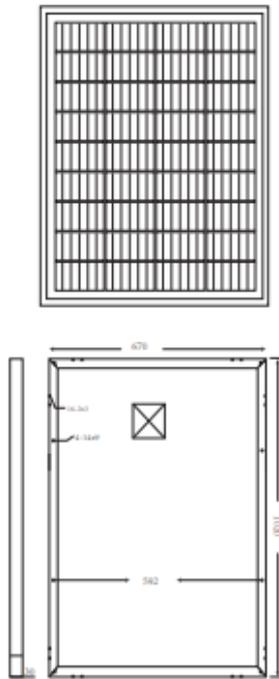
FICHA TECNICA PANEL SOLAR RSM110P

RSM110P



GLOBAL PROFESSIONAL PV PRODUCTS INTEGRATED SOLUTIONS SUPPLIER

Dimension of PV Modules Unit: mm



A: No. 15 Puzhuang Avenue, Wuzhong District,
Suzhou, Jiangsu Chian, 21500
F: +86512-86292101 T: +86 512-66293858
W: www.resunsolar.com E: info@resunsolar.com

ELECTRICAL DATA(STC)

Rated Power in Watts-Pmax(Wp)	110W
Open Circuit Voltage-Voc(V)	21.88V
Short Circuit Current-Isc(A)	6.26A
Maximum Power Voltage-Vmp(V)	17.90V
Maximum Power Current-Imp(A)	5.88A
Module Efficiency (%)	16.0%

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

ELECTRICAL DATA(NOCT)

Maximum Power-Pmax (Wp)	73.9W
Open Circuit Voltage-Voc (V)	20.6V
Short Circuit Current-Isc (A)	4.99A
Maximum Power Voltage-Vmp(V)	16.98V
Maximum Power Current-Imp(A)	4.60A

NOCT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Solar cells	Poly-crystalline 156.75x91mm 5 Bus bars
Cell configuration	36 cells(4x9)
Module dimensions	1020x670x30 mm
Weight	7KGS
Front Cover	3.2mm Tempered Glass
Frame Material	Anodized Aluminum Alloy
J-BOX	IP65 or IP67, 6 Diodes
Cable	4mm ² (IEC)/12AWG(UL),900mm
Connectors	MC4 or MC4 Comparable
Standard Packaging	4pcs/suite box

TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C±2°C
Temperature Coefficient of Voc	-0.32%/°C
Temperature Coefficient of Isc	0.05%/°C
Temperature Coefficient of Pmax	-0.39%/°C
Operational Temperature	-40~+85°C
Maximum System Voltage	1000V(IEC)/600V(UL)
Max Series Fuse Rating	10A
Limiting Reverse Current	10A

PACKAGING CONFIGURATION

	40HQ	20GP
Number of modules per container	2184pcs	1120pcs
Package	4pcs/suite box	4pcs/suite box
Package Weight	30kg/suite box	30kg/suite box
Package Number	546suite boxes	280suite boxes
Package Dimension	1040*690*170mm/suite box	1220*560*170mm/suite box

ANEXO IV.
DIAGRAMA DE OPERACIONES DE LA CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO

Ítem	Actividad	Día																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	Revisión bibliográfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	Cámara	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	Selección de componentes				X	X																								
4	Adquisición de materiales						X	X																						
5	Preparación de materiales							X	X	X																				
6	Ensamblaje de la cámara											X	X	X																
7	Modulo Peltier														X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
8	Ensamblaje del módulo															X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
9	Montaje del módulo															X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10	Sistema de control																X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
11	Diseño del circuito electrónico															X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	Diseño del sistema de potencia																X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
13	Adquisición de componentes																X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	Armado del sistema de control en protoboard																	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
15	Programación del sistema de control																					X	X	X	X	X	X	X	X	X
16	Pruebas del sistema de control																													
17	Diseño de PCB																													
18	Armado de sistem de control en el prototipo																													

ANEXO V.

PROGRAMACION DEL SISTEMA DE CONTROL

```
#include <OneWire.h>
#include <Wire.h>
#include <RTCLib.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <math.h>
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
int val=0;
int buzzer =2;
float sinVal;
int toneVal;
int rele=7;
int led =4;
int ledver =5;
const byte pinDatosDQ=8;
OneWire oneWireObjeto (pinDatosDQ);
DallasTemperature sensorDS18B20(&oneWireObjeto);
int reedswitch = 9;
#define SSpin 10
File archivo;
RTC_DS3231 rtc;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  rtc.begin();
  sensorDS18B20.begin();
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  /*if (! rtc.begin()) {
  Serial.println("Modulo RTC no encontrado !");
  while (1);
  }
  rtc.adjust(DateTime(__DATE__, __TIME__));    */
  pinMode(reedswitch, INPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
  pinMode (buzzer, OUTPUT);
  pinMode (rele, OUTPUT);
  Serial.println("Inicializando tarjeta ...");
  if (!SD.begin(SSpin)) {
    Serial.println("fallo en inicializacion !");
    return;
  }
  Serial.println("inicializacion correcta");
}
void loop() {
  DateTime fecha = rtc.now();
  val= digitalRead (reedswitch);
  if (val==LOW){
    lcd.clear();
```

```

lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Puerta");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Abierta");
digitalWrite(led, HIGH);
digitalWrite(ledver, HIGH);
digitalWrite(rele, LOW);
delay(5000);
for(int x=0; x<180; x++){
  sinVal = (sin(x*(3.1412/180)));
  toneVal=2000+(int(sinVal*1000));
  tone (buzzer, toneVal, 10);
  delay(5);
}
}
else {
digitalWrite(led, LOW);
digitalWrite(ledver, HIGH);
noTone(buzzer);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Puerta cerrada");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("");
delay (1000);
lcd.clear();
sensorDS18B20.requestTemperatures();
archivo = SD.open("datos.txt", FILE_WRITE);
if (archivo) {
  archivo.print(fecha.day());
  archivo.print("/");
  archivo.print(fecha.month());
  archivo.print("/");
  archivo.print(fecha.year());
  archivo.print(",");
  archivo.print(fecha.hour());
  archivo.print(":");
  archivo.print(fecha.minute());
  archivo.print(",");
  archivo.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(0));
  archivo.print(",");
  archivo.println(sensorDS18B20.getTempCByIndex(1));
  Serial.print(fecha.day());
  Serial.print("/");
  Serial.print(fecha.month());
  Serial.print("/");
  Serial.print(fecha.year());
  Serial.print(",");
  Serial.print(fecha.hour());
  Serial.print(":");
  Serial.print(fecha.minute());
  Serial.print(",");
  Serial.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(0));
  Serial.print(",");

```

```

Serial.println(sensorDS18B20.getTempCByIndex(1));
archivo.close();
Serial.println("escritura correcta");
}
else {
Serial.println("error en apertura de datos.txt");
}
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Temp1: ");
lcd.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(0));
lcd.print((char)223);
lcd.print("C");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Temp2: ");
lcd.print(sensorDS18B20.getTempCByIndex(1));
lcd.print((char)223);
lcd.print("C");
if (sensorDS18B20.getTempCByIndex(0) >5.5 &&
sensorDS18B20.getTempCByIndex(1)>5.5)
{
digitalWrite(rele, HIGH);
Serial.print("Rele on");
}
else {
digitalWrite(rele, LOW);
Serial.println("Rele off");
}
delay(30000);
}
}
}

```

ANEXO VI.

DATOS OBTENIDOS DURANTE LA PRUEBA DEL PROTOTIPO

Fecha	Temperatura	Temperatura 1	#Dato
11:28:00	2056	20,56	0
11:28:00	2050	20,5	1
11:29:00	2037	20,37	2
11:29:00	2019	20,19	3
11:30:00	2000	20	4
11:30:00	1981	19,81	5
11:31:00	1975	19,75	6
11:31:00	1975	19,75	7
11:32:00	1950	19,5	8
11:32:00	1912	19,12	9
11:33:00	1875	18,75	10
11:33:00	1831	18,31	11

11:34:00	1787	17,87	12
11:34:00	1750	17,5	13
11:35:00	1706	17,06	14
11:36:00	1669	16,69	15
11:36:00	1631	16,31	16
11:37:00	1600	16	17
11:37:00	1563	15,63	18
11:38:00	1531	15,31	19
11:38:00	1494	14,94	20
11:39:00	1463	14,63	21
11:39:00	1431	14,31	22
11:40:00	1400	14	23
11:40:00	1375	13,75	24
11:41:00	1344	13,44	25
11:41:00	1319	13,19	26
11:42:00	1294	12,94	27
11:43:00	1269	12,69	28
11:43:00	1244	12,44	29
11:44:00	1219	12,19	30
11:44:00	1194	11,94	31
11:45:00	1175	11,75	32
11:45:00	1156	11,56	33
11:46:00	1131	11,31	34
11:46:00	1113	11,13	35
11:47:00	1094	10,94	36
11:47:00	1075	10,75	37
11:48:00	1056	10,56	38
11:48:00	1044	10,44	39
11:49:00	1025	10,25	40
11:49:00	1006	10,06	41
11:50:00	994	9,94	42
11:51:00	981	9,81	43
11:51:00	963	9,63	44
11:52:00	950	9,5	45
11:52:00	938	9,38	46
11:53:00	925	9,25	47
11:53:00	913	9,13	48
11:54:00	900	9	49
11:54:00	888	8,88	50
11:55:00	875	8,75	51
11:55:00	863	8,63	52
11:56:00	856	8,56	53
11:56:00	844	8,44	54
11:57:00	831	8,31	55
11:57:00	825	8,25	56
11:58:00	819	8,19	57

11:59:00	806	8,06	58
11:59:00	800	8	59
12:00:00	794	7,94	60
12:00:00	781	7,81	61
12:01:00	775	7,75	62
12:01:00	769	7,69	63
12:02:00	763	7,63	64
12:02:00	750	7,5	65
12:03:00	750	7,5	66
12:03:00	738	7,38	67
12:04:00	738	7,38	68
12:04:00	731	7,31	69
12:05:00	725	7,25	70
12:05:00	719	7,19	71
12:06:00	713	7,13	72
12:07:00	706	7,06	73
12:07:00	700	7	74
12:08:00	700	7	75
12:08:00	694	6,94	76
12:09:00	688	6,88	77
12:09:00	681	6,81	78
12:10:00	681	6,81	79
12:10:00	675	6,75	80
12:11:00	669	6,69	81
12:11:00	669	6,69	82
12:12:00	669	6,69	83
12:12:00	663	6,63	84
12:13:00	656	6,56	85
12:14:00	656	6,56	86
12:14:00	656	6,56	87
12:15:00	650	6,5	88
12:15:00	650	6,5	89
12:16:00	644	6,44	90
12:16:00	644	6,44	91
12:17:00	638	6,38	92
12:17:00	638	6,38	93
12:18:00	638	6,38	94
12:18:00	631	6,31	95
12:19:00	631	6,31	96
12:19:00	631	6,31	97
12:20:00	625	6,25	98
12:20:00	625	6,25	99
12:21:00	625	6,25	100
12:22:00	625	6,25	101
12:22:00	619	6,19	102
12:23:00	619	6,19	103

12:23:00	619	6,19	104
12:24:00	619	6,19	105
12:24:00	613	6,13	106
12:25:00	613	6,13	107
12:25:00	613	6,13	108
12:26:00	613	6,13	109
12:26:00	613	6,13	110
12:27:00	606	6,06	111
12:27:00	606	6,06	112
12:28:00	606	6,06	113
12:28:00	599	5,99	114
12:29:00	599	5,99	115
12:30:00	599	5,99	116
12:30:00	592	5,92	117
12:31:00	592	5,92	118
12:31:00	592	5,92	119
12:32:00	592	5,92	120
12:32:00	592	5,92	121
12:33:00	585	5,85	122
12:33:00	585	5,85	123
12:34:00	585	5,85	124
12:34:00	576	5,76	125
12:35:00	576	5,76	126
12:35:00	576	5,76	127
12:36:00	576	5,76	128
12:36:00	576	5,76	129
12:37:00	576	5,76	130
12:38:00	569	5,69	131
12:38:00	569	5,69	132
12:39:00	569	5,69	133
12:39:00	564	5,64	134
12:40:00	564	5,64	135
12:40:00	564	5,64	136
12:41:00	564	5,64	137
12:41:00	556	5,56	138
12:42:00	556	5,56	139
12:42:00	556	5,56	140
12:43:00	548	5,48	141
12:43:00	548	5,48	142
12:44:00	548	5,48	143
12:45:00	541	5,41	144
12:45:00	541	5,41	145
12:46:00	541	5,41	146
12:46:00	541	5,41	147
12:47:00	535	5,35	148
12:47:00	535	5,35	149

12:48:00	532	5,32	150
12:48:00	532	5,32	151
12:49:00	529	5,29	152
12:49:00	529	5,29	153
12:50:00	529	5,29	154
12:50:00	529	5,29	155
12:51:00	517	5,17	156
12:51:00	517	5,17	157
12:52:00	510	5,1	158
12:53:00	510	5,1	159
12:53:00	510	5,1	160
12:54:00	506	5,06	161
12:54:00	506	5,06	162
12:55:00	506	5,06	163
12:55:00	500	5	164
12:56:00	500	5	165
12:56:00	500	5	166
12:57:00	500	5	167
12:57:00	495	4,95	168
12:58:00	495	4,95	169
12:58:00	495	4,95	170
12:59:00	495	4,95	171
12:59:00	495	4,95	172
13:00:00	488	4,88	173
13:01:00	488	4,88	174
13:01:00	488	4,88	175
13:02:00	488	4,88	176
13:02:00	488	4,88	177
13:03:00	488	4,88	178
13:03:00	488	4,88	179
13:04:00	488	4,88	180
13:04:00	484	4,84	181
13:05:00	484	4,84	182
13:05:00	484	4,84	183
13:06:00	484	4,84	184
13:06:00	484	4,84	185
13:07:00	484	4,84	186
13:08:00	484	4,84	187
13:08:00	484	4,84	188
13:09:00	484	4,84	189
13:09:00	479	4,79	190
13:10:00	479	4,79	191
13:10:00	479	4,79	192
13:11:00	479	4,79	193
13:11:00	479	4,79	194
13:12:00	479	4,79	195

13:12:00	479	4,79	196
13:13:00	479	4,79	197
13:13:00	479	4,79	198
13:14:00	479	4,79	199
13:14:00	475	4,75	200
13:15:00	475	4,75	201
13:16:00	475	4,75	202
13:16:00	475	4,75	203
13:17:00	475	4,75	204
13:17:00	475	4,75	205
13:18:00	475	4,75	206
13:18:00	475	4,75	207
13:19:00	475	4,75	208
13:19:00	475	4,75	209
13:20:00	471	4,71	210
13:20:00	471	4,71	211
13:21:00	471	4,71	212
13:21:00	471	4,71	213
13:22:00	471	4,71	214
13:22:00	471	4,71	215
13:23:00	471	4,71	216
13:24:00	471	4,71	217
13:24:00	471	4,71	218
13:25:00	471	4,71	219
13:25:00	468	4,68	220
13:26:00	468	4,68	221
13:26:00	468	4,68	222
13:27:00	468	4,68	223
13:27:00	468	4,68	224
13:28:00	468	4,68	225
13:28:00	468	4,68	226
13:29:00	468	4,68	227
13:29:00	466	4,66	228
13:30:00	466	4,66	229
13:30:00	466	4,66	230
13:31:00	466	4,66	231
13:32:00	466	4,66	232
13:32:00	466	4,66	233
13:33:00	462	4,62	234
13:33:00	462	4,62	235
13:34:00	462	4,62	236
13:34:00	462	4,62	237
13:35:00	462	4,62	238
13:35:00	462	4,62	239
13:36:00	462	4,62	240
13:36:00	462	4,62	241

13:37:00	462	4,62	242
13:37:00	459	4,59	243
13:38:00	459	4,59	244
13:39:00	459	4,59	245
13:39:00	459	4,59	246
13:40:00	459	4,59	247
13:40:00	459	4,59	248
13:41:00	459	4,59	249
13:41:00	455	4,55	250
13:42:00	455	4,55	251
13:42:00	455	4,55	252
13:43:00	455	4,55	253
13:43:00	455	4,55	254
13:44:00	455	4,55	255
13:44:00	455	4,55	256
13:45:00	455	4,55	257
13:45:00	455	4,55	258
13:46:00	451	4,51	259
13:47:00	451	4,51	260
13:47:00	451	4,51	261
13:48:00	451	4,51	262
13:48:00	451	4,51	263
13:49:00	447	4,47	264
13:49:00	447	4,47	265
13:50:00	447	4,47	266
13:50:00	447	4,47	267
13:51:00	447	4,47	268
13:51:00	447	4,47	269
13:52:00	447	4,47	270
13:52:00	448	4,48	271
13:53:00	448	4,48	272
13:53:00	448	4,48	273
13:54:00	448	4,48	274
13:55:00	446	4,46	275
13:55:00	446	4,46	276
13:56:00	446	4,46	277
13:56:00	446	4,46	278
13:57:00	446	4,46	279
13:57:00	446	4,46	280
13:58:00	446	4,46	281
13:58:00	444	4,44	282
13:59:00	444	4,44	283
13:59:00	444	4,44	284
14:00:00	444	4,44	285
14:00:00	444	4,44	286
14:01:00	444	4,44	287

14:01:00	444	4,44	288
14:02:00	444	4,44	289
14:03:00	439	4,39	290
14:03:00	439	4,39	291
14:04:00	439	4,39	292
14:04:00	439	4,39	293
14:05:00	439	4,39	294
14:05:00	439	4,39	295
14:06:00	439	4,39	296
14:06:00	439	4,39	297
14:07:00	439	4,39	298
14:07:00	434	4,34	299
14:08:00	434	4,34	300
14:08:00	434	4,34	301
14:09:00	434	4,34	302
14:10:00	434	4,34	303
14:10:00	434	4,34	304
14:11:00	434	4,34	305
14:11:00	434	4,34	306
14:12:00	434	4,34	307
14:12:00	434	4,34	308
14:13:00	435	4,35	309
14:13:00	435	4,35	310
14:14:00	435	4,35	311
14:14:00	435	4,35	312
14:15:00	435	4,35	313
14:15:00	435	4,35	314
14:16:00	433	4,33	315
14:16:00	433	4,33	316
14:17:00	433	4,33	317
14:18:00	433	4,33	318
14:18:00	433	4,33	319
14:19:00	433	4,33	320
14:19:00	430	4,3	321
14:20:00	430	4,3	322
14:20:00	430	4,3	323
14:21:00	430	4,3	324
14:21:00	430	4,3	325
14:22:00	430	4,3	326
14:22:00	427	4,27	327
14:23:00	427	4,27	328
14:23:00	427	4,27	329
14:24:00	427	4,27	330
14:24:00	427	4,27	331
14:25:00	427	4,27	332
14:26:00	427	4,27	333

14:26:00	423	4,23	334
14:27:00	423	4,23	335
14:27:00	423	4,23	336
14:28:00	423	4,23	337
14:28:00	423	4,23	338
14:29:00	423	4,23	339
14:29:00	423	4,23	340
14:30:00	423	4,23	341
14:30:00	423	4,23	342
14:31:00	424	4,24	343
14:31:00	424	4,24	344
14:32:00	424	4,24	345
14:33:00	424	4,24	346
14:33:00	424	4,24	347
14:34:00	422	4,22	348
14:34:00	422	4,22	349
14:35:00	422	4,22	350
14:35:00	422	4,22	351
14:36:00	422	4,22	352
14:36:00	422	4,22	353
14:37:00	422	4,22	354
14:37:00	422	4,22	355
14:38:00	422	4,22	356
14:38:00	419	4,19	357
14:39:00	419	4,19	358
14:39:00	419	4,19	359
14:40:00	419	4,19	360
14:41:00	419	4,19	361
14:41:00	419	4,19	362
14:42:00	410	4,1	363
14:42:00	410	4,1	364
14:43:00	408	4,08	365
14:43:00	406	4,06	366
14:44:00	406	4,06	367
14:44:00	396	3,96	368
14:45:00	396	3,96	369
14:45:00	396	3,96	370
14:46:00	396	3,96	371
14:46:00	394	3,94	372
14:47:00	394	3,94	373
14:47:00	394	3,94	374
14:48:00	394	3,94	375
14:49:00	394	3,94	376
14:49:00	394	3,94	377
14:50:00	394	3,94	378
14:50:00	394	3,94	379

14:51:00	390	3,9	380
14:51:00	390	3,9	381
14:52:00	390	3,9	382
14:52:00	390	3,9	383
14:53:00	390	3,9	384
14:53:00	390	3,9	385
14:54:00	390	3,9	386
14:54:00	390	3,9	387
14:55:00	390	3,9	388
14:55:00	387	3,87	389
14:56:00	387	3,87	390
14:57:00	387	3,87	391
14:57:00	387	3,87	392
14:58:00	387	3,87	393
14:58:00	387	3,87	394
14:59:00	387	3,87	395
14:59:00	387	3,87	396
15:00:00	387	3,87	397
15:00:00	383	3,83	398
15:01:00	383	3,83	399
15:01:00	383	3,83	400
15:02:00	383	3,83	401
15:02:00	383	3,83	402
15:03:00	383	3,83	403
15:04:00	383	3,83	404
15:04:00	383	3,83	405
15:05:00	383	3,83	406
15:05:00	383	3,83	407
15:06:00	383	3,83	408
15:06:00	379	3,79	409
15:07:00	379	3,79	410
15:07:00	379	3,79	411
15:08:00	379	3,79	412
15:08:00	379	3,79	413
15:09:00	379	3,79	414
15:09:00	379	3,79	415
15:10:00	379	3,79	416
15:10:00	379	3,79	417
15:11:00	379	3,79	418
15:12:00	376	3,76	419
15:12:00	376	3,76	420
15:13:00	376	3,76	421
15:13:00	374	3,74	422
15:14:00	374	3,74	423
15:14:00	374	3,74	424
15:15:00	374	3,74	425

15:15:00	372	3,72	426
15:16:00	372	3,72	427
15:16:00	372	3,72	428
15:17:00	368	3,68	429
15:17:00	638	6,38	430
15:18:00	368	3,68	431
15:18:00	368	3,68	432
15:19:00	368	3,68	433
15:20:00	368	3,68	434
15:20:00	368	3,68	435
15:21:00	368	3,68	436
15:21:00	368	3,68	437
15:22:00	368	3,68	438
15:22:00	368	3,68	439
15:23:00	368	3,68	440
15:23:00	362	3,62	441
15:24:00	362	3,62	442
15:24:00	362	3,62	443
15:25:00	362	3,62	444
15:25:00	362	3,62	445
15:26:00	362	3,62	446
15:26:00	358	3,58	447
15:27:00	358	3,58	448
15:28:00	358	3,58	449
15:28:00	358	3,58	450
15:29:00	357	3,57	451
15:29:00	357	3,57	452
15:30:00	355	3,55	453
15:30:00	355	3,55	454
15:31:00	355	3,55	455
15:31:00	351	3,51	456
15:32:00	351	3,51	457
15:32:00	351	3,51	458
15:33:00	351	3,51	459
15:33:00	351	3,51	460
15:34:00	351	3,51	461
15:35:00	351	3,51	462
15:35:00	351	3,51	463
15:36:00	351	3,51	464
15:36:00	351	3,51	465
15:37:00	351	3,51	466
15:37:00	351	3,51	467
15:38:00	351	3,51	468
15:38:00	351	3,51	469
15:39:00	351	3,51	470
15:39:00	351	3,51	471

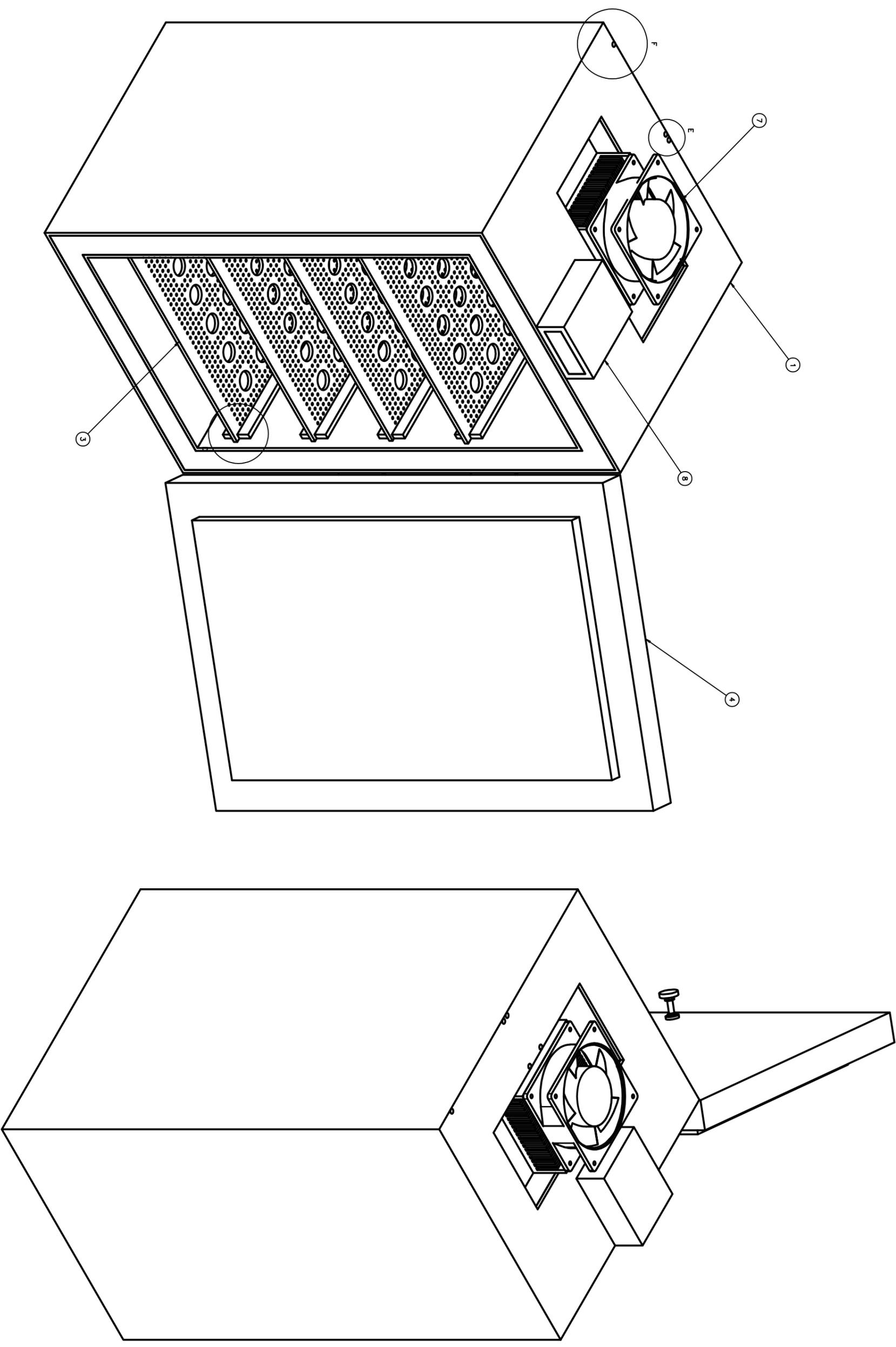
15:40:00	346	3,46	472
15:40:00	346	3,46	473
15:41:00	346	3,46	474
15:41:00	346	3,46	475
15:42:00	346	3,46	476
15:43:00	342	3,42	477
15:43:00	342	3,42	478
15:44:00	342	3,42	479
15:44:00	342	3,42	480
15:45:00	342	3,42	481
15:45:00	340	3,4	482
15:46:00	340	3,4	483
15:46:00	340	3,4	484
15:47:00	340	3,4	485
15:47:00	338	3,38	486
15:48:00	338	3,38	487
15:48:00	338	3,38	488
15:49:00	338	3,38	489
15:49:00	334	3,34	490
15:50:00	334	3,34	491
15:51:00	334	3,34	492
15:51:00	331	3,31	493
15:52:00	331	3,31	494
15:52:00	331	3,31	495
15:53:00	324	3,24	496
15:53:00	324	3,24	497
15:54:00	324	3,24	498
15:54:00	324	3,24	499
15:55:00	324	3,24	500
15:55:00	319	3,19	501
15:56:00	319	3,19	502
15:56:00	319	3,19	503
15:57:00	319	3,19	504
15:58:00	319	3,19	505
15:58:00	315	3,15	506
15:59:00	315	3,15	507
15:59:00	315	3,15	508
16:00:00	315	3,15	509
16:00:00	315	3,15	510
16:01:00	315	3,15	511
16:01:00	309	3,09	512
16:02:00	309	3,09	513
16:02:00	309	3,09	514
16:03:00	309	3,09	515
16:03:00	305	3,05	516
16:04:00	305	3,05	517

16:04:00	305	3,05	518
16:05:00	305	3,05	519
16:06:00	302	3,02	520

**ANEXO VII.
PLANOS DEL PROTOTIPO**

**ANEXO VIII.
ENLACE AL VIDEO DE PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DEL
PROTOTIPO**

<https://www.youtube.com/watch?v=UP-A2K3X2-U>



DETALLE D (2 : 1)

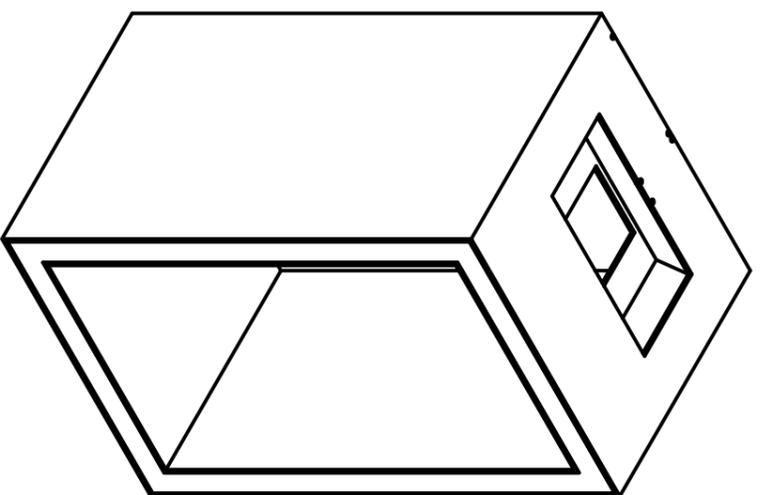
DETALLE E (2 : 1)

F (2 : 1)

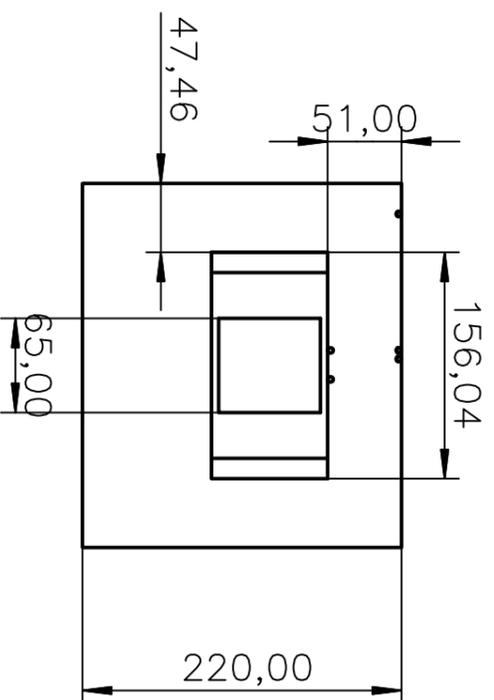
LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CIDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Caja	Quiero del prototipo
2	16	slider	Guía de bondaje
3	4	Bondaje	
4	1	Puerta	1"x1" Galvanizada
5	2	Bisagra	1" Galvanizada
6	1	Manija	TEC-12706
7	1	Modulo Peltier	Arduino UNO
8	1	Arduino	Arduino UNO

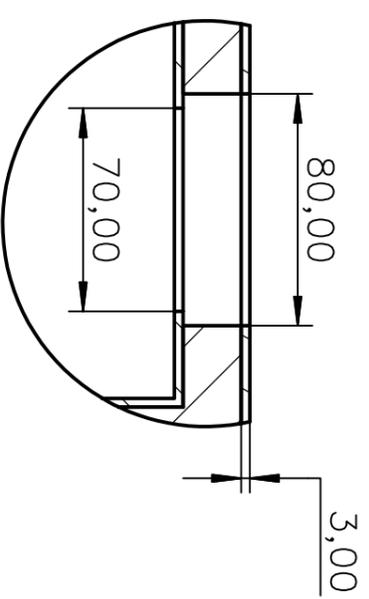
E.P.N Escuela Politécnica Nacional
 INSTITUCIÓN EDUCATIVA
 ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 REFRIGERADOR TERMoeLECTRICO SOLAR
 Profesor: [Nombre]
 Fecha: [Fecha]
 Escala: 1:1



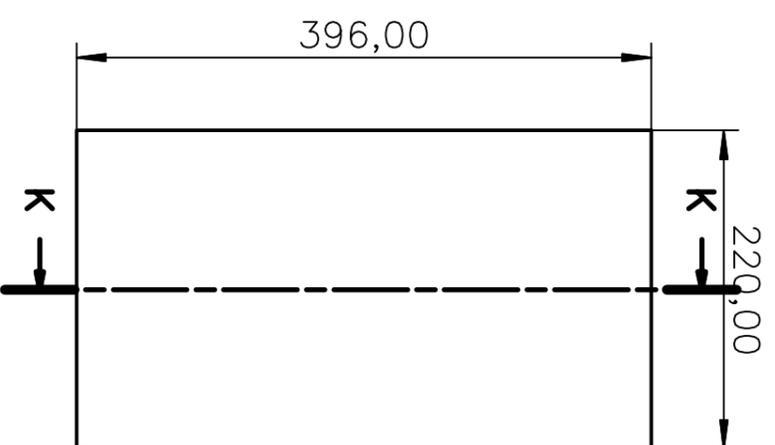
VISTA SUPERIOR



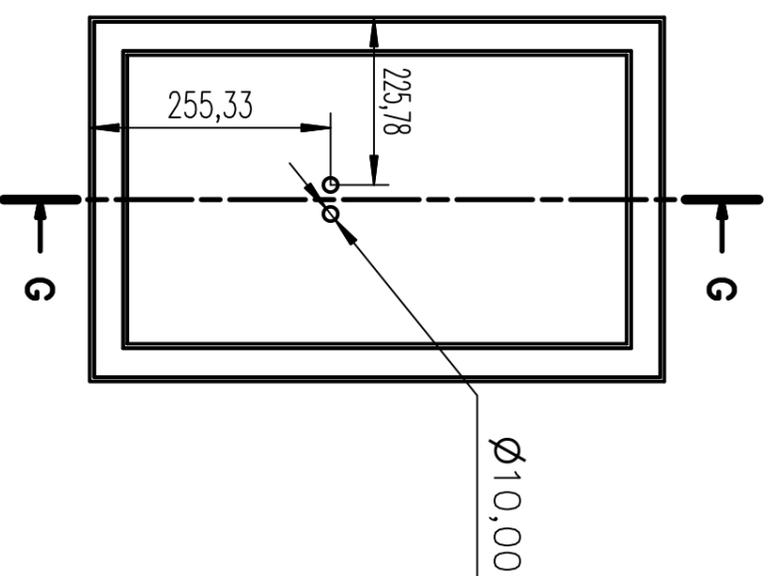
DETALLE H (1 : 2.5)



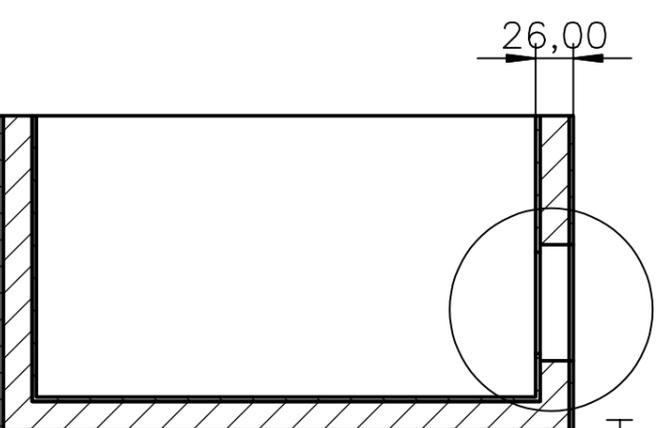
VISTA LATERAL



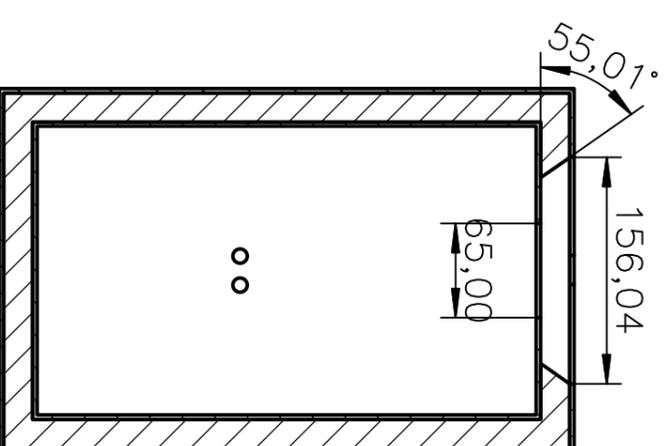
VISTA FRONTAL



CORTE G-G (1 : 5)

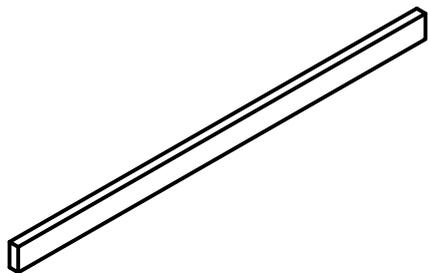


K-K (1 : 5)

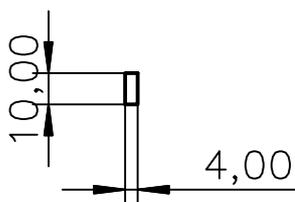


Trat. Térmico	N/A	F.P.N		FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	
Recubrimiento	N/A	Tol. Grd.	Escala:	Dib.	JEFFERSON CALVACHE
MATERIAL:	Polisocianurato	1	: 5	Dis.	PhD. CARLOS NARANJO
				Rev.	PhD. CARLOS NARANJO

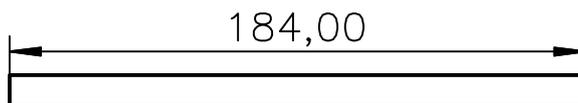
Fecha:
29-12-2022



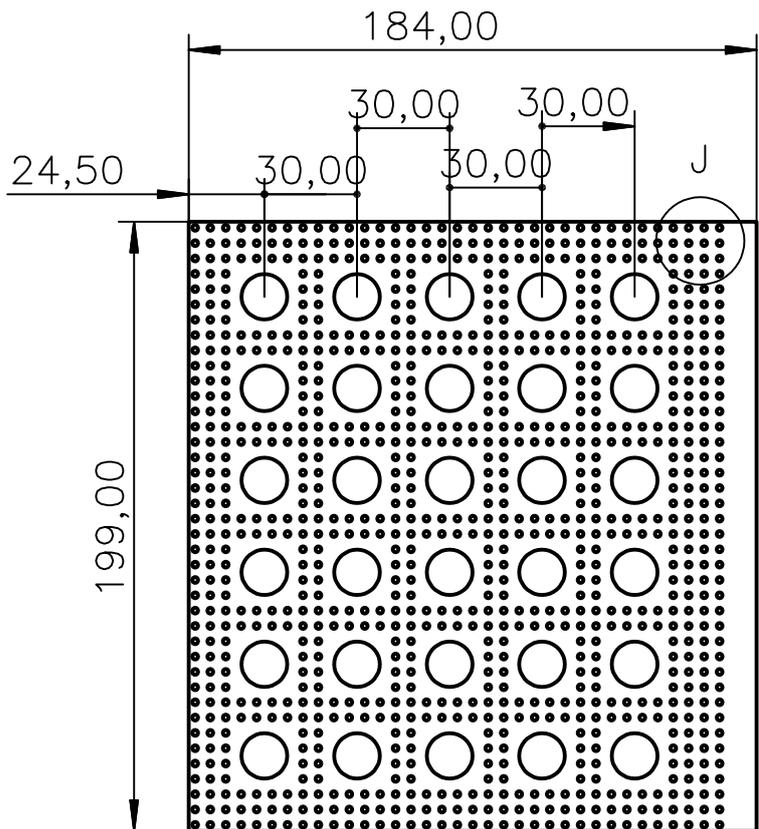
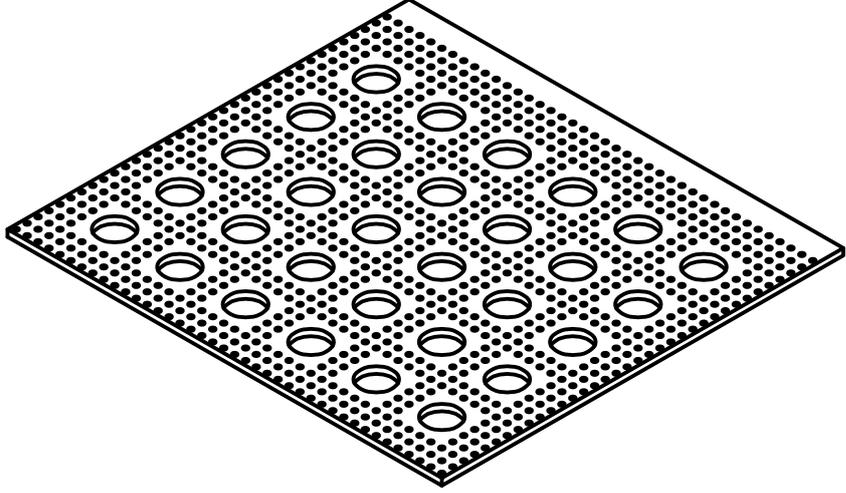
VISTA FRONTAL



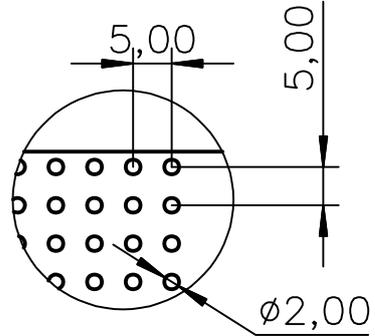
VISTA LATERAL



Trat. Térmico	N/A	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	N/A		Dib.	JEFFERSON CALVACHE	
MATERIAL: Panel Alucubond		Tol. Gral.	Escala:	Dis.	PhD. CARLOS NARANJO
				1 : 2.5	Rev.
					Fecha: 29-12-2022

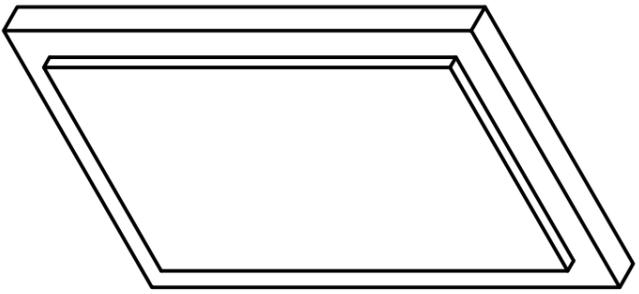


DETALLE J (1 : 1)

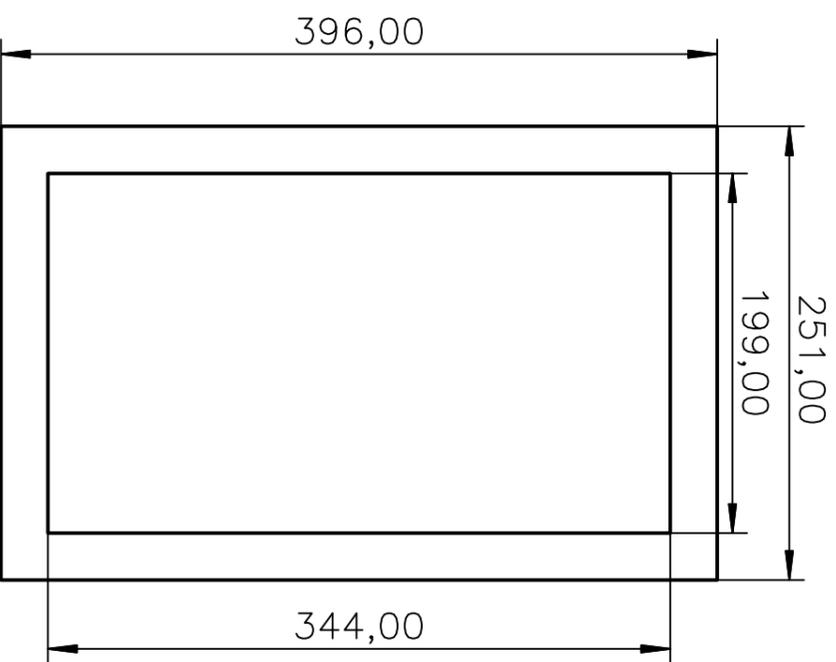


- NOTAS:
- ESPESOR DE PLACA 3mm.
 - ELIMINAR ARISTAS VIVAS.

Trat. Térmico	N/A	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento	N/A		Dib.	JEFFERSON CALVACHE	
MATERIAL: Panel Alucubond		Tol. Gral.	Escala: 1 : 2.5	Dis.	PhD. CARLOS NARANJO
			Rev.	PhD. CARLOS NARANJO	Fecha: 29-12-2022



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



Trat. Térmico	N/A	E.P.N	FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA	
Recubrimiento	N/A		Dib.	JEFFERSON CALVACHE
MATERIAL: Poliisocianurato	Tol. Gral.	Escala: 1 : 5	Dis.	PhD. CARLOS NARANJO
			Rev.	PhD. CARLOS NARANJO
			Fecha:	29-12-2022