

Refrigeración portátil de vacunas

Portable refrigeration of vaccines

Edgar Wilcox¹, Malihe Jamal², José Cedeño^{1*}, Itamar Harris^{3*}

¹Licenciatura en Ingeniería Electromecánica – Centro Regional de Panamá Oeste – Universidad Tecnológica de Panamá,

²Licenciatura en Ingeniería Industrial – Centro Regional de Panamá Oeste – Universidad Tecnológica de Panamá

³Facultad de Ingeniería Mecánica – Centro Regional de Panamá Oeste – Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen Se presenta el diseño, basado en la realización de un modelado de transferencia de calor y uso de herramientas *online* para selección de los componentes, de un dispositivo capaz de enfriar y almacenar vacunas de diversos tipos, de manera sostenible y amigable con el medio ambiente. Esto se logra mediante el uso de un panel fotovoltaico como fuente de energía eléctrica en su cubierta superior, una batería para almacenar la energía, y el uso del efecto Peltier para aumentar la eficiencia en la conservación de las vacunas. Se concluye que existe un potencial de aplicación de estas tecnologías para el fin estudiado.

Palabras claves Batería, efecto Peltier, enfriamiento, vacunas.

Abstract It is presented the design, based on the modelling of heat transfer and use of online tools for selection of components, of a machine which is able to refrigerate and keep several vaccines, in a sustainable and environmentally friendly way. It is reached through the application of a photovoltaic panel as energy source in the top, and a battery for energy saving, and the application of the Peltier effect in order to increase the efficiency of the conservation of the vaccines. It is concluded that there is an important potential of application of these technologies for the studied case.

Keywords Battery, Peltier effect, refrigeration, vaccines.

* Corresponding author: correo_electrónico_asesor@ejemplo.com

1. Introducción

El propósito de la refrigeración es alcanzar y mantener una temperatura por debajo de los alrededores, con el objetivo de enfriar un objeto a la temperatura requerida. Esto puede lograrse transfiriendo calor del objeto con menor temperatura al de mayor temperatura mediante un dispositivo para refrigeración [1].

Una de las alternativas para efectuar dicho proceso, es el uso de celdas Peltier. Las células Peltier son unos dispositivos termoeléctricos que se caracterizan por la aparición de una diferencia de temperaturas entre las dos caras de un semiconductor cuando por él circula una corriente. La interacción entre los fenómenos eléctrico y térmico se conoce desde el siglo XIX, cuando Joule observó que la materia ofrece cierta resistencia al movimiento de los electrones, los cuales ceden energía cinética al entorno en los sucesivos choques. Esta energía proporcionada por los electrones se disipa en forma de calor [2].

Existen múltiples aplicaciones de los dispositivos destinados a la refrigeración tanto comercial, como doméstica. Para propósitos de esta investigación, se concentra

nuestro interés en el enfriamiento y almacenamiento de vacunas de diversos tipos utilizando los parámetros correspondientes para su conservación [3][4].

Las giras médicas se realizan eligiendo una comunidad rural de escasos recursos o que sea recién formada. Las enfermeras se encargan del área de vacunación con sus técnicos y asistentes, los cuales utilizan termos cuadrados tipo coolers chicos con hielo, estos se mantienen en un horario utilizable de 8 horas, para conservar las vacunas [3]. Se llevan vacunas de palis - DPT (tosferina, di fletea, tétanos), Toxoide tetánico, sarampión – Rubeola - MMR, fiebre amarilla, BCG (Tuberculosis) TD (tétanos, difteria) Vita (vía oral) como también las tarjetas de vacuna extras o tiquetes de cartulinas para cuando es una sola dosis. Hoy día se han incorporados otras vacunas como hepatitis A y B, Rotavirus, Influenza, Neumococo, varicela, *haemophilus* [7].

Las limitaciones producto del uso de dispositivos para refrigeración poco apropiados para una jornada de vacunación son evidentes. Con el objetivo de ofrecer una alternativa tecnológica más eficiente y óptima para este fin, a continuación, se desarrolla el diseño de un dispositivo fácil,

versátil y moderno de conservar y enfriar las vacunas, amigable con el medio ambiente y sostenible.

1.1 Antecedentes

Aunque los fenómenos termoelectricos se descubrieron hace más de 150 años, los dispositivos termoelectricos basados en estos no pudieron utilizarse hasta mediados del siglo pasado. El enfriamiento termoelectrico empezó a ser factible a partir de los estudios de Telkes en los años 30 y de Lofee, cuando los nuevos materiales semiconductores irrumpían en escena. Utilizando pares de soldaduras de Teluro de Plomo (PbTe) o Teluro de Selenio (SeTe) los rendimientos obtenidos resultaban mucho más altos y la conversión de energía calorífica en eléctrica o viceversa se hacía más apreciable. El efecto Peltier se ponía en marcha a partir de células compuestas por elementos semiconductores dispuestos sobre una superficie cerámica. Durante los últimos años, el efecto Peltier se utiliza en algunos equipos como sistema de refrigeración, y en menor medida como calefactor, haciendo uso de arreglos de grandes cantidades de uniones, ordenadas para extraer una cantidad de calor importante de un lado y llevarla al lado opuesto.

Por ello, el diseño y estudio térmico de un dispositivo de almacenamiento de reducido tamaño, por módulos termoelectricos presenta una solución más que recomendable para el transporte y almacenamiento de vacunas, además de ser una tecnología en considerado crecimiento [4].

2. Dispositivo de refrigeración portátil

Es una cámara cerrada tipo portátil, que consta de un dispositivo intercambiador de calor, que permite bajar la temperatura en su interior y así poder conservar los diferentes tipos de vacunas. Su circuito interno es energizado por celdas fotovoltaicas ubicadas en la cubierta superior del dispositivo.

2.1 Componentes principales

A nivel de la estructura externa se contempla el uso de P3ductal. Este es un material especial utilizado para el aislamiento de cámaras cerradas ya que tiene baja conductividad térmica. Este material está conformado por poliuretano, que impide la entrada del calor al interior de la caja. El modelo cuenta con una célula Peltier, la cual se encarga de enfriar el interior de la cámara, mientras que el intercambio de calor se da con la ayuda de los ventiladores de pc y disipadores.

Uno de los mejores aislantes en el mercado es el poliuretano el cual se presenta en tres tipos de cubierta: PVC, láminas de aluminio y acero galvanizado. Se considera factible el uso del poliuretano recubierto con láminas delgadas de aluminio (p3ductal), ya que sus propiedades físicas son las que más convienen para la elaboración de la

cámara, las cuales son: densidad muy baja ($2,7 \text{ Mg/m}^3$, $\sim 1/3$ de la de los aceros) y conductividad térmica baja; aspectos beneficiosos en piezas que deben aislar o contener el calor; calor específico elevado ($865 \div 905 \text{ J/kg.K}$); dilatación térmica elevada ($20 \div 25 \mu\text{m/m.k}$ \sim el doble que los aceros).

Las células Peltier son unos dispositivos termoelectricos que se caracterizan por la aparición de una diferencia de temperaturas entre las dos caras de un semiconductor cuando por él circula una corriente, como se representa en la figura 1. Las células Peltier comerciales constan de tres elementos principales: placas cerámicas, puentes eléctricos y termoelementos para elevar su rendimiento, estas se colocan en dispositivos que transfieren de forma efectiva el calor. A este conjunto se le llama módulo Peltier y es el sistema que se encargará de la refrigeración [4].

La celda fotovoltaica ayuda a la conversión directa de luz solar en electricidad a nivel atómico. Algunos materiales presentan una propiedad conocida como efecto fotoeléctrico que hace que absorban fotones de luz y emitan electrones. Cuando estos electrones libres son capturados, el resultado es una corriente directa. La corriente producida depende directamente de cuánta luz llega hasta las celdas fotovoltaicas [9].

Para almacenar la corriente producida por las celdas fotovoltaicas se pretende utilizar una batería recargable [10] [11].

2.2 Funcionamiento

El funcionamiento del dispositivo diseñado se explica a continuación: La energía solar energiza las células fotovoltaicas ubicadas en la cubierta superior de la cámara, esta célula transforma la energía lumínica captada por los rayos solares en energía eléctrica, la cual se dirigirá a un regulador de carga, alimenta el sistema y también almacena parte de la energía en una batería. Esta se carga y energiza el circuito eléctrico interno del dispositivo, que contará de un par de resistencias, las cuales protegerán la célula Peltier, esta última absorberá el calor dentro de la cámara dejando el aire frío dentro de la misma y sacando el calor hacia el medio ambiente el mismo será distribuido por un disipador de calor y este tendrá un ventilador de computadora para que el calor acumulado no se quede en la superficie del termo. La célula Peltier será controlada por un relé el cual ayudará al dispositivo a mantener una temperatura ideal de -8 a -10°C , que es la temperatura para lograr la conservación eficaz de las vacunas utilizadas en las giras médicas.



Figura 1. Efecto Peltier.

3. Diseño del dispositivo

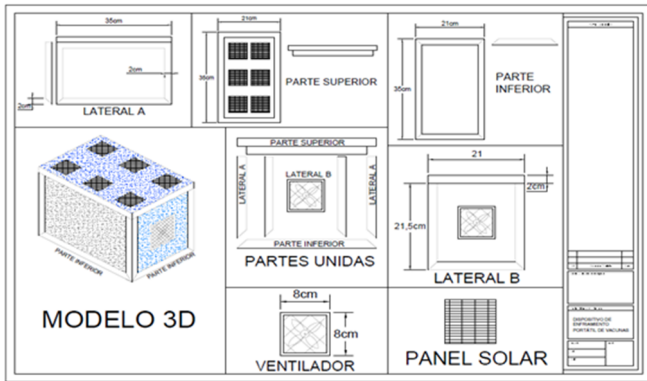


Figura 2. Esquema del dispositivo.

A nivel estructural, se diseña este dispositivo en términos de la capacidad de almacenamiento más óptima para conservar grandes cantidades de vacunas. Se opta por considerar un tamaño de 20cm, 18cm, 2cm, a diferencia de los pequeños coolers que miden aproximadamente 170mm, 55mm, 23mm, como se puede observar en la fig. 2. El termo comprende un circuito sencillo en general, no es excedido en componentes y tiene un peso ligero [4] [5] [8].

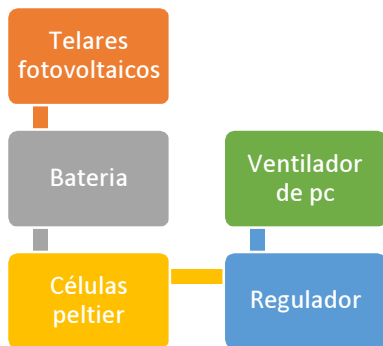


Figura 3. Conexión eléctrica del dispositivo (Diagrama de bloques).

4. Modelado y resultados

Después de haber hecho el estudio térmico del dispositivo y hallar el valor del calor que debe absorber la célula, se sabrán las características que debe poseer la célula Peltier.

Entre las suposiciones tomadas para efectuar los cálculos están: a) el calor es unidireccional, b) se toma en cuenta el efecto de radiación, c) se toma en cuenta la conducción interna y externa del calor y d) para mayor sencillez a la hora de hacer los cálculos se utiliza la analogía de las resistencias eléctricas como resistencias de calor. A continuación, se presentan datos de referencia de acuerdo a consideraciones de diseño adecuadas [5], ecuaciones y cálculos efectuados:

$$T_{ab} = 17.5^{\circ}\text{C} + 273 = 290.5^{\circ}\text{K}$$

$$T_{superficie} = 23.5^{\circ}\text{C} + 273 = 296.5^{\circ}\text{K}$$

$$\epsilon = 1$$

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-9} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$$

$$K = 0.023 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$\text{Espesor (e)} = 0.02 \text{ m}$$

$$H_{INT} = 13.76 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$H_{EXT} = 2.86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$H_{SUP} = 1.33 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$H_{INF} = 3.128 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$T_s = \frac{T_{INT} + T_{AB}}{2} = 11.25^{\circ}\text{C} + 273 = 248.25 \text{ K}$$

$$R_{CONDUCCION} = e/K = 0.8696 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{RAD} = 1/H_{RAD} = 0.1686 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$H_{RAD} = \epsilon \sigma (T_{AB}^2 + T_{ARL}^2)(T_{AB} + T_{ARL}) = 5.9294 \text{ w/m}^2\text{K}$$

$$R_{CONV-EXT} = \frac{1}{\frac{2.86 \text{ W}}{\text{m}^2\text{K}}} = 0.3496 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{CONV-INT} = \frac{1}{13.76 \text{ W/m}^2\text{K}} = 0.0727 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$R_{COMB} = R_{RAD} + R_{CONV-EXT} = 0.5182 \text{ m}^2\text{K/W}$$

$$B_1 = B_2 = 0.04515 \text{ m}^2$$

$$\text{Base superior} = \text{Base inferior} = 0.0735 \text{ m}^2$$

$$A_{INT.A} = 0.06045 \text{ m}^2; A_{INT.B} = 0.03315 \text{ m}^2$$

$$A_{INT} = 0.0589 \text{ m}^2; A_1 = A_2 = 0.07525 \text{ m}^2$$

$$U \cdot A = \frac{1}{\frac{R_{CONV-INT}}{A_{INT}} + \frac{R_{COMB}}{A_{EXT}} + \frac{R_{COND}}{A_{EXT}}}$$

$$Q_{TOTAL} = U \cdot A_{TOTAL} (T_{EXT} - T_{INT})$$

$$Q_{CELDA DE PELTIER} = -KA (T_{frio} - T_{caliente})$$

Lateral A:

$$U^*A = \frac{1}{\frac{0.0727 \text{ m}^2\text{K/w}}{0.0589 \text{ m}^2} + \frac{0.5182 \text{ m}^2\text{K/W}}{0.0735 \text{ m}^2} + \frac{0.3496\text{m}^2}{0.0735 \text{ m}^2}} = \mathbf{0.050903 \text{ W/K}}$$

Lateral B:

$$U^*A = \frac{1}{\frac{0.0727 \text{ m}^2\text{K/w}}{0.0315 \text{ m}^2} + \frac{0.5182 \text{ m}^2\text{K/W}}{0.04515 \text{ m}^2} + \frac{0.3496\text{m}^2}{0.04515 \text{ m}^2}} = \mathbf{0.030367\text{W/K}}$$

Tapa superior e inferior:

$$U^*A = \frac{1}{\frac{0.0727 \text{ m}^2\text{K/w}}{0.0589 \text{ m}^2} + \frac{0.5182 \text{ m}^2\text{K/W}}{0.0735 \text{ m}^2} + \frac{0.3496\text{m}^2}{0.0735 \text{ m}^2}} = \mathbf{0.049712 \text{ W/K}}$$

$$U^*A \text{ TOTAL} = (2) (0.050903 \text{ W/K}) + (2) (0.030367 \text{ W/K}) + (2) (0.049712 \text{ W/K}) = \mathbf{0.261964 \text{ W/K}}$$

$$U^*A_{TOTAL} = 0.050903(2) \text{ W/K} + 0.030367 (2) \text{ W/K} + 0.049712 (2) \text{ W/K} = \mathbf{0.261964 \text{ W/K}}$$

$$Q_{TOTAL} = 0.261964 \text{ W/K} (303\text{K} - 278\text{K}) = \mathbf{6.54909 \text{ w}}$$

$$Q_{CELDA \text{ DE PELTIER}} = -(0.37\text{w/m} * \text{K})(0.04\text{m}) (0.04\text{m}) (298\text{K} - 323\text{K}) = \mathbf{0.0148\text{W}}$$

$$Q_c = \frac{50\text{w} + 57\text{w}}{2} = \mathbf{53.5\text{W}}$$

$$\text{COP} = \frac{6.54909 \text{ w}}{53.5\text{w}} = \mathbf{0.1224 \approx 12.24\%}$$

Se obtiene que el calor a remover por la celda Peltier es de 53.5 W y un coeficiente de desempeño esperado de 12,24%. Con el objetivo de seleccionar la célula Peltier, se utiliza el software “High Performance Peltier Thermoelectric Cooler Modules Suitable for Most Applications”, como se muestra en las figuras 7 y 8. [12]

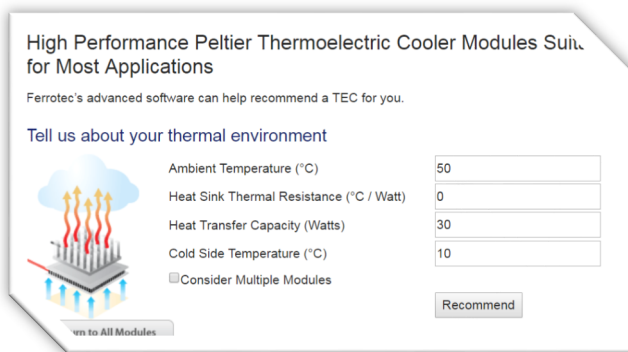


Figura 4. Introducción de datos para buscar la célula Peltier. [12].

Model Number	N	Qc	CoP	I	V	Base W	Base L	Top W	Top L	Height
9500/127/100 B	1	54.3	0.35	10	15.3	39.7	39.7	39.7	39.7	3.64
72001/127/100B	1	57.9	0.37	10	15.7	39.7	39.7	39.7	39.7	3.50
72001/127/110B	1	63.7	0.37	11	15.7	39.7	39.7	39.7	39.7	3.50
72011/129/150B	1	88.2	0.37	15	15.9	79.5	34.5	79.5	34.5	3.50
72008/131/150B	1	89.5	0.37	15	16.2	30	60	30	60	3.30

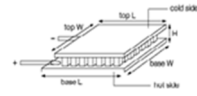


Figura 5. Diferentes tipos de células Peltier para elegir [12].

Para seleccionar la Peltier necesitamos un rango de las QC MAX y para su cálculo optamos por la relación entre el Q(MAX-OPT) y el QC de la siguiente manera:

$$\frac{Q_c}{Q_{\text{max_opt}}} = \mathbf{0,22} \tag{1}$$

En donde: QC= 53.5/0.22= 243.20 W
Por otro lado, tenemos la relación de Q (MAX-MAX) y el QC:

$$\frac{Q_c}{Q_{\text{max_max}}} = \mathbf{0,68} \tag{2}$$

En donde: QC= 53.5/0.68= 78.68 W

Obteniendo como rango: $78.68\text{W} > QC \text{ MAX} > 243.20\text{W}$

Para efectuar nuestro diseño, se utilizan las características técnicas del modelo **72008/131/150B**, que es la célula que verifica los requisitos térmicos y dimensionales solicitados. A continuación, sus características, en las figuras 6, 7, 8, 9, 10 y 11:

72008/131/150B — Mechanical Characteristics	
Base W (mm)	30.0
Base L (mm)	60.0
Top W (mm)	30.0
Top L (mm)	60.0
Height (mm)	3.30

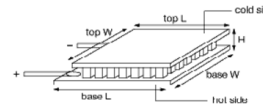


Figura 6. Dimensiones de la célula elegida [12].

I Max	15.0	ΔT Max	83.0
V Max	18.6	Qc Max	146.0

Figura 7. Valor y eficiencia de la célula elegida [12].

4.1 Gráficas con características propias de esta célula Peltier

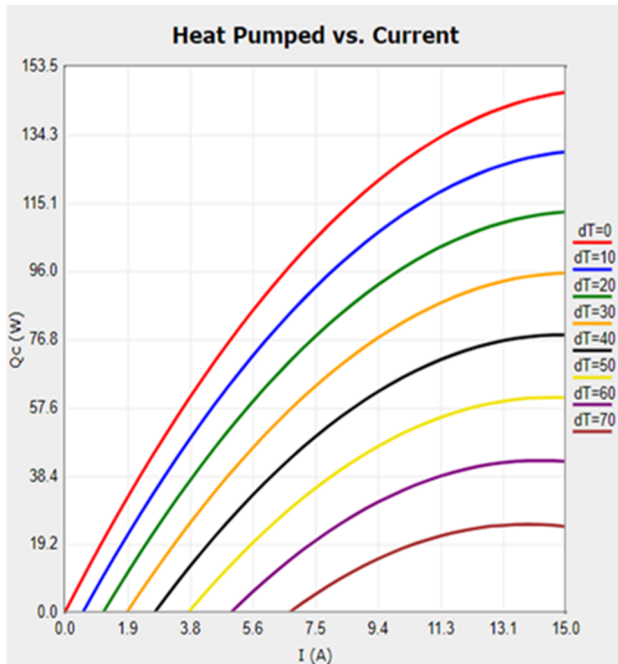


Figura 8. Gráfica del calor absorbido en función de la intensidad de corriente [12].

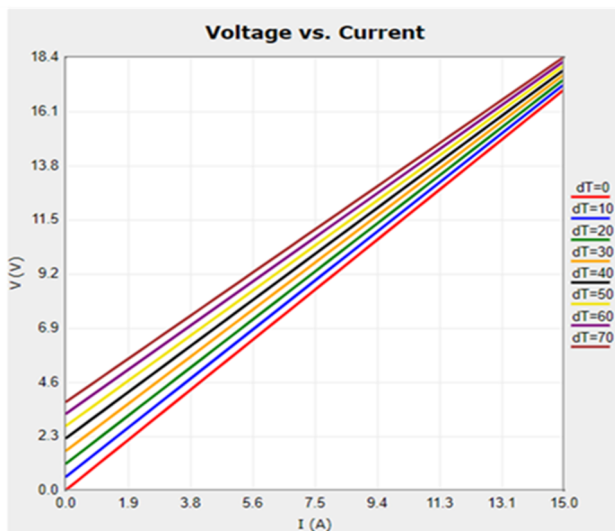


Figura 9. Gráfica de la tensión en función del voltaje [12].

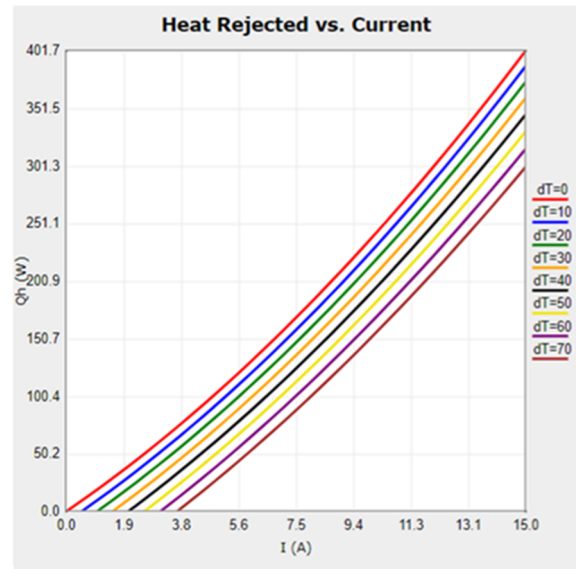


Figura 10. Gráfica del calor disipado en función de la intensidad [12].

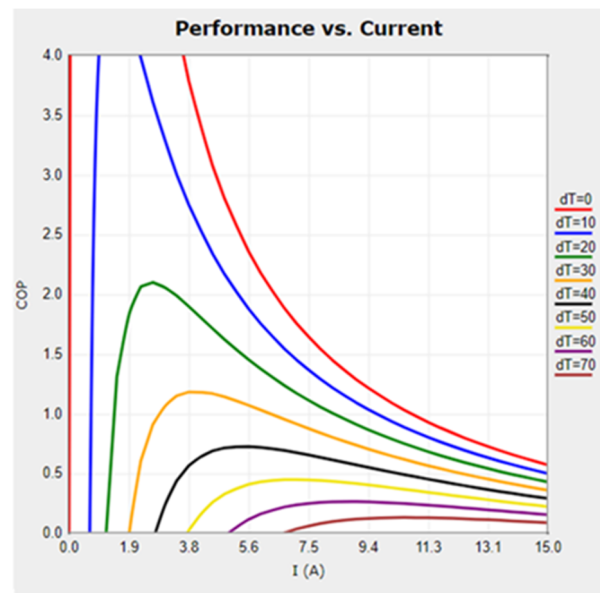


Figura 11. Gráfica del COP en función de la intensidad [12].

4.2 Cálculos de panel solar

Para el cálculo del panel solar lo primero que se necesita es la energía consumida por el sistema. A continuación, se presenta una tabla con la potencia y horas de uso de cada elemento pasivo del circuito.

	Corriente (A)	Voltaje (v)	Potencia (W)	Tiempo (h)	Energía (Wh)
Peltier	15	15.9	70	8	560
Ventilador	0.17	12	2.04	8	16.32
Ventilador	0.17	12	2.04	8	16.32
					592.64

Figura 12. Tabla de las propiedades de cada elemento.

Al seleccionar el regulador apropiado para nuestro sistema, obtuvimos que la eficiencia es de un 80%. Luego de esto, procedimos al cálculo de la energía que generará este panel.

$$\text{Energía entregada por el panel por día} = \frac{\text{energía total del sistema}}{\text{eficiencia del sistema}} = \frac{592.64Wh}{0.8} = 740.8Wh$$

Para obtener la potencia requerimos que en nuestro país la irradiación solar tiene una duración promedio de 4 horas.

$$\text{La potencia del panel} = \frac{\text{Energía entregada por el panel por día}}{\text{horas de irradiación}} = \frac{740.8Wh}{4h} = 185.2W \approx 200W$$

El inconveniente con este cálculo de potencia es que los paneles que producen esta cantidad de energía tienen un tamaño mayor de 1.6 m, lo cual supera el tamaño de la cubierta del termo creando un problema ponerle encima del mismo. Se sugiere entonces hacer un estudio más a fondo para encontrar una solución en el tamaño del panel fotovoltaico [11].

4.3 Cálculos de la batería

$$\text{Energía ponderada} = \frac{\text{energía consumida}}{\text{Coeficiente de pérdida}} = \frac{592.64 Wh}{0.8} = 740.8Wh$$

$$\text{Capacidad de la batería} = \frac{(\text{energía ponderada})(\text{días autónomos})}{\text{profundidad de descarga}} = \frac{(740.8Wh)(1)}{90\%} = 823.11Wh$$

$$\text{Capacidad de la batería (Ah)} = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{\text{Tensión del sistema}}$$

$$= \frac{823.11Wh}{12V} = 68.59Ah \approx 70Ah$$

5. Conclusiones

Se ha propuesto y diseñado a nivel estructural y a nivel de transferencia de calor; un dispositivo portátil para almacenamiento y conservación de vacunas sostenible y amigable con el medio ambiente. Las placas termoeléctricas juegan un papel fundamental en el enfriamiento del sistema, ya que es el único elemento del sistema encargado de extraer el calor del interior de la cámara. Dados los resultados obtenidos, se considera factible la construcción y prueba del equipo propuesto puesto que, al efectuar nuestro modelo teórico del mismo, obtuvimos resultados que apunta a

factibilidad a nivel de construcción y operación; ya que es posible obtener dispositivos comerciales adecuados y garantizar condiciones de operación que permitan el suministro de la energía requerida para el funcionamiento del equipo.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar pruebas referentes a la posibilidad de suministrar la energía solar requerida al sistema tomando en consideración diversos posibles escenarios. De igual forma, se considera adecuado contemplar el estudio de posibles mecanismos para un control óptimo de diversos parámetros de interés; como lo son la temperatura interna y el contenido máximo de vacunas en el dispositivo.

RECONOCIMIENTOS

Agradecemos a Dios primordialmente por ayudarnos a cumplir con nuestro objetivo, a nuestros familiares, profesores de consulta y compañeros de la universidad, que nos dieron el apoyo y sus conocimientos en las dificultades presentes: Prof. Itamar Harris, Prof. Matzel Montés, Sr. Edgar Wilcox y José Luis Sánchez.

REFERENCIAS

- [1] [R. C. Arora, Refrigeration and Air Conditioning, New Delhi: PHI Learning Private Limited, 2010.
- [2] H. Goldsmid, Thermoelectric Refrigeration, Wembley, England: Springer Science + Business Media, LLC, 1964.
- [3] U.S. Department of Health and Human Services, Vaccine Storage & Handling Toolkit, U.S.A.: Centers for Disease Control and Prevention, 2016.
- [4] A. Lucas Guerra, Refrigeración de vacunas mediante una máquina frigorífica por efecto Peltier, Madrid, 2011.
- [5] G. V. L. Felipe, «Diseño, construcción y evaluación energética de una cámara con celdas Peltier (efecto termoeléctrico) para la refrigeración de vacunas,» Quito, 2016.
- [6] V. J. Passamai, «EXPERIENCIAS DE LABORATORIO Y DE CAMPO,» Argentina, 1998.
- [7] L. I. S. D. Hewitt, «Programa Ampliado de Inmunizaciones,» MINSAs, Panamá, 2007-2013.
- [8] D. S. J. U. Luis Méndez, Equipo solar de refrigeración por compresión, Mexico, 2011.
- [9] G. Kneir, «¿Cómo funcionan las celdas fotovoltaicas?,» 2010.
- [10] Vision, «CPI260 12V 6Ah(20hr),» Shenzhen Center Power Tech. Co., Ltd., 2003.
- [11] E. A. Gonzales, Cargador Solar Inteligente, Mexico, 2016.
- [12] Ferrotec (USA) Corporation, «Ferrotec Thermal Management Solutions,» Ferrotec, [En línea]. Available: <http://thermal.ferrotec.com/products/thermal/modules/sing-leStage/>. [Último acceso: 2001-2017].

- [13] ENF Ltd, «ENF fabricantes de paneles solares,» ENF Ltd, [En línea]. Available: <https://es.ensolar.com/directory/panel>.
- [14] La Casa de las Baterías, «La Casa de las Baterías,» La Casa de las Baterías, 2016. [En línea]. Available: <http://casabat.com/panama/9258-2/>.