

Diseño de prototipo para conversión de energía solar térmica focalizada en energía eléctrica utilizando efecto Seebeck



Cristian German Herrera Sierra

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Electrónica
Bogotá D.C.
2021

Diseño de prototipo para conversión de energía solar térmica focalizada en energía eléctrica utilizando efecto Seebeck

Cristian German Herrera Sierra

Documento Proyecto de Grado

Director: Ing. Edwin Francisco Forero García

Universidad Santo Tomás

Facultad de Ingeniería Electrónica

Bogotá D.C.

2021

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la oportunidad y el coraje de estudiar esta carrera y por permitirme cumplir el sueño de ser ingeniero electrónico, a mis padres por siempre guiarme por el camino del bien, por sus consejos que me forman cada día y por su ayuda incondicional en cualquier momento que lo necesite, a mi novia por ser ese apoyo incondicional y ayudarme en todo momento en el desarrollo de este proyecto, finalmente y no menos importante al profesor e ingeniero Edwin Francisco Forero por creer en mí desde el momento que empecé mis estudios universitarios hasta su culminación.

TABLA DE CONTENIDO GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES	5
INDICE DE GRAFICAS.....	6
INDICE DE TABLAS.....	7
Resumen	8
Planteamiento del problema	9
Justificación	12
Objetivos.....	13
Objetivo General	13
Objetivos Específicos	13
Estado del arte.....	14
Marco conceptual.....	17
Celdas Peltier	17
Efecto seebeck	18
Lente de Fresnel.....	19
Concentrador solar	20
Convertidores DC/DC	21
Ladrón de julios	22
Paneles fotovoltaicos	23
Metodología	24
Esquema general del proyecto.....	25
Diseño y Ejecución del proyecto	26
Implementación del sistema físico de captación	26
Tipos de celdas peltier y caracterización	29
Construcción del sistema físico general y primeras pruebas	36
Tipos de baterías	38
Implementación y pruebas de los diferentes convertidores	40
Resultados finales.....	49
Conclusiones	50
Bibliografía.....	51
Anexos.....	55

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Sistema de generación a través de energía no Renovable Convencionales [3]	9
Ilustración 2 Materias primas utilizadas para generar Energía [5]	9
Ilustración 3 Sistema de generación Hidroeléctrica [7]	10
Ilustración 4 Fuentes de Energía renovables no convencionales [7]	10
Ilustración 5 Diagrama del sistema termoelectrico del horno de ladrillo [14].....	15
Ilustración 6 Arquitectura General de una celda peltier (Imagen Tomado de [20]).....	17
Ilustración 7 Efecto Termoelectrico Seebeck (Tabla 1 Tomada de [1])	18
Ilustración 8 Diseño lente de Fresnel (Imagen Tomado de [21])	19
Ilustración 9 Diseño Concentrador Solar (Imagen Tomado de [22]).....	20
Ilustración 10 Convertidor Boost (Autoría Propia).....	21
Ilustración 11 Convertidor Buck (Autoría Propia)	21
Ilustración 12 Convertidor Buck-Boost (Autoría Propia).....	21
Ilustración 13 Circuito ladrón de Julios (Autoría Propia)	22
Ilustración 14 Tipos de células solares [7].....	23
Ilustración 15 área de concentración del Lente de fresnel (Autoría Propia)	26
Ilustración 16 Sistema físico elaborado (Autoría Propia).....	27
Ilustración 17 Características concentrador solar implementado	28
Ilustración 18 Combinación A Serie	33
Ilustración 19 Combinación B paralelo	33
Ilustración 20 Combinación C Serie y Paralelo 1.....	33
Ilustración 21 Combinación C Serie y paralelo 2.....	34
Ilustración 22 Sistema físico de refrigeración (Autoría Propia)	36
Ilustración 23 forma de cargar la batería tomado de [27].....	39
Ilustración 24 Modulo carga Baterías TC4056	39
Ilustración 25 Circuito equivalente modo 1 y 2 tomada de [28].....	40
Ilustración 26 Circuito esquemático convertidor DC/DC BOOST diseñado	42
Ilustración 27 Respuesta simulación convertidor DC/DC BOOST diseñado.....	43
Ilustración 28 Circuito característico divisor de voltaje	43
Ilustración 29 Convertidor elevador DC/DC XL6009	44
Ilustración 30 Diagrama esquemático Ladrón de Julios.....	45
Ilustración 31 Simulación convertidor DC/DC Boost propuesto	46
Ilustración 32 Respuesta simulación convertidor DC/DC Boost propuesto.....	46
Ilustración 33 Diagrama del sistema general	47

INDICE DE GRAFICAS

Grafica 1 Característica (Voltaje) de salida celdas peltier	30
Grafica 2 Característica (Corriente) de salida celdas peltier	31
Grafica 3 Característica (potencia) de salida celdas peltier	31
Grafica 4 Valores de cada combinación	35
Grafica 5 Valores obtenidos experimentalmente	37

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 comparación características celdas Peltier	29
Tabla 2 comparación densidad energética	32
<i>Tabla 3 Valores de cada combinación</i>	<i>34</i>
Tabla 4 Consumo del sistema de refrigeración	36
Tabla 5 Valores obtenidos experimentalmente	37
Tabla 6 Características batería ICR18650-26H tomada de [26]	38
Tabla 7 Valores de entrada y salida	41
Tabla 8 parámetros asumidos	41
Tabla 9 Resultados simulación convertidor DC/DC BOOST diseñado	43
Tabla 10 Resultados comparación convertidores	45
Tabla 11 Resultados simulación convertidor DC/DC Boost propuesto	47
Tabla 12 valores de entrada y salida sistema general.....	47
Tabla 13 Generación real del sistema	47
Tabla 14 Comparación características panel solar y celda peltier	49
Tabla 15 comparación de potencia en cada M2 y M3	49
Tabla 16 Datos obtenidos celda Peltier LAIRD 430857-500.....	55
Tabla 17 Datos obtenidos celda Peltier CP85438	56

Resumen

El tema central de este proyecto está basado en la generación de energía eléctrica a partir de la energía solar térmica, haciendo uso del efecto termoeléctrico seebeck (conversión de energía térmica en energía eléctrica) por medio de celdas Peltier, aquí se analizó, observó y encontraron las diferentes características de voltaje, corriente y potencia que las celdas Peltier poseen respecto a la cantidad de temperatura que se les suministre por medio de un concentrador o focalizador.

Debido a que la temperatura sobre la cara caliente de la celda Peltier afecta en gran medida su rendimiento al pasar esta a la cara fría, para ello se volvió necesario reducir este aumento de temperatura por medio de un sistema de enfriamiento, además se encontró e implementó un circuito electrónico capaz de convertir y almacenar la energía recolectada por la celda Peltier en una batería recargable.

Por último se realizó una comparación con otro sistema de generación de energía eléctrica (paneles solares), los cuales también generan energía eléctrica a través de la radiación del sol. Esto se hizo con el fin de evidenciar cuál de los dos sistemas es más eficiente en términos de densidad energética.

Planteamiento del problema

En la actualidad la energía eléctrica es obtenida en su gran mayoría por medio de fuentes que no son amigables con el medio ambiente. Estas son conocidas como fuentes de energías no renovables, de las cuales existen dos tipos; energías convencionales y energías no convencionales. [1] [2] [3]

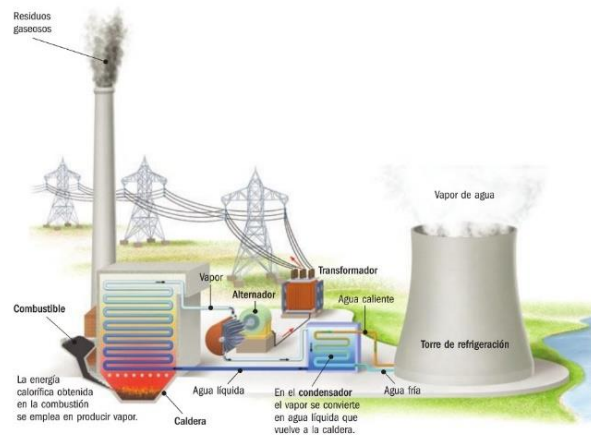


Ilustración 1 Sistema de generación a través de energía no Renovable Convencionales [3]

En la ilustración 1 se observa un ejemplo de un tipo de sistema de generación por medio de combustibles fósiles (centrales térmicas). Las energías no renovables convencionales provienen de combustibles fósiles (el carbón, el petróleo y el gas natural). Las fuentes de este tipo son las más utilizadas alrededor del mundo, debido a que generan mucha energía por unidad de tiempo. Las energías no renovables no convencionales provienen de biocombustibles, agro combustibles o combustibles cultivados (plantas, semilla maíz, caña de azúcar, trigo) y las fuentes de energía nucleares (uranio y el plutonio). [2] [3] [4]

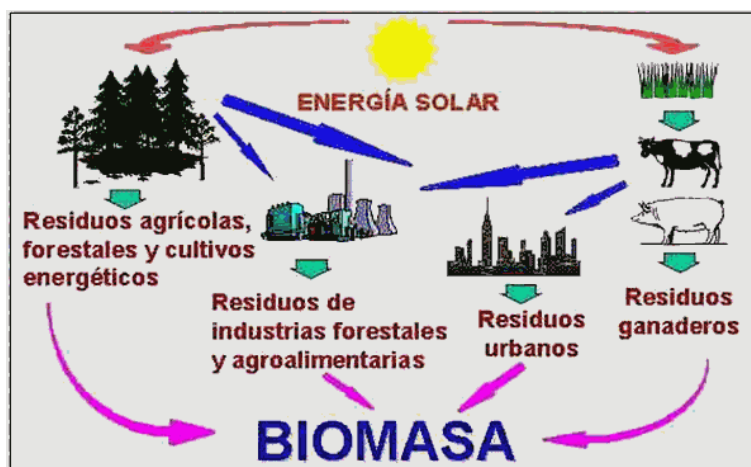


Ilustración 2 Materias primas utilizadas para generar Energía [5]

Los anteriores tipos de fuentes de energía se encuentran limitadas en el planeta, también son los causantes de producir daños irreparables en este (gases de efecto invernadero (GEI), residuos radiactivos, calentamiento global) [2] [3]

Además de las anteriores fuentes de energía existen otros tipos, que por el contrario si son amigables con el medio ambiente, estas fuentes son conocidas como fuentes de energía renovables, de las cuales existen dos tipos; energías convencionales y energías no convencionales. [6]



Ilustración 3 Sistema de generación Hidroeléctrica [7]

Las energías renovables convencionales provienen de la energía hidráulica a gran escala (hidroeléctricas), estas son muy utilizadas por su gran capacidad de generación. Por otro lado, Las energías renovables no convencionales son conocidas como Energía Solar (térmica y fotovoltaica), Energía Eólica, Energía Mareo Motriz (Tidal), Energía Undimotriz (Wave), Energía Geotérmica, Energía biomasa, Energía Hidro-cinetica. Estas son capaces de regenerarse por medios naturales, además son consideradas limpias e inagotables. [6] [7]



Ilustración 4 Fuentes de Energía renovables no convencionales [7]

Aunque las energías renovables (convencionales y no convencionales), poseen grandes ventajas con respecto a las energías no renovables (convencionales y no convencionales) mencionadas anteriormente. También tienen y poseen algunas desventajas como, por ejemplo, el costo de implementación, el gran espacio que se necesita para su ejecución, algunas generan daños ecológicos como también la emisión de gas metano. [8] [9] [6] [4]

A medida que pasa el tiempo se vuelve de vital importancia la implementación, búsqueda, renovación e innovación de nuevas formas de conversión de energía limpia (renovable) lo cual se convierte en una tarea para la ingeniería electrónica. Por estos motivos se plantea ¿Cómo se podría generar energía eléctrica por medio de celdas Peltier y que ventajas o desventajas tendría respecto a otras formas de generar energía eléctrica? [10]

Justificación

Debido a que el cambio climático ha aumentado considerablemente a lo largo de los años, en gran medida por factores como los mencionados anteriormente (generación de energías por medio de fuentes de energías no renovables), los cuales generan dióxido de carbono (CO₂) que es el gas más conocido por causar el calentamiento global, metano (CH₄) entre otros gases, que son los principales componentes de los gases de efecto invernadero. Estos gases al ser producidos en grandes cantidades son los responsables del aumento de la temperatura en valores mucho más de los normales, este aumento desmedido es al que se le conoce como calentamiento global y este es a su vez es la causa del cambio climático. [11]

Gracias a la gran demanda energética que exigen y exigirán las personas, la industria y como tal toda la humanidad. Esta demanda se ve inmersa en el constante uso de las nuevas tecnologías, las cuales se han convertido más que un lujo una necesidad, por esto se ha evidenciado un gran aumento de consumo energético en todo el mundo. Por los problemas anteriormente mencionados se quiere configurar una solución desde la ciencia, la tecnología, la ingeniería y la matemática para poder transformar energía solar térmica en eléctrica [3] [12]

Por causa de la demanda energética (eléctrica) en todas las partes del mundo, se vuelve de gran conveniencia económica, debido a que un grupo de celdas pueden ser más económicas que un sistema de generación con paneles solares o generadores eólicos y produciendo la misma potencia. Además, se vuelve de gran conveniencia tener mayores alternativas de generación de energía debido a que en ciertos lugares se vuelve mucho más factible este tipo de generación de energía. Por estas razones se deben realizar más inversiones para investigación en esta alternativa de generación energética. [1] [13] [3]

El fenómeno Seebeck descubierto por el físico alemán Thomas Johan Seebeck en 1821. Consiste en establecer una relación entre temperatura y electricidad. El fenómeno puede ser utilizado para la captación de energía solar térmica. Para esto es posible utilizar celdas Peltier debido a que son creadas por el mismo fundamento Thomas Seebeck, que, al presentarse un contacto físico entre dos metales o conductores distintos (tipo P y tipo N), la diferencia de temperatura entre ellos genera o causa una diferencia de potencial. [1] [14] [15] [16]

Por medio de este proyecto se pretende aprender e investigar acerca de temas que no solo les atañe a algunas personas si no que es de interés público, estos temas son muy importantes debido a las causas que estos están generando y que generaran en un futuro si no se estudian y corrigen de una manera correcta. Además, de enriquecer el desarrollo de la persona en distintas disciplinas de la vida. Adicionalmente por ser temas que nos conciernen a todos tendrá gran reconocimiento por muchas personas. [11]

Objetivos

Objetivo General

Construir un sistema a escala de captación y almacenamiento de energía solar térmica para la generación de electricidad mediante el aprovechamiento del efecto termoeléctrico Seebeck (Celdas Peltier).

Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar el sistema físico de captación de radiación solar para la focalización sobre las celdas Peltier.
- Idear y crear el sistema de conversión de energía solar térmica en energía eléctrica, mediante la caracterización de la densidad energética (cantidad de energía acumulada) que poseen celdas Peltier.
- Construir el sistema electrónico para el aprovechamiento de la energía eléctrica obtenida en el proceso.
- Realizar una evaluación y comparación con respecto a otro sistema de generación de energía.

Estado del arte

La primera fuente se consideró debido a que los autores determinan que su principal objetivo es investigar un diseño simple capaz de obtener energía renovable térmica por medio del sol para generar energía eléctrica. El principal componente utilizado para el diseño de esta captación de energía es la celda Peltier debido a que es el medio por el cual se convierte la energía térmica en energía eléctrica. Afirman que tiene una baja salida de Peltier (valores de voltaje y corriente bajos), para mejorar esto conectan celdas Peltier en serie y además construyen algo que denominan “trampa de calor”, el cual tiene dos funciones principales, aislar y conducir calor.

Esta se realiza con el fin de lograr diferencia de temperatura entre las dos caras de la celda de Peltier, ya que con una gran diferencia de temperatura la celda producirá mayor energía eléctrica. Para la construcción de esta se utilizan materiales que satisfagan las funciones anteriormente mencionadas (aislar y conducir), para esto utilizan papel aluminio pintado de negro, una almohadilla térmica de silicona y un disipador de calor de aluminio.

Para concluir los autores afirman que la almohadilla térmica de silicona disminuye el rendimiento de las celdas, para mejorarlo es necesario encontrar otro material que tenga mayor conductividad térmica y al mismo tiempo tenga menor resistencia térmica. Otro problema que citan los autores es el de un desajuste en temperaturas y que se puede arreglar cambiando de una conexión en serie a una en paralelo. [17]

La segunda fuente se escogió debido a que el autor realiza un estudio sobre cuanta energía eléctrica se pueden generar, variando en una, dos, cuatro celdas Peltier, parámetros eléctricos como: circuito en serie, combinados paralelos y mixtos.

En esta investigación el autor no utiliza la celda como fuente de energía renovable, es decir obtener la energía eléctrica por medio de fuentes naturales. Lo que realiza es un escenario artificial por medio de una caja de madera que posee en el interior una caja de aluminio con dos lados uno frío y el otro caliente, esta temperatura la genera por medio de hielo seco y un calentador respectivamente.

Para concluir el autor determina que para obtener la mayor eficiencia posible en cada celda Peltier, se debe generar mayor diferencia de temperatura entre las dos caras de cada una de estas. Con esto encuentra que el máximo voltaje es 0.18V con una corriente de 0.93A y potencia de 0.086W, estos datos obtenidos por una sola celda.

Además, el autor da como punto de vista que, aunque las celdas Peltier poseen una eficiencia del 5% al 15% y que el precio de estas todavía es elevado, es una alternativa interesante para producir energía en Tailandia debido a que tiene muchas fuentes de calor. Por último, menciona que el trabajo del futuro, la generación eléctrica será por medio de celdas Peltier, utilizando el calor disipado. [18]

La tercera fuente se determinó debido a que los autores afirman que las fuentes alternativas de energía, más concretamente las que utilizan la termoelectricidad,

determinan que son de gran necesidad debido a que el calor es una fuente de energía que se desperdicia en gran magnitud y en la actualidad no es muy utilizada. Como ejemplo a este tipo de generación alternativa de energía, ponen un horno de ladrillos el cual puede llegar a temperaturas hasta de 173 grados centígrados, los cuales se desperdician en gran medida y pueden ser aprovechados para convertirlos en energía eléctrica a través de celdas Peltier.

Los autores encuentran características comparando el precio con la eficiencia que cada celda posee, en igual medida encuentran que liberar el calor de la cara fría de la celda, es de gran importancia debido a que afecta en gran medida la eficiencia de cada celda y por ende la producción de energía eléctrica.

Para concluir los autores determinan que las características de cada celda con respecto al precio si tienen gran relevancia debido a que la celda más económica tenía muy bajo rendimiento cuando la temperatura es muy elevada por esto no lo recomiendan para estas aplicaciones, finalmente determinan que la mejor manera de liberar el calor del lado frío es utilizando flujo de agua comparándola con disipadores térmicos y ventiladores. [14]

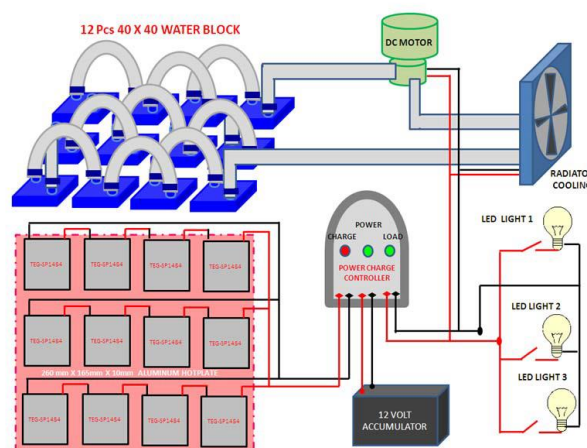


Ilustración 5 Diagrama del sistema termoelectrico del horno de ladrillo [14]

La cuarta fuente se escogió debido a que los autores se centran en mostrar una visión diferente a la generación de energía geotérmica con respecto a los métodos comunes con los que esta se recolecta, para esto proponen el método semiconductor con dispositivos termoelectricos. Estos anteriores con el fin de recolectar y generar energía eléctrica, a través del calor residual que se generan en los spas. Los autores enfatizan que los métodos comunes con los que se genera energía geotérmica no se pueden aplicar en todo lugar debido a que no se encuentran las condiciones necesarias de temperatura, por esto el método con semiconductores puede ser una buena opción para estos lugares.

Para concluir los autores determinan que generar energía a través del calor residual en los spas es factible, aunque el costo de esta sigue siendo costosa si se compara con el precio promedio de la energía convencional.

Además, dan una observación muy general acerca de cómo la energía geotérmica no es la única solución para reemplazar todas las fuentes de energía convencionales, pero, sin embargo, desempeña y seguirá desempeñando un gran papel como fuente mundial de energía adicionalmente que la generación de energía por medio de la termoelectricidad tiene un gran potencial de convertirse en la fuente de energía más viable en el futuro. [15]

La quinta fuente se consideró debido a que los autores utilizan enfriadores termoeléctricos (celdas Peltier) como generadores de energía a partir del calor generado por el cuerpo humano después de realizar varias actividades físicas de entrenamiento. Además de generar esta energía utilizan un circuito conocido como ladrón de Joule, con el cual almacenan el voltaje obtenido en una batería.

Los autores realizan pruebas con 3 actividades físicas de entrenamiento: Trotar usando la cinta de correr, ciclismo estacionario y Pres de banca. Las pruebas las realizaron, midiendo voltajes y corrientes que se generaban en cada actividad en un determinado tiempo. Y basándose en los datos obtenidos determinan que la actividad más eficiente para cargar la batería es trotar con una cinta de correr, finalmente calculan y determinan que, para cargar por completo una batería de 1000mAh, se necesita un total de 38,461.54 horas. [19]

Marco conceptual

Celdas Peltier

Las celdas Peltier son un tipo de células que están compuestas de dos materiales semiconductores uno tipo P y otro tipo N, por lo general son telurio (tipo P) y bismuto (tipo N) debido a sus características de ser buenos conductores de electricidad y malos conductores de calor. Adicionalmente poseen dos capas o caras de material cerámico, una cara sirve de aislante eléctrico y la otra de absorción de calor. En la siguiente ilustración se observa la arquitectura general de una celda Peltier.

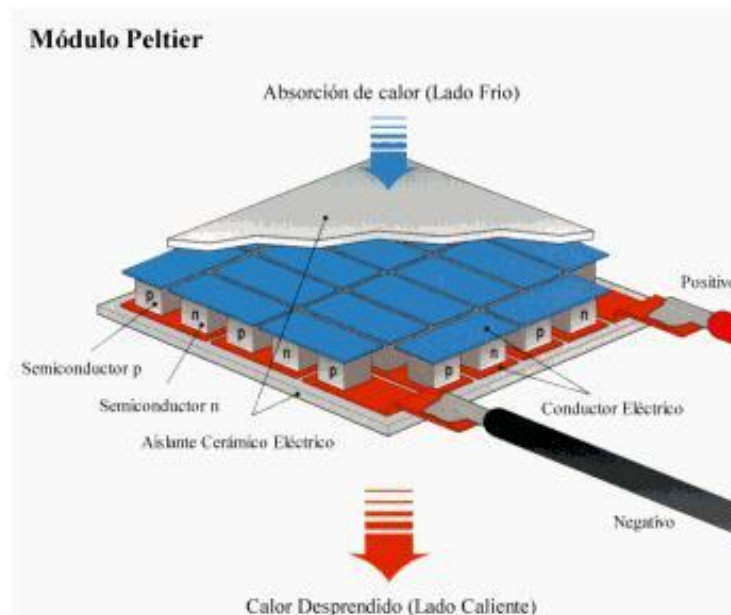


Ilustración 6 Arquitectura General de una celda peltier (Imagen Tomado de [20])

Efecto seebeck

Gracias a los elementos que componen Las celdas Peltier, se puede implementar el efecto termoeléctrico seebeck. El cual consiste en convertir energía térmica en energía eléctrica, ya que el efecto termoeléctrico seebeck es el principal fundamento de esta investigación se determina que las celdas Peltier son los elementos de mayor importancia en la misma. En la siguiente ilustración se observa de una mejor forma en que consiste el efecto seebeck. [16]

EFFECTO TERMOELÉCTRICO	DESCRIPCIÓN	AUTOR - AÑO	ESQUEMA
Efecto Seebeck	Conversión neta de energía térmica en energía eléctrica bajo la condición de intensidad de corriente nula (Herranz Pindado, 2008).	Thomas Seebeck, 1821.	Esquema efecto Seebeck Bollati (2007).

Ilustración 7 Efecto Termoeléctrico Seebeck (Tabla 1 Tomada de [1])

Lente de Fresnel

Un lente de Fresnel es un diseño creado por el físico francés Augustin Jean Fresnel, creado en 1822. Este diseño permite reducir el peso y volumen de lentes convencionales, que se construyen con gran apertura y corta distancia focal. El diseño consiste en mantener los radios de curvatura separándolos en anillos circulares. En la siguiente ilustración se observa de una manera más detallada el diseño del lente de Fresnel.

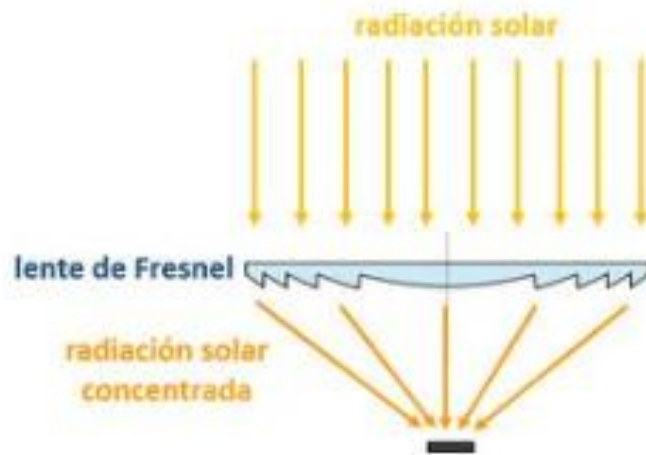


Ilustración 8 Diseño lente de Fresnel (Imagen Tomado de [21])

Concentrador solar

Un concentrador solar es un dispositivo el cual concentra o focaliza la energía solar en un punto o área reducida, este permite aumentar de manera significativa la intensidad de esta energía aumentando la temperatura en el área deseada. El dispositivo se crea con un arreglo de espejos alineados hacia el área determinada. En la siguiente ilustración se observa con mayor claridad cómo se concentra esta energía en el punto deseado.

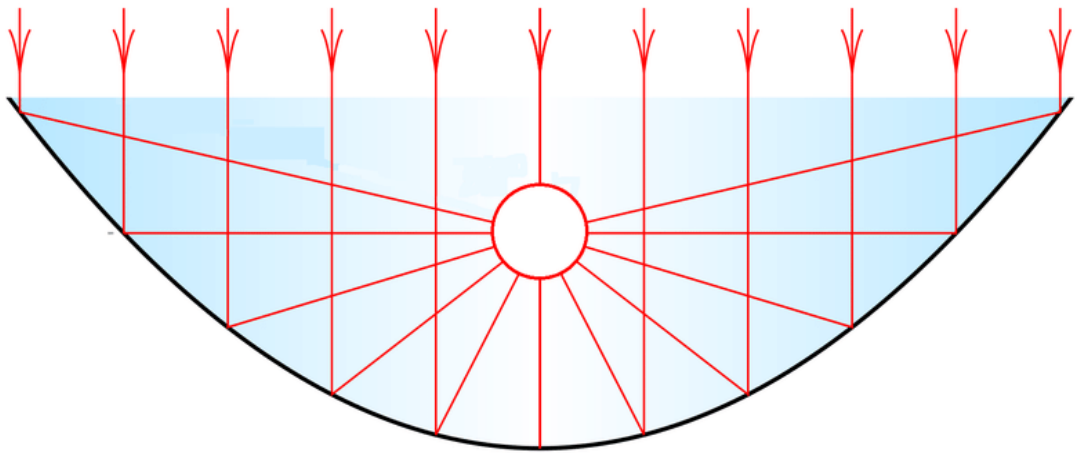


Ilustración 9 Diseño Concentrador Solar (Imagen Tomado de [22])

Convertidores DC/DC

Los convertidores DC-DC permiten transformar corriente continua de una tensión a otra, también se les suele llamar reguladores conmutados debido a que su salida puede ser una tensión regulada. Los convertidores DC/DC surgieron de la necesidad de implementar circuitos que permitieran un mayor aprovechamiento de la energía evitando que esta fuese desperdiciada en procesos térmicos como es el caso de los divisores de voltaje. Existen diferentes tipos de convertidores DC/DC, los que aumentan (Boost), los que disminuyen (Buck) y los que aumentan y disminuyen (Buck-Boost). En las siguientes ilustraciones se observan los diferentes tipos de convertidores DC/DC.

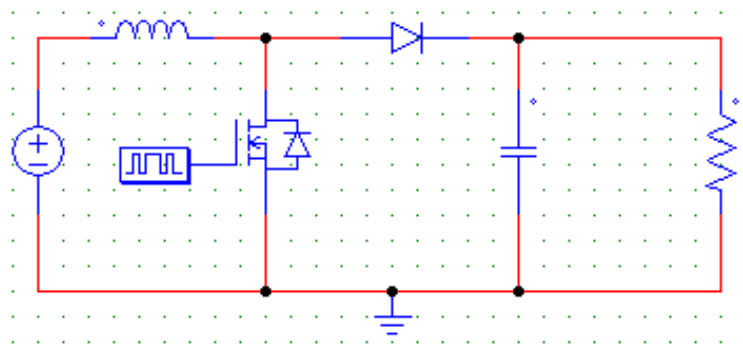


Ilustración 10 Convertidor Boost (Autoría Propia)

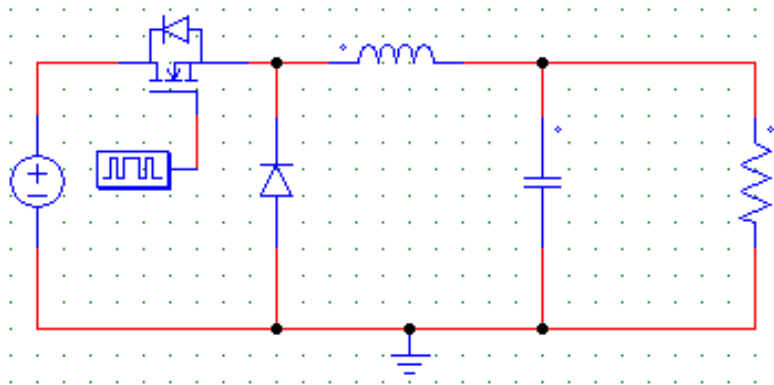


Ilustración 11 Convertidor Buck (Autoría Propia)

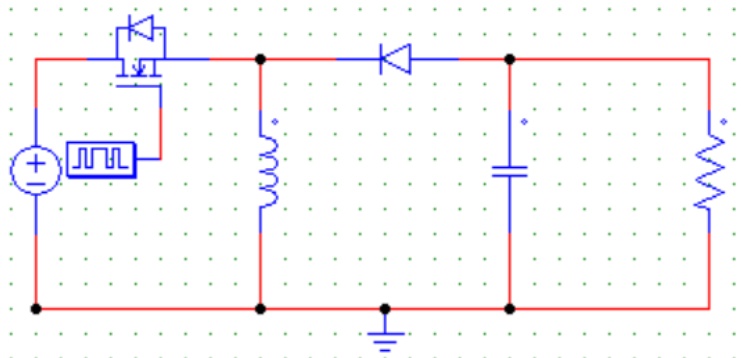


Ilustración 12 Convertidor Buck-Boost (Autoría Propia)

Ladrón de Julios

Un ladrón de Julios o también llamado oscilador de bloqueo, es un simple circuito que drena toda la energía que posee una fuente de energía como una batería, el circuito fue publicado en 1999 por la revista *Everyday Practical Electronics* (EPE). El circuito consiste en transformar la corriente continua en corriente alterna con el fin de aprovechar el campo magnético, este compuesto por un transistor, un transformador y una resistencia. En la ilustración 13 se observa el circuito de ladrón Julios.

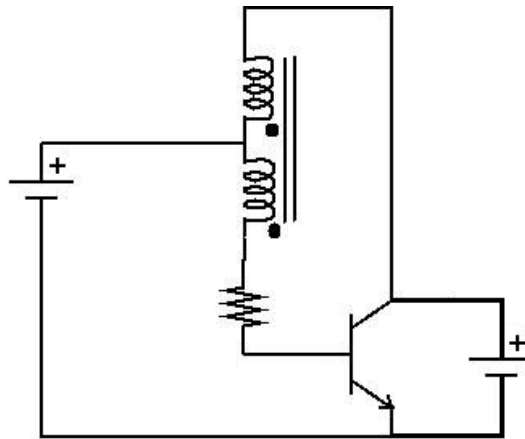


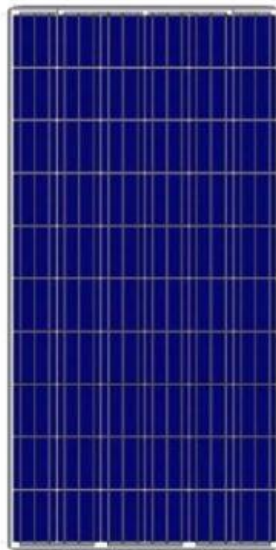
Ilustración 13 Circuito ladrón de Julios (Autoría Propia)

Paneles fotovoltaicos

También llamados paneles solares, son dispositivos compuestos por un conjunto de células solares las cuales permiten transformar la energía lumínica en energía eléctrica a través del efecto fotoeléctrico (absorción de fotones y emisión de electrones). Dependiendo del tipo de células solares, los paneles fotovoltaicos alcanzan diferentes rendimientos.



MONOCRISTALINOS



POLICRISTALINOS



CAPA FINA (Amorfos)

Ilustración 14 Tipos de células solares [7]

Metodología

Este trabajo es de carácter descriptivo porque se desea detallar objetos, actividades, procesos y resultados, que se obtendrán a lo largo de la investigación. El fin de este proyecto fue idear, diseñar, implementar y crear un conjunto de sistemas, los cuales generen y almacenen energía eléctrica, adicional a esto determinar las posibles conclusiones. También por el desarrollo planteado es de tipo exploratorio debido a que el problema que se quiere resolver no está totalmente definido o no se conoce muy bien, por esto se quiere obtener mayor información para comprenderlo de una mejor manera.

Para el desarrollo de este proyecto se deben seguir una serie de actividades o pasos los cuales ayudaran a culminar los objetivos planteados.

1. Implementación del sistema físico de captación

- A. Idear el sistema físico de captación.
- B. implementar el concentrador solar y el lente de fresnel.
- C. Determinar cual concentrador, focaliza de mejor manera la energía solar térmica sobre las celdas Peltier.

2. Tipos de celdas peltier y caracterización

- A. Investigar las características de los distintos tipos de celdas Peltier. Escoger la que mejor se ajuste al efecto seebeck.
- B. Realizar la caracterización de las celdas Peltier y determinar qué tipo de conexión (serie o paralelo) es mejor para obtener la máxima potencia posible.
- C. Determinar la densidad energética que posee cada celda.

3. Construcción del sistema físico general y primeras pruebas

- A. Construir el sistema físico
- B. Unir el focalizador, el sistema físico y las celdas Peltier.
- C. Realizar pruebas de voltajes, corrientes y potencia dependiendo de la variación de la radicación solar.

4. Tipos de baterías

- A. Investigar las características de la batería.

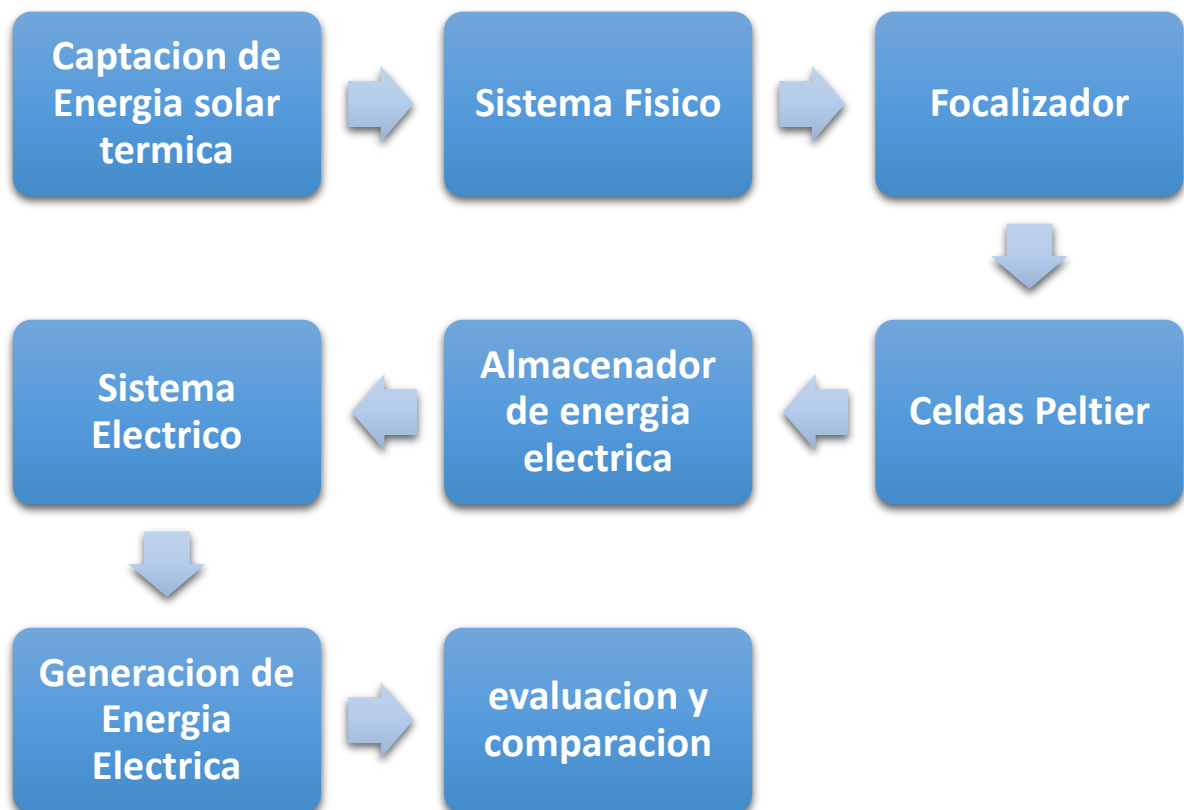
5. Implementación y pruebas de los diferentes convertidores

- A. Diseñar e implementar un convertidor DC/DC y un ladrón de julios.
- B. Determinar con cual convertidor se aprovecha de mejor manera la energía obtenida.
- C. realizar pruebas con el sistema general (focalizador, sistema físico, celdas Peltier, convertidor y batería).

6. Resultados finales

- A. Evaluar y comparar los resultados obtenidos con respecto a la generación fotoeléctrica de un panel solar.
- B. Analizar y concluir los resultados que se obtengan de cada una de las pruebas realizadas.

Esquema general del proyecto



Diseño y Ejecución del proyecto

Teniendo en cuenta la metodología planteada para la ejecución y desarrollo de este proyecto, se determinaron una serie de actividades con el fin de dividir el problema inicial en partes más simples de realizar o abarcar.

Implementación del sistema físico de captación

Se ideó un sistema físico capaz de captar la energía solar, se utilizaron y probaron dos dispositivos (focalizadores) los cuales fueron aprovechados para captar y concentrar la energía solar en un área determinada.

Al utilizar el lente de Fresnel como concentrador se observó que concentra la energía solar, pero en un área reducida, esta área es de $2,2 \text{ cm}^2$ es decir, no abarcó el área de 96 cm^2 (área total de las celdas), para calentar todas las celdas Peltier de una manera uniforme por lo tanto no fue útil para este proyecto, el precio estimado de este concentrador es de \$50.000, en la ilustración 15 se observa la implementación y el instrumento de medición que se utilizó fue un pie de rey.

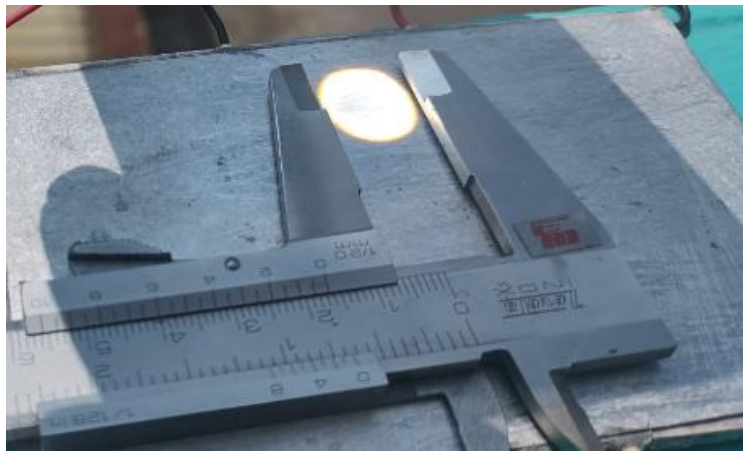


Ilustración 15 área de concentración del Lente de fresnel (Autoría Propia)

Utilizando el concentrador solar elaborado con una antena parabólica de tipo offset y espejos, se observó que abarca el área necesaria para proporcionarles calor a las celdas Peltier, además se ideó y construyó el sistema físico que sirvió para soportar el concentrador solar y el sistema que trató la cara fría de las celdas Peltier. En la ilustración 16 se observa el sistema físico.



Ilustración 16 Sistema físico elaborado (Autoría Propia)

Otro punto a favor que tiene el concentrador solar es que gracias a su forma de parábola se pudo hallar su distancia focal por medio de la siguiente formula: [23]

$$DistF = \frac{DC^3}{(16 \times P \times DL)} \quad (1)$$

Las características necesarias para encontrar la distancia focal son:

- Diámetro largo del concentrado (DL) → 65 cm
- Diámetro corto del concentrador (DC) → 60 cm
- Profundidad del concentrador (P) → 5 cm
- Distancia del punto más profundo desde el borde inferior → 27 cm

Reemplazando en 1 se tiene:

$$DistF = \frac{60cm^3}{(16 \times 5cm \times 65cm)} \rightarrow \frac{216000cm^3}{5200cm^2}$$

$$DistF = 4,15cm$$

Adicionalmente con el fin de comprobar la distancia focal hallada se hizo uso del Programa Parabola Calculator 2.0.

En la ilustración 17 se observa la interfaz del programa utilizado con las características necesarias y el cálculo de la distancia focal.

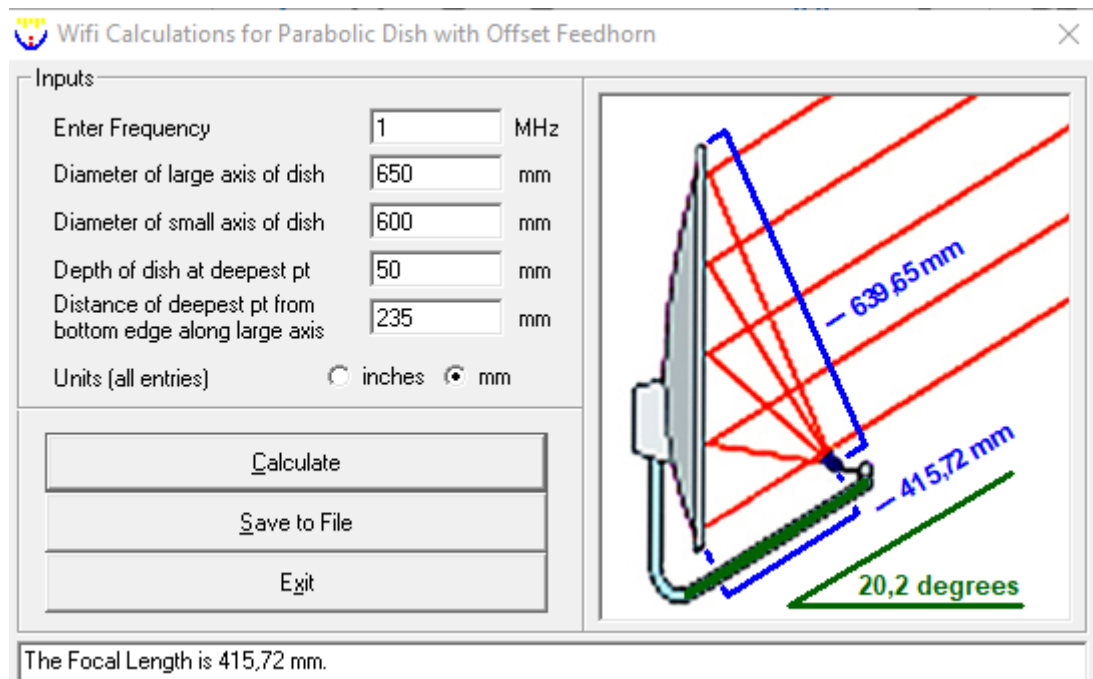


Ilustración 17 Características concentrador solar implementado

Luego de encontrar esta distancia focal se logró saber con exactitud en dónde se concentraría la energía solar térmica, sin embargo, debido al movimiento de la tierra con respecto al sol se debió ajustar el Angulo del concentrador solar para que coincidiera en el área deseada.

Tipos de celdas peltier y caracterización

Se parte de que el costo y el rendimiento son factores que se deben considerar a lo largo del proyecto, por esto se utilizaron las distintas referencias de celdas Peltier a las que se tenía acceso en la universidad Santo Tomás. Una de ellas fue la celda Peltier con referencia CP85438 12708 13700039 disponible en varias tiendas de internet por un precio promedio de \$ 50.000 COP.

El otro tipo de celda Peltier utilizada fue la celda Peltier de referencia LAIRD 430857-500 1344, este tipo de celda también se encuentra disponible en varias tiendas de internet por un precio promedio de \$ 410.000 COP.

Antes de determinar qué tipo de celda Peltier posee mayor densidad energética o generación de energía eléctrica (efecto seebeck), se realizó una búsqueda de las características más relevantes dadas por cada fabricante, estas se encuentran en el datasheet de cada tipo de celda Peltier. [24] [25]

Las características más importantes que se obtuvieron de cada celda fueron las siguientes y se observan en la Tabla 1:

- Diferencia de temperatura entre caras ($\Delta T_{\max}(Q_c=0)$)
- Temperatura máxima ($T_{\max}$)
- Voltaje máximo de funcionamiento (VDC)
- Corriente máxima de funcionamiento (I)
- Resistencia interna máxima (R)
- Material cerámico (M)
- Dimensiones (D)

Características	CELDA PELTIER	
Referencia	CP85438	LAIRD 430857-500
$\Delta T_{\max}(Q_c=0)$	75°C	77°C
$T_{\max}$	138°C	138°C
VDC	15,4 V	34,3 V
I	8.5 A	14,9 A
R	1,65 Ω	2,13 Ω
M	Al2O3	Al2O3
D	40mm*40mm*3.8mm	52mm*52mm*3.3mm

Tabla 1 comparación características celdas Peltier

De esta tabla podemos determinar que ambos tipos de celdas Peltier son parecidas pese a la característica de voltaje, corriente, resistencia, dimensiones y de diferencia de temperaturas. Estas diferencias ayudaron a determinar la cantidad de densidad energética que posee cada celda y por consiguiente en la selección final del tipo de celda que se utilizó.

La forma de determinar la densidad energética de cada tipo de celda Peltier fue encontrando las características de voltaje, corriente y potencia al suministrarles calor en una de sus caras y refrigerando la otra cara. Estas a su vez se convirtieron en un punto importante de selección del tipo de celda Peltier a utilizar.

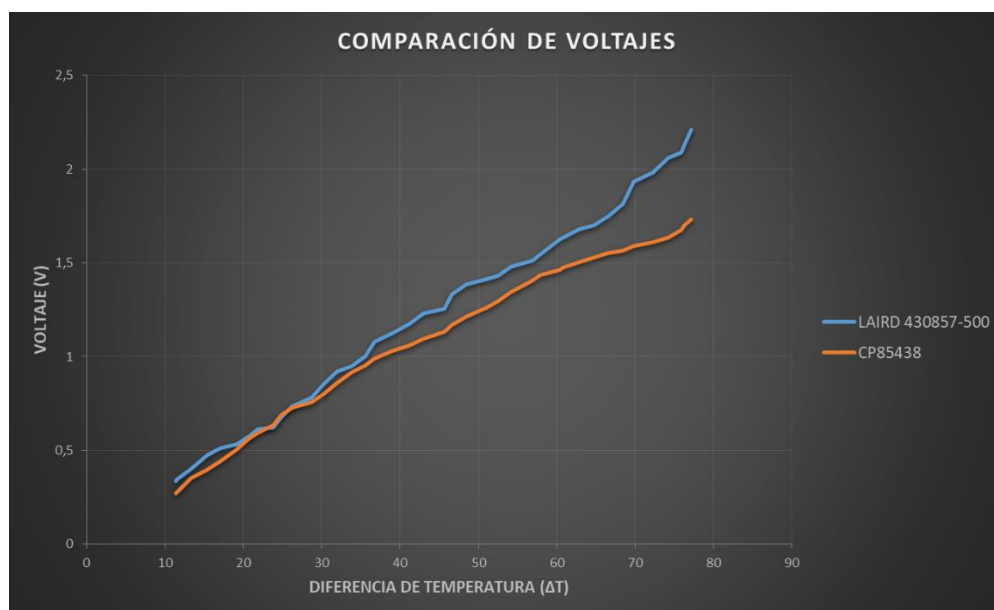
Además del tipo de celdas Peltier, la densidad energética resultante también dependía de la rapidez con la que se liberara el calor en el lado frío y se lograra la mayor cantidad de diferencia térmica (ΔT) entre ambas caras, por lo que la refrigeración del lado frío del Peltier determinaba en gran medida esta diferencia térmica. Es decir, entre mayor diferencia térmica exista entre ambas caras mayor será la densidad energética, son directamente proporcional. [14] La diferencia térmica está dada por las características de cada celda peltier en este caso son de 75° en la celda CP85438 y 77° en la celda LAIRD 430857-500.

Para hallar las características anteriormente mencionadas fue necesario la implementación de un sistema artificial, el cual consiste en una fuente de calor para aumentar la temperatura en la cara caliente de la celda y una fuente de refrigeración para disminuir la temperatura en la cara fría de la celda, esto con el fin de aumentar la diferencia de temperaturas entre ambas caras y por consiguiente obtener mayor densidad energética de cada tipo de celda.

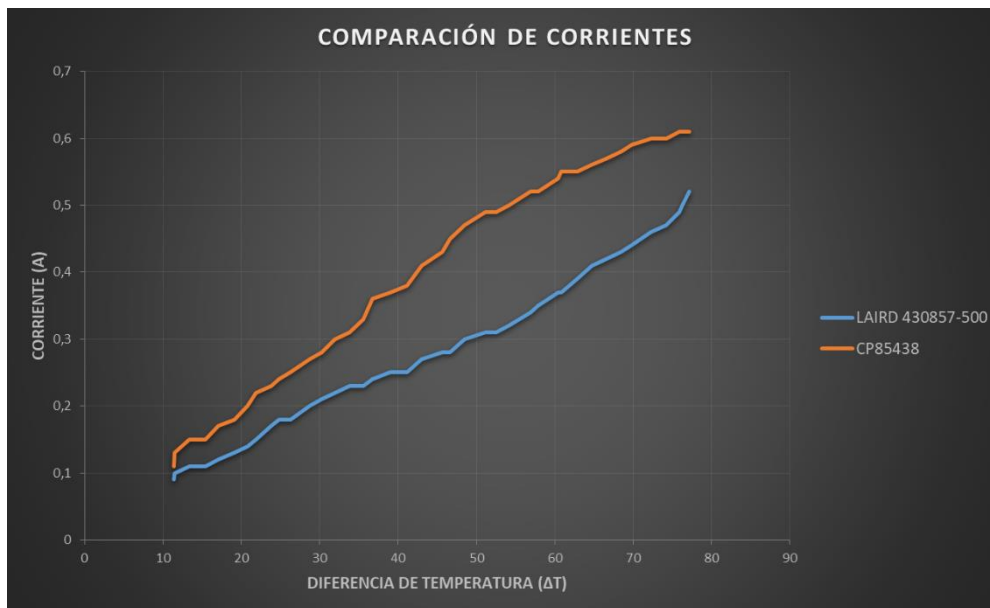
Las variables de cada tipo de celda Peltier que se midieron corresponden a:

- Voltaje en circuito abierto (V)
- Corriente de corto circuito (A)
- Temperatura de la cara fría (T_f)
- Temperatura de la cara caliente (T_c)

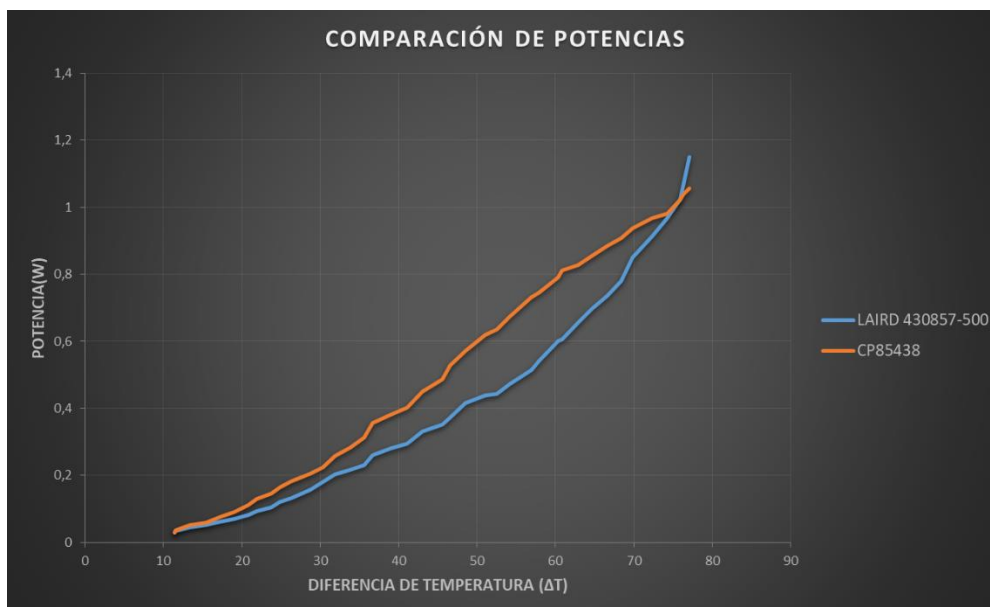
La comparación de los valores de voltaje, corriente y potencia que se obtuvieron después de implementar el sistema artificial para cada tipo de celda, los datos obtenidos se evidencian en el anexo y se observan en las gráficas 1, 2 y 3.



Gráfica 1 Característica (Voltaje) de salida celdas peltier



Grafica 2 Característica (Corriente) de salida celdas peltier



Grafica 3 Característica (potencia) de salida celdas peltier

Al observar las características de cada celda Peltier y compararlas se analizó que:

- Precio
- Dimensiones
- Voltaje, corriente y potencia
- densidad energética

La primera comparación que se observó fue el precio ya que la celda LAIRD 430857-500 presentó un sobre costo del 800% frente a la celda CP85438, haciendo que aumentaran los costos significativamente. Al hacer la comparación de las dimensiones se observó que la celda LAIRD 430857-500 tenía un área mayor que corresponde a 27,04 cm² sobre la celda CP85438 que tenía un área de 16 cm².

En cuanto al voltaje, corriente y potencia, se encontró que la celda LAIRD 430857-500 presentaba un mayor valor de voltaje que la celda CP85438, sin embargo la corriente presentada por esta última fue mayor que la generada en la celda LAIRD 430857-500, adicionalmente es válido afirmar que en un ΔT máximo la celda LAIRD 430857-500 presentaba un mayor valor de potencia, no obstante con ΔT bajos y medios, la celda CP85438 presentaba mayor potencia.

Finalmente, la última comparación que se encontró fue la densidad energética, esta representó la cantidad energética que pudo acumular o contener cada celda peltier en un determinado espacio. Esta comparación se observa en la tabla 2.

Comparación	CP85438	LAIRD 430857-500
Potencia Max (W)	1,05652	1,1492
Volumen	6,08 cm ³	8,9232 cm ³
	0,00000608 M ³	0,0000089232 M ³
Densidad Energética	0,1738 W/cm ³	0,1288 W/cm ³
	173.769,74 W/M ³	128.787,88 W/M ³

Tabla 2 comparación densidad energética

Teniendo en cuenta todas las comparaciones realizadas anteriormente se determinó que la celda CP85438 fue la seleccionada y adicional a esto se aprovechó mejor el efecto seebeck.

Luego de haber determinado cuál de los tipos de celdas peltier se ajustó de una mejor manera al efecto seebeck y que además posee mayor cantidad de densidad energética se procedió a establecer qué tipo de conexión (serie o paralelo) era mejor para obtener la máxima potencia posible.

Se determinó que hay 3 combinaciones posibles a considerar:

- A. todas las celdas en serie.
- B. Todas las celdas en paralelas.
- C. Serie y paralelo

El voltaje y la corriente generada dependían del tipo de conexión y la combinación que se realizaba en el grupo de celdas peltier. Para la combinación A se tenían todas las celdas en conexión serie, esto con el fin de aumentar el voltaje de salida, es decir, se sumó el valor del voltaje en cada celda y la corriente seguía siendo la misma.

Para la combinación B se tenían todas las celdas en conexión paralelo, al contrario de la conexión serie para este tipo de conexión se aumentó la corriente de salida, es decir, se sumó el valor de la corriente de cada celda y el voltaje siguió siendo el mismo. Para la combinación C se tenían arreglos de celdas tanto en paralelo como en serie esto con el fin de aumentar tanto la corriente como el voltaje.

Obtener un voltaje y una corriente de acuerdo con el diseño se vuelven un factor esencial para aprovechar al máximo la energía eléctrica generada y para cumplir el objetivo de almacenar la misma. Para este proyecto se utilizó un total de 6 celdas Peltier de la

referencia seleccionada anteriormente (CP-85438), en las ilustraciones 18, 19, 20 y 21 se plasman los 4 tipos de combinaciones anteriormente mencionados.

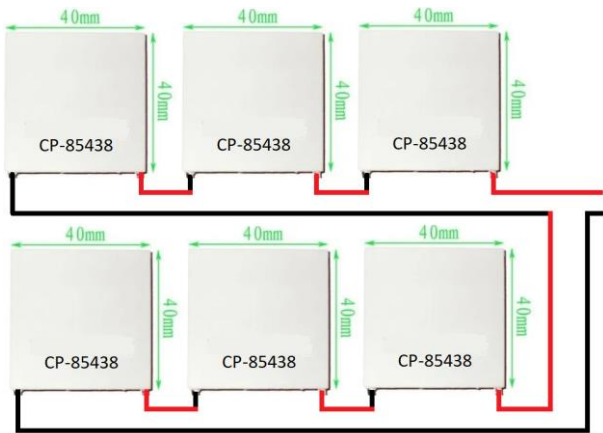


Ilustración 18 Combinación A Serie

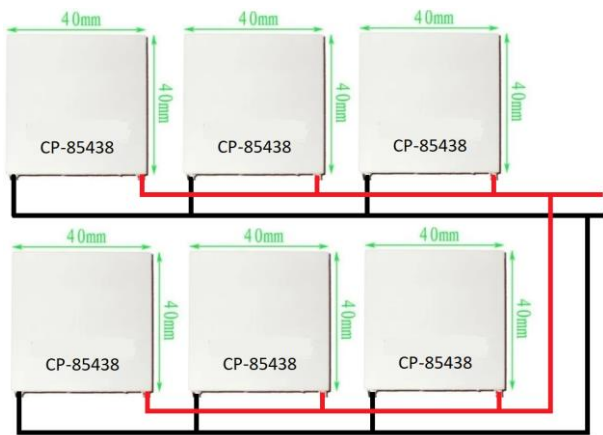


Ilustración 19 Combinación B paralelo

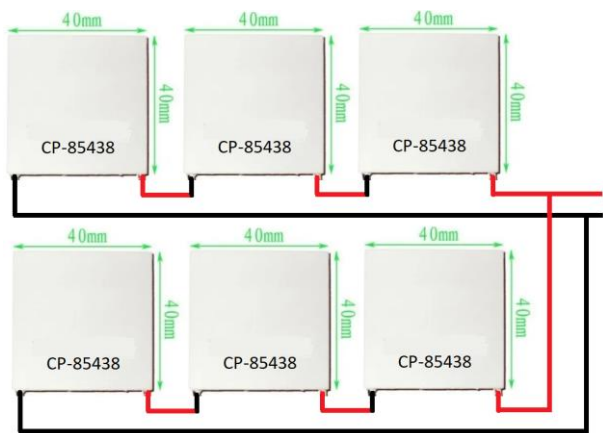


Ilustración 20 Combinación C Serie y Paralelo 1

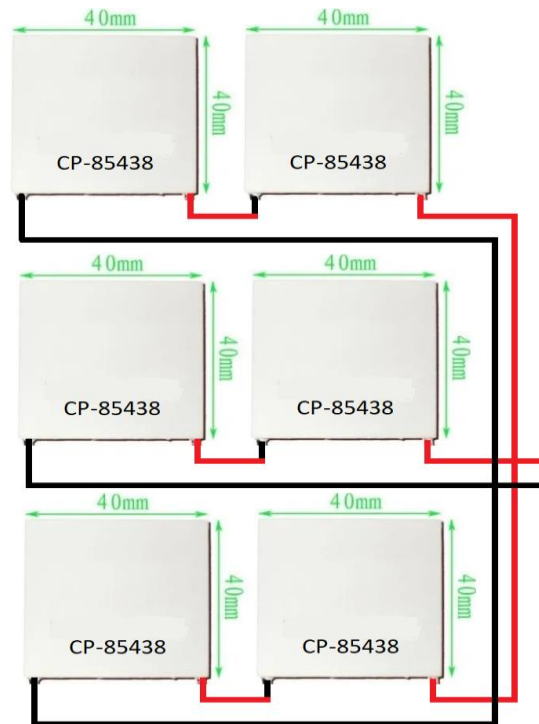
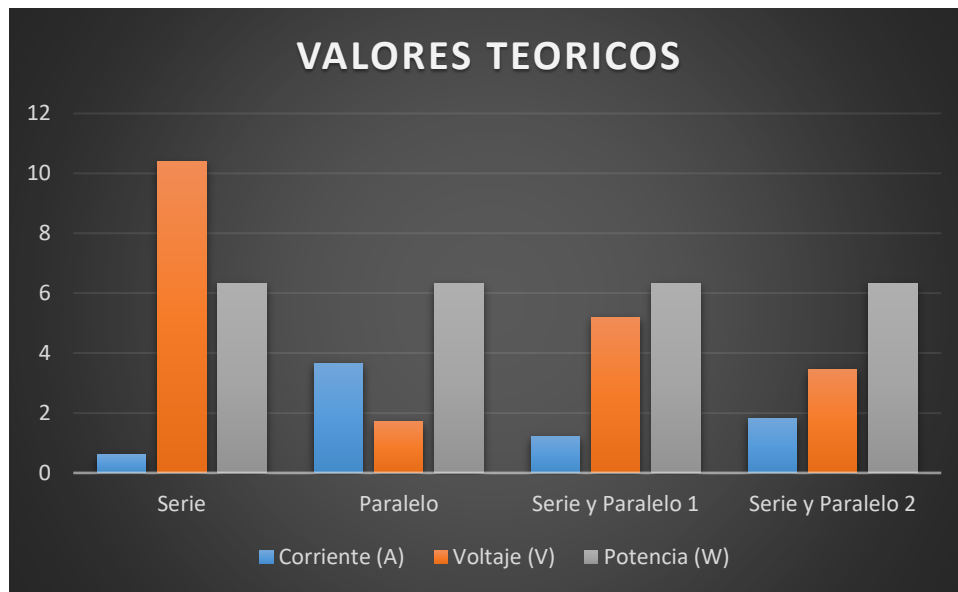


Ilustración 21 Combinación C Serie y paralelo 2

En las ilustraciones 18, 19, 20 y 21 se observan las combinaciones planteadas, las cuales aumentaron la corriente y/o el voltaje según la que se escogió. El principal fin de realizar estas combinaciones fue encontrar la que mejor se ajustara al objetivo de almacenar la energía eléctrica. En la Siguiete tabla se observan los posibles valores de corriente, voltaje y potencia para cada combinación planteada.

	Serie	Paralelo	Serie y Paralelo 1	Serie y Paralelo 2
Corriente (A)	0,61	3,66	1,22	1,83
Voltaje (V)	10,392	1,732	5,196	3,464
Potencia (W)	6,339	6,339	6,339	6,339

Tabla 3 Valores de cada combinación



Grafica 4 Valores de cada combinación

De la tabla 3 se observa que sin importar la combinación que se escoja el valor de la potencia no cambia (principio de conservación de la energía), los únicos valores que se pueden manipular son la corriente y el voltaje, sin embargo, cabe aclarar que estos valores son aproximados debido a que se tomaron de la caracterización de una sola celda peltier y en condiciones artificiales controladas, por consiguiente esta sería la máxima potencia que se podría obtener de las celdas peltier a través del efecto seebeck.

Para dar un valor más real y verdadero al resultado del proyecto se debieron realizar pruebas con los sistemas anteriormente diseñados e implementados y así saber cuánta energía eléctrica se pudo obtener de las celdas peltier por medio del efecto seebeck.

Construcción del sistema físico general y primeras pruebas

Para la construcción del sistema físico de refrigeración se basó en la referencia [14], en la que se realizaron tres métodos para el tratamiento del lado frío de la celda Peltier, uno con disipador térmico, otro con ventilador y otro con flujo de agua, al analizar los métodos mencionados los autores concluyeron que el mejor método es con flujo de agua.

Teniendo en cuenta lo anterior se diseñó y elaboró un sistema físico de refrigeración con flujo de agua para las celdas Peltier, el cual ayudó a que no pasara calor de la cara expuesta a la cara fría debido a la concentración solar, esto con el fin de que existiera mayor diferencia de temperatura entre ambas caras y por consiguiente mayor densidad energética.

Este sistema constó de una mini bomba eléctrica de bajo consumo, dos termómetros y dos depósitos de agua, la finalidad de los termómetros fue medir la diferencia de temperatura, mientras que la de los depósitos de agua y la mini bomba eléctrica fue permitir que fluya el agua liberando el calor del lado frío. El sistema físico de refrigeración implementado se observa en la ilustración 22 y los valores de consumo se ven reflejados en la tabla 4.

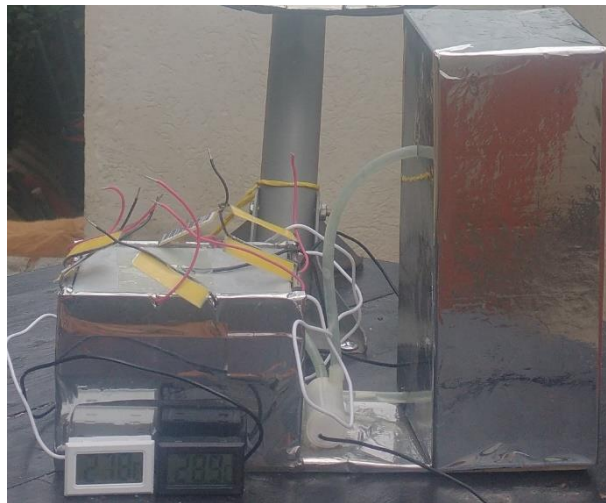


Ilustración 22 Sistema físico de refrigeración (Autoría Propia)

Características	alimentacion
Voltaje (V)	2,65
Corriente (A)	0,24
potencia (W)	0,636

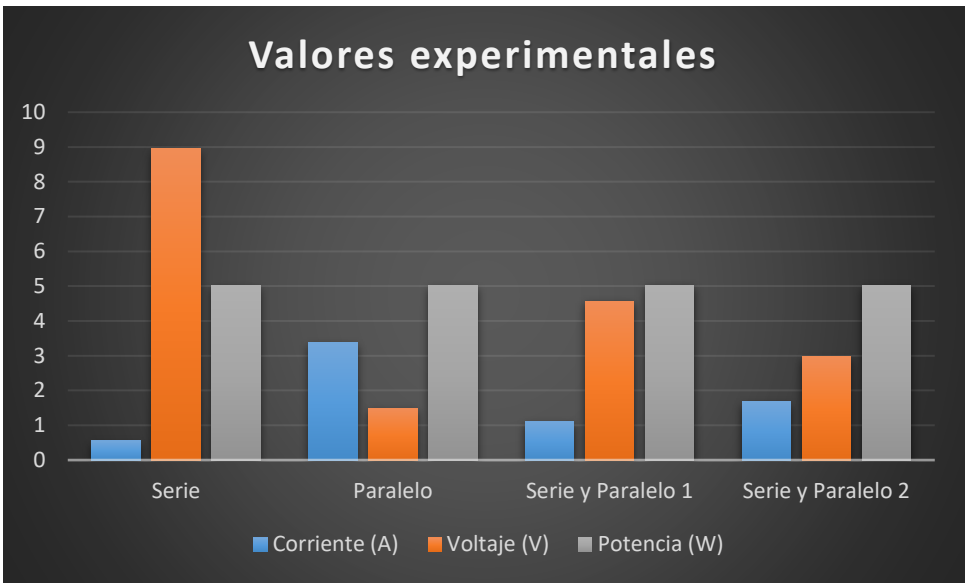
Tabla 4 Consumo del sistema de refrigeración

Una vez construido el sistema físico de refrigeración se procedió a unir el focalizador, el sistema físico y las celdas Peltier, esto con el fin de realizar pruebas de cuánto voltaje,

corriente y potencia podía llegar a generar el sistema completo con la energía proporcionada por el sol. Las pruebas se realizaron con la combinación de conexiones (serie y paralelo) que se plantearon en la actividad 2; los resultados se evidencian en la tabla 5.

	Serie	Paralelo	Serie y Paralelo 1	Serie y Paralelo 2
Corriente (A)	0,56	3,37	1,1	1,68
Voltaje (V)	8,95	1,49	4,57	2,99
Potencia (W)	5,012	5,021	5,027	5,023

Tabla 5 Valores obtenidos experimentalmente



Grafica 5 Valores obtenidos experimentalmente

Al realizar las pruebas con las celdas Peltier y el sistema físico (focalizador y de refrigeración), se observaron los valores de la densidad energética que se podían obtener y aprovechar de la energía solar térmica recolectada por medio de las celdas peltier, variando su tipo de conexión (serie y paralelo).

Estos datos son cercanos a los característicos de cuánta energía eléctrica se podía generar y posteriormente almacenar, además los 4 posibles parámetros de entrada para el sistema eléctrico.

Tipos de baterías

Se realizó la investigación sobre el tipo de batería a utilizar teniendo como referencia la capacidad, valor comercial y accesibilidad. La batería que se escogió fue la ICR18650-26H cuyas características se observan en la tabla 6.

Item	Specification
3.1 Nominal Capacity	2600mAh (0.2C, 2.75V discharge)
3.2 Minimum Capacity	2550mAh(0.2C, 2.75V discharge)
3.3 Charging Voltage	4.2 $\pm$ 0.05 V
3.4 Nominal Voltage	3.63V
3.5 Charging Method	CC-CV (constant voltage with limited current)
3.6 Charging Current	Standard charge: 1300mA Rapid charge : 2600mA
3.7 Charging Time	Standard charge : 3hours Rapid charge : 2.5hours
3.8 Max. Charge Current	2600mA(ambient temperature 25℃)
3.9 Max. Discharge Current	5200mA(ambient temperature 25℃)
3.10 Discharge Cut-off Voltage	2.75V
3.11 Cell Weight	47.0g max
3.12 Cell Dimension	Height : 65.00mm max Diameter : 18.40mm max
3.13 Operating Temperature	Charge : 0 to 45℃ Discharge: -20 to 60℃
3.14 Storage Temperature	1 year : -20~25℃(1*) 3 months : -20~45℃(1*) 1 month : -20~60℃(1*)

Tabla 6 Características batería ICR18650-26H tomada de [26]

Al observar la tabla 6 se determinó que las características más importantes y relevantes son:

- Voltaje de Carga
- Voltaje nominal
- Método de carga
- Corriente de carga

Teniendo en cuenta estas características se investigó cuál es la forma más usual de cargar este tipo de baterías, información que se observa en ilustración 23, la cual describe la forma correcta de cargar la batería en cuanto a qué cantidad de corriente y voltaje se le debe suministrar en el tiempo de carga.

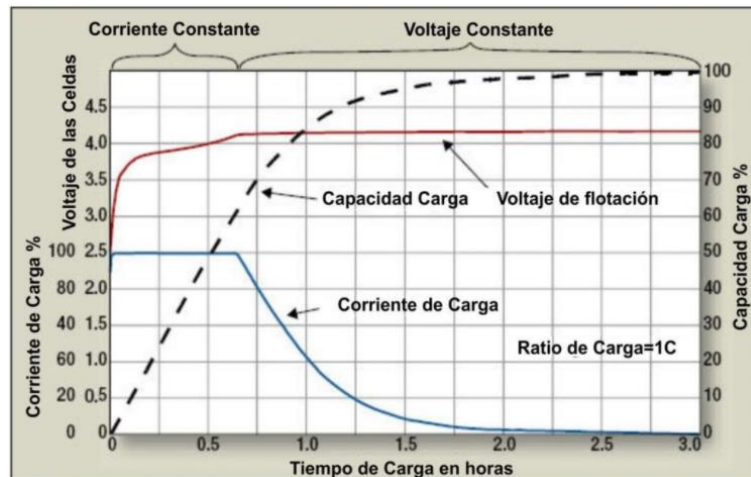


Ilustración 23 forma de cargar la batería tomado de [27]

Adicionalmente se encontró el módulo TC4056A creado especialmente para cargar y proteger baterías de este tipo, del cual se extrajeron las siguientes características:

- Voltaje de entrada 4,5 a 5,5 VDC
- Corriente de carga de hasta 1 A
- Voltaje de carga hasta 4,2 VDC
- Leds testigos de carga baja (Rojo) y carga llena (Azul) de la batería



Ilustración 24 Modulo carga Baterías TC4056

Al observar las características de este módulo se determinó que se debe investigar e implementar un circuito el cual permita tener el rango de voltaje de entrada para la alimentación de este módulo.

Implementación y pruebas de los diferentes convertidores

Se investigó qué tipos de convertidores se podían utilizar para transformar la corriente directa (DC) generada por las celdas peltier, la necesidad o fin de este sistema eléctrico es tener mayor aprovechamiento de la energía evitando que esta se desperdicie, almacenar la energía generada y mantener constante el voltaje, esto debido a que la radiación del sol varía constantemente por el movimiento de la tierra y factores como la sombra de las nubes, la lluvia y otros que afectan la potencia generada por las celdas Peltier.

Adicionalmente el convertidor seleccionado debe alimentar correctamente el módulo TC4056A visto anteriormente, este debe mantener un voltaje de salida de 4.5-5.5 VDC ya que es el voltaje de entrada del módulo. Esta característica es muy importante debido a que si es menor no va a cargar la batería y si es mayor lo dañaría.

En primera medida se investigaron los convertidores DC/DC. Debido a que ya se tienen conocimientos previos, estos convertidores son muy conocidos por su porcentaje de eficiencia típica entre 75% y 98%, además porque son muy utilizados en sistemas de generación de energía, paneles solares, fuentes de alimentación, motores de corriente continua, etc.

Teniendo en cuenta la densidad energética que pueden llegar a generar las celdas Peltier determinada en la actividad 3, se opta por escoger la combinación serie paralelo 1 debido a que con esta se aumentó la corriente y el voltaje de salida en iguales proporciones y no solo una característica como en las otras combinaciones, también se tuvo en cuenta las características del módulo TC4056A para cargar las baterías.

A partir de las características de entrada y de salida se procedió a realizar el diseño del convertidor DC/DC Boost, para esto fue necesario conocer su funcionamiento, conocer sus ecuaciones características y los parámetros de diseño.

Para el funcionamiento de este se tienen 2 modos, el modo 1 empieza cuando se activa el transistor, la corriente de entrada fluye a través del inductor (L) y del transistor. El modo 2 empieza cuando se desactiva el transistor, la corriente que fluía a través del transistor ahora fluye a través de L, C, la carga y el Diodo. La energía almacenada en L es transferida a la carga [28]. En la ilustración 25 se observan los circuitos equivalentes de estos modos.

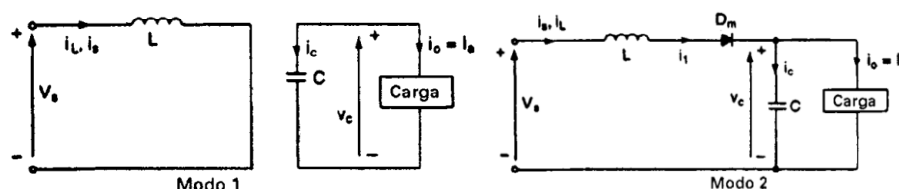


Ilustración 25 Circuito equivalente modo 1 y 2 tomada de [28]

A partir de la fuente consultada [28] se obtuvieron las siguientes ecuaciones características de este tipo de convertidor DC/DC:

$$V_a = \frac{V_s}{1 - K} \rightarrow K = 1 - \frac{V_s}{V_a} \quad (2)$$

Donde:

- V_a = Voltaje promedio de salida
- V_s = Voltaje de entrada
- K = Ciclo de trabajo
-

$$L = \frac{V_s * K}{F * \Delta I} \quad (3)$$

Donde:

- L = Inductancia
- F = Frecuencia
- ΔI = Componente ondulatoria del inductor

$$C = \frac{I_a * K}{F * \Delta V_c} \quad (4)$$

Donde

- C = Capacitancia
- I_a = Corriente promedio de carga
- ΔV_c = Componente ondulatoria del condensador

Los parámetros necesarios para realizar el diseño se obtuvieron a partir de los valores de entrada y salida encontrados anteriormente, y de asumir parámetros de diseño comúnmente utilizados a partir de las referencias consultadas [28] [7]. En la tabla 7 se observan los parámetros encontrados y en la tabla 8 los parámetros asumidos.

$V_s(V)$	$V_a(V)$	$I_s(A)$	$I_a(A)$
4,5	5	1,111	1

Tabla 7 Valores de entrada y salida

$f(H)$	$\Delta V_c(V)$	$\Delta i(A)$
20000	0,05	0,05

Tabla 8 parámetros asumidos

Teniendo claro estos parámetros y con ayuda de las ecuaciones anteriormente mencionadas, se encontraron los valores de los componentes que posee el convertidor.

Haciendo uso de la ecuación 2 se tiene:

$$K = 1 - \frac{V_s}{V_a} \rightarrow K = 1 - \frac{4,5V}{5V} = 0,1 = 10\%$$

Teniendo el valor del ciclo de trabajo se calculó el valor de la inductancia con la ecuación 3.

$$L = \frac{V_s * K}{F * \Delta I} \rightarrow L = \frac{4,5V * 0,1}{20.000H * 0,05A} = 450\mu H$$

Finalmente con ayuda de la ecuación 4 se logró hallar el valor de la capacitancia.

$$C = \frac{I_a * K}{F * \Delta V_c} \rightarrow C = \frac{1A * 0,1}{20000H * 0,05V} = 100\mu F$$

Finalmente al encontrar los valores de los componentes se procedió a realizar una simulación por medio del software PSIM con el fin de comprobar el diseño realizado, el resultado de este se observa en la ilustración 26 y 27.

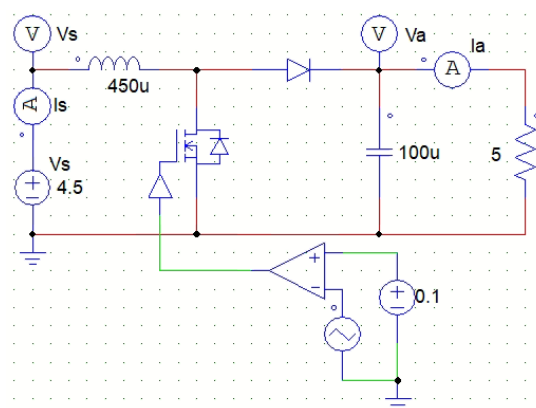


Ilustración 26 Circuito esquemático convertidor DC/DC BOOST diseñado

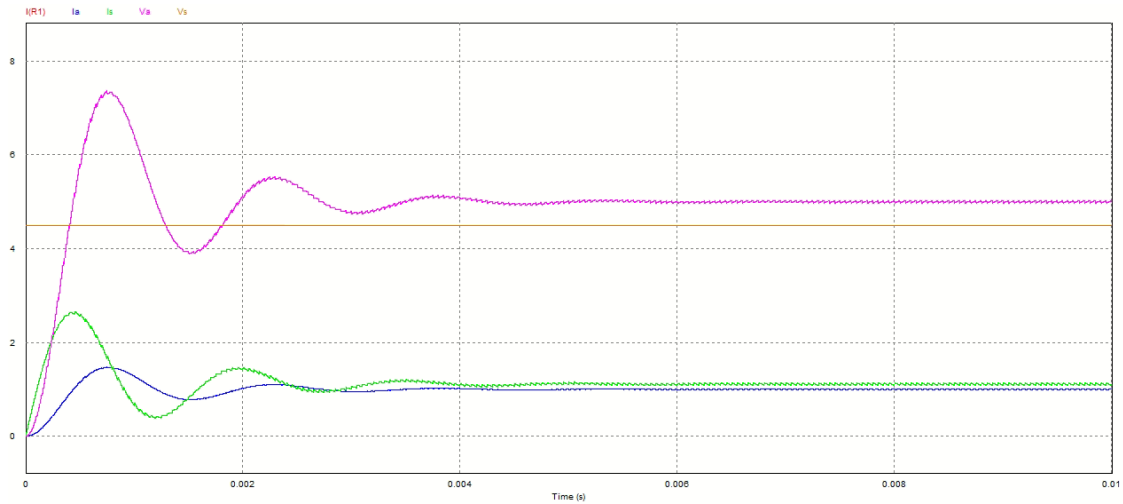


Ilustración 27 Respuesta simulación convertidor DC/DC BOOST diseñado

Características	entrada	salida
Voltaje (V)	4,49	4,98
Corriente (A)	1,12	0,99
potencia (W)	5,0288	4,9302

Tabla 9 Resultados simulación convertidor DC/DC BOOST diseñado

Con estos resultados se comprobó el diseño realizado, sin embargo, por el comportamiento que ya se conoce de las celdas peltier respecto a su diferencia de temperatura varia tanto el voltaje como la corriente de entrada, haciendo que varíe también el voltaje de salida.

Para ello se utilizó la retroalimentación, que consistió en leer la variación del voltaje de salida con un microcontrolador y con este cambiar el ciclo de trabajo del Mosfet. Para que el microcontrolador lea el voltaje se implementa un divisor de voltaje con el voltaje de salida del convertidor, al diseñar este divisor se debe asegura que el voltaje que leerá el microcontrolador no pase el voltaje nominal de sus entradas. Por medio del siguiente circuito y de la ecuación característica del divisor de voltaje se logra diseñar la retroalimentación.

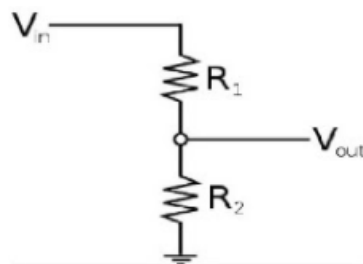


Ilustración 28 Circuito característico divisor de voltaje

$$V_{out} = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) * V_{in} \rightarrow R_1 = \left(\frac{V_{in} * R_2}{V_{out}} \right) - R_2 \quad (5)$$

Para el diseño de la retroalimentación se asume el valor de la resistencia R_2 y con este se halla el valor de la otra resistencia, estos valores deben estar en el orden de los miles ya que de esta manera se limitara la corriente que ingresa al microcontrolador.

A partir de la ecuación 5 se tiene:

$$R_1 = \left(\frac{V_{in} * R_2}{V_{out}} \right) - R_2 \rightarrow R_1 = \left(\frac{5V * 2K\Omega}{3.3V} \right) - 2K\Omega = 1030\Omega$$

Con las anteriores características encontradas en el diseño del convertidor DC/DC BOOST ya se puede realizar la construcción del circuito, sin embargo debido que la generación de energía con las celdas peltier es de baja potencia no es productivo realizar la construcción de este ni la utilización de un microcontrolador, para esta función se encuentran una gran cantidad de módulos convertidores DC/DC BOOST en el mercado que cumplen las características de diseño.

Se encontró el conversor elevador tipo DC-DC XL6009 el cual tiene las siguientes características:

- Voltaje de entrada 3 a 32 VDC
- Voltaje de salida 5 a 35 VDC
- Corriente de entrada hasta 4A(máxima)
- Corriente de salida 2A
- Eficiencia 94%
- Potencia 30W
- Rizado de salida 50mV
- Voltaje constante a la salida aun si varia el voltaje de entrada



Ilustración 29 Convertidor elevador DC/DC XL6009

En segunda medida se investigó sobre el circuito ladrón julios, teniendo en cuenta que en la revisión de estado del arte, en una de las fuentes consultadas, los investigadores lo definieron como un circuito de refuerzo de voltaje auto oscilante para pequeñas aplicaciones de energía y adicionalmente la utilidad que le dan es almacenar la energía recogida por este. [19]

En la fuente consultada los investigadores consideraron que la salida del circuito depende de dos factores: el calibre del cable y el número de vueltas del inductor toroidal. En teoría, la energía recolectada aumenta con el calibre del cable, aunque, el voltaje inducido es inversamente proporcional al radio de la bobina, entonces cuanto menor sea el radio de la bobina, más vueltas se pueden enrollar. Los investigadores realizaron los experimentos pertinentes y descubrieron que con un cable calibre # 20 AWG y 8 vueltas en el inductor toroidal el circuito está optimizado. [19]

Teniendo en cuenta las características dadas por los investigadores se implementó un circuito ladrón de Julios como el que se encuentra en la ilustración 30.

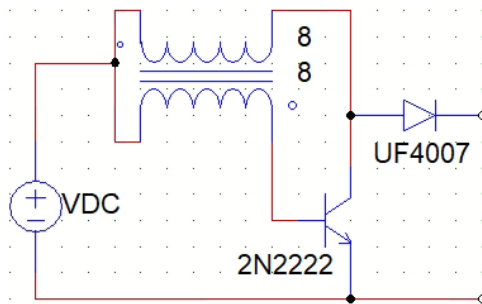


Ilustración 30 Diagrama esquemático Ladrón de Julios

Para comprobar qué tipo de convertidor aprovecharía de mejor manera la energía obtenida por las celdas peltier, se realizó una prueba a cada convertidor que se basó en alimentar 5 leds azules en serie a partir de una batería de 3,7 voltios, esta debido a que el sistema es de baja potencia y la carga debe ser adecuada a esa baja potencia. Con esta prueba se pudo determinar qué convertidor es más eficiente y por ende cuál aprovecharía mejor la densidad energética de las celdas peltier.

Para esta prueba se utilizó una matriz de leds la cual para su funcionamiento requirió un voltaje de 15 VDC y 100 mA, con estas se logró probar y comparar los convertidores mencionados anteriormente. Los resultados obtenidos se observan en la tabla 10.

	Boost		Ladrón	
Características	entrada	salida	entrada	salida
Voltaje (V)	3,79	14,61	3,8	8,9
Corriente (A)	0,37	0,09	0,05	0,01
potencia (W)	1,4023	1,3149	0,19	0,089
eficiencia	94%		47%	

Tabla 10 Resultados comparación convertidores

Se determinó que el convertidor Boost aprovechó de una mejor manera la densidad energética ya que su eficiencia es superior a la del ladrón de julios, esto quiere decir que se pierde energía en mayor proporción con este circuito. Luego de esto se realizó una simulación del convertidor DC/DC Boost por medio del software PSIM, esto con el fin de comprobar las características ideales de este, el resultado se observa en las ilustraciones 31 y 32.

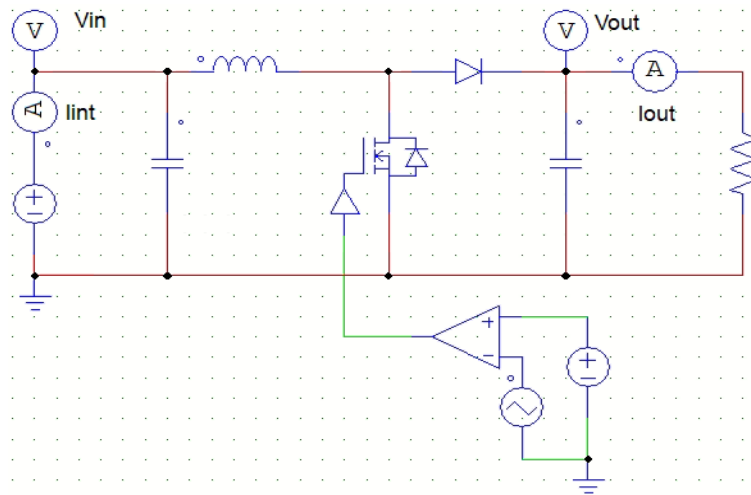


Ilustración 31 Simulación convertidor DC/DC Boost propuesto

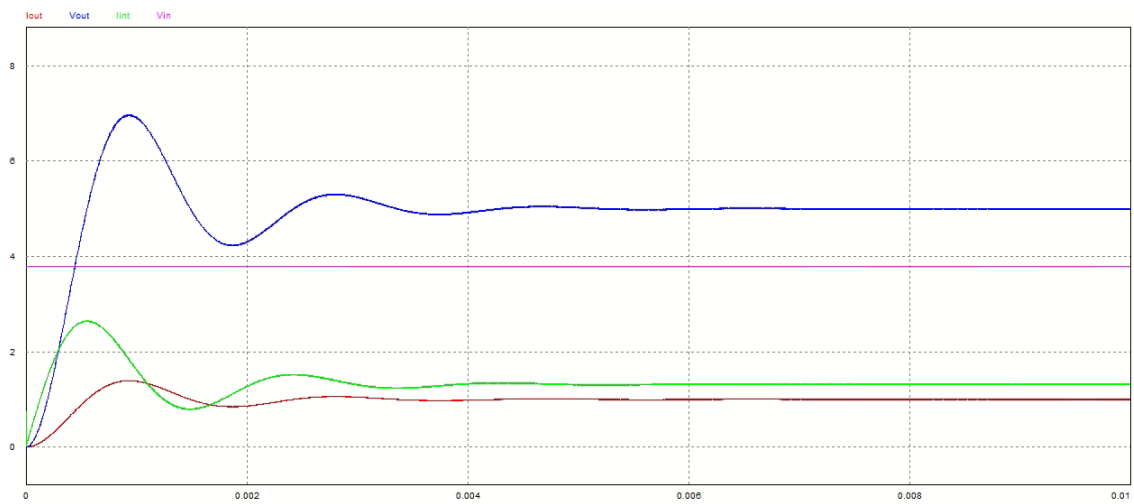


Ilustración 32 Respuesta simulación convertidor DC/DC Boost propuesto

Características	entrada	salida
Voltaje (V)	3,7999	5,0032
Corriente (A)	1,3218	1,0006
potencia (W)	5,02270782	5,00620192

Tabla 11 Resultados simulación convertidor DC/DC Boost propuesto

Finalmente se realizaron las pruebas con el sistema general el cual está conformado por el sistema físico, el focalizador, las celdas peltier, el almacenador de energía eléctrica y el sistema eléctrico. Los cuales permitieron cumplir el principal objetivo de este proyecto que es generar energía eléctrica a partir de la energía solar térmica y almacenarla en una batería. En la ilustración 33 se observa el diagrama del sistema general y en la tabla 12 los resultados obtenidos en la prueba.

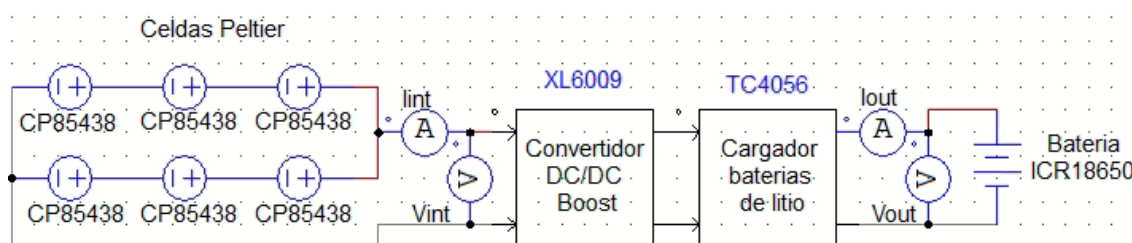


Ilustración 33 Diagrama del sistema general

Características	entrada	salida DC/DC	salida Cargador
Voltaje (V)	3,8	4,3	3,6
Corriente (A)	0,7	0,58	0,6
potencia (W)	2,66	2,494	2,16
eficiencia	100%	94%	81%

Tabla 12 valores de entrada y salida sistema general

Adicionalmente al observar los resultados de la prueba se obtuvo una eficiencia en la salida del convertidor del 94% y una eficiencia del 81% para el sistema general, esto quiere decir que se perdió un 6% de energía en la salida del convertidor y un 19% en la salida del sistema general, sin embargo, en la eficiencia total no se tuvo en cuenta el consumo del sistema de refrigeración, el resultado de la eficiencia real es de 57%, esta se obtuvo de restar la potencia consumida por el sistema de refrigeración a la potencia generada por el sistema general, en la tabla 13 se evidencia el resultado.

Características	generación de las celdas	consumo sistema de refrigeración	Generación real del sistema
potencia (W)	2,16	0,636	1,524
eficiencia	81%	24%	57%

Tabla 13 Generación real del sistema

Por otra parte, se calculó el tiempo aproximado para lograr cargar la batería por completo, con ayuda de la siguiente formula.

$$T(h) \frac{\text{capacidad de corriente de la bateria}}{\text{corriente obtenida}} \quad (6)$$

Remplazando los valores obtenidos e investigados de la batería se encontró:

$$T(h) \frac{2,6Ah}{0,6 A} = 4,3 \text{ Horas}$$

Sin embargo, cabe aclarar que este tiempo seria el mínimo si se logra mantener la máxima diferencia de temperatura vista anteriormente y esta a su vez depende de la radiación solar.

Resultados finales

Una vez terminadas las pruebas se confirmó que se puede generar y almacenar energía eléctrica por medio de celdas Peltier, aunque al realizar una revisión exhaustiva respecto a la eficiencia real del sistema creado y teniendo en cuenta que en Bogotá el valor promedio de la radiación producida por el sol es de 689 W/m² según la fuente consultada [29], que al multiplicarlo por el área del concentrador solar se obtuvo una potencia de 210,8 W de los cuales se obtuvo 2,66 W de potencia eléctrica, logrando las celdas una eficiencia del 1,26%.

Luego se investigó con el fin de comparar con otro sistema de generación de energía eléctrica, ya que de la misma manera que el anterior este la genera por medio de la radiación solar. Las características a comparar son las siguientes:

- Dimensiones
- Precio
- Volumen
- Potencia
- Vida útil

Al realizar la investigación se encontró que el tipo de panel con mayor eficiencia es el construido con celdas monocristalinas del cual se extrajeron las anteriores características y estas se comparan con las de las celdas peltier en la siguiente tabla.

características	Panel solar 330 W	Celda peltier
dimensiones	992mm*1950mm*40mm	40mm*40mm*3.8mm
precio	\$ 547.900	\$ 50.000
volumen	77376000	6080
potencia (W)	300	1,05652
vida util	25 años	22,83 años

Tabla 14 Comparación características panel solar y celda peltier

Al observar estas características se calculó cuánto generarían por M2 y M3 dependiendo del área y volumen de cada elemento, en la siguiente tabla se observa esta comparación

características	Panel solar 330 W	Celda peltier
Area (M2)	1,9344	0,0016
Volumen (M3)	0,077376	0,00000608
potencia W/M2	155,1	660,3
potencia W/M3	3877,2	173769,7

Tabla 15 comparación de potencia en cada M2 y M

Conclusiones

- Se construyó un sistema a escala de captación y almacenamiento de energía solar térmica para la generación de electricidad mediante el aprovechamiento del efecto termoeléctrico Seebeck, comprobando que las celdas peltier pueden llegar a ser una fuente de energía renovable no convencional.
- El diseño y la implementación del sistema de captación de radiación solar incluye un concentrador, el cual captó la radiación solar con el fin de aumentar la temperatura en la cara caliente de las celdas Peltier y así aumentar la densidad energética de esta.
- Se creó un sistema el cual convirtió la energía solar térmica en energía eléctrica, mediante el aprovechamiento de la cantidad de energía que logran acumular las celdas Peltier.
- El sistema electrónico utilizado para el aprovechamiento de la energía eléctrica obtenida redujo considerablemente las pérdidas, este sistema se conformó de un convertidor Boost DC/DC y un módulo cargador de baterías.
- Se realizó una comparación con respecto a un panel solar que es otro sistema de generación de energía y se concluyó que aunque las celdas peltier logran mayor generación de energía eléctrica por metro cuadrado y metro cubico que los paneles solares los costos de implementarlos serían muy elevados.

Bibliografía

- [1 G. M. L. E. V. D. Cristian Rubio Ramírez, «TERMOELECTRICIDAD,» 15 febrero 2017. [En línea]. Available: <https://revistas.uniminuto.edu/index.php/Inventum/article/download/1502/1452>. [Último acceso: 23 septiembre 2019].
- [2 novelec, «novelec,» novelec, 18 abril 2018. [En línea]. Available: <https://blog.gruponovelec.com/energias-renovables/fuentes-de-energia-no-renovables-tipos-y-caracteristicas/>. [Último acceso: 26 septiembre 2019].
- [3 UPME, «Integration of non-conventional renewable energies in Colombia,» UPME, Bogotá, 2015.
- [4 G. Masters, Renewable and Efficient Electric Power Systems, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons Ltd, 2004.
- [5 DiarioRenovables, «DiarioRenovables,» Biomasa, otra alternativa energética, 27 abril 2016. [En línea]. Available: <https://www.diariorenovables.com/2016/04/biomasa-otra-alternativa-energetica.html>. [Último acceso: 25 agosto 2020].
- [6 C. J. P. Avila, «electro industria,» mayo 2005. [En línea]. Available: <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=263#targetText=Las%20Energ%C3%ADas%20Renovables%20se%20pueden,biomasa%20y%20la%20mini%20hidr%C3%A1ulica..> [Último acceso: 28 septiembre 2019].
- [7 C. Torres, *Introduccion a las energias renovables*, Bogotá, 2018.
- [8 ERENOVABLE, «ERENOVABLE.COM,» ERENOVABLE, 11 junio 2019. [En línea]. Available: <https://erenovable.com/energias-renovables-ventajas-y-desventajas/>. [Último acceso: 25 septiembre 2019].
- [9 UPME, «UPME Energy Planning Unit Enviromental Calculator,» 2016. [En línea]. Available: www.upme.gov.co/calculadora_emisiones/aplicacion/calculadora.html?#.
- [1 R. Ehrlich, RENEWABLE ENERGY A First Course, Broken Sound Parkway NW: CRC Press
0] Taylor & Francis Group, 2013.
- [1 «Causas del cambio climático,» comision europea, [En línea]. Available: https://ec.europa.eu/clima/change/causes_es. [Último acceso: 10 octubre 2019].
- [1 COP 21 Paris France Sustainable Innovation Forum, «COP 21 Paris France Sustainable
2] Innovation Forum 2015,» Septiembre 2016. [En línea]. Available: <http://www.cop21paris.org/>. [Último acceso: 23 OCTUBRE 2019].
- [1 EcuRed, «efecto seebeck,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Efecto_Seebeck.
3] [Último acceso: 30 septiembre 2019].

- [1 M. Algusri y D. Redantan, «Analysis of Peltier Characteristic and Cold Side Treatment for 4] Thermoelectric Generator Module at Brick Kiln Furnace,» 17 OCTUBRE 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/document/8784141>. [Último acceso: 18 OCTUBRE 2019].
- [1 W. R. Fernandes, Z. Á. Tamus y T. Orosz, «Characterization of peltier cell for the use of 5] waste heat of spas,» 14 OCTUBRE 2014. [En línea]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/document/6998212>. [Último acceso: 18 OCTUBRE 2019].
- [1 EcuRed, «EcuRed,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Thomas_Johann_Seebeck. 6] [Último acceso: 30 septiembre 2019].
- [1 A. Gautama Darmoyono, H. R. Suwarman y A. Nurhayati, «Utilizing Thermoelectric 7] Generator Peltier in Using Solar Thermal Energy as Renewable Energy Source,» 4 OCTUBRE 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/document/8579358>. [Último acceso: 18 OCTUBRE 2019].
- [1 S. Ouitrakul, «Preliminary experiment for electricity generation using Peltier modules,» 17 8] MAYO 2014. [En línea]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/document/6839738>. [Último acceso: 18 JULIO 2019].
- [1 J. B. G. Ibarra, J. T. Sese, M. A. E. Latina, R. T. Buenafe, G. Cruz, M. A. Mirano y J. J. Yu, 9] «Harvesting electrical power through body heat in different workout activities using Peltier tiles,» 27 NOVIEMBRE 2016. [En línea]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/document/7893618>. [Último acceso: 15 OCTUBRE 2019].
- [2 «Mundo digital,» [En línea]. Available: [http://www.mundodigital.net/que-es-el-efecto-0\] peltier/](http://www.mundodigital.net/que-es-el-efecto-0] peltier/). [Último acceso: 21 octubre 2019].
- [2 gmdsol, «pinterest,» [En línea]. Available: 1] <https://co.pinterest.com/pin/390828073892724621/visual-search/?cropSource=6&h=258.99127061105725&w=530&x=16&y=10>. [Último acceso: 19 octubre 2019].
- [2 M. Mateo, I. Samson y R. M. Echarri, «ResearchGate,» julio 2016. [En línea]. Available: 2] https://www.researchgate.net/figure/Figura-A1-Esquema-de-nuestro-concentrador-solar_fig13_320474536. [Último acceso: 19 octubre 2019].
- [2 antenistas, «diez Telecomunicaciones,» 11 10 2011. [En línea]. Available: 3] <http://antenistas.blogspot.com/2012/05/calculo-de-la-distancia-focal-en.html>. [Último acceso: 24 10 2020].
- [2 «CUI DEVICES,» 9 AGOSTO 2016. [En línea]. Available: 4] <https://www.cuidevices.com/product/thermal-management/peltier-devices/single-stage-peltier-modules/cp85-series/cp85438>. [Último acceso: 25 OCTUBRE 2020].
- [2 «Laird Thermal Systems,» 24 ABRIL 2020. [En línea]. Available: 5] <https://www.lairdthermal.com/datasheets/datasheet-UT15-288-F2-5252-TA-W6.pdf>. [Último acceso: 25 OCTUBRE 2020].

- [2 Samsung, «DatasheetsPDF.com,» 12 2011. [En línea]. Available:
6] <https://datasheetspdf.com/datasheet/ICR18650-26H.html>. [Último acceso: 5 junio 2021].
- [2 facilelectro, «Fácil Electro Electronica y Tutoriales,» 31 julio 2019. [En línea]. Available:
7] <https://www.facilelectro.es/cargadores-de-baterias-de-litio-que-son/>. [Último acceso: 27 Mayo 2021].
- [2 M. H. RASHID, Electrónica de potencia Circuitos, dispositivos y aplciaciones, PRENTICE HALL
8] HISPANOAMERICA, 2001.
- [2 H. . A. González Rojas, «Universitat Politècnica de Catalunya,» 9 JUNIO 2015. [En línea].
9] Available: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/79156/01_TFG.pdf.
[Último acceso: 15 NOVIEMBRE 2020].
- [3 V. Štofanič, A. Štofanič y E. Cocherová, «Design and verification of thermostat with peltier
0] thermoelectric modules,» 20 ABRIL 2011. [En línea]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/document/5936457>. [Último acceso: 24 JULIO 2020].
- [3 T. Hatano, M. Deng y S. Wakitani, «A Cooling and Heat-retention System actuated by
1] Peltier device considering fan-motor control,» 22 AGOSTO 2014. [En línea]. Available:
<https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/document/6899321>.
[Último acceso: 23 mayo 2020].
- [3 A. Ihring, E. Kessler, U. Dillner, U. Schinkel, M. Kunze y S. Billat, «A Planar Thin-Film Peltier
2] Cooler for the Thermal Management of a Dew-Point Sensor System,» 25 NOVIEMBRE 2014.
[En línea]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/document/6966742>. [Último acceso: 24 JUNIO 2019].
- [3 A. Jose, A. D'souza, S. Dandekar, . J. Karamchandani y P. Kulkarni, «Air conditioner using
3] Peltier module,» 6 FEBRERO 2015. [En línea]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/document/7095879>. [Último acceso: 23 OCTUBRE 2019].
- [3 Ș. Mihalache, I. Flamaropol, F.-S. Dumitru, L. Dobrescu y D. Dobrescu, «Automated cooling
4] control system through Peltier effect and high efficiency control using a DC-DC Buck converter,» 14 octubre 2015. [En línea]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/document/7355233>. [Último acceso: 25 SEPTIEMBRE 2019].
- [3 H. Joseph P. y J. Hyungyu , «Thermoelectric and spin-caloritronic coolers: from basics to
5] recent developments,» 7 MARZO 2016. [En línea]. Available:
<https://www.spiedigitallibrary.org/conference-proceedings-of-spie/9765/1/Thermoelectric-and-spin-caloritronic-coolers--from-basics-to-recent/10.1117/12.2208541.full?SSO=1&tab=ArticleLinkCited>. [Último acceso: 12 FEBRERO 2021].
- [3 T. Indiketiya, «An Optimum Strategy to Control Peltier Device Cold Side Temperature,» 27
6] ENERO 2021. [En línea]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/document/9376130>. [Último acceso: 12 ABRIL 2021].

[3 N. Marati, C. Sandhya, V. Haarica, S. Gaggar y T. Kumar Reddy, «Design and Development 7] of Solar Umbrella Based on Peltier Effect,» 28 septiembre 2019. [En línea]. Available: <https://ieeexplore-ieee-org.crai-ustadigital.usantotomas.edu.co/document/8940483>. [Último acceso: 26 OCTUBRE 2020].

[3 J. L. Hernández Castaño y A. F. Pinilla Cepeda, «Evaluación de un sistema doméstico DC 8] utilizando una fuente solar fotovoltaica,» 11 JULIO 2019. [En línea]. Available: <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/17666>. [Último acceso: 20 enero 2021].

Anexos

Muestras	Tf(°C)	Tc(°C)	ΔT	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia(W)
1	35,9	113	77,1	2,21	0,52	1,1492
2	35,7	112	76,3	2,13	0,5	1,065
3	35,4	111,3	75,9	2,09	0,49	1,0241
4	35,4	109,6	74,2	2,06	0,47	0,9682
5	35,3	107,6	72,3	1,983	0,46	0,91218
6	34,8	104,6	69,8	1,934	0,44	0,85096
7	34	102,4	68,4	1,814	0,43	0,78002
8	33,7	100,3	66,6	1,75	0,42	0,735
9	32,9	97,6	64,7	1,702	0,41	0,69782
10	32,3	95,2	62,9	1,68	0,39	0,6552
11	31,7	92,5	60,8	1,637	0,37	0,60569
12	30,2	90,6	60,4	1,626	0,37	0,60162
13	29,4	87,3	57,9	1,546	0,35	0,5411
14	28,6	85,5	56,9	1,512	0,34	0,51408
15	28	82,2	54,2	1,48	0,32	0,4736
16	27,7	80,2	52,5	1,43	0,31	0,4433
17	26,8	77,9	51,1	1,416	0,31	0,43896
18	26,5	75	48,5	1,384	0,3	0,4152
19	26	72,6	46,6	1,331	0,28	0,37268
20	25,3	70,9	45,6	1,257	0,28	0,35196
21	24,9	67,9	43	1,229	0,27	0,33183
22	24,3	65,4	41,1	1,175	0,25	0,29375
23	23,7	62,7	39	1,124	0,25	0,281
24	23,3	60	36,7	1,081	0,24	0,25944
25	22,5	58,1	35,6	1,004	0,23	0,23092
26	21,5	55,3	33,8	0,947	0,23	0,21781
27	20,5	52,4	31,9	0,919	0,22	0,20218
28	19,7	50	30,3	0,853	0,21	0,17913
29	19	47,7	28,7	0,783	0,2	0,1566
30	18,7	45	26,3	0,737	0,18	0,13266
31	17,8	42,6	24,8	0,674	0,18	0,12132
32	16,6	40,4	23,8	0,621	0,17	0,10557
33	15,5	37,4	21,9	0,615	0,15	0,09225
34	14,6	35,4	20,8	0,577	0,14	0,08078
35	13	32,1	19,1	0,534	0,13	0,06942
36	10,9	28	17,1	0,512	0,12	0,06144
37	10,1	25,5	15,4	0,474	0,11	0,05214
38	9,4	22,8	13,4	0,4	0,11	0,044
39	8,6	20,1	11,5	0,346	0,1	0,0346
40	8,2	19,6	11,4	0,336	0,09	0,03024

Tabla 16 Datos obtenidos celda Peltier LAIRD 430857-500

Muestras	Tf(°C)	Tc(°C)	ΔT	Voltaje (V)	Corriente (A)	Potencia(W)
1	35,9	113	77,1	1,732	0,61	1,05652
2	35,7	112	76,3	1,7	0,61	1,037
3	35,4	111,3	75,9	1,675	0,61	1,02175
4	35,4	109,6	74,2	1,635	0,6	0,981
5	35,3	107,6	72,3	1,612	0,6	0,9672
6	34,8	104,6	69,8	1,589	0,59	0,93751
7	34	102,4	68,4	1,564	0,58	0,90712
8	33,7	100,3	66,6	1,552	0,57	0,88464
9	32,9	97,6	64,7	1,527	0,56	0,85512
10	32,3	95,2	62,9	1,505	0,55	0,82775
11	31,7	92,5	60,8	1,474	0,55	0,8107
12	30,2	90,6	60,4	1,464	0,54	0,79056
13	29,4	87,3	57,9	1,434	0,52	0,74568
14	28,6	85,5	56,9	1,407	0,52	0,73164
15	28	82,2	54,2	1,347	0,5	0,6735
16	27,7	80,2	52,5	1,298	0,49	0,63602
17	26,8	77,9	51,1	1,263	0,49	0,61887
18	26,5	75	48,5	1,215	0,47	0,57105
19	26	72,6	46,6	1,171	0,45	0,52695
20	25,3	70,9	45,6	1,131	0,43	0,48633
21	24,9	67,9	43	1,095	0,41	0,44895
22	24,3	65,4	41,1	1,059	0,38	0,40242
23	23,7	62,7	39	1,03	0,37	0,3811
24	23,3	60	36,7	0,988	0,36	0,35568
25	22,5	58,1	35,6	0,951	0,33	0,31383
26	21,5	55,3	33,8	0,916	0,31	0,28396
27	20,5	52,4	31,9	0,857	0,3	0,2571
28	19,7	50	30,3	0,8	0,28	0,224
29	19	47,7	28,7	0,758	0,27	0,20466
30	18,7	45	26,3	0,728	0,25	0,182
31	17,8	42,6	24,8	0,688	0,24	0,16512
32	16,6	40,4	23,8	0,634	0,23	0,14582
33	15,5	37,4	21,9	0,593	0,22	0,13046
34	14,6	35,4	20,8	0,563	0,2	0,1126
35	13	32,1	19,1	0,505	0,18	0,0909
36	10,9	28	17,1	0,441	0,17	0,07497
37	10,1	25,5	15,4	0,398	0,15	0,0597
38	9,4	22,8	13,4	0,352	0,15	0,0528
39	8,6	20,1	11,5	0,275	0,13	0,03575
40	8,2	19,6	11,4	0,27	0,11	0,0297

Tabla 17 Datos obtenidos celda Peltier CP85438