



# **Aprovechamiento energético térmico en intercambiadores de calor compactos a través de un arreglo de celdas Peltier**

**Ricardo Andrés García De león - Wilson Miguel Amaya  
Olivares**

Universidad Antonio Nariño  
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica  
Barranquilla, Colombia  
2020



# **Aprovechamiento energético térmico en intercambiadores de calor compactos a través de un arreglo de celdas Peltier**

**Ricardo Andrés García De León - Wilson Miguel Amaya  
Olivares**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
**Ingeniero Electromecánico**

Director:

Dr. Wilman Orozco Lozano

Línea de Investigación:

Diseño aplicado

Universidad Antonio Nariño

Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica

Barranquilla, Colombia

2020



*A Dios Todopoderoso, Creador, Ingeniero de todo lo existente y a nuestras madres por su incondicional apoyo.*



## **Agradecimientos**

Agradecemos a Dios Todopoderoso, a nuestras madres por su apoyo incondicional, al Ingeniero Manuel Alejandro Bermúdez Porto por su disposición para apoyar con su conocimiento y asesoría al desarrollo de este Trabajo de grado, a nuestros Docentes en cabeza de nuestro Coordinador académico Dr. Wilman Orozco Lozano y al Ingeniero Rafael Hurtado por guiarnos y aportar con su experiencia al desarrollo y culminación del presente trabajo.





## Resumen

El presente trabajo de investigación buscó determinar la viabilidad y aplicabilidad de los principios termoeléctricos como una alternativa para el aprovechamiento de la energía térmica en intercambiadores de calor compactos.

Los intercambiadores de calor compactos son empleados como parte de sistemas de refrigeración en múltiples maquinarias industriales y domésticas tales como aires acondicionados, automóviles y calderas lo cual los convierte en uno de los principales agentes de contaminación térmica por la energía que es emitida al ambiente en forma de calor alterando el entorno natural y contribuyendo al calentamiento global.

El aprovechamiento de esta energía fue posible determinarse experimentalmente a través del diseño e implementación de un arreglo de celdas Peltier, dispositivos que permiten convertir la energía térmica en energía eléctrica; Para ello se realizó un estudio de diferentes tipos de intercambiadores (Intercambiadores convencionales transversales, convencionales paralelos e intercambiadores compactos) con el fin de obtener los criterios para seleccionar el más adecuado para la realización de la investigación teniendo en cuenta la temperatura emitida por el mismo, seleccionándose un intercambiador de calor compacto que forma parte del sistema de refrigeración de un motogenerador.

Se realizó un registro de la cantidad de calor emitida por el intercambiador para luego diseñar un arreglo de celdas que acuerdo los datos obtenidos y teniendo en cuenta las especificaciones técnicas del intercambiador permitieran generar una corriente y un voltaje estándar de 12VDC con el fin de que pueda ser utilizado para la alimentación de un sistema auxiliar de la maquinaria objeto de estudio o de otro sistema.

Fue necesario lograr disipar el calor en la cara opuesta de las celdas con el fin de mantener un diferencial de temperatura que permitiera generar el voltaje requerido ya que entre más

alta sea la diferencia de temperatura mayor será la generación tanto de voltaje como de corriente.

Al utilizar las celdas Peltier como transductores de energía estas se comportaron como fuentes de voltaje y corriente, por consiguiente, para que la corriente y el voltaje generados por el dispositivo alcanzaran los niveles óptimos de utilidad fue necesario realizar un arreglo en configuración de circuito mixto que consiste en colocar un grupo de celdas en serie y a su vez estas en paralelo con otro grupo de celdas en serie para aumentar tanto el voltaje como la corriente generados.

**PALABRAS CLAVE: Calor, Conducción, Convección, Eficiencia, Energía, Efecto Seebeck**

## Abstract

This research work seeks to determine the viability and applicability of thermoelectric principles as an alternative for the use of thermal energy in compact heat exchangers, this energy is emitted into the environment in the form of heat, altering the natural environment and contributing to global warming, This elements are used as part of refrigeration systems in multiple industrial and domestic machinery such as air conditioners, automobiles, and boilers.

The use of this energy could be determined experimentally through the design and implementation of an array of Peltier cells, devices that allow thermal energy to be converted into electrical energy. For this, a study of different types of exchangers was carried out in order to obtain the criteria to select the most appropriate one for carrying out the research, taking into account the temperature emitted by it. A compact heat exchanger was selected as part of the cooling system of a motor generator.

A record of the amount of heat emitted by the exchanger was made to then design an array of cells that according to the data obtained and taking into account the technical specifications of the exchanger would allow generating a standard current and voltage of

12VDC in order to be able to be used to power an auxiliary system for the machinery under study or another system.

It was necessary to dissipate the heat on the opposite side of the cells in order to maintain a temperature difference that allows the required voltage to be generated, the higher the temperature difference, the greater the generation of both voltage and current. When using Peltier cells as energy transducers, they work as sources of voltage and current, therefore, in order for the current and voltage generated by the device to reach the optimal levels of utility, it was necessary to make an array in a mixed circuit configuration that It consists of placing a group of cells in series and in turn is in parallel with another group of cells in series to increase both the voltage and the current generated.

**KEY WORDS: Heat, Conduction, Convection, Efficiency, Energy, Seebeck Effect**



# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XV</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas .....</b>	<b>XVI</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
<b>2. Marco conceptual.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Marco teórico.....</b>	<b>7</b>
<b>4. Planteamiento del problema.....</b>	<b>15</b>
<b>5. Objetivos.....</b>	<b>21</b>
<b>6. Metodología .....</b>	<b>23</b>
<b>7. Desarrollo de la investigación y análisis de resultados .....</b>	<b>25</b>
<b>8. Conclusiones y recomendaciones.....</b>	<b>49</b>
<b>BIBLIOGRAFIA. ....</b>	<b>61</b>

## Lista de figuras

	<b>Pág.</b>
Figura 3.1 Efecto Seebeck en aplicación a una termocupla. ....	10
Figura 3.2 Efecto Peltier. ....	11
Figura 3.3 Intercambiador de calor convencional. ....	12
Figura 3.4 Intercambiador de calor de tipo compacto. ....	13
Figura 4.1 Grafico del nivel de emisiones de dióxido de carbono por fuente de energía. ....	16
Figura 4.2 Balance energético de un motor de combustión interna. ....	17
Figura 6.1 Esquema metodológico. ....	23
Figura 7.1 Motogenerador Olympian GEP 50-7. ....	26
Figura 7.2 Detalle del intercambiador de calor. ....	28
Figura 7.3 Grafica de mediciones de temperatura en el intercambiador. ....	29
Figura 7.4 Rendimiento de una celda Peltier [2]. ....	31
Figura 7.5 Ejemplo de conexión en serie. ....	32
Figura 7.6 Ejemplo de conexión en paralelo. ....	33
Figura 7.7 Ejemplo de conexión mixta ....	33
Figura 7.8 Diagrama esquemático del módulo de celdas. ....	36
Figura 7.9 Montaje del módulo de celdas. ....	37
Figura 7.10 Instalación del módulo de celdas en el intercambiador de calor. ....	38
Figura 7.11 Grafico de generación de voltaje del arreglo. ....	40
Figura 7.12 Grafico de generación de corriente del arreglo. ....	40
Figura 7.13 Grafico de voltaje generado por el sistema. ....	43
Figura 7.14 Grafica de corriente por área generada del sistema. ....	44
Figura 7.15 Especificaciones técnicas de la bombilla seleccionada para el cálculo de viabilidad económica. ....	45

## Lista de tablas

	<b>Pág.</b>
Tabla 7.1 Mediciones de temperatura en el intercambiador.....	27
Tabla 7.2 Propiedades de la cerámica Alúmina.....	31
Tabla 7.3 Voltaje generado en un lapso de 16 minutos. ....	39
Tabla 7.4 Corriente generada en un lapso de 16 minutos. ....	39
Tabla 7.5 Medición de voltaje en tres puntos diferentes del sistema .....	41
Tabla 7.6 Medición de corriente en los tres grupos de celdas del sistema.....	43
Tabla 7.7 Estimación de consumo de energía generada. ....	45
Tabla 7.8 Cuadro de costos.....	46

## Lista de Símbolos y abreviaturas

### Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$H$	Flujo de calor	Julio/Seg	$H = \Delta Q / \Delta t$
$k$	Conductividad termica	$J / m * S * K$	$k = n(v) \lambda C_V / 3 N_A$
$T$	Temperatura	$^{\circ}C$	$T = k * E_c$
$A$	Área	$m^2$	$b * h$
$Q$	Calor	Julio	$Q = -k \Delta T$
$V$	Voltaje	Voltio	Julio/Coulomb
$I$	Corriente	Amperio	$V / R$
$C_e$	Calor especifico	$W / m^{\circ}K$	$C_e = C / m$
$P$	Potencia	Watt	$V * I$
$S$	Entropía	$J / K$	$dS = \delta Q / T$

### Símbolos con letras griegas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzmann	$W / m^2 K^4$	$5,670373 \times 10^{-8}$

### Superíndices

Superíndice	Término
$n$	Exponente, potencia



# Introducción

El constante desarrollo industrial partiendo de la invención de la máquina de vapor ha traído consigo la necesidad de explotar y utilizar fuentes de energía de las cuales las más utilizadas son los combustibles fósiles gracias a su potencial energético, pero pese a esta ventaja son los más contaminantes por la cantidad de dióxido de carbono que se emiten al ambiente luego de la combustión lo cual ha sido un factor determinante dentro de los fenómenos del cambio climático.

Frente a este escenario nace el concepto de desarrollo sostenible el cual consiste en direccionar los esfuerzos para que los proyectos de desarrollo humano sean acordes al mantenimiento de los ecosistemas y los recursos naturales ya que este desarrollo y las actividades económicas que se derivan dependen directamente del medio de donde se extraen las materias primas y recursos para el sostenimiento y bienestar del hombre. Como parte del desarrollo sostenible está el objetivo de reemplazar gradualmente la explotación de las actuales fuentes de energías por energías limpias, llámese energías limpias a las que durante los procesos de extracción y procesamiento generan pocos o ningún residuo contaminante.

Gran cantidad de maquinaria generadora de energía emplea ciclos térmicos para producir la fuerza electromotriz demandada requiriendo de un sistema de refrigeración por las altas temperaturas producidas durante la combustión para su correcto funcionamiento, esta energía es expulsada al ambiente en forma de calor a través de intercambiadores de calor desperdiciando su potencial energético.

Una manera de aprovechar esta energía que se desperdicia hacia el ambiente es a través del empleo de celdas Peltier, estas son dispositivos termoeléctricos compuestos de un material semiconductor el cual puede producir un diferencial de potencial eléctrico ó voltaje DC proporcional a la diferencia de temperatura existente entre ambas caras de la celda e

inversamente pueden generar una diferencia de temperatura con la aplicación de un voltaje DC, la energía generada por estas celdas es 100% limpia, ya que no genera ninguna clase de residuo contaminante durante su transformación.

Para determinar la aplicabilidad de las celdas en los intercambiadores de calor se hace necesario aplicar principios básicos de la termodinámica, transferencia de calor y conversión de energía utilizando recursos válidos de información para luego aplicarlos en la recopilación de datos, direccionados al estudio del comportamiento de estos componentes dentro de unos rangos de operación que permitan extraer la energía evacuada en forma de calor y aprovecharla en el funcionamiento de sistemas eléctricos o electrónicos auxiliares de la misma o de otra maquinaria permitiendo aumentar el rendimiento de estos sistemas a través del empleo de estas adecuaciones.

Con el fin de aprovechar las emisiones de calor producidas por la maquinaria doméstica o industrial que utilicen intercambiadores, se realizó el diseño de un arreglo de celdas para de producir energía limpia y demostrar experimentalmente que este tipo de tecnologías son viables y pueden ser consideradas como una alternativa energética.

# 1. Antecedentes

Estudiantes del Centro de investigación en materiales avanzados, sede del Laboratorio nacional de nanotecnología en la ciudad de Chihuahua, Mexico, desarrollaron una tesis titulada: “Caracterización de sistemas de refrigeración absorción y Peltier y optimización de geometrías en transmisores de calor” [1] en la cual se evaluó el comportamiento de la radiación solar para un sistema de refrigeración por absorción base amoníaco-agua y un sistema Peltier.

En la Revista de investigaciones UNICIENCIA adscrita a la Universidad Abierta y a Distancia se publicó un artículo científico titulado: “Implementación de la Celda Peltier en fuentes térmicas de calor residuales, para aprovechamiento de generación de energía eléctrica y climatización por frío en el hogar” [2] en el cual se realizó un estudio sobre la aplicación de las celdas Peltier a sistemas termoeléctricos de uso cotidiano.

Estudiantes de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas realizaron un trabajo de grado titulado: “Prototipo Generador de Agua con Celdas de Peltier” [3] en el cual estudiaron los efectos de la condensación del vapor de agua existente en el aire para generar agua líquida a través de un arreglo de celdas Peltier.

Estudiantes de la Universidad piloto de Colombia desarrollaron un proyecto de grado titulado: “Diseño y simulación de una máquina generadora de energía eléctrica por medio de celdas de Peltier” [4] en el cual expusieron el diseño de una maquina generadora de energía eléctrica aprovechando el efecto termoeléctrico producido por las celdas Peltier.

Estudiantes de la Universidad politécnica de Valencia, España realizaron un trabajo de grado titulado: “Estudio de aplicación de células Peltier para la obtención de electricidad en automóviles” [5] en el cual estudiaron las posibilidades para que mediante células Peltier se pudiera obtener electricidad a partir del calor residual emitido por maquinaria y aumentar el rendimiento de estas.

Estudiantes del Instituto Tecnológico de Tuxtla, México publicaron en la revista Pistas educativas un trabajo titulado: “Comparación del gradiente de temperatura en espacios cúbicos controlados con celda Peltier en función a dos aislantes térmicos” [6] en el cual estudiaron el gradiente de temperatura en espacios cúbicos de dimensiones pequeñas utilizando dispositivos de enfriamiento Peltier demostrando la afectación en la eficiencia del elemento termoeléctrico por causa de las cualidades físicas exteriores.

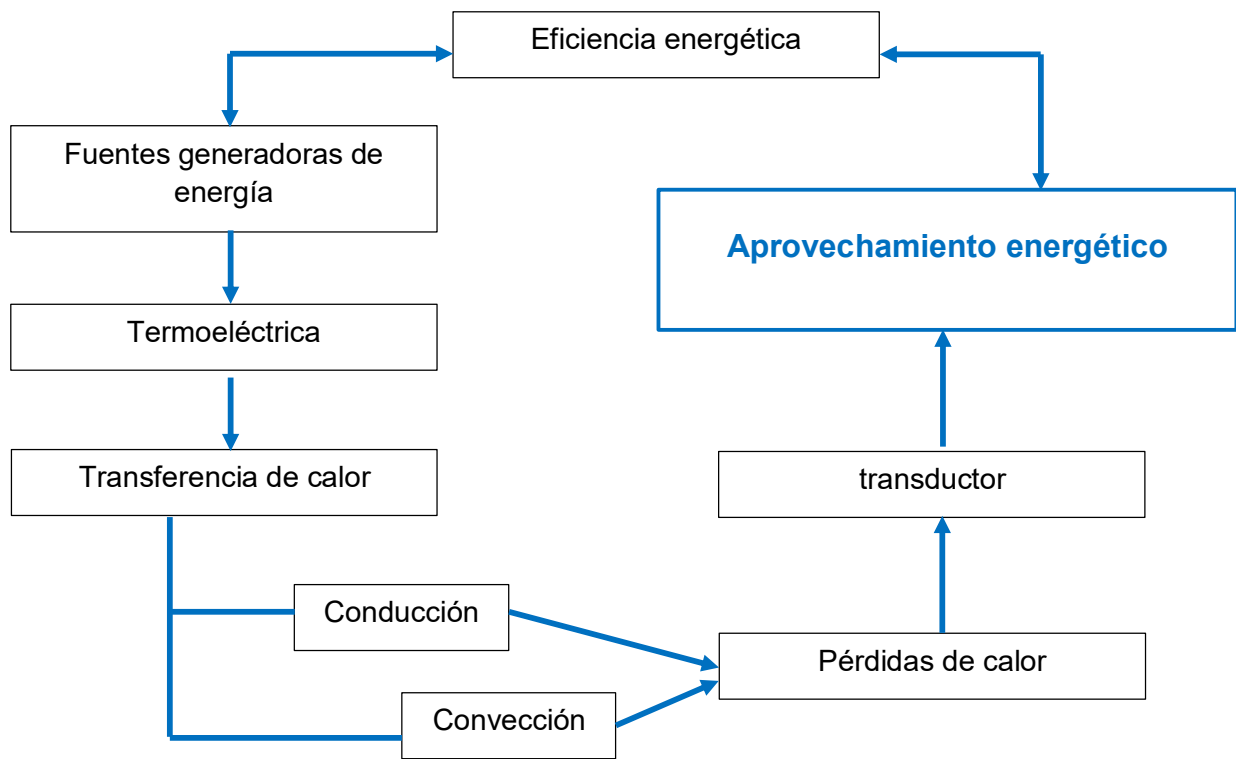
En el instituto politécnico nacional en la ciudad de México, se realizó una investigación titulada “Construcción De Un Prototipo De Generador Termoeléctrico De Estado Sólido Empleando un Concentrador Solar” [7] en la cual se realizó un prototipo de un generador termoeléctrico que hace uso de la luz solar como fuente de calor para la generación de energía eléctrica.

En la universidad pontificia de Cataluña se realizó un diseño de un sistema termoeléctrico aprovechando las características geotérmicas de emplazamientos que cumplieran las condiciones necesarias que lo permitieran, para lo cual estudiaron lugares donde se pudiera realizar de manera correcta dicho trabajo [8].

## 2. Marco conceptual

El marco conceptual brinda una orientación o un curso a seguir sobre los conceptos y fundamentos teóricos que se deben tener en cuenta para el diseño de la metodología y durante el desarrollo del proyecto.

El concepto fundamental base de la investigación es el aprovechamiento energético en un sistema específico utilizando celdas termoeléctricas en el diseño e implementación de un dispositivo que convertirá la energía térmica en eléctrica, la realización del diseño se direccionará para que esta energía convertida sea utilizable y se refleje en un ahorro energético representativo lo cual permitirá determinar la viabilidad de la utilización de estas tecnologías.





## 3. Marco teórico

En esta sección se definen los conceptos básicos y se recopilan fundamentos teóricos que se aplicarán en el desarrollo de la investigación:

### 3.1 Transferencia de calor.

Es el proceso que ocurre al transferir energía térmica entre diferentes cuerpos (o entre diferentes partes de este), los cuales posean diferencias de temperaturas. Esta transmisión ocurre por tres medios, por convección, por radiación, o por conducción, estos pueden ocurrir de manera simultánea, pero a su vez puede suceder que uno de estos predomine sobre los demás. Esta transferencia se da siempre en dirección de la temperatura más alta hacia la más baja [12].

### 3.2 Conducción.

Este proceso ocurre entre dos materiales que se encuentren en contacto y con diferentes temperaturas; siempre el cuerpo con mayor temperatura transferirá calor al de menor temperatura. Al realizar una transferencia de calor ( $dQ$ ) mediante el uso de un material conductor en un intervalo de tiempo ( $dt$ ), la razón de cambio de calor es ( $dQ/dt$ ). dicho flujo de calor ( $H$ ) es definido por la siguiente ecuación:

$$H = \frac{dQ}{dt} = kA \frac{T_h - T_c}{L} \quad (3.1)$$

Donde:

$k$ =Conductividad térmica del material

$T_h$ =Temperatura mayor

$T_c$ =Temperatura menor

$L$ =Longitud del elemento conductor

$A$ =Área del elemento conductor

Al observar en un modelo experimental se logra evidenciar que la corriente de calor es proporcional al área transversal  $A$  y a la diferencia de temperatura  $(T_h - T_c)$ , e inversamente proporcional a la longitud del elemento conductor.

La diferencia de temperatura por unidad de longitud está definida por  $(T_h - T_c)/L$  también llamada gradiente de temperatura. Los elementos tienen una propiedad inherente de la cual se toma el valor de la constante  $k$ ; Aquellos valores elevados de  $k$  indican elementos con buenas propiedades conductoras, y en los valores de  $k$  inferiores se encuentran características semiconductoras o aislantes.

### 3.3 Convección.

La convección es el proceso mediante el cual se transfiere calor de una zona a otra a través del movimiento de un fluido. Al hacer circular dicho fluido por la acción de algún mecanismo se habla de convección forzada, mientras que si la transferencia de calor se logra haciendo uso de las diferencias entre las densidades que ocurren por causa de la expansión térmica se habla de convección libre. En este caso la corriente de calor que ocurre a causa de la convección es directamente proporcional al área superficial [13].

### 3.4 Radiación.

Es el proceso que ocurre al hacer uso de ondas electromagnéticas para lograr transferir calor de un cuerpo a otro sin que haya un contacto físico entre estos. La cantidad de radiación emitida por una superficie es proporcional a su área superficial  $A$ , y se logra un rápido aumento con la temperatura, según la cuarta potencia de la temperatura absoluta (Kelvin); Esto también depende de características intrínsecas de la superficie, a esto se le conoce como emisividad “ $e$ ”, y es un número adimensional entre 0 y 1, y representa la relación entre la tasa de radiación de una superficie específica y la de un área del mismo valor de una superficie radiante ideal a temperaturas iguales. La emisividad también puede



ser dependiente de la temperatura (esta dependencia es mínima). Por esto, la corriente de calor  $H=dQ/dt$  causada por radiación de un área superficial  $A$  con emisividad “e” a la temperatura absoluta  $T$  se puede expresar como:

$$H = Ae\sigma T^4 \quad (3.2)$$

Donde:

$\sigma$ =Constante de Stefan-Boltzmann ( $5,6704001 \times 10^8 \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ ) [9]

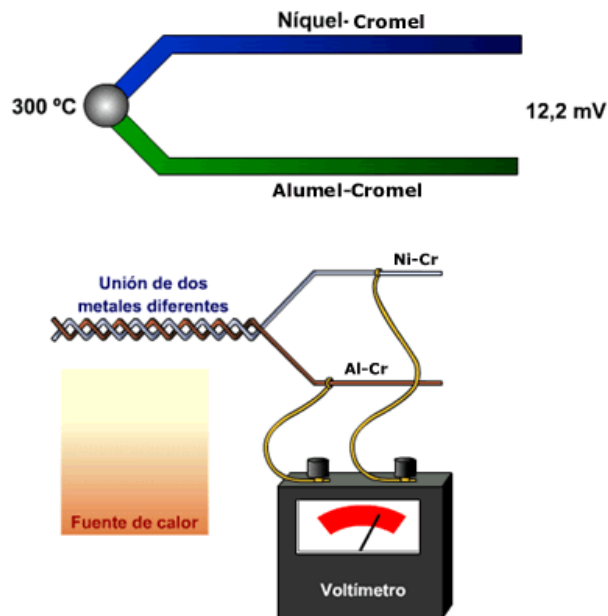
### 3.5 Efecto Termoeléctrico.

A la conversión de temperatura (por medio de diferenciales en esta) a energía eléctrica y viceversa se le conoce como efecto termoeléctrico. Aquellos dispositivos que convierten diferencias de temperaturas en voltaje en un par de terminales, y a su vez invierten el proceso en proporciones iguales utilizan un fenómeno llamado efecto Peltier. Dentro del efecto termoeléctrico están contenidos tres efectos asociados: el efecto Thompson, el efecto Seebeck y el efecto Peltier.

### 3.6 Efecto Seebeck.

A la transformación directa de diferencias de temperaturas a energía eléctrica se le conoce como efecto Seebeck. Thomas Johann Seebeck encontró el primer indicio de este suceso cuando la aguja de una brújula cambiaba de dirección en el momento de la formación de un circuito cerrado de dos metales unidos en dos lugares con una diferencia de temperatura entre las uniones como se puede ver en la siguiente figura:

Figura 3.1 Efecto Seebeck en aplicación a una termocupla.



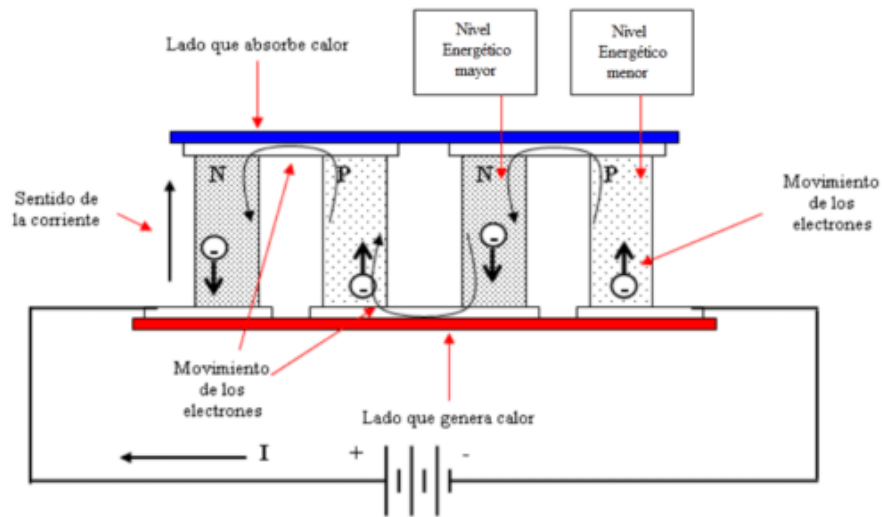
Fuente: <http://www.uhv.es/sites/milka/es/instrumentos.htm>

Este suceso es causado por la respuesta a las diferencias de temperaturas de los materiales, creando una corriente, causando así un campo magnético. Esto genera un efecto que crea un voltaje por la presencia de una diferencia de temperatura entre dos metales o semiconductores diferentes, ocasionando así una “corriente continua” en los conductores formando un circuito completo. El efecto Seebeck se utiliza normalmente en termopares, que son dispositivos que miden una diferencia de temperatura al producir un voltaje muy pequeño [14].

### 3.7 Efecto Peltier.

El efecto Peltier utiliza los cambios de temperatura que son producidos a causa de las uniones entre dos materiales conductores o semiconductores tipo-n y tipo-p [10], en el momento en que una corriente eléctrica pasa por dicha unión, (ver figura 3.2). Este efecto es muy utilizado actualmente en el área de la refrigeración no contaminante; en la figura 3 se puede observar la temperatura producida en una unión (T2), y la absorción de calor por la otra (T1), causado por una corriente eléctrica  $I$  que fluye por un circuito.

Figura 3.2 Efecto Peltier.



Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-3-Esquema-de-funcionamiento-de-una-celula-Peltier-Guerra-2011-Par-otro\\_fig3\\_311856431](https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-3-Esquema-de-funcionamiento-de-una-celula-Peltier-Guerra-2011-Par-otro_fig3_311856431)

El coeficiente Peltier es el producto de termopotencia y temperatura expresado mediante la siguiente ecuación [15]:

$$\Pi = Q \cdot T \tag{3.3}$$

Despejando Q:

$$Q = \frac{\Pi}{T} \tag{3.4}$$

La cantidad de calor liberada entre los dos conductores, A y B, en la unión T2 por el efecto Peltier se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$W = (\Pi_A - \Pi_B) \tag{3.5}$$

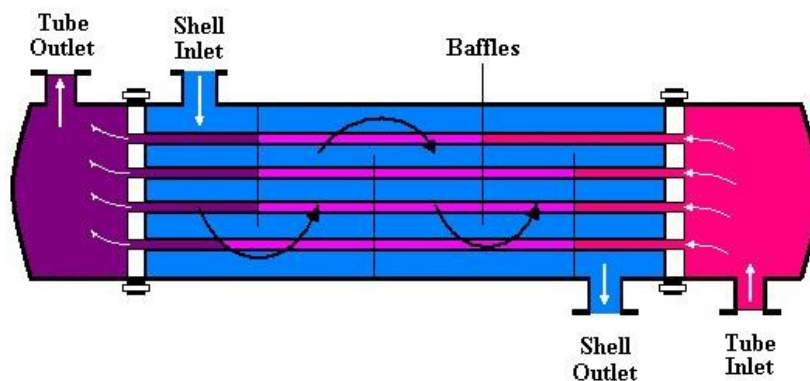
## 3.8 Intercambiadores de Calor.

Estos dispositivos se encargan de la transmisión de calor a través de un fluido con una alta temperatura hacia otro de menor temperatura, con ambos moviéndose a través del intercambiador. Esta transferencia puede suceder por contacto directo entre los fluidos, o a través de un material que funciona como una división que separa los fluidos existentes. Estos elementos son usados comúnmente tanto en la industria como en materia doméstica para refrigeración o calefacción. [16].

### 3.8.1 Clasificación de los intercambiadores de calor.

**Intercambiadores de calor convencionales:** Los intercambiadores de calor convencionales se clasifican según la configuración del sentido de los tubos la cual puede ser transversal o paralela a la dirección del fluido.

Figura 3.3 Intercambiador de calor convencional.



Fuente: <https://classes.engineering.wustl.edu/mase-thermal-lab/me372b5.htm>

**Intercambiadores de calor compactos:** Este tipo de intercambiadores emplean una extensa área de disipación en forma de paneles o rejillas en contacto directo con la tubería, estos paneles poseen un espacio reducido entre sí que permite el flujo de aire de diferente temperatura.

Figura 3.4 Intercambiador de calor de tipo compacto



Fuente: <https://www.codiresa.pe/productos-terminados/componentes/>



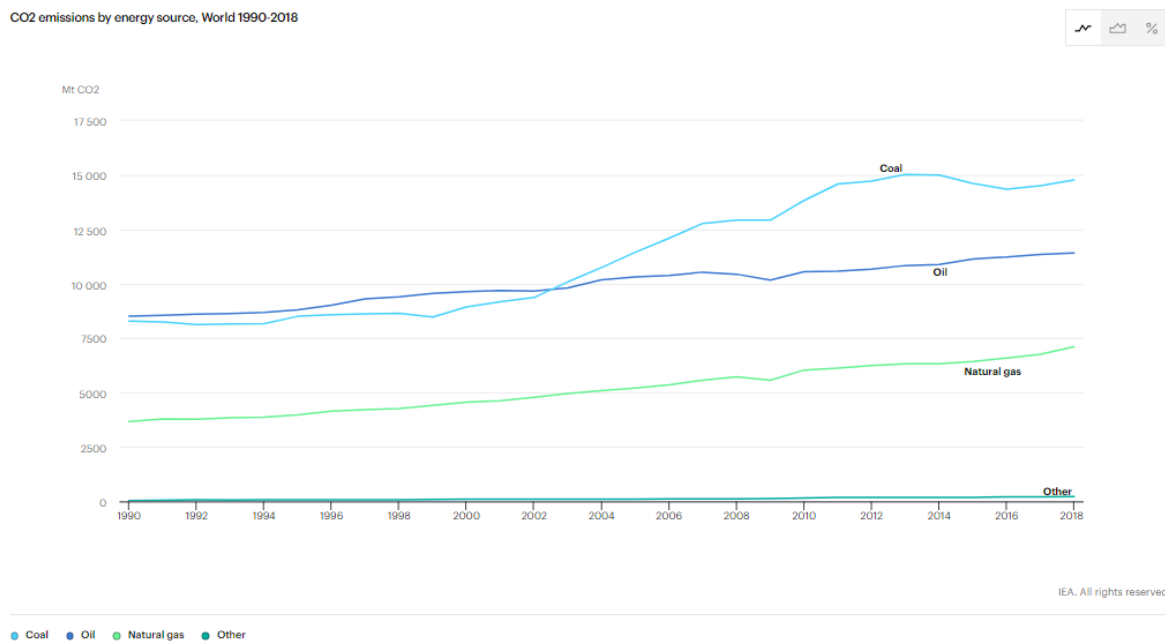
## **4. Planteamiento del problema**

### **4.1 DEFINICION DEL PROBLEMA**

Los combustibles fósiles como el lignito, el carbón, el petróleo y el gas natural son utilizados en la mayoría de los sistemas térmicos clásicos, estos aportan al 99% del calentamiento global que es provocado por las tecnologías que se encargan de la generación de la energía eléctrica. Esto sucede debido a la alta emisión de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y metano que estas generan en la fase de transporte y combustión. La primera causa de impacto medio ambiental producido por las centrales térmicas de gas natural es el calentamiento global, del cual el 35% del impacto se le atribuyen a este tipo de generadoras de electricidad [17].

En la siguiente grafica se puede observar que en un lapso de 28 años (1990-2018) las emisiones de  $\text{CO}_2$  producidas por las fuentes generadoras de energía que emplean combustibles fósiles tiende a aumentar, esta tendencia se debe a varios factores, uno de ellos es la poca utilización de energías alternativas con fines comerciales frente al uso de combustibles fósiles.

Figura 4.1 Grafico del nivel de emisiones de dióxido de carbono por fuente de energía.

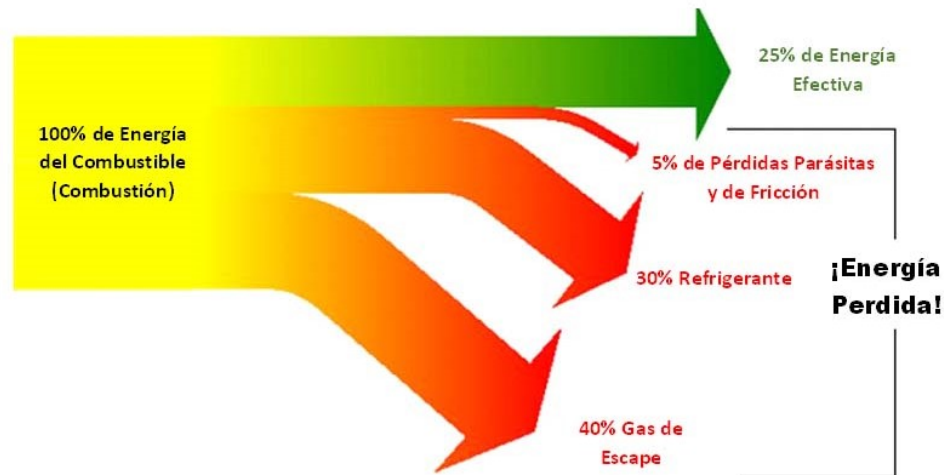


*Fuente: Agencia Internacional de Energia (<https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=CO2%20emissions&indicator=CO2BySource>)*

Los intercambiadores de calor son empleados en múltiples sistemas domésticos e industriales como parte del sistema de refrigeración expulsando al ambiente altas temperaturas que pueden afectar el normal funcionamiento del sistema, por ejemplo en los motores de combustión interna se utilizan intercambiadores de calor compactos para refrigerar el aceite y/o la estructura del motor, en estos sistemas y demás que requieren sistemas de refrigeración se observa que entre el 20% y el 40% del calor liberado por el combustible es disipado en forma de calor a través del sistema de enfriamiento (Romero y Carranza, 2007).



Figura 4.2 Balance energético de un motor de combustión interna.



Fuente: <https://www.hho-1.com/datos-hidrogeno-hho/?lang=es>

Al hablar de disipación de calor es ineludible asociar el concepto a disipación energética; pérdidas energéticas, ya que el calor es una forma de energía y si de esta, alrededor de un 40% es disipada en el ambiente implica que además de una limitación en cuanto a eficiencia y rendimiento en la maquinaria se tiene un impacto ambiental negativo [2].

La anterior problemática que se registra a nivel mundial se refleja en cualquier entorno que exista un sistema generador de energía y/o fuerza electromotriz, ya sea en el escenario doméstico o industrial, esto se refleja además en los altos consumos de energía los cuales se incrementan en ciertas estaciones del año afectando directamente la economía a mayor o menor escala.

En el laboratorio de motores de la Escuela naval de Suboficiales existe un motogenerador que es utilizado para instrucción del personal de alumnos, el funcionamiento de este equipo produce una alta temperatura en el recinto donde se halla ubicado y sumado a la problemática mundial que se evidencia con los datos enunciados se encuentra el consumo energético de luminarias y demás equipos de laboratorio. Alrededor del 35% de la energía total disipada por este equipo se concentra en el intercambiador de calor, para lo cual fluye constantemente el líquido refrigerante del motogenerador. Debido al diseño y funcionalidad de la maquinaria no existe manera de almacenar, aprovechar o reutilizar esta energía en forma de calor.

Teniendo en cuenta lo anterior se plantea la siguiente pregunta ¿Es viable el aprovechamiento la energía térmica en intercambiadores de calor compactos empleando un arreglo de celdas Peltier?

## 4.2 JUSTIFICACIÓN

Se hace necesario investigar sobre el aprovechamiento energético, dado que es propio del futuro Ingeniero Electromecánico proponer soluciones energéticas prácticas que aporten a la mejora de sistemas o procesos, del conocimiento científico y al desarrollo económico del país dentro del marco de un desarrollo sostenible que involucre reducción del impacto ambiental y el empleo de recursos energéticos limpios.

Debido a las condiciones ambientales por las que atraviesa el mundo se ha hecho imperativo buscar soluciones que ayuden a mitigar el impacto negativo que ha originado el uso excesivo de los combustibles fósiles en el planeta, una buena propuesta es la generación de energías de formas que no afecten el medio ambiente de manera directa.

El aprovechamiento de las emisiones de calor producidas por las industrias es un enfoque diferente, debido a que se utilizaría un tipo de energía que en muchos casos se desperdicia, transformándola en energía eléctrica para el uso del ser humano, generando así electricidad de manera limpia.

Los elementos utilizados para el desarrollo de la presente investigación son de bajo costo lo que lo convierte en un proyecto económicamente viable, con la posibilidad de aplicar la solución tecnológica sin necesidad de intervenir en el diseño original de intercambiadores de calor de tipo compacto.

El presente proyecto ofrecerá los fundamentos teóricos y prácticos expresados en cálculos matemáticos que permitirán diseñar un sistema que aproveche un porcentaje de la energía térmica que usualmente se desperdicia en los sistemas de refrigeración que emplean intercambiadores de calor compactos.

Con esto se busca encontrar un enfoque diferente para hallar la solución a un problema que concierne a todo el planeta, y se hace necesario encontrar la forma de remediar el daño causado, a través de diferentes medios, uno de estos es aprovechar un tipo de

contaminación para el beneficio de la sociedad, haciendo uso de las propiedades de ciertos dispositivos como lo son las celdas Peltier cuya tecnología se encuentra aún en desarrollo.

El presente trabajo contribuirá a la exploración de alternativas tecnológicas que permitirán el aprovechamiento de la energía térmica disipada cuyos beneficios se reflejarán en el aumento de la eficiencia energética, disminuyendo el impacto ambiental, a un bajo costo, sin modificar el diseño original de los sistemas a intervenir y aplicable a cualquier intercambiador de calor de tipo compacto.



## **5. Objetivos**

### **5.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar la viabilidad para aprovechar la energía térmica en intercambiadores de calor compactos transformándola en energía eléctrica a través de un arreglo de celdas Peltier.

### **5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar la información teórica necesaria para el desarrollo de la investigación.
- Definir las herramientas tecnológicas necesarias para el desarrollo de la investigación caracterizando los elementos a utilizar en el desarrollo del proyecto.
- Diseñar el arreglo de celdas efectuando mediciones y registrando los datos necesarios para optimizar el sistema.
- Determinar la viabilidad del sistema a través del análisis de los datos obtenidos.



## 6. Metodología

**Tipo de investigación:** La investigación que se realizó es de tipo aplicada, en la cual su objetivo final es utilizar la energía perdida en forma de calor a través de la implementación de un sistema que permite transformarla para el aprovechamiento en pro del beneficio de medio ambiente y contribuyendo a la construcción de conocimientos.

El nivel de investigación del presente proyecto es de tipo descriptiva aplicada; donde se busca caracterizar un sistema analizando sus propiedades y componentes para aplicarlos al diseño de un dispositivo que mejorará su funcionamiento determinando así el nivel de investigación.

**Diseño de la investigación:** Se considera una investigación de enfoque cuantitativo-descriptivo puesto que fue necesaria la recolección y análisis de datos numéricos para aplicarlos al diseño del dispositivo.

El proceso metodológico se ha estructurado en tres etapas:

Figura 6.1 Esquema metodológico



*Fuente: Autores*

**6.1 Estudio técnico y recolección de datos:** En esta etapa se recopilará la información teórica y técnica necesaria para el desarrollo de la investigación y diseño, se seleccionará el intercambiador de calor objeto de estudio, se determinarán las variables físicas internas y externas que inciden en el funcionamiento del equipo, dimensiones, especificaciones técnicas de los elementos a utilizar, rangos de operación de las celdas Peltier, tipo de material, tolerancia, resistencia térmica, herramientas tecnológicas (Software e instrumentos de medición) y la identificación de posibles usos de la energía transformada.

**6.2 Diseño:** Acuerdo la información obtenida en la fase de estudio técnico se procederá a realizar el diseño del arreglo de celdas Peltier que genere un voltaje y una corriente utilizables.

**6.3 Implementación y análisis de resultados:** Se procederá a implementar el arreglo de celdas en el Intercambiador de calor objeto de estudio y se efectuará la medición y registro de las magnitudes requeridas dentro de varios rangos de operación del sistema a fin de determinar experimentalmente la viabilidad de este.



## **7.Desarrollo de la investigación y análisis de resultados**

### **7.1 Estudio Técnico y recolección de datos.**

Para el desarrollo del sistema de conversión de energía térmica en energía eléctrica, se requiere de una serie de elementos como lo son: una fuente generadora de calor, para lo cual un intercambiador de calor funciona tal, un arreglo de celdas Peltier, que cumple la función de transductor y por último un estabilizador de corriente directa (DC) que garantice una corriente y una tensión estable a la salida del proceso.

El intercambiador de calor es un equipo que se utiliza principalmente en procesos de refrigeración por su función de enfriamiento de fluidos, por conducción entre el fluido caliente que circula por las tuberías de esta hacia el panel disipador y por convección entre el aire frío externo y el calor que emana del panel disipador. Debido a las propiedades que este dispositivo posee para generar calor al igual que para refrigerar y de sus múltiples aplicaciones domésticas e industriales. Como criterios para la selección del tipo de intercambiador de calor objeto de estudio para la presente investigación se tuvo en cuenta las dimensiones y forma plana del intercambiador cuya superficie permite el contacto directo con las celdas Peltier, además de las temperaturas emitidas las cuales deben encontrarse dentro de los rangos óptimos de operación de las celdas acuerdo su diseño de fábrica.

Figura 7.1 Motogenerador Olympian GEP 50-7.



*Fuente: Autores*

Para el desarrollo de esta investigación se seleccionó el intercambiador de calor tipo compacto, debido a que era el dispositivo que por su forma en la sección de la generación de calor facilita la instalación de las celdas Peltier, logrando que estas se mantengan siempre en contacto directo con el panel disipador, con esto se garantiza que dicho panel logre una transferencia de calor máxima hacia las celdas minimizando las pérdidas de calor. La forma además permite una distribución apropiada de las celdas, ya que este intercambiador es rectangular permitiendo que se puedan ubicar lo más cerca posible la una de la otra, obteniendo la transferencia de calor hacia el lado caliente de la celda de manera uniforme.

Para determinar el potencial energético térmico que se puede aprovechar de este tipo de dispositivos se utilizó el intercambiador de calor de un motogenerador Olympian (Datasheet Anexo B) GEP 50-7 (ver Figura 7.1), al que se le hicieron 10 mediciones de temperatura con un termómetro infrarrojo en 16 secciones diferentes. Tales muestras se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 7.1 Mediciones de temperatura en el intercambiador.

minuto	0 (generador en off)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
seccion 1	35,2	62,9	76,2	82,2	84,8	86,1	87,1	87,7	88,2	88,4	88,5
seccion 2	35,2	62,9	76,2	82,2	84,8	86,3	87	87,8	88,2	88,3	88,6
seccion 3	35,2	62,9	76,2	82,2	84,7	86,3	87	87,7	88,2	88,5	88,5
seccion 4	35,2	62,9	76,2	82,1	84,7	86,2	87,1	87,7	88,1	88,5	88,7
seccion 5	35,2	62,9	76,2	82,2	84,7	86,2	87,1	87,7	88,4	88,4	88,7
seccion 6	35,2	62,9	76,1	82,2	84,8	86,2	87	87,7	88,1	88,4	88,7
seccion 7	35,2	63	76,2	82,2	84,8	86,3	87	87,7	88,1	88,8	88,5
seccion 8	35,2	63	76,2	82,3	84,7	86,3	87,1	87,8	88,3	88,8	88,6
seccion 9	35,2	63	76,1	82,2	84,8	86,3	87	87,8	88,2	88,8	88,5
seccion 10	35,2	62,1	76,2	82,3	84,8	86,3	87,1	87,8	88,2	88,7	88,6
seccion 11	35,2	62,1	76,2	82,3	84,8	86,2	87,1	87,8	88,1	88,7	88,7
seccion 12	35,2	62,1	76,2	82,3	84,8	86,4	87	87,8	88,3	88,7	88,6
seccion 13	35,2	62,3	76,2	82,2	84,9	86,4	87,1	87,9	88,3	88,5	88,6
seccion 14	35,2	62,3	76,2	82,3	84,9	86,3	87,2	87,9	88,2	88,7	88,7
seccion 15	35,2	62,6	76,3	82,3	84,9	86,3	87,2	87,8	88,2	88,8	88,7
seccion 16	35,2	62,6	76,3	82,3	84,9	86,4	87,1	87,9	88,3	88,8	88,7
<b>promedio</b>	<b>35,2</b>	<b>62,66</b>	<b>76,2</b>	<b>82,238</b>	<b>84,8</b>	<b>86,28</b>	<b>87,08</b>	<b>87,78</b>	<b>88,21</b>	<b>88,61</b>	<b>88,62</b>

*Fuente: Autores*

### 7.1.1 REGISTRO DE TEMPERATURAS:

**Condiciones iniciales:** El motogenerador se encuentra ubicado en el laboratorio de motores de la escuela naval en instalaciones bajo techo. La operación del motogenerador se realizó en configuración de potencia “Standby” dado que el funcionamiento para las mediciones está determinado a un número limitado de horas y no en operación continua

Fecha: Jueves 17 de Septiembre de 2020

Hora: 09:00 A.M.

Temperatura ambiente: 37°C

Sensor utilizado: termómetro digital “Wintact” modelo WT320

**Procedimiento:** Con el fin de realizar las mediciones en toda el área del intercambiador se procede a medir sus dimensiones las cuales son 52,5 cms de alto por 52,5 cms de ancho para un área total de 52,5cms<sup>2</sup> (0,27 M<sup>2</sup>) se dividió la superficie del intercambiador

en una cuadrícula de 16 (4 x 4) secciones de igual tamaño quedando dividido en 16 secciones iguales de 172,26 cms<sup>2</sup> cada una

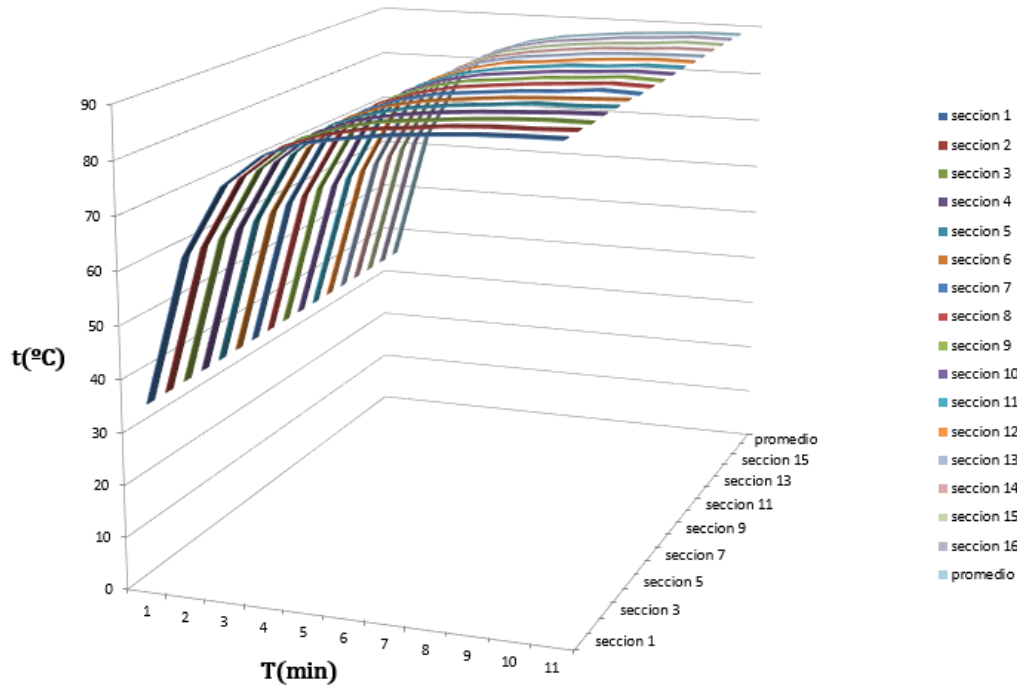
Figura 7.2 Detalle del intercambiador de calor.



*Fuente: Autores*

Las mediciones se tomaron cada minuto durante 10 minutos a una distancia de 60cms para obtener un área de cobertura de medición de 5cms de diámetro con base en el área medida del intercambiador y las especificaciones técnicas del termómetro (Ver Anexo A)

Figura 7.3 Grafica de mediciones de temperatura en el intercambiador.



Fuente: Autores

A partir de los datos obtenidos de las mediciones de temperatura en el intercambiador se obtuvo una temperatura promedio de 88,62°C luego de 10 minutos de operación.

### 7.1.2 Características de la celda:

Teniendo en cuenta las características físicas del tipo de intercambiador seleccionado y la temperatura emitida se selecciona la celda Peltier modelo TEC1-12706 cuyas dimensiones son de 40mm x 40mm x 3,8mm y soporta una temperatura máxima hasta 138°C (Ver Anexo C) encontrándose dentro de los rangos de temperatura registrados.

## 7.2 Diseño.

Con el fin de realizar un diseño óptimo que permita generar la tensión y la corriente necesaria que pueda aprovecharse en los sistemas auxiliares dependientes o no dependientes al motogenerador se deben interconectar cada una de las celdas Peltier en un arreglo de tal modo que estas permitan generar la salida requerida.

Un transductor es un dispositivo que permite la transformación de un tipo de energía a otra, proceso necesario para la obtención de electricidad por medio del viento, el movimiento, el calor, entre otros. En este caso particular se realizó una investigación con el fin de convertir energía térmica en energía eléctrica, comprobando la viabilidad de estos sistemas, para el aprovechamiento de las emisiones de los intercambiadores de calor compactos y así obtener energía limpia a través de este proceso.

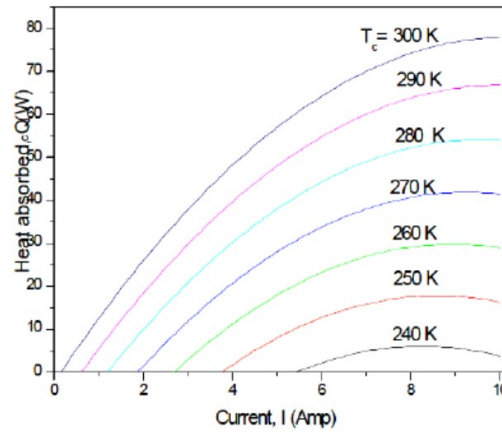
Un minucioso análisis de las celdas Peltier y del fenómeno termoeléctrico del cual están diseñadas es muy difícil de conseguir, debido a diferentes presunciones como lo son las propiedades promedio de los módulos, por esto, se realizará una búsqueda de un símil térmico eléctrico que ayude a facilitar la comprensión del modelo. La ecuación 7.1 muestra un esquema de las expresiones matemáticas que reflejan los efectos Peltier y Joule al mismo tiempo que los de la transmisión de calor, hay que tener en cuenta que la masa indica el punto de reposo de la temperatura de las dos caras, esto se realizó a temperatura ambiente.

El flujo de calor que se absorbe por la cara fría y los que son disipados por la cara caliente, pueden modelarse de manera que resulten en capacidades caloríficas, las cuales muestran las inercias térmicas de las dos caras. El circuito de disipación térmica equivalente de la celda Peltier quedará modelado por una gran capacidad calorífica [18], en la Figura 7.4 se observa el rendimiento de una celda Peltier.

$$C_F \frac{\delta \Delta T}{\delta t} + \frac{\Delta T}{R_{TH}} \cong \alpha T_C I + \frac{1}{2} I^2 R = P_e + \alpha T_f I - \frac{1}{2} I^2 R \quad (7.1)$$

$$P_e = \alpha \Delta T I + I^2 R$$

Figura 7.4 Rendimiento de una celda Peltier [2]



Fuente: A. Florez Martinez, “Implementación de la Celda Peltier en fuentes térmicas de calor residuales, para aprovechamiento de generación de energía eléctrica y climatización por frío en el hogar,” *VISIÓN-Revista Investig. UNICIENCIA*, vol. 2, no. September 2017, pp. 62–69, 2017.

Para el diseño de este sistema se hace necesario hacer uso de dispositivos que se encarguen de la transformación de un tipo de energía a otra, equipos que generen el tipo de energía que se va a aprovechar para su uso. Las celdas Peltier, son dispositivos que entre sus funciones se encuentra la transformación de energía térmica a energía eléctrica utilizando el efecto Seebeck, sin embargo estas celdas tienen sus limitantes, una de estas es que por el material con el cual fueron construidas Cerámica Alúmina ( $Al_2O_3$ ) tengan una temperatura máxima de funcionamiento y teniendo en cuenta la diferencia de temperatura entre el lado caliente de la celda y el lado refrigerado estas entregan un voltaje y una corriente predeterminada. Teniendo en cuenta esto se debe realizar un arreglo de múltiples celdas para lograr obtener la salida necesaria del sistema.

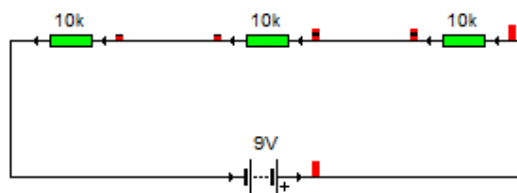
Tabla 7.2 Propiedades de la cerámica Alúmina

PROPIEDADES DE LA CERAMICA ALUMINA	
DENSIDAD (Kg/m <sup>3</sup> )	3750
CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/M°K)	35,3
CALOR ESPECIFICO (J/Kg°K)	837

Fuente: Autores

Por esto, además de el voltaje de salida requerido, la forma en la que se conectan las celdas será crucial para obtener una idea clara de cuantas, y como se colocarán estos dispositivos, y así poderlas conectar de la manera más óptima posible. Para saber la cantidad y el modo en que se colocaran es indispensable tener en cuenta que al conectar estos dispositivos en serie se obtiene una suma de voltaje la cual nos permitirá aumentar el valor de esta salida por celda unitaria, dependiendo de cuantas se conecten.

Figura 7.5 Ejemplo de conexión en serie.

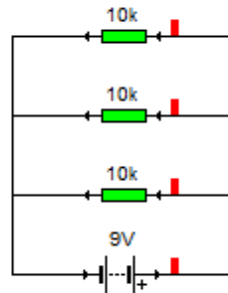


*Fuente: Autores.*

Por otra parte, para alcanzar un aumento en la corriente, estos dispositivos se deben conectar en paralelo para así mantener el voltaje constante y lograr sumar las corrientes obteniéndose los valores deseados de esta (ver figura 7.6). Al combinar los tipos de circuitos, bloques de celdas en serie y a su vez, conectar estos en paralelo con otros bloques de celdas, como se puede observar en la figura 7.7, se logra obtener a la salida un valor tanto de tensión como de corriente óptimos para el uso en diferentes dispositivos.

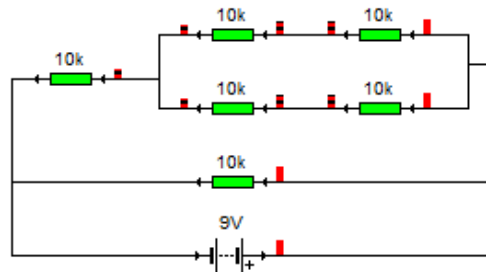


Figura 7.6 Ejemplo de conexión en paralelo.



*Fuente: Autores.*

Figura 7.7 Ejemplo de conexión mixta



*Fuente: Autores.*

Es determinante tener claro que referencia de celdas se van a utilizar para el sistema, ya que estas difieren mucho en funcionamiento por cada referencia existente; dentro de las características hay que tener en cuenta sobre todo la temperatura que resisten, para esto es determinante estudiar el material del cual están diseñadas; el bismuto es un excelente conductor térmico, y es capaz de soportar temperaturas relativamente altas, por esto fue prioritario elegir un tipo de celda que tuviese una de las aleaciones de bismuto ya que el sistema alcanzaba temperaturas de casi 90°C. también es importante tener en cuenta y el valor corriente y voltaje que entregan en un valor determinado de diferencias de temperatura.

Para este tipo de dispositivos el potencial eléctrico generado es proporcional al gradiente térmico lo cual es expresado mediante la siguiente ecuación:

$$V = - \int_{T_1}^{T_2} T * \frac{d\alpha}{dT} * dT \quad (7.2)$$

A su vez, es posible determinar el flujo de Calor con base en el Voltaje resultante

$$Q = I * V = -I * \int_{T_1}^{T_2} T * \frac{d\alpha}{dT} * dT \quad (7.3)$$

Para esta investigación se decidió utilizar celdas de la referencia Tec1-12706, la cual no es normalmente utilizada para este tipo de aplicación debido a que su uso está enfocado en la refrigeración, sin embargo ella responde bien a ser utilizada para transformar energía térmica a eléctrica; siendo capaces de generar 1,56VDC por celda independiente a una diferencia de temperatura de 20°C, y una corriente de 336mA, además de esto tiene un muy bajo costo que a la hora de realizar una implementación resulta considerablemente más económico que otras opciones de celdas en el mercado.

Para que la energía eléctrica generada sea útil es necesario alcanzar un voltaje mínimo de 14VDC considerando la necesidad de un estabilizador de corriente para mantener estables 12VDC que es lo mínimo para energizar dispositivos auxiliares como iluminación led, baterías, celulares, tablets, entre otros; se diseñó un arreglo en el cual se alcanzaran estas especificaciones mínimas el cual se obtuvo mediante los cálculos:

$$14VDC = 1.56VDC * X \quad (7.4)$$

$$\frac{14VDC}{1.56VDC} = X$$

$$X = 8.97$$

Siendo la variable X el número de celdas requeridas para alcanzar el voltaje esperado, se hace necesario un total de 9 celdas mínimo debido a que se debe elegir el número entero siguiente para garantizar un nivel de voltaje aceptable. Para el caso de la corriente se realizó un procedimiento similar, pero teniendo en cuenta el valor de corriente generado por una sola celda, necesitando un valor de 1A como requisito mínimo.

$$1A = 1000mA \quad (7.5)$$

$$1000mA = 336 \text{ mA} * X$$

$$\frac{1000mA}{336mA} = 2.97$$

Debido a que el funcionamiento óptimo de estas celdas se da cuando se mantiene un diferencial de temperatura entre ambas caras, al dispositivo le fue instalado una malla trenzada de aluminio, esta malla funciona como disipador de calor ubicada entre la cara fría de las celdas y el ventilador del intercambiador de calor, acuerdo las dimensiones de las celdas (4 cms<sup>2</sup> cada una) el arreglo de 27 celdas permite aprovechar la temperatura en un área total de 0,0432m<sup>2</sup>.

Por otra parte, se calculó el flujo de calor de la cara caliente por unidad de tiempo, para saber cuánto calor pasa por el circuito y con esto lograr crear una relación entre este flujo y la corriente generada. Este se encuentra determinado por la siguiente ecuación [19]:

$$H_N = K_N A \frac{T - T_N}{L_N} \delta t \quad (7.6)$$

Para determinar las pérdidas de calor en el sistema diseñado para la producción de energía eléctrica, transformado la energía térmica, se hace necesario el cálculo de la entropía, la cual expondrá de forma matemática cuanta perdida de energía hay en el sistema, cabe resaltar que esta pérdida no se puede utilizar, ya que la entropía es la energía que no puede generar trabajo, y esta está definida por [20]:

$$S = \frac{Q(T_1 - T_2)}{T_1 T_2} \quad (7.7)$$

Para este caso T<sub>1</sub> es la temperatura final del sistema, mientras que T<sub>2</sub> viene dada por la temperatura inicial, y Q es el calor emitido por la celda, para este caso las temperaturas deben estar dadas en Kelvin ya que la entropía se mide en joule (J) por kelvin (K), dicho calor se obtiene de la siguiente manera:

$$Q = m C_e (T_F T_o) \quad (7.8)$$

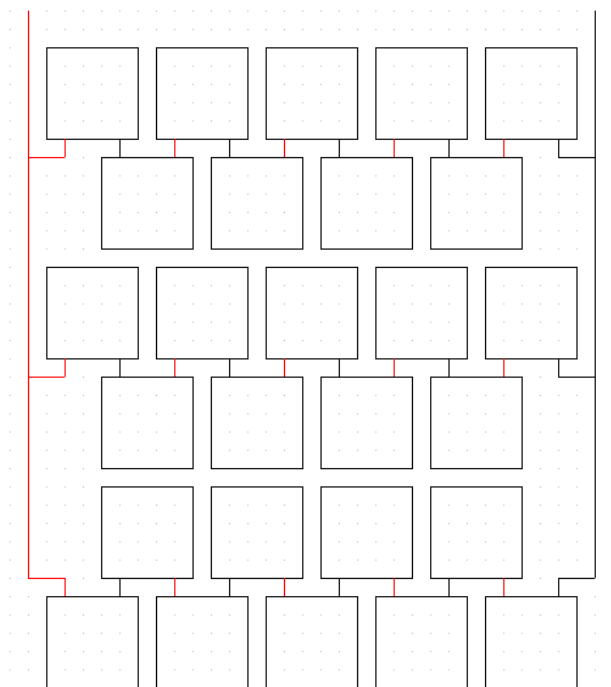
Donde m es la masa de la celda (23g), "Ce" viene dado por el calor específico del material en contacto de la celda el cual corresponde a 837 J/Kg°K para el Óxido de Aluminio (Alúmina), T<sub>F</sub> y T<sub>o</sub> Son las temperaturas final e inicial de la cara caliente de la celda respectivamente las cuales se obtuvieron de manera experimental, reemplazando los

valores para la anterior ecuación se determina el calor transferido por conducción desde el intercambiador hacia la celda:

$$Q = 0,023Kg * 837 J/Kg^{\circ}K(9135,15^{\circ}K - 625,15^{\circ}K)$$

$$Q = 16,3826W$$

Figura 7.8 Diagrama esquemático del módulo de celdas.



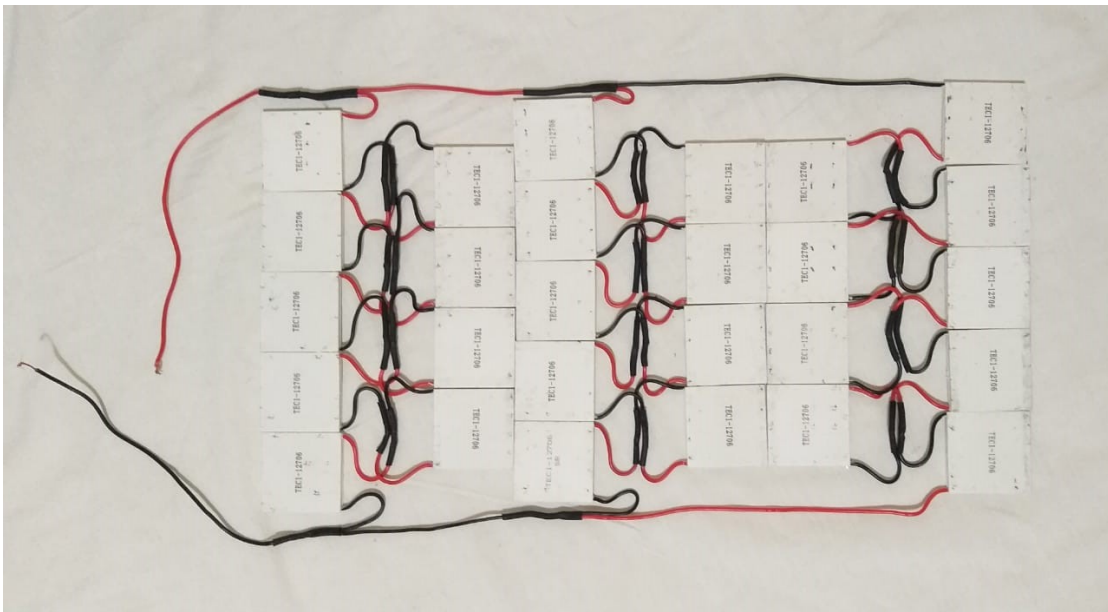
*Fuente: Autores*

Otro aspecto a tener en cuenta para la disposición del arreglo de celdas fue que es necesario mantener un espacio entre celdas que permita el flujo de aire que viene del ventilador a través del disipador del intercambiador de calor, de no ser así afectaría la funcionalidad del intercambiador generando un posible sobrecalentamiento en el generador.

### 7.3 Implementación y análisis de resultados.

Con los resultados anteriores se logró realizar un arreglo de 27 celdas TEC1 – 12706 como se puede observar en la Figura 7.9 ya que como en el caso del voltaje se debe escoger un numero entero siguiente al obtenido en el resultado para garantizar nuevamente el correcto funcionamiento del sistema; este arreglo de 27 celdas está constituido por 3 grupos de 9 celdas conectadas en serie, con el fin de obtener un voltaje igual o superior al requerido el cual es 12VDC, y estos grupos conectados entre ellos en paralelo para lograr obtener una corriente de salida de aproximadamente 1000mA.

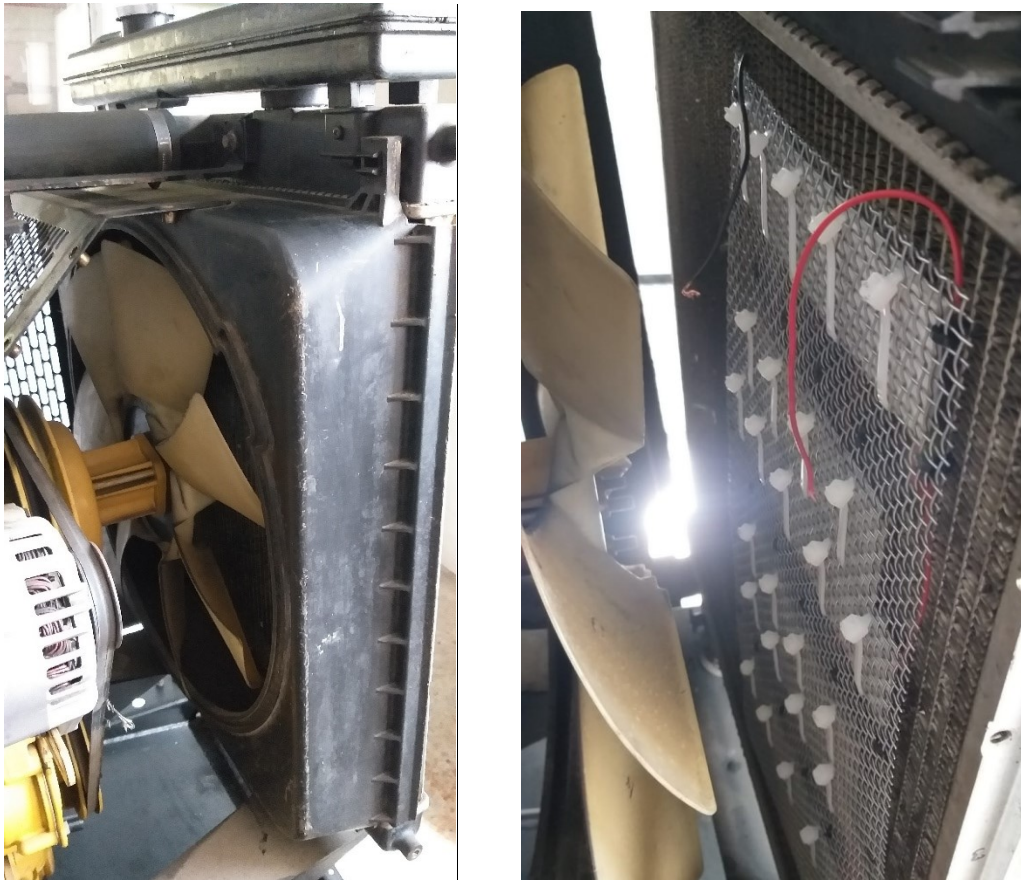
Figura 7.9 Montaje del módulo de celdas.



*Fuente: Autores.*

El módulo de celdas se instaló en el intercambiador de calor ubicándose entre las aletas disipadoras y el ventilador para que este último funcionara como sistema de refrigeración por conducción en la cara fría de las celdas aprovechando las características propias del aluminio como elemento conductor, mientras de la misma forma el lado contrario se calienta para lograr mantener un rango diferencial de temperatura adecuado para la generación de energía eléctrica deseada, lo anterior se puede observar en la figura 7.10.

Figura 7.10 Instalación del módulo de celdas en el intercambiador de calor.



*Fuente: Autores*

Para la obtención de los resultados se realizaron mediciones en intervalos de tiempo iguales para corriente y voltaje, esto con el fin de observar como se comporta el sistema en tanto el intercambiador alcanza su temperatura máxima para la cual se obtienen resultados aproximados a los calculos realizados; dichas mediciones se realizaron en intervalos de 1 minuto durante 16 minutos para observar el comportamiento del sistema a medida que iba aumentando la temperatura del intercambiador de calor. Como se puede observar en las Figuras 7.11 y 7.12, una vez que el sistema alcanza una temperatura estable, esta empieza a tener unas fluctuaciones mínimas que afectan la salida del sistema.

Tabla 7.3 Voltaje generado en un lapso de 16 minutos.

T(min)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Voltaje (VDC)	6	7,87	11,6	13	13,4	13,5	13,7	13,79	13,8	13,98	14	13,9	13,7	13,5	13,68	13,9
<b>PROMEDIO</b>															<b>12,69</b>	

*Fuente: Autores*

Por otra parte, se puede observar en las tablas 7.2 y 7.3 que el comportamiento de la corriente es el similar al del voltaje; se pueden notar que las fluctuaciones no son tan grandes como para salir de los parámetros deseados, obteniendo así un sistema bastante estable en su salida, cabe resaltar que las variaciones de voltaje en proporción con las de corriente son menores ya que una pérdida o variación en el voltaje del orden de los milivoltios puede ser despreciable, mientras que en una pérdida de 50 miliamperios en la intensidad puede llegar a ser significativa, esta estabilidad se puede observar mejor en las figuras 7.11 y 7.12.

Tabla 7.4 Corriente generada en un lapso de 16 minutos.

T(min)	1	2	3	4	5	6	7	8
Corriente (A)	0,95	0,9671	0,9735	0,979	1,0186	1,0256	1,0432	1,051
T(min)	9	10	11	12	13	14	5	16
Corriente (A)	1,0514	1,0659	1,0659	1,0597	1,0442	1,0281	1,0425	1,059
<b>PROMEDIO</b>							<b>1,02655875</b>	

*Fuente: Autores.*

Con lo anterior, se debe tener en cuenta que si bien existen variaciones en la salida no son tan grandes para afectar los resultados de manera negativa, aun cuando la corriente sea muy sensible a estos cambios, esto comprueba que se realizó un diseño de manera óptima ya que se logró mantener un margen para perdidas relacionadas con el sistema.

Para calcular la Potencia (P) del sistema se empleó la Ley de Ohm utilizando los valores promediados de voltaje y corriente obtenidos del desarrollo experimental.

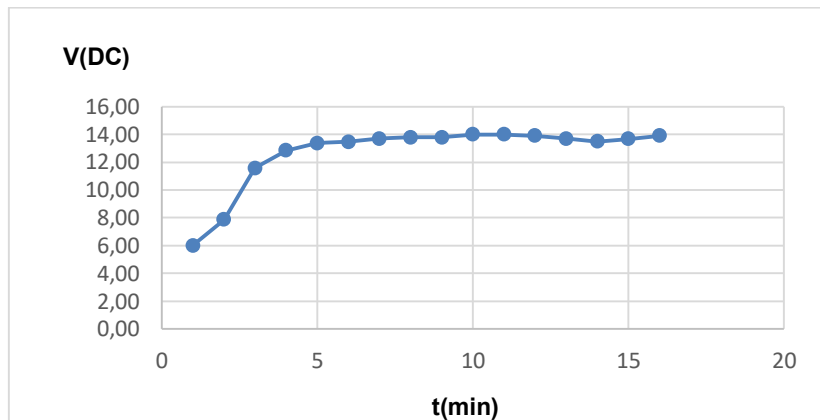
$$P=V \cdot I$$

(7.9)

$$P=12,69V \cdot 1,02655875A$$

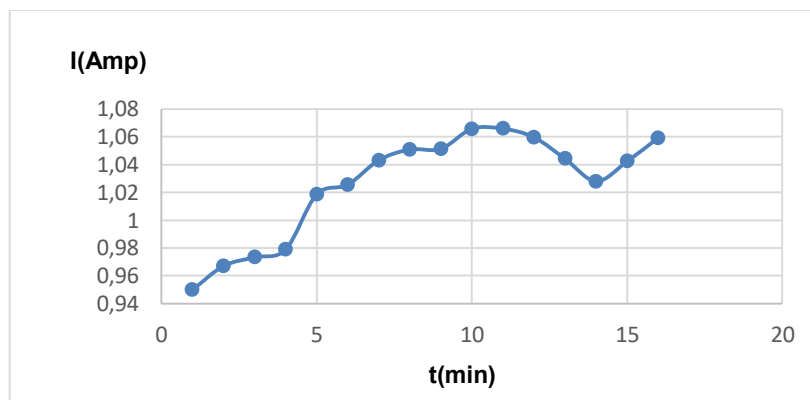
$$P=13W$$

Figura 7.11 Grafico de generación de voltaje del arreglo.



Fuente: Autores.

Figura 7.12 Grafico de generación de corriente del arreglo.



Fuente: Autores.

Tal como se evidencia en la Figura 7.11 se puede observar como el voltaje DC se mantiene relativamente estable aun después de que el intercambiador de calor alcanzó su máxima



temperatura, mientras que la corriente en la Figura 7.12, tiene cambios abruptos entre tiempos, esto debido a que las variaciones mínimas de temperatura afectan de gran medida la generación de esta variable

Con estos resultados se evidenció que hay una generación de energía mayor a la calculada, esto debido a que gracias al diseño de las celdas ubicadas frente al ventilador del sistema de refrigeración en conjunto con la malla trenzada de aluminio fue posible disipar la temperatura en la cara fría de del módulo de celdas, manteniendo una diferencia de temperatura de 28°C, lo que hizo que las celdas lograran generar más voltaje y corriente del estimado; estos datos indican que es posible generar energía suficiente para alimentar dispositivos de bajo consumo con un tipo de energía limpia.

En la tabla 7.5 se puede observar la generación de energía de cada celda del arreglo, en la cual se logra apreciar que la generación de energía de la celda es proporcional a la del arreglo, esto muestra que cada celda está generando aproximadamente 355mA, y 1.55VDC en un área de 16mm<sup>2</sup> Se debe tener en cuenta que estas celdas tienen un límite de generación por temperatura, la referencia en específico que se utilizó no soporta temperaturas superiores a los 138 °C.

Tabla 7.5 Medición de voltaje en tres puntos diferentes del sistema

Tiempo (Min)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Voltaje (V)	Area 1 (1 celda)	0,67	0,87	1,29	1,43	1,49	1,50	1,52	1,53	1,53	1,55	1,55	1,54	1,52	1,50	1,52	1,54
	Area 2 (5 celdas)	3,33	4,37	6,43	7,14	7,43	7,48	7,60	7,66	7,66	7,77	7,77	7,72	7,61	7,49	7,60	7,72
	Area 3 (9 celdas)	6,30	7,92	11,70	12,96	13,41	13,50	13,77	13,77	13,77	13,77	13,77	13,77	13,95	13,95	13,95	13,95

*Fuente: Autores.*

En el grafico que se genera de la tabla anterior se puede notar la similitud que hay con el grafico del voltaje del arreglo total, esto debido a que cada celda genera un voltaje y una corriente proporcional a la mostrada por el sistema total, sucede algo muy similar a esto con la corriente, pero esta al ser un poco más inestable que el voltaje tuvo unas variaciones un poco mayores de las esperadas. También se puede observar que al medir en tres puntos diferentes del sistema hay proporcionalidad en cuanto al voltaje generado en los tres puntos, lo cual se puede ver más explícitamente en la Tabla 7.4.

Para observar una relación entre la corriente y el flujo de calor se calculó este último parámetro con el fin de establecer obtener una comparación clara entre ambos, para esto

se encontró en primera instancia el coeficiente de Seebeck, teniendo en cuenta la ecuación (7.10), para el arreglo de celdas Peltier, para luego encontrar el flujo de calor por unidad de tiempo para la celda:

$$H_c = \frac{35W}{mK} 16mm^2 \frac{535K}{4mm} dt \quad (7.10)$$

$$H_c = 74,9 W \delta t$$

Con esto se puede observar que el flujo de calor por unidad de tiempo es de 74,9 W, es decir, que cada segundo está fluyendo 74,9 W de calor por la cara caliente, cabe aclarar que este es el flujo de calor por celda unitaria debido a que para poder calcular el flujo del sistema hay que tener en cuenta las pérdidas por los espacios que quedan entre celdas. Esto quiere decir para poder generar una corriente de 355mA debe pasar esa cantidad de calor por la celda.

Para el cálculo de la entropía del sistema (ecuación 7.13) se debe tener en cuenta que para esto se necesita hallar primero el calor emitido por el sistema definido en la ecuación

(7.12)

$$Q = 30gr (0,16 \frac{J}{grK})(535 K) \quad (7.12)$$

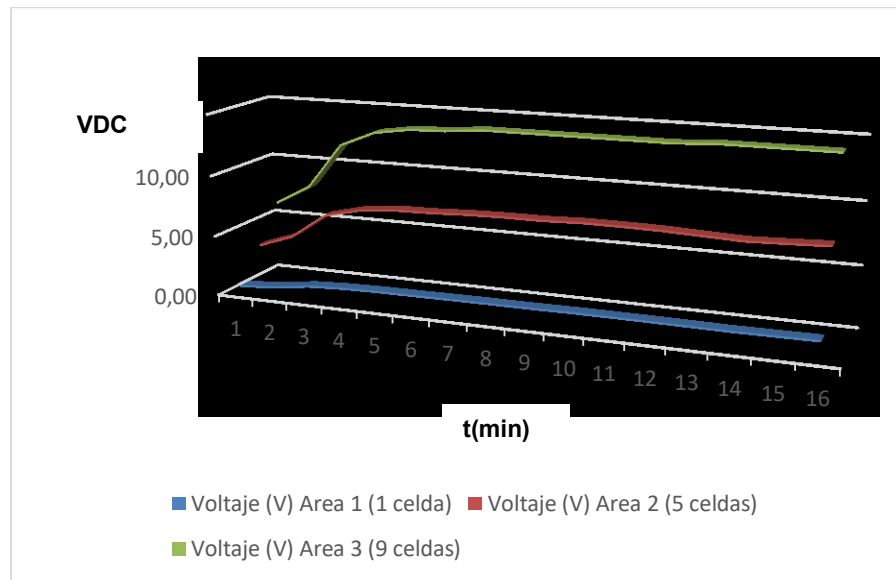
$$Q = 2568 W$$

$$S = \frac{2568W(1160,15 K - 625,15 K)}{(1160,15 K)(625,15 K)} \quad (7.13)$$

$$S = 1,89 \frac{J}{K}$$

Dado este resultado se puede notar que la entropía es de 1,89 J/K, lo que nos dice que por kelvin se tiene una pérdida de 1,89 J esto teniendo en cuenta que esta energía no se puede utilizar como se dijo anteriormente, debido a que esta energía perdida no es capaz de realizar un trabajo.

Figura 7.13 Grafico de voltaje generado por el sistema.



Fuente: Autores

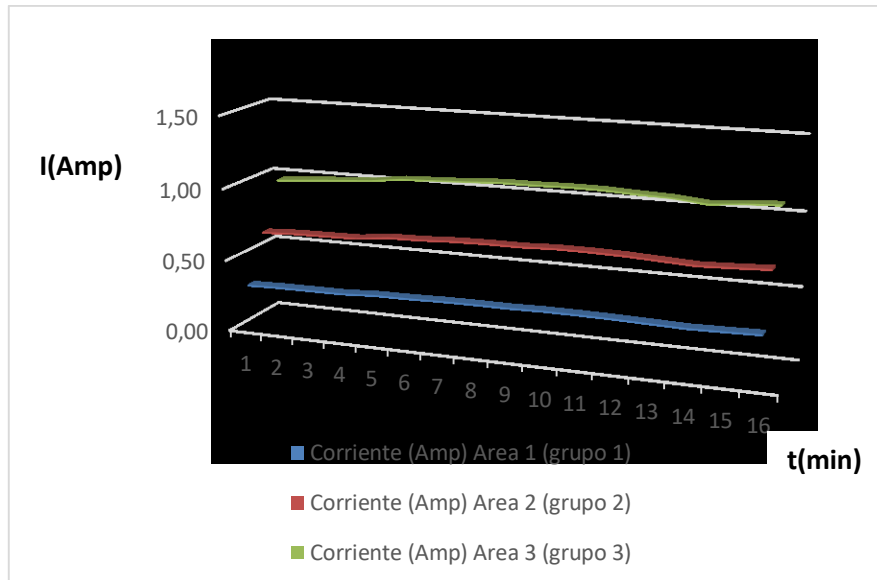
Para el caso de la corriente en el arreglo diseñado solo se pueden tomar tres únicas mediciones debido a que la configuración usada solo tiene tres grupos de celdas conectadas en paralelo; con esta sucede algo muy similar al voltaje ya que mantiene una proporcionalidad en todo el sistema, teniendo en cuenta que para este caso dicha proporcionalidad se puede observar en su totalidad ya que las mediciones realizadas son iguales a los puntos de medición existentes, esto se puede observar en la tabla 7.5 y la figura 7.13.

Tabla 7.6 Medición de corriente en los tres grupos de celdas del sistema.

Tiempo (Min)		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Corriente (Amp)	Area 1 (grupo 1)	0,32	0,32	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,35	0,35	0,36	0,36	0,35	0,35	0,34	0,35	0,35
	Area 2 (grupo 2)	0,63	0,64	0,65	0,65	0,68	0,68	0,70	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,70	0,69	0,70	0,71
	Area 3 (grupo 3)	0,95	0,97	0,99	1,01	1,03	1,04	1,05	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,06	1,05	1,03	1,05

Fuente: Autores

Figura 7.14 Grafica de corriente por área generada del sistema.



Fuente: Autores

$$error = \frac{V_r - V_c}{V_r} * 100 \quad (7.14)$$

$$error = \frac{|1.54 - 1.56|}{1.56} * 100$$

$$error = 1,28\%$$

Con base al cálculo anterior se puede notar que se logró diseñar un sistema que tiene un mínimo de error, lo que indica que se puede diseñar el mismo arreglo para cualquier sistema teniendo en cuenta dicho error al realizar los cálculos, este error tan mínimo nos garantiza un funcionamiento adecuado y según los parámetros que se establezcan para su diseño.

### 7.3.1 Análisis de viabilidad económica:

Para determinar la viabilidad económica del dispositivo fue necesario confrontar la inversión de los elementos empleados en el sistema frente al posible ahorro energético que se obtendría mediante su funcionamiento, se investigó sobre las especificaciones técnicas de un posible elemento de consumo para la energía generada por el dispositivo y mediante los datos obtenidos se calculó una demanda diaria estimada para una operación de 6 horas diarias aplicando la siguiente formula

$$\text{Consumo} \cdot \text{día} = \text{Potencia} \cdot \text{No. Elementos} \cdot \text{horas de operación} \tag{7.15}$$

Figura 7.15 Especificaciones técnicas de la bombilla seleccionada para el cálculo de viabilidad económica.

Model	Wattage	Dimension (mm)	lm/w	Ra	LED QTY
A03	3W	D45*H83	90	>80	4
A05	5W	D55*H99	90	>80	7
A07	7W	D60*H112	90	>80	9
A09	9W	D60*H112	90	>80	11
A12	12W	D65*H123	90	>80	14
A15	15W	D70*H130	90	>80	18
A18	18W	D80*H149	90	>80	22
A20	20W	D95*H174	90	>80	26

Fuente: <https://www.dd-eralighting.com/product/a-s-warm-white-bulb-manufacturer.html>

Calculando el consumo de una bombilla tipo led comercial de 12VDC/12W, se procedió a aplicar la formula con los datos obtenidos arrojando un consumo diario aproximado de **72W\*día**,

Tabla 7.7 Estimación de consumo de energía generada.

ELEMENTOS			POTENCIA (W)		CONSUMO (W*h)		
Tipo de alimentación	Tipo de elemento	Cant.	Stand by	Operación normal	Stand by	Operación normal	TOTAL ESTIMADO
DC	Luminaria	1	0	12	0	6	72W

Fuente: Autores.

**Periodo de recuperación de la inversión:**

Se realizó una estimación del tiempo de recuperación de la inversión frente al valor de W/h ofertado por la empresa prestadora del servicio energético del sector.

Tabla 7.8 Cuadro de costos.

Elemento	Cant.	Und	Valor unitario(COP)	Valor total(COP)
Celda Peltier Tec1-12706	27	unidad	\$20.000	\$540.000
termómetro infrarrojo	1	unidad	\$90.000	\$90.000
multímetro	1	unidad	\$40.000	\$40.000
malla trenzada de aluminio	0,5	m <sup>2</sup>	\$60.000	\$30.000
			<b>TOTAL</b>	<b>\$700.000</b>

*Fuente: Autores.*

La empresa prestadora de servicios energéticos del sector cobra el valor del KW/h a \$473,57 más \$23.000 de seguridad, \$22.000 de alumbrado público mensuales.

Se calculó la demanda diaria del elemento de consumo en 72W, para calcular el total a pagar mensual se utilizó la siguiente formula:

$$\text{Total a pagar mensual} = \text{consumo diario} * 30 * \$473,57 + \$43.000 \quad (7.15)$$

$$\text{Total a pagar mensual} = 0,00072 \text{KW} * 30 * \$473,57 + \$43.000$$

$$\text{Total a pagar mensual} = \$43.010,22$$

Luego se procede a dividir el costo total de la inversión entre el total a pagar mensual para determinar la cantidad de tiempo que demoraría la recuperación de la inversión

$$\text{No. de meses} = \$700.000 / \$43.010,22 \quad (7.16)$$

No. de meses = 16,27 = **1 año y 2 meses** (sin tener en cuenta el aumento anual del costo de energía)

Se comprobó que el periodo de recuperación de la inversión no excediera el tiempo de vida útil de las celdas el cual es: 200.000 horas (22,81 años) ante lo cual se concluye que el sistema es económicamente viable.





## **8. Conclusiones y recomendaciones**

### **8.1 Conclusiones**

Teniendo en cuenta los datos obtenidos luego de la implementación del Sistema de generación eléctrica, se puede evidenciar que el diseño cumplió con los requisitos propuestos, alcanzando valores de voltaje y corriente óptimos para el uso en diferentes dispositivos de bajo consumo. Por otra parte, se puede notar en las tablas que la salida del sistema no es estable, esto debido a que las celdas funcionan por medio de una diferencia de temperatura, y como esta no es una variable que se pueda controlar, esto ocasiona la inestabilidad. Para corregir este problema se propone utilizar un estabilizador de voltaje al final del sistema para obtener una salida totalmente estable.

Con la implementación y prueba de este sistema se demostró que su utilización es viable para la generación de energías limpias produciendo la cantidad de energía necesaria para alimentar dispositivos de bajo consumo, para su óptimo funcionamiento se requiere de un equipo que emita el suficiente calor para que las celdas puedan generar electricidad, que tenga el espacio suficiente para colocar dicho arreglo, ya que se necesita una cantidad elevada de celdas para cubrir el área suficiente para extraer calor y alimentar equipos más robustos, al mismo tiempo que es imprescindible mantener la diferencia de temperatura en la cara fría de las celdas.

El sistema demostró ser bastante estable a la hora de generar energía eléctrica, ya que a pesar de trabajar con una variable difícil de controlar como lo es la temperatura, el sistema logró mantener una salida relativamente estable, a pesar de no tener un estabilizador, ya que las fluctuaciones de voltaje eran del orden de los milivoltios y en la corriente no fue mayor a 5mA.

Por lo anterior se concluye que las celdas termogeneradoras son una alternativa energética amigable con el medio ambiente, viable, practica y de costo relativamente bajo dependiendo de la energía generada requerida, de fácil desarrollo y recuperación de la inversión en corto plazo y para cuya instalación en intercambiadores de calor compactos no se requiere realizar modificaciones estructurales ni interferir en la operación del sistema.

## **8.2 Recomendaciones**

Un aspecto importante a considerar para la implementación de un arreglo de celdas en intercambiadores de calor es que deben estar colocadas de tal manera que permitan el flujo de aire del ventilador hacia las aletas disipadoras ya que si éstas son bloqueadas en su totalidad por las celdas se perdería el flujo de aire frío afectando en la funcionalidad del intercambiador de calor.

Un inconveniente que poseen estos sistemas es la cantidad de voltaje generado en relación al área de las celdas lo que implica que para una mayor generación se requiere un mayor número de celdas, aumentando significativamente el costo del sistema, si bien una forma de solucionar el problema del área versus generación sería conseguir una celda que transforme más energía por unidad de área, estas son significativamente más costosas que las de uso convencional y se encuentran aún en desarrollo.

Es importante considerar un estabilizador a la salida de las celdas con el fin de mantener un voltaje y una corriente estable para el funcionamiento del sistema que se quiera alimentar ya que la fuente de calor de la cual se extrae la energía (Intercambiador de calor) no emite una temperatura constante y es una variable que depende tanto de las condiciones de operación de la maquinaria como de la temperatura ambiente.

# A. Anexo: Especificaciones técnicas del instrumento de medición



MODEL:WT320

## Infrared Thermometer Instruction Manual



Version: WT320-EN-0

- 1 -

### A. Introduction

This infrared thermometer is used for measuring the temperature of the object's surface, which is applicable for various hot, hazardous or hard-to-reach objects without contact safely and quickly.

This unit consists of Optics, Temperature Sensor Signal amplifier, Processing circuit and LCD Display. The Optics collect the infrared energy emitted by object and focus onto the Sensor. Then the sensor translates the energy into an electricity signal. This signal will be turned out to be digital shown on the LCD after the signal amplifier and processing circuit.

### B. WARNING & CAUTIONS

#### 1. Warning:

To avoid the potential situation may cause harm or damage to people, please pay attention to the following items:

- 1) Do not point laser directly at eye or indirectly off reflective surfaces.
- 2) The unit cannot measure through transparent surfaces such as glass or plastic. It will measure the surface temperature of these materials instead.
- 3) Steam, dust, smoke, or other particles can prevent accurate measurement by obstructing by the unit's optics.

#### 2. Cautions:

Infrared thermometer should be protected for the following:

- 1) EMF (electro-magnetic fields) from arc welders, induction heaters.
- 2) Thermal shock (cause by large or abrupt ambient temperature changes allow 30 minutes for unit to stabilize before use).
- 3) Do not leave the unit on or near objects of high temperature.

### C. Distance to spot size

1. When take measurement, pay attention to the Distance to Spot Size. As the Distance (D) from the target surface increases, the spot size (S) of the area measured by the unit becomes larger.

The Distance to Spot size of the unit is 12:1 (Figure 1).

- 2 -

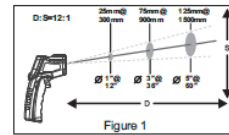


Figure 1

#### 2. Field of view:

Make sure the target is larger than the unit's spot size. The smaller the target the closer measure distance. When accuracy is critical, make sure the target is at least twice as large as the spot size.

### D. EMISSIVITY

Emissivity: Most organic materials and painted or oxidized surfaces have an emissivity of 0.95 (preset in the unit). Inaccurate readings will result from measuring shiny or polished metal surfaces. To compensate for this, adjust the unit's emissivity reading or cover the surface to be measured with masking tape or flat black paint. Measure the tape or painted surface when the tape or painted reach the same temperature as the material underneath.

### E. Operation

#### 1. Operating the unit: Figure 2

- 1) Open the battery door and insert the battery.
- 2) Pull the trigger to turn on the unit;
- 3) Aim at the target surface and pull the trigger, then temperature will be shown on the LCD.

This unit is equipped with a laser, which is only used for aiming.

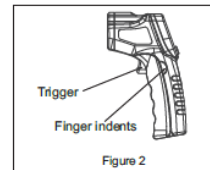


Figure 2

- 3 -

2. Locating a Hot Spot: Figure 3

To find a hot spot, aim the thermometer outside of interest, then scan across with an up and down motion until you locate the hot spot.

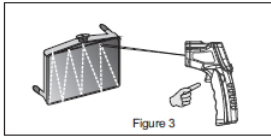


Figure 3

F. LCD display & buttons

1. LCD display: Figure 4

- A: data hold icon
- B: scanning icon
- C: laser on icon
- D: back light on icon
- E: battery power icon
- F: self-calibration icon
- G: emissivity icon
- H: maximum icon
- I: minimum icon
- J: measuring unit
- K: measuring reading

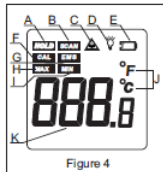


Figure 4

2. Diagram description: Figure 5

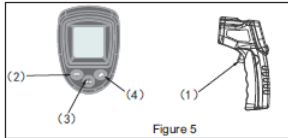


Figure 5

(1) Trigger: press it to display temperature value with SCAN appears at meantime. Release the trigger and enter into HOLD mode to save the data automatically, and the unit turns off automatically if there is no further operation.

(2) Switch key between celcius degree and fahrenheit degree. This key can also be used for increasing value set.

(3) Mode switch key: press Mode key to switch modes in turn among MAX → MIN → EMS → CAL → MEASURING INTERFACE

a. MAX: measuring maximum temperature

b. MIN: measuring minimum temperature

Note: In measuring, hold on the Mode key to switch to Max or Min review.

c. EMS: under this mode, select the emissivity 0.95 with °C/°F key or emissivity 0.8 with laser location key.

d. CAL: Under self calibration mode, to calibrate the unit between -5.0°C and +5.0°C

For example: If the temperature is 26.3°C and the temperature value measured is 25°C, then and 1.3°C should be increased as a calibration value, and after calibration press the mode key to return to the measuring mode.

(4) laser locatoin key and backlight switch key (press the 2 keys simultaneously for backlight on/off. this key can also be used as a self calibration value decrease key.

G. Maintenance

1. Lens Cleaning: Blow off loose particles using clean compressed air. Gently brush remaining debris away with a moist cotton swab. The swab may be moistened with water.
2. Case cleaning: Clean the case with a damp sponge/cloth and mild soap.

Note:

- 1) Do not use solvent to clean plastic lens.
- 2) Do not submerge the unit in water.

H. Specification

Temperature range	-50~380°C (-58~716°F)
Accuracy	0~380°C(32~716°F): ±1.5°C(±2.7°F) or ±1.5% -50~0°C(-58~32°F): ±3°C (±5°F) Whichever is greater
Repeatability	1% of reading or 1°C
Response time	500 mSec, 95% response
Spectral response	5~14 μm
Emissivity	0.95 Preset, 0.8 optional
Distance to Spot size	12:1
Operating Temperature	0~40°C (32~104°F)
Operating Humidity	10~95%RH non-condensing, up to 30°C(86°F)
Storage Temperature	-20~60°C (-4~140°F)
Power	3V (1.5V AAA battery * 2)
Typical battery life (Alkaline)	Laser Models: 12 hrs

Specific Declarations:  
Our company shall hold no any responsibility resulting from using output from this product as an director or indirect evidence.  
We reserves the right to modify product design and specification without notice.



## B. Anexo: Especificaciones técnicas del motogenerador



**GEP50-7**

*Diesel Generator Set  
Exclusively from your Cat dealer*

Output Ratings		
Generating Set Model	Prime*	Standby*
380-415V, 50Hz	45.0 kVA 36.0 kW	50.0 kVA 40.0 kW
480V, 60 Hz	50.0 kVA 40.0 kW	56.3 kVA 45.0 kW

\* Refer to ratings definitions on page 4.  
Ratings at 0.8 power factor.

Technical Data		
Engine Make & Model:	Perkins 1103A-33TG1	
Alternator Model:	LL2014C	
Base Frame Type:	Fbc2 - (08Hr)	
Circuit Breaker Type:	3 Pole MCB / 3 Pole MCCB	
Frequency:	50 Hz	60 Hz
Engine Speed: RPM	1500	1800
Fuel Tank Capacity: litres (US gal)	219 (57.9)	
Fuel Consumption, Prime: l/hr (US gal/hr)	10.6 (2.8)	11.9 (3.1)
Fuel Consumption, Standby : l/hr (US gal/hr)	11.9 (3.1)	13.5 (3.6)

Physical Data	
Manufacturer:	Perkins
Model:	1103A-33TG1
No. of Cylinders/Alignment:	3 / In Line
Cycle:	4 Stroke
Induction:	Turbocharged
Cooling Method:	Water
Governing Type:	Mechanical
Governing Class:	ISO 8528 G2
Compression Ratio:	17.25:1
Displacement: l (cu.in)	3.3 (201.4)
Bore/Stroke: mm (in)	105.0 (4.1)/127.0 (5.0)
Moment of Inertia: kg m <sup>2</sup> (lb. in <sup>2</sup> )	1.14 (3896)
Engine Electrical System:	
-Voltage/Ground:	12/Negative
-Battery Charger Amps:	65
Weight: kg (lb) - Dry:	420 (926)
- Wet:	438 (966)

Air System		50 Hz	60 Hz
Air Filter Type:	Replaceable Element		
Combustion Air Flow:			
m <sup>3</sup> /min (cfm)	-Standby:	3.1 (109)	3.9 (138)
	-Prime:	2.9 (102)	3.7 (131)
Max. Combustion Air Intake			
Restriction: kPa (in H <sub>2</sub> O)		8.0 (32.1)	8.0 (32.1)
Radiator Cooling Air Flow:			
m <sup>3</sup> /min (cfm)		86.4 (3051)	105.6 (3729)
External Restriction to			
Cooling Air Flow: Pa (in H <sub>2</sub> O)		120 (0.5)	120 (0.5)

Cooling System		50 Hz	60 Hz
Cooling System Capacity:			
l (US gal)		10.2 (2.7)	10.2 (2.7)
Water Pump Type:	Centrifugal		
Heat Rejected to Water & Lube Oil: kW (Btu/min)			
	-Standby:	30.0 (1706)	34.0 (1934)
	-Prime:	26.1 (1484)	31.0 (1763)
Heat Radiation to Room:			
kW (Btu/min)	-Standby:	8.0 (455)	9.0 (512)
	-Prime:	7.0 (398)	8.0 (455)
Radiator Fan Load: kW (hp)		0.5 (0.7)	0.9 (1.2)

Cooling system designed to operate in ambient conditions up to 50°C (122°F). Contact your local Olympian dealer for power ratings at specific site conditions.

Lubrication system	
Oil Filter Type:	Spin-On, Full Flow
Total Oil Capacity l (US gal):	8.3 (2.2)
Oil Pan l (US gal):	7.8 (2.1)
Oil Type:	API CG4 / CH4 15W-40
Cooling Method:	Water

Performance		50 Hz	60 Hz
Engine Speed: RPM		1500	1800
Gross Engine Power: kW (hp)			
	-Standby:	46.4 (62.0)	55.6 (75.0)
	-Prime:	42.2 (57.0)	50.5 (68.0)
BMEP: kPa (psi)			
	-Standby:	1125.0 (163.2)	1124.0 (163.0)
	-Prime:	1023.0 (148.4)	1020.0 (148.0)
Regenerative Power: kW		7.0	9.0

Fuel System				
Fuel Filter Type:	Replaceable Element			
Recommended Fuel:	Class A2 Diesel			
Fuel Consumption: l/hr (US gal/hr)				
	110% Load	100% Load	75% Load	50% Load
Prime				
50 Hz	11.9 (3.1)	10.6 (2.8)	7.9 (2.1)	5.6 (1.5)
60 Hz	13.5 (3.6)	11.9 (3.1)	9.1 (2.4)	6.7 (1.8)
Standby				
50 Hz	11.9 (3.1)	8.8 (2.3)	6.1 (1.6)	
60 Hz	13.5 (3.6)	10.1 (2.7)	7.3 (1.9)	

(based on diesel fuel with a specific gravity of 0.85 and conforming to BS2869, Class A2)

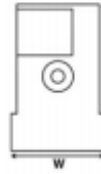
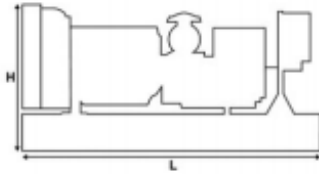
  

Exhaust System		50 Hz	60 Hz
Silencer Type:	Industrial		
Silencer Noise Reduction	SD80 (1)		
Pressure Drop Across Silencer System: kPa (in Hg)		0.82 (0.242)	1.08 (0.319)
Silencer Noise Reduction Level: dB		20	18
Max. Allowable Back Pressure: kPa (in. Hg)		10.0 (3.0)	15.0 (4.4)
Exhaust Gas Flow:			
m <sup>3</sup> /min (cfm)	-Standby:	7.7 (272)	9.5 (335)
	-Prime:	7.0 (247)	8.8 (311)
Exhaust Gas Temperature: °C (°F)			
m <sup>3</sup> /min (cfm)	-Standby:	537 (999)	551 (1024)
	-Prime:	492 (918)	510 (950)

**Weights & Dimensions**

Weights: kg (lb)	
Net (+ lube oil)	917 (2021)
Wet (+ lube oil & coolant)	930 (2050)
Fuel, lube oil & coolant	1115 (2459)

Dimensions: mm (in)	
Length	1925 (75.8)
Width	1120 (44.1)
Height	1361 (53.6)



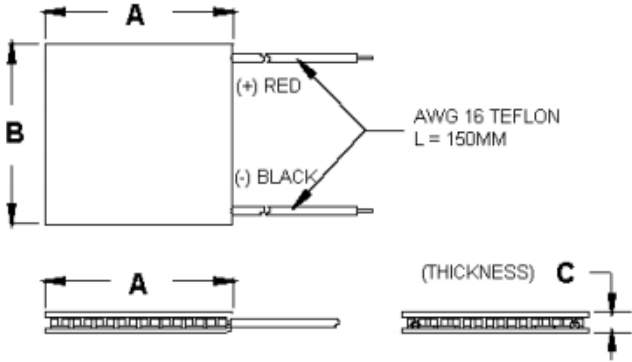
**Note:** General configuration not to be used for installation. See general dimension drawings for detail.





# C. Anexo: Especificaciones técnicas de la celda utilizada

TEC1-12706



Ceramic Material: Alumina ( $Al_2O_3$ )  
 Solder Construction: 138°C, Bismuth Tin (BiSn)

**Size table:**

A	B	C			
40	40	3.8			

**Operating Tips**

- Max. Operating Temperature: 138°C
- Do not exceed  $I_{max}$  or  $V_{max}$  when operating module.
- Life expectancy: 200,000 hours
- Please consult HB for moisture protection options (sealing).
- Failure rate based on long time testings: 0.2%.



## D. Anexo: Glosario de términos

**Calor:** Se puede definir como la transferencia de energía que se da entre dos cuerpos, esta transferencia puede suceder por el movimiento de los átomos, o cualquier otra partícula que conforma la materia [9].

**Conducción:** Es el proceso mediante el cual un cuerpo transfiere energía térmica a otro por medio del contacto físico entre ellos, siempre se transferirá calor del cuerpo de mayor temperatura al menor [9].

**Conductividad Térmica:** Es una propiedad intrínseca de los materiales y corresponde a la capacidad de este material para conducir calor, está directamente asociado al concepto de conductividad eléctrica en el sentido que los materiales que son térmicamente conductores son también conductores eléctricos, por ejemplo, los metales.

**Convección Térmica:** Ocurre cuando dos cuerpos transfieren calor entre si debido al paso de un fluido entre ellos, si un mecanismo mueve el fluido se habla de convección forzada, mientras que si el fluido se mueve a causa de las densidades de los cuerpos se habla de convección libre [9].

**Efecto Peltier:** Este efecto describe la diferencia de temperatura creada por el paso de una corriente eléctrica a través de un material semiconductor [10].

**Eficiencia:** Capacidad de hacer uso de alguien o algo para cumplir con una meta específica [11].

**Energía:** Es la capacidad que tienen todos los cuerpos para realizar un trabajo [9].

**Entropía:** Es la medida de la cantidad de energía que se pierde, es decir, que no puede ser utilizada para realizar trabajo [9].

**Radiación:** Es el proceso que ocurre al hacer uso de ondas electromagnéticas para lograr transferir calor de un cuerpo a otro sin que haya un contacto físico entre estos [9].

**Transductor:** Es un dispositivo capaz de convertir un tipo de energía en otra, normalmente estos dispositivos convierten niveles muy bajos de energía en comparación a los sistemas generadores, dentro del contexto de este trabajo una Celda Peltier puede ser considerada un transductor.

**Transferencia de Calor:** Es el proceso que ocurre al transferir energía térmica entre diferentes cuerpos, o entre diferentes partes de este, los cuales deben poseer diferencias de temperaturas [9]

## BIBLIOGRAFIA.

- [1] <http://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1004/803>
- [2] A. Florez Martinez, "Implementación de la Celda Peltier en fuentes térmicas de calor residuales, para aprovechamiento de generación de energía eléctrica y climatización por frío en el hogar," *VISIÓN-Revista Investig. UNICIENCIA*, vol. 2, no. September 2017, pp. 62–69, 2017.
- [3] D. Moreno and D. García, "Prototipo Generador de Agua con Celdas de Peltier," p. 103, 2017, [Online]. Available: <http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/6822/1/MorenoOrtizDiegoGustavo2017.pdf>.
- [4] S. A. DUSSAN. J, "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA MÁQUINA GENERADORA DE ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE CELDAS DE PELTIER," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [5] J. A. M. PÉREZ, "ESTUDIO DE APLICACIÓN DE CÉLULAS PELTIER PARA LA OBTENCIÓN DE ELECTRICIDAD EN AUTOMÓVILES," *Sergioguillen.Com*, no. 710, pp. 1–90, 2015.
- [6] F. J. Bolívar, F. J.; Sánchez, L.; Hierro, M. P.; Trilleros, J.A.; Pérez, "ALUMINIZACIÓN DE ACEROS FERRITICOS-MARTENSITICOS ( HCM-12A ) MEDIANTE CVD-FBR," 2007.
- [7] H. Alvarez, V; De la O, "Construcción De Un Prototipo De Generador Termoeléctrico De Estado Sólido Empleando Un Concentrador Solar," 2014.
- [8] R. Muñoz, "Diseño de un sistema termoelectrico aprovechando características geotermica," no. 710, pp. 1–78, 2014, [Online]. Available: [http://sergioguillen.com/wp-content/uploads/2015/05/Guillen\\_Cavero\\_TFG\\_vFinal.pdf](http://sergioguillen.com/wp-content/uploads/2015/05/Guillen_Cavero_TFG_vFinal.pdf).
- [9] A. C. YUNUS, "TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA," *Biotechnol. Lett.*, vol. 18, no. 12, pp. 1419–1422, 1996, doi: 10.1007/BF00129346.
- [10] L. GUAYLLAS GUAMAN and J. USHU PALOMINO, "Análisis del Comportamiento de Módulos Termoeléctricos para la Transformación del Calor Existente en el Colector de Escape a Energía Eléctrica en un Motor G 10," p. 126, 2014.
- [11] Mario Rizo Rivas, "Eficiencia, eficacia, efectividad: ¿son lo mismo?," 2019. .
- [12] JOSÉ ALEJANDRO GONZÁLEZ VILLARREAL, "ESTUDIO DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN COMPONENTES AUTOMOTRICES DE ALTA TECNOLOGÍA."
- [13] Sears, Zemansky, Young, and Freedman, *Física Universitaria*. .
- [14] L. GUAYLLAS GUAMAN and J. USHU PALOMINO, "Análisis del Comportamiento de Módulos Termoeléctricos para la Transformación del Calor Existente en el Colector de Escape a Energía Eléctrica en un Motor G 10," p. 126, 2014, [Online]. Available:

- <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6986/1/UPS-CT003641.pdf>.
- [15] R. Muñoz, "Diseño de un sistema termoelectrico aprovechando características geotermica," no. 710, pp. 1–78, 2014.
- [16] Omar Armando Gelvez Arocha, "DISEÑO TERMICO Y MECANICO DE INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CASCO Y TUBO," 2009.
- [17] Asociación de Productores de Energías Renovables, "Impactos ambientales de la producción de electricidad," *Asoc. Prod. Energías Renov.*, p. 42, 2014, [Online]. Available: [http://proyectoislarenovable.iter.es/wp-content/uploads/2014/05/17\\_Estudio\\_Impactos\\_MA\\_mix\\_electrico\\_APPA.pdf](http://proyectoislarenovable.iter.es/wp-content/uploads/2014/05/17_Estudio_Impactos_MA_mix_electrico_APPA.pdf).
- [18] U. P. Madrid, "Modelado de una célula Peltier," 2016.
- [19] I. Jiménez, "Estudio de la Transferencia de Calor en Ventanas Mexicanas en Condiciones de Clima Frío Mediante una Cámara de Ambiente Controlado," p. 108, 2012.
- [20] D. F. Mendoza Muñoz, "Análisis y minimización de la entropía generada en un proceso de destilación extractiva para la deshidratación de etanol," p. 116, 2011, [Online]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/4166/>.