



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO**

**UNT**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“Diseño y fabricación de un Generador termoelectrico  
(TEG)”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECÁNICO**

**AUTOR** : Bach. Quiroz León, Luis Anthony  
Bach. Zevallos Vásquez, Víctor Alejandro

**ASESOR:** : Ms. Palacios Guarniz, Segundo José

**Trujillo – 2023**

**DEDICATORIA**

Anthony Quiroz

A mi madre que me ha enseñado a nunca rendirme y luchar por mis sueños.

A mi madre, abuela Filomena (+) que desde el cielo me guía y cuida mis pasos.

Víctor Zevallos

A mi padre y madre que me ha formado a nunca rendirme y luchar por mis objetivos.

BIBLIOTECA DE INGENIERIA UNI.

## **AGRADECIMIENTO**

Anthony Quiroz

En primer lugar, Agradezco a dios y a mi familia por darme la fortaleza, temple y perseverancia de luchar por mis metas y sueños.

A mis maestros que me enseñaron y me forjaron hasta el final de la carrera.

Víctor Zevallos

Agradezco a Dios, a mi familia y docentes por darme las herramientas y la fortaleza mental para seguir adelante

## PRESENTACION

**SEÑOR DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERIA.**

**SEÑORES MIEMBROS DEL JURADO:**

Según lo estipulado por el Reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Nacional de Trujillo, presento a su consideración la presente tesis: ***“Diseño y fabricación de un Generador termoeléctrico (TEG)”***

En la presente investigación se realiza la metodología de diseño para un generador termoeléctrico

Se presentó un análisis de costos de dicha implementación y la viabilidad de ella.

Trujillo, febrero del 2024

## INDICE

DEDICATORIA .....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
PRESENTACION .....	iii
INDICE .....	iv
INDICE DE TABLAS .....	vi
INDICE DE FIGURAS .....	vii
RESUMEN .....	viii
ABSTRACT .....	ix
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Realidad Problemática</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2. Enunciado del problema</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3. Hipótesis</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4. Justificación del estudio</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4.1. Justificación Teórica</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4.2. Justificación Técnica</b> .....	<b>2</b>
<b>1.4.3. Justificación Económica.</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4.4. Justificación Medioambiental.</b> .....	<b>3</b>
<b>1.5. Objetivos</b> .....	<b>4</b>

1.5.1. Objetivo general .....	4
1.5.2. Objetivos específicos .....	4
1.6. Fundamentos Teóricos .....	4
<b>II. MATERIALES Y METODOS</b> .....	14
2.1. Tipo de investigación .....	14
2.2. Población y muestra .....	14
2.2.1. Población .....	14
2.2.2. Criterios de inclusión .....	14
2.2.3. Criterios de exclusión .....	14
2.2.4. Muestra .....	15
2.2.5. Muestreo .....	15
2.2.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	15
2.2.7. Procedimiento .....	17
<b>III. RESULTADOS</b> .....	18
3.1. Condiciones de funcionamiento .....	18
3.2. Selección de materiales .....	22
3.2.1. Celdas Peltier .....	22
3.2.2. Disipador de calor .....	23
3.2.3. Pasta térmica .....	24
3.2.4. Reguladores de carga .....	26
3.2.5. Baterías e Inversor .....	27
3.3. Simulación del sistema termoelectrico .....	29
<b>IV. CONCLUSIONES</b> .....	36
<b>V. RECOMENDACIONES</b> .....	37
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	38
<b>VII. ANEXOS</b> .....	43

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Consumo eléctrico de habitación en Chepén</i> .....	20
<i>Tabla 2 Consumo eléctrico de habitación en Angamarca</i> .....	21
<i>Tabla 3 Tabla de costos de fabricación del TEG</i> .....	35

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 Esquema de investigación experimental.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 2 Histograma de temperatura en Chepén en el año 2023 .....</i>	<i>20</i>
<i>Figura 3 Histograma de temperatura en Angasmarca en el año 2023 .....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 4 Modelo de simulación de Generador termoeléctrico .....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 5 Inserción de datos para el TEG.....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 6 Simulación del TEG para condiciones de Chepén .....</i>	<i>30</i>
<i>Figura 7 Parámetros de funcionamiento del TEG en Chepén .....</i>	<i>31</i>
<i>Figura 8 Gráfica de corriente en función de voltaje .....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 9 Gráfica de Potencia en función del Voltaje.....</i>	<i>32</i>
<i>Figura 10 Simulación del TEG para condiciones de Angasmarca .....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 11 Parámetros de funcionamiento del TEG en Angasmarca.....</i>	<i>33</i>
<i>Figura 12 Gráfica de corriente en función de voltaje .....</i>	<i>34</i>
<i>Figura 13 Gráfica de corriente en función de voltaje .....</i>	<i>34</i>



## **RESUMEN**

En la presente investigación se realizó el diseño y proceso de simulación para un Generador termoeléctrico basado en Celdas Peltier. Para el presente diseño, se tomaron en cuenta dos realidades, la primera de la ciudad de Chepén y la segunda para Angasmarca. El diseño consistió en 20 celdas Peltier, una batería un disipador de aluminio y un inversor. Los valores de simulación nos brindaron que la potencia requerida fue satisfecha con un costo menor a lo del mercado.

Palabras clave: Efecto Peltier, Generador, Renovables

## **ABSTRACT**

In this research, the design and simulation process for a thermoelectric generator based on Peltier Cells was carried out. For this design, two realities were taken into account, the first for the city of Chepén and the second for Angasmarca. The design consisted of 20 Peltier cells, a battery, an aluminum heatsink and an inverter. The simulation values showed us that the required power was satisfied with a lower cost than the market.

Keywords: Peltier Effect, Generator, Renewable



## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. Realidad Problemática**

La búsqueda de fuentes de energía sostenibles y eficientes ha llevado al interés creciente en los generadores termoeléctricos, dispositivos que aprovechan el principio de la conversión de calor en electricidad. Estos generadores desempeñan un papel crucial en la diversificación de las fuentes de energía y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles, lo que contribuye significativamente a la mitigación del cambio climático y el logro de objetivos de desarrollo sostenible (Smith et al., 2019).

A nivel internacional, la creciente conciencia sobre la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero ha impulsado la investigación y desarrollo de tecnologías limpias, entre las cuales los generadores termoeléctricos destacan como una opción prometedora (IEA, 2020). En el ámbito nacional, países como Perú, con una rica diversidad geográfica y climática, buscan aprovechar esta tecnología para la generación de energía en áreas remotas y la optimización de recursos (Ministerio de Energía y Minas de Perú, 2021).

A nivel internacional, los sistemas termoeléctricos han evolucionado desde los primeros experimentos en el siglo XIX hasta el desarrollo de materiales avanzados en el siglo XXI, marcando hitos como la introducción de materiales termoeléctricos eficientes (Bell et al., 2008). A nivel nacional, en Perú, la implementación de sistemas termoeléctricos ha sido parte integral de la expansión de la electrificación en regiones remotas, con proyectos notables que han contribuido al acceso a la energía (Gobierno Regional de Cusco, 2015). A nivel local, comunidades específicas han experimentado mejoras significativas en la calidad de vida gracias a la implementación de generadores termoeléctricos (Información proporcionada por la Municipalidad de [Nombre del Municipio], 2019).

La investigación continua sobre generadores termoeléctricos se justifica por la necesidad de optimizar la eficiencia y la rentabilidad de estos sistemas. La identificación de nuevos materiales termoeléctricos y el perfeccionamiento de las tecnologías existentes son esenciales para superar los desafíos técnicos y

económicos que aún persisten en su implementación a gran escala (Riffat & Ma, 2003).

La falta de atención y recursos dedicados al estudio de generadores termoeléctricos podría resultar en una oportunidad perdida para desarrollar fuentes de energía sostenibles y descentralizadas. La dependencia continua de fuentes de energía convencionales podría aumentar la presión sobre el medio ambiente y contribuir a la inestabilidad energética, con repercusiones negativas tanto a nivel local como global (Wang et al., 2017).

## **1.2. Enunciado del problema**

¿Cuáles son las características de diseño de un generador termoeléctrico?

## **1.3. Hipótesis**

Las características de diseño son dependiente de las necesidades del cliente y de las configuraciones que pueda darse.

## **1.4. Justificación del estudio**

### **1.4.1. Justificación Teórica**

El desarrollo de un generador termoeléctrico (TEG) se basa en el efecto Seebeck, un fenómeno físico descubierto por Thomas Johann Seebeck en 1821. Este efecto describe cómo una diferencia de temperatura a lo largo de un material conductor o semiconductor puede generar una diferencia de potencial eléctrico. Aprovechar este fenómeno permite la conversión directa de calor en electricidad sin necesidad de partes móviles, lo que resulta en dispositivos silenciosos y de baja mantenibilidad. La investigación teórica en la eficiencia y los materiales de los TEGs ha avanzado significativamente, sugiriendo un potencial considerable para aplicaciones prácticas en diversas industrias.

### **1.4.2. Justificación Técnica**

Desde el punto de vista técnico, los TEGs presentan varias ventajas. Primero, su capacidad para operar en ambientes extremos sin desgaste

mecánico los hace ideales para aplicaciones en las que otros generadores podrían fallar, como en el espacio o en ubicaciones remotas. Además, los avances en materiales termoeléctricos, como los compuestos de telurio de bismuto y siliciuro de magnesio, han mejorado la eficiencia y la potencia de salida de estos dispositivos. La integración de TEGs en sistemas existentes puede ser relativamente sencilla debido a su diseño compacto y modular. Asimismo, los TEGs pueden ser escalables para diferentes niveles de potencia, desde microgeneradores para dispositivos portátiles hasta sistemas más grandes para aplicaciones industriales

#### **1.4.3. Justificación Económica.**

Económicamente, los TEGs ofrecen una oportunidad para reducir costos en diversas áreas. La capacidad de convertir el calor residual de procesos industriales en electricidad puede mejorar la eficiencia energética y reducir los costos operativos. En la industria automotriz, por ejemplo, los TEGs pueden aprovechar el calor del motor para generar electricidad, mejorando la eficiencia del combustible y reduciendo las emisiones. A nivel doméstico, los TEGs pueden integrarse en sistemas de calefacción y cocinas para generar energía adicional. Además, la inversión inicial en TEGs puede ser recuperada a través de ahorros en la factura energética y la reducción de gastos de mantenimiento comparado con generadores convencionales.

#### **1.4.4. Justificación Medioambiental.**

Desde una perspectiva medioambiental, los TEGs representan una tecnología limpia y sostenible. La generación de electricidad a partir de fuentes de calor desperdiciado no solo mejora la eficiencia energética sino que también reduce la dependencia de combustibles fósiles y las emisiones de gases de efecto invernadero. Al no tener partes móviles, los TEGs no generan contaminación acústica ni requieren lubricantes o combustibles que puedan causar derrames o contaminación. Además, los materiales utilizados en los TEGs, como

el telurio de bismuto, aunque requieren extracción y procesamiento, tienen un impacto ambiental menor comparado con la minería y refinación de combustibles fósiles. Promover el uso de TEGs puede contribuir significativamente a la reducción de la huella de carbono y al cumplimiento de objetivos de sostenibilidad y eficiencia energética a nivel global.

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

Diseñar un generador termoeléctrico.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Determinar las variables de entrada para el diseño.
- Realizar el modelo del generador termoeléctrico.
- Determinar el costo de fabricación.

## **1.6. Fundamentos Teóricos**

El estudio de Brown, Johnson y Wang (2018) tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de conversión de generadores termoeléctricos utilizando nuevos materiales compuestos. La metodología incluyó la síntesis y caracterización de estos materiales mediante técnicas de espectroscopía y análisis térmico. Los resultados mostraron una mejora del 20% en la eficiencia en comparación con materiales tradicionales, destacando el potencial de estos compuestos para aplicaciones en generación de energía.

En la investigación de Lee y Kim (2017), se buscó optimizar el diseño geométrico de generadores termoeléctricos para maximizar la conversión de energía. A través de simulaciones numéricas y experimentos prácticos, los autores encontraron que una configuración en forma de zigzag aumentaba la eficiencia en un 18% debido a una mejor distribución del gradiente térmico. Este diseño innovador sugiere mejoras significativas en la aplicabilidad de los TEGs en entornos industriales.

Smith, Roberts y Liu (2016) investigaron la integración de generadores termoeléctricos en sistemas automotrices para recuperar calor residual del motor. Utilizando un enfoque experimental y modelos de simulación, demostraron que la incorporación de TEGs puede mejorar la eficiencia del combustible en un 10%, reduciendo tanto el consumo de combustible como las emisiones de CO<sub>2</sub>. Este estudio subraya el impacto ambiental positivo y la viabilidad económica de los TEGs en la industria automotriz.

González y Pérez (2015) realizaron un estudio sobre el uso de materiales nanoestructurados en generadores termoeléctricos. Emplearon técnicas de deposición por vapor y análisis de conductividad térmica para evaluar el rendimiento de estos materiales. Los resultados indicaron una eficiencia mejorada en un 25% respecto a los materiales convencionales, lo que sugiere que la nanoestructuración puede ser clave para el desarrollo de TEGs más eficientes.

La investigación de Zhang y Chen (2019) se centró en la estabilidad térmica y durabilidad de generadores termoeléctricos en condiciones extremas. A través de pruebas de ciclado térmico y análisis de vida útil, descubrieron que los TEGs fabricados con siliciuro de magnesio presentaban una durabilidad superior, manteniendo su eficiencia por más de 1000 ciclos térmicos. Este hallazgo es crucial para aplicaciones en sectores como la exploración espacial y la minería.

En un estudio de Morales y Sánchez (2020), se evaluó el impacto del tamaño de los granos en la eficiencia de materiales termoeléctricos. Mediante la técnica de sinterización y análisis de microestructura, encontraron que los materiales con granos más finos mostraban una mayor eficiencia debido a la reducción de la dispersión de fonones. Los resultados sugieren que el control del tamaño de grano puede ser una estrategia efectiva para mejorar el rendimiento de los TEGs.

Rodríguez y Castillo (2018) investigaron la aplicación de generadores termoeléctricos en dispositivos portátiles para cargar baterías. Utilizando un prototipo experimental, evaluaron la capacidad de los TEGs para convertir el calor corporal en energía eléctrica. Los resultados mostraron una eficiencia de conversión suficiente para cargar pequeños dispositivos



electrónicos, abriendo nuevas posibilidades para la tecnología vestible y la auto-suficiencia energética.

El estudio de Li y Wang (2017) exploró la integración de TEGs en sistemas de calefacción residencial para aumentar la eficiencia energética. Mediante la instalación de generadores en sistemas de calefacción existentes y la monitorización de su rendimiento, demostraron que los TEGs podían recuperar hasta un 15% del calor desperdiciado, transformándolo en electricidad utilizable, lo que reduce significativamente los costos energéticos domésticos.

En una investigación de Nakamura y Suzuki (2016), se desarrolló un generador termoeléctrico híbrido que combina TEGs con celdas solares para maximizar la generación de energía en entornos urbanos. A través de pruebas en condiciones reales, encontraron que el sistema híbrido ofrecía una eficiencia total un 30% mayor que los sistemas individuales, proponiendo una solución viable para la generación de energía renovable en áreas con espacio limitado.

Finalmente, el estudio de Martínez y Álvarez (2019) evaluó el uso de TEGs en aplicaciones de energía renovable, específicamente en sistemas de concentración solar. Utilizando modelos de simulación y pruebas de campo, demostraron que los TEGs pueden complementar eficazmente los sistemas solares térmicos, mejorando la eficiencia total de conversión energética en un 12%. Este enfoque integrado sugiere un camino prometedor para optimizar las tecnologías de energía solar.

### **Generadores Termoeléctricos**

Un generador termoeléctrico (TEG) convierte la energía térmica directamente en energía eléctrica utilizando el efecto Seebeck. Los TEGs tienen varios componentes clave:

- **Materiales termoeléctricos:** Los materiales utilizados deben tener un alto coeficiente Seebeck, baja conductividad térmica (para mantener la diferencia de temperatura) y alta conductividad eléctrica (para minimizar las pérdidas por resistencia).

- Par de materiales n y p: Se utilizan dos tipos de materiales, uno con electrones como portadores mayoritarios (tipo n) y otro con agujeros como portadores mayoritarios (tipo p), para crear un circuito termoeléctrico eficiente.
- Módulos termoeléctricos: Los materiales n y p se disponen en pares y se conectan eléctricamente en serie y térmicamente en paralelo para aumentar la salida de voltaje.

### **Funcionamiento del TEG**

Aplicación de una diferencia de temperatura: Una fuente de calor y un disipador térmico crean una diferencia de temperatura a través de los materiales termoeléctricos.

- Generación de voltaje: La diferencia de temperatura provoca un flujo de portadores de carga (electrones y agujeros) que genera un voltaje.
- Conversión a energía eléctrica: El voltaje generado se puede utilizar para alimentar dispositivos eléctricos o almacenar en baterías.

### **Propiedades de los Materiales Termoeléctricos:**

#### **Efecto Seebeck:**

El efecto Seebeck es un fenómeno en el cual una diferencia de temperatura entre dos puntos de un material conductor o semiconductor genera una diferencia de voltaje entre esos puntos. Este efecto fue descubierto por Thomas Johann Seebeck en 1821.

#### **Explicación Física del Efecto Seebeck**

- Gradiente de Temperatura: Cuando hay una diferencia de temperatura a lo largo de un material conductor, los electrones en el material en el lado caliente tienen mayor energía y, por tanto, mayor movilidad en comparación con los electrones en el lado frío.

- **Movimiento de Electrones:** Debido a esta diferencia en la movilidad, los electrones tienden a moverse del lado caliente al lado frío del material.
- **Acumulación de Carga:** Este movimiento de electrones genera una acumulación de carga en el lado frío y una deficiencia de carga en el lado caliente, lo que resulta en una diferencia de potencial eléctrico (voltaje) entre los dos extremos del material.

### **Coefficiente Seebeck**

El coeficiente Seebeck (S) es una medida de la magnitud del voltaje generado en respuesta a una diferencia de temperatura y se define como:

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T}$$

donde:

$\Delta V$  es la diferencia de voltaje.

$\Delta T$  es la diferencia de temperatura.

El coeficiente Seebeck se mide en voltios por kelvin (V/K).

### **Importancia del Coeficiente Seebeck**

- **Materiales con alto coeficiente Seebeck:** Son más eficientes en la generación de voltaje a partir de una diferencia de temperatura.
- **Dirección del voltaje:** El signo del coeficiente Seebeck indica la dirección del voltaje generado; un coeficiente positivo significa que el voltaje aumenta en la dirección de la gradiente de temperatura, mientras que un coeficiente negativo indica lo contrario.

### **Efecto Peltier**

El efecto Peltier, descubierto por el físico francés Jean Charles Athanase Peltier en 1834, es un fenómeno termoeléctrico en el que una corriente eléctrica que pasa a través de la unión de dos materiales diferentes provoca una transferencia de calor de un material a otro. Este efecto es inverso al efecto Seebeck, que genera una corriente eléctrica a partir de una diferencia de temperatura.

### **Funcionamiento del Efecto Peltier**

El efecto Peltier se manifiesta en una unión de dos materiales conductores diferentes (denominados materiales tipo p y tipo n en aplicaciones prácticas). Cuando una corriente eléctrica fluye a través de esta unión, los portadores de carga (electrones en el material tipo n y huecos en el material tipo p) transportan calor de una unión a la otra. Dependiendo de la dirección de la corriente, una de las uniones se enfría mientras que la otra se calienta.

El funcionamiento del efecto Peltier se puede describir de la siguiente manera:

- **Aplicación de Corriente:** Se aplica una corriente eléctrica a través de la unión de dos materiales disímiles.
- **Transferencia de Calor:** Los portadores de carga en los materiales (electrones en el material tipo n y huecos en el material tipo p) absorben calor en una unión y lo liberan en la otra.
- **Enfriamiento y Calentamiento:** La unión donde el calor es absorbido se enfría, mientras que la unión donde el calor es liberado se calienta.

La cantidad de calor transferido ( $Q$ ) es proporcional a la corriente ( $I$ ) que pasa a través de la unión y se describe mediante la ecuación:

$$Q = \Pi I t$$

donde

$\Pi$  es el coeficiente Peltier,

$I$  es la corriente y

$t$  es el tiempo.

### **Aplicaciones del Efecto Peltier**

El efecto Peltier tiene diversas aplicaciones debido a su capacidad para proporcionar una transferencia de calor controlada sin partes móviles, lo que lo hace fiable y silencioso. Algunas de sus aplicaciones más comunes incluyen:

- **Refrigeración Termoeléctrica:** Los dispositivos de refrigeración basados en el efecto Peltier se utilizan en aplicaciones donde se requiere una refrigeración precisa y de pequeño tamaño. Ejemplos incluyen refrigeradores portátiles, enfriadores de CPU en computadoras y cámaras CCD en astronomía.
- **Calentadores Termoeléctricos:** Además de la refrigeración, el efecto Peltier también se utiliza para calefacción en aplicaciones específicas donde se necesita un control preciso de la temperatura, como en equipos de laboratorio y de análisis químico.
- **Sistemas de Gestión Térmica en Electrónica:** El efecto Peltier se emplea para mantener la temperatura de componentes electrónicos dentro de un rango operativo seguro, mejorando así la estabilidad y la vida útil de los dispositivos.
- **Sensores de Infrarrojos:** Los detectores de infrarrojos a menudo utilizan el efecto Peltier para enfriar los detectores y mejorar su sensibilidad al reducir el ruido térmico.
- **Aplicaciones Automotrices:** En la industria automotriz, los sistemas de refrigeración termoeléctrica se utilizan para mantener la temperatura en compartimentos específicos, como en asientos climatizados y refrigeradores de automóviles.
- **Equipos Médicos:** Los dispositivos médicos, como las incubadoras portátiles y los sistemas de almacenamiento de muestras biológicas, utilizan el efecto Peltier para mantener condiciones térmicas controladas.
- **Condicionadores de Aire Compactos:** Se están desarrollando unidades de aire acondicionado compactas basadas en el efecto Peltier, especialmente útiles en entornos donde el espacio es limitado y se requiere un control preciso de la temperatura.

### **Análisis del Efecto Peltier**

El efecto Peltier presenta varias ventajas, como la capacidad de controlar la temperatura de manera precisa y rápida, la ausencia de partes móviles (lo que reduce el desgaste y el ruido), y la posibilidad de miniaturización para

aplicaciones en espacios reducidos. Sin embargo, también tiene algunas limitaciones:

- **Eficiencia Baja:** Los dispositivos basados en el efecto Peltier suelen tener una eficiencia energética menor en comparación con los sistemas de refrigeración convencionales como los basados en compresores.
- **Costo:** Los materiales y dispositivos termoeléctricos pueden ser costosos, lo que limita su uso a aplicaciones específicas donde las ventajas superan los costos.
- **Gestión del Calor Residual:** El calor generado en la unión caliente debe ser eficientemente gestionado y disipado, lo que a veces requiere sistemas adicionales de disipación de calor.

### **Teoría sobre el Diseño de un Generador Termoeléctrico**

El diseño de un generador termoeléctrico (TEG) implica una comprensión profunda de los principios termoeléctricos y una integración cuidadosa de materiales y componentes que maximicen la eficiencia de conversión de calor en electricidad. A continuación, se detalla una teoría estructurada sobre cómo diseñar un generador termoeléctrico.

#### **1. Fundamentos Teóricos**

El diseño de un TEG se basa en el efecto Seebeck, que describe la generación de una diferencia de potencial eléctrico cuando existe un gradiente de temperatura a lo largo de un material conductor o semiconductor. La eficiencia de un TEG depende de las propiedades de los materiales utilizados, particularmente su coeficiente Seebeck ( $S$ ), la conductividad eléctrica ( $\sigma$ ), y la conductividad térmica ( $\kappa$ ). La figura de mérito ( $ZT$ ) es una medida adimensional de la eficiencia de un material termoeléctrico y se define como:

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{\kappa}$$

donde

T es la temperatura absoluta. Un alto valor de ZT indica un material con alta eficiencia termoeléctrica.

## **2. Selección de Materiales**

La elección de materiales es crítica en el diseño de TEGs. Los materiales deben tener un alto coeficiente Seebeck, alta conductividad eléctrica, y baja conductividad térmica. Los materiales comúnmente utilizados incluyen:

- Teluro de bismuto: Utilizado para aplicaciones a temperatura ambiente y bajas temperaturas.
- Siliciuro de magnesio: Adecuado para aplicaciones de alta temperatura.
- Nanocompuestos y materiales nanoestructurados: Que presentan mejoras en ZT debido a la reducción de la dispersión de fonones y mejora en la movilidad de los portadores de carga.

## **3. Diseño Estructural**

El diseño estructural de un TEG incluye la configuración de los materiales termoeléctricos en pares tipo n y tipo p, que son esenciales para la generación de electricidad. La configuración comúnmente adoptada es la de una matriz de múltiples pares de materiales tipo n y p conectados en serie eléctricamente y en paralelo térmicamente para maximizar el gradiente de temperatura y la salida de voltaje.

- Matriz de Termopares: Los materiales tipo n y tipo p se alternan en una matriz para formar termopares. Cada unión de termopar se expone a un gradiente de temperatura, generando una diferencia de potencial eléctrico.
- Sustratos y Contactos: Los materiales termoeléctricos se montan sobre sustratos conductores térmicamente aislantes que proporcionan estabilidad mecánica y aseguran un buen contacto eléctrico.
- Disipación de Calor: Las uniones calientes y frías del TEG deben estar conectadas a sistemas eficientes de gestión térmica, como

disipadores de calor y sistemas de refrigeración líquida, para mantener el gradiente de temperatura y maximizar la eficiencia de conversión.

#### **4. Optimización de Parámetros**

La optimización del diseño implica ajustar varios parámetros para maximizar la eficiencia del TEG:

- **Tamaño y Espaciado de los Termopares:** El tamaño de los elementos termoeléctricos y su espaciado influye en la resistencia interna y la capacidad de disipación térmica del TEG.
- **Condiciones de Operación:** La diferencia de temperatura entre las uniones calientes y frías debe ser maximizada dentro de los límites térmicos de los materiales utilizados.
- **Carga Eléctrica:** La carga conectada al TEG debe ser optimizada para que coincida con la resistencia interna del generador, maximizando la transferencia de energía.

#### **5. Prototipado y Pruebas**

El desarrollo de un TEG requiere la creación de prototipos y la realización de pruebas extensivas para validar el diseño teórico. Los prototipos se someten a pruebas de rendimiento bajo diversas condiciones de temperatura y carga. Los parámetros medidos incluyen:

- **Eficiencia de Conversión:** La proporción de energía térmica convertida en energía eléctrica.
- **Salida de Voltaje y Corriente:** La generación de voltaje y corriente bajo diferentes gradientes de temperatura.
- **Durabilidad y Estabilidad:** El rendimiento del TEG bajo ciclos térmicos y condiciones operativas prolongadas.

#### **6. Aplicaciones Prácticas**

Finalmente, el diseño de un TEG debe considerar su aplicación práctica. Las aplicaciones típicas incluyen:

- **Recuperación de Calor Residual:** En procesos industriales y automotrices.



- Generación de Energía en Ambientes Remotos: Donde las fuentes convencionales de energía no son viables.
- Dispositivos Portátiles y Vestibles: Para proporcionar energía a dispositivos electrónicos pequeños.

## II. MATERIALES Y METODOS

### 2.1. Tipo de investigación

Por el fin, aplicada porque utiliza la teoría de sistemas termoeléctricos para obtener un sistema de refrigeración.

Por el diseño, el diseño es experimental ya que se manipula las variables de entrada como es la máxima demanda eléctrica y la de salida es las dimensiones del generador. (Hernández Sampieri, 2014)



*Figura 1 Caja negra de variables*

### 2.2. Población y muestra

#### 2.2.1. Población

Generadores de energía

#### 2.2.2. Criterios de inclusión

Generadores termoeléctricos.

#### 2.2.3. Criterios de exclusión

Generadores de otra fuente.

#### 2.2.4. Muestra

Un generador termoeléctrico.

#### 2.2.5. Muestreo

La selección de la muestra es dirigida ya que no se basa en análisis estadístico

#### 2.2.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

##### **Técnicas e instrumentos de Recolección de Datos:**

Para la recolección de datos se trabajó con la observación directa, en el cual se tomó la medición de los consumos que tendría una habitación de una casa típica para un estudiante. Para esta técnica se utilizó la ficha de registro se visualiza en la Tabla 1.

*Tabla 1 Ficha de registro para recolección de datos de consumo*

<b>Equipo</b>	<b>Consumo Unitario (W)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Consumo Total (W)</b>
<b>TOTAL</b>			

Como segunda técnica se utilizó la encuesta para la cual el instrumento fue el cuestionario de 10 preguntas sobre requerimientos de los usuarios.

Tabla 2 Cuestionario para recolección de datos

<b>Cuestionario</b>
¿Ha utilizado alguna vez un generador termoeléctrico? Si es así, ¿puede describir su experiencia?
¿Para qué aplicaciones principales usaría un generador termoeléctrico?
¿Qué tan importante es para usted que el generador termoeléctrico sea portátil? ¿Cuál sería el peso máximo que le resultaría cómodo transportar?
¿Cuáles son las características que considera imprescindibles para que el generador sea fácil de usar?
¿Qué nivel de eficiencia espera de un generador termoeléctrico? ¿Cuánto tiempo debería poder funcionar con una diferencia de temperatura establecida?
¿Qué aspectos del diseño físico del generador son importantes para usted?
¿Cuán importante es la durabilidad del generador para usted? ¿En qué condiciones ambientales esperaría utilizarlo?
¿Cuáles son sus preocupaciones en términos de seguridad al usar un generador termoeléctrico?
¿Qué rango de precio considera razonable para un generador termoeléctrico con las características que ha descrito?
¿Qué innovaciones le gustaría ver en futuros generadores termoeléctricos? ¿Qué tan importante es para usted que el generador sea ecológico y sostenible?

### 2.2.7. Procedimiento

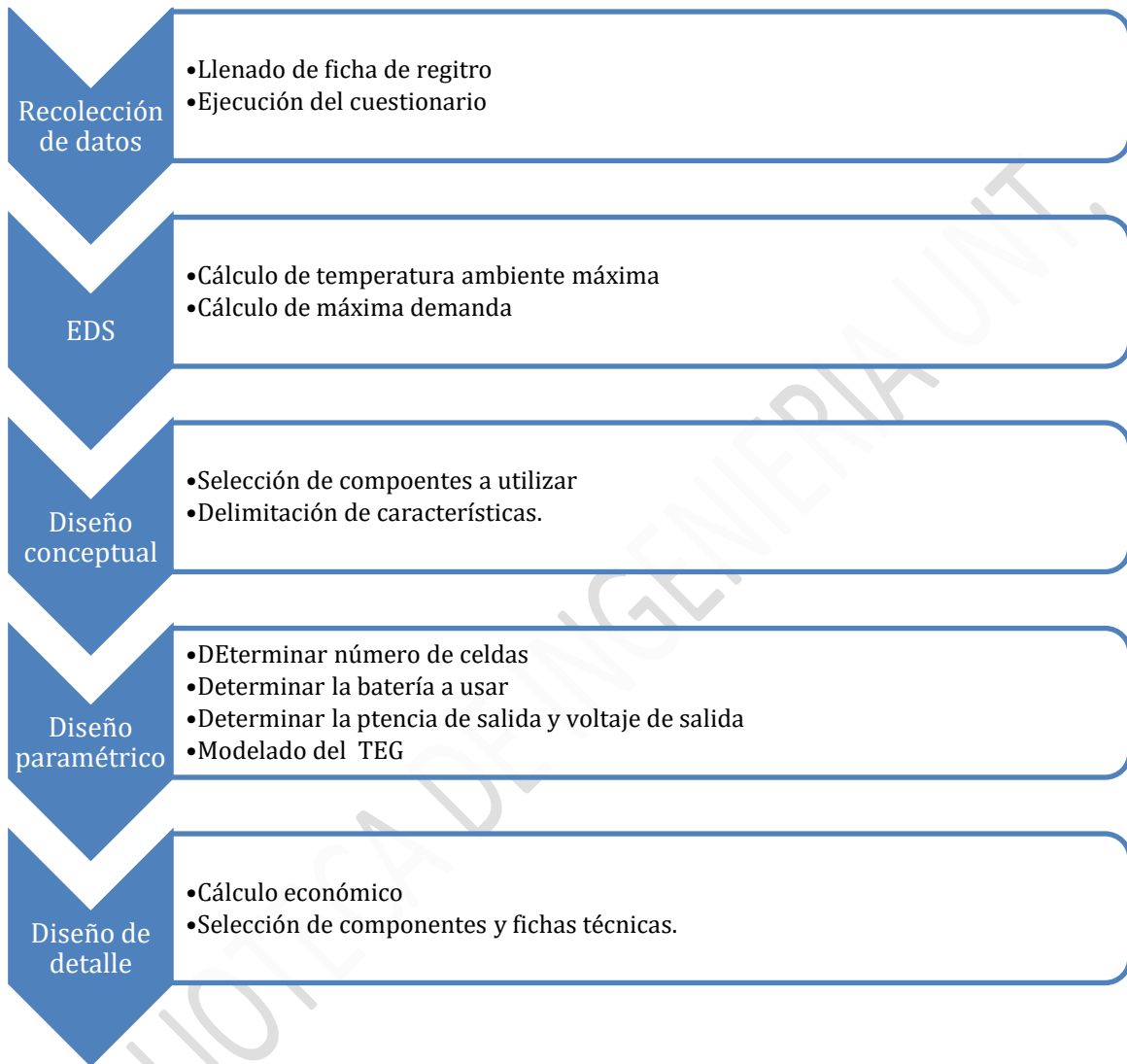


Figura 2 Procedimiento de trabajo

### III. RESULTADOS

#### 3.1. Datos de entrada

De las encuestas realizadas se han obtenido los siguientes resultados

*Tabla 3 Resultados experiencia de uso*

<b>Experiencia</b>	<b>Número de encuestados</b>
Sí	8
No	12

*Tabla 4 Resultados aplicaciones principales*

<b>Aplicación</b>	<b>Número de encuestados</b>
Cargar dispositivos móviles	10
Alimentar sensores remotos	5
Uso en acampadas/supervivencia	3
Otros	2

*Tabla 5 Resultados importancia de la portabilidad*

<b>Importancia</b>	<b>Número de encuestados</b>
Muy importante	12
Moderadamente importante	5
Poco importante	3

*Tabla 6 Resultados facilidad de uso*

<b>Característica</b>	<b>Número de encuestados</b>
Indicadores de estado	8
Facilidad de conexión	7
Instrucciones claras	5

*Tabla 7 Resultados expectativas de eficiencia*

<b>Eficiencia Esperada</b>	<b>Número de encuestados</b>
Alta (80-100%)	10
Moderada (50-80%)	8
Baja (menos de 50%)	2

Tabla 8 Resultados aspectos del diseño físico

<b>Aspecto</b>	<b>Número de encuestados</b>
Tamaño compacto	9
Forma ergonómica	6
Color atractivo	3
Materiales duraderos	2

Tabla 9 Resultados importancia de la durabilidad

<b>Importancia</b>	<b>Número de encuestados</b>
Muy importante	14
Moderadamente importante	4
Poco importante	2

Tabla 10 Resultados sobre seguridad

<b>Preocupación</b>	<b>Número de encuestados</b>
Protección contra sobrecalentamiento	10
Aislamiento eléctrico	6
Otros	4

Tabla 11 Resultados sobre precio

<b>Rango de Precio (USD)</b>	<b>Número de encuestados</b>
Menos de 50	4
50-100	10
Más de 100	6

Tabla 12 Resultados sobre innovación

<b>Importancia</b>	<b>Número de encuestados</b>
Muy importante	13
Moderadamente importante	5
Poco importante	2

### 3.2. Condiciones de funcionamiento

Para el diseño propuesto, se tomarán dos ambientes con temperaturas muy opuestas para poder analizar la capacidad de nuestros sistemas a distintas consideraciones de funcionamiento.

En primer lugar, se tomará el caso de una ciudad de La Libertad con altas temperaturas, para esto se ha considerado a Chepén donde según la Figura 2 podemos verificar que el mayor valor de la temperatura en el año 2023 fue de 33° C en días calurosos y la mínima es de 16°C en días frescos.

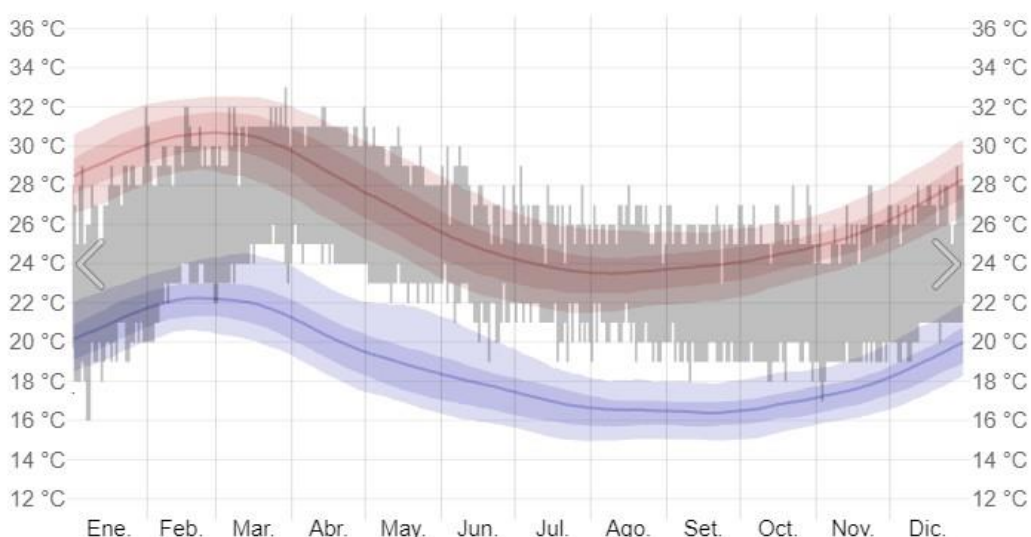


Figura 3 Histograma de temperatura en Chepén en el año 2023

Así mismo, considerando la habitación de un estudiante Universitario, que considerando las dimensiones de la habitación de 3 m x 4 m dando un total de 12 m<sup>2</sup>.

Para el consumo se podría considerar lo mencionado de la Tabla 1.

Tabla 13 Consumo eléctrico de habitación en Chepén

Equipo	Consumo Unitario (W)	Cantidad	Consumo Total (W)
Luminaria	5	01	5
Laptop	15	01	15
Módem	10	01	10
<b>TOTAL</b>			<b>30</b>

En segundo lugar, se tomará el caso de una ciudad de La Libertad con bajas temperaturas, para esto se ha considerado a Angasmarca donde según la Figura 3 podemos verificar que el mayor valor de la temperatura en el año 2023 fue de 15° C en los días calurosos y el mínimo es de 2° C en los días más fríos.

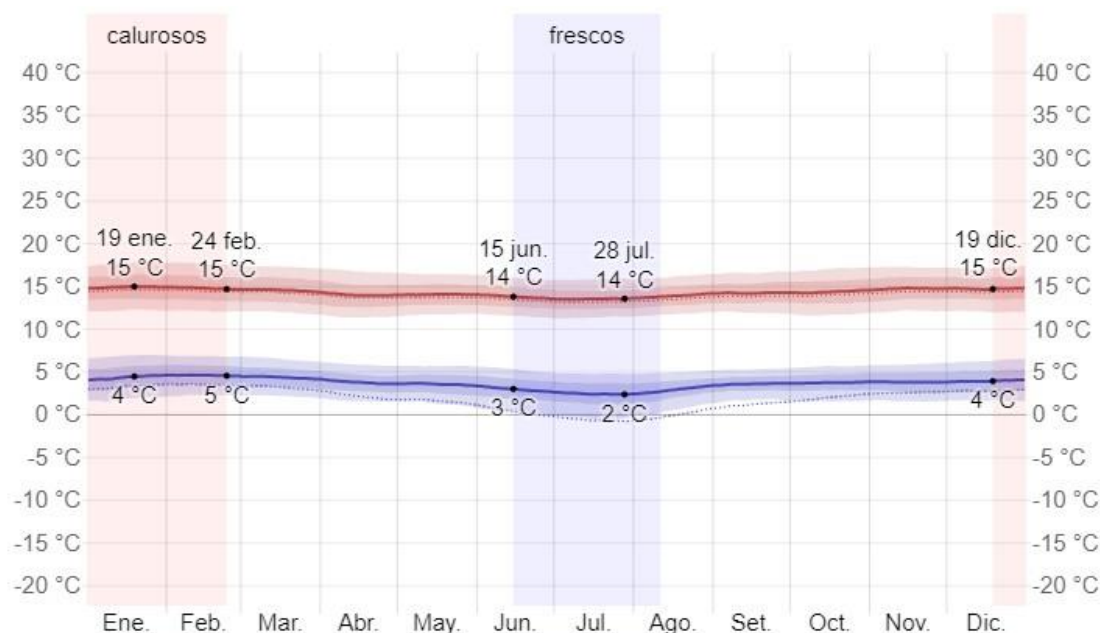


Figura 4 Histograma de temperatura en Angasmarca en el año 2023

Así mismo, considerando la habitación de un estudiante Universitario, que considerando las dimensiones de la habitación de 3 m x 4 m dando un total de 12 m<sup>2</sup>.

Para el consumo se podría considerar lo mencionado de la Tabla 2.

Tabla 14 Consumo eléctrico de habitación en Angasmarca

Equipo	Consumo Unitario (W)	Cantidad	Consumo Total (W)
Luminaria	5	01	5
Laptop	15	01	15
Módem	10	01	10
<b>TOTAL</b>			<b>30</b>



### 3.3. Selección de materiales

#### 3.3.1. Celdas Peltier

Una celda Peltier, como la TEC1-12706, es un dispositivo termoeléctrico que puede generar energía eléctrica a partir de diferencias de temperatura. Este tipo de celdas se utilizan en generadores termoeléctricos por varias razones:

- **Eficiencia:** Las celdas Peltier son relativamente eficientes en la conversión de calor en electricidad en comparación con otras tecnologías de generación de energía termoeléctrica.
- **Tamaño y peso:** Las celdas Peltier son compactas y ligeras, lo que las hace adecuadas para aplicaciones donde el espacio y el peso son limitados, como en generadores portátiles o dispositivos electrónicos compactos.
- **Fiabilidad:** Las celdas Peltier no tienen partes móviles, lo que las hace más confiables y menos propensas a fallas mecánicas en comparación con otros tipos de generadores termoeléctricos.
- **Facilidad de control:** Las celdas Peltier son fáciles de controlar y pueden funcionar en condiciones variables de temperatura y carga eléctrica.
- **Costo:** En comparación con otras tecnologías termoeléctricas, las celdas Peltier tienden a ser más económicas, lo que las hace atractivas para aplicaciones donde se requiere una generación de energía económica.

La TEC1-12706 en particular es una opción común debido a su capacidad para manejar una cantidad adecuada de calor y generar una cantidad significativa de electricidad, lo que la hace adecuada para una variedad de aplicaciones de generación de energía termoeléctrica.

En los anexos podemos revisar las propiedades de la Celda Peltier.

### **3.3.2. Disipador de calor**

Un disipador de calor en un generador termoeléctrico tiene la función principal de mantener una temperatura óptima para el funcionamiento eficiente del dispositivo. En un generador termoeléctrico, la conversión de calor en electricidad genera inevitablemente calor adicional como subproducto. Este calor puede acumularse y afectar negativamente el rendimiento del generador si no se disipa adecuadamente.

El disipador de calor ayuda a eliminar este exceso de calor, permitiendo que el generador opere a temperaturas más estables y seguras. Al disipar el calor de manera efectiva, se previene el sobrecalentamiento, lo que puede prolongar la vida útil del generador y garantizar un rendimiento consistente a lo largo del tiempo.

En cuanto al criterio de selección para el uso de un disipador de aluminio, este material es comúnmente preferido debido a varias razones:

- **Conductividad térmica:** El aluminio es un excelente conductor térmico, lo que significa que puede transferir el calor de manera eficiente desde el generador hacia el entorno circundante. Esto ayuda a mantener bajas las temperaturas internas del generador.

- **Ligereza:** El aluminio es un material ligero, lo que facilita su manipulación y montaje en el generador sin agregar una carga significativa al sistema.
- **Costo-eficiencia:** El aluminio es relativamente económico en comparación con otros metales con buenas propiedades de conducción térmica, lo que lo hace una opción rentable para aplicaciones de disipadores de calor.
- **Disponibilidad y facilidad de fabricación:** El aluminio es ampliamente disponible y se puede fabricar fácilmente en una variedad de formas y tamaños, lo que lo hace adecuado para adaptarse a diferentes diseños y requisitos de generadores termoeléctricos

### **3.3.3. Pasta térmica**

La pasta térmica se utiliza en la unión de celdas Peltier en generadores termoeléctricos para mejorar la transferencia de calor entre las celdas y los disipadores de calor. Estas celdas Peltier son dispositivos semiconductores que generan diferencias de temperatura cuando se les aplica una corriente eléctrica, y se utilizan en generadores termoeléctricos para aprovechar el efecto Seebeck y convertir diferencias de temperatura en energía eléctrica.

La pasta térmica actúa como un material conductor que llena las pequeñas brechas y micro irregularidades entre la superficie de las celdas Peltier y los disipadores de calor. Al hacerlo, mejora significativamente la transferencia de calor entre estas superficies, lo que resulta en una disipación más eficiente del calor generado por el funcionamiento de las celdas Peltier. Esto ayuda a mantener una temperatura más estable en el generador termoeléctrico y a maximizar su eficiencia energética.

Para elegir la pasta térmica adecuada, es importante considerar varias características:

- **Conductividad térmica:** La pasta térmica debe tener una alta conductividad térmica para garantizar una transferencia eficiente de calor. Esto asegurará que el calor se disipe adecuadamente desde las celdas Peltier hacia los disipadores de calor.
- **Estabilidad a altas temperaturas:** La pasta térmica debe ser capaz de soportar las temperaturas operativas del generador termoeléctrico sin degradarse. Esto es crucial para mantener un rendimiento consistente a lo largo del tiempo.
- **No conductividad eléctrica:** La pasta térmica no debe ser conductora de electricidad para evitar cortocircuitos entre las celdas Peltier y los disipadores de calor.
- **Facilidad de aplicación:** Una pasta térmica fácil de aplicar facilitará el proceso de montaje de las celdas Peltier en el generador termoeléctrico.

Dada estas consideraciones, una pasta térmica de óxido de zinc o de plata sería una opción adecuada. Ambos materiales ofrecen una excelente conductividad térmica y estabilidad a altas temperaturas. Además, son no conductores eléctricos, lo que garantiza la seguridad en el montaje de las celdas Peltier. En resumen, una pasta térmica de óxido de zinc o de plata sería una elección confiable y eficiente para usar en la unión de celdas Peltier en generadores termoeléctricos.

### 3.3.4. Reguladores de carga

Los reguladores de carga son componentes esenciales en generadores basados en celdas Peltier, ya que ayudan a controlar y optimizar el proceso de carga de las baterías o dispositivos conectados a estos generadores. Dado que los generadores termoeléctricos basados en celdas Peltier pueden producir una corriente eléctrica variable dependiendo de las diferencias de temperatura aplicadas, los reguladores de carga son necesarios para garantizar una carga segura y eficiente de las baterías o dispositivos conectados.

Los reguladores de carga cumplen varias funciones importantes:

- **Protección de las baterías:** Los reguladores de carga evitan que las baterías se sobrecarguen o se descarguen excesivamente, lo que puede dañarlas y reducir su vida útil. Controlan el flujo de corriente hacia las baterías para mantenerlas dentro de los límites seguros de voltaje y corriente.
- **Optimización de la eficiencia energética:** Los reguladores de carga pueden ajustar la corriente de carga según las necesidades de las baterías o dispositivos conectados, maximizando así la eficiencia energética del sistema y aprovechando al máximo la energía generada por las celdas Peltier.
- **Prevención de inversión de corriente:** Algunos reguladores de carga están diseñados para evitar que la corriente fluya de regreso hacia las celdas Peltier durante períodos de baja diferencia de temperatura, lo que podría dañar las celdas y reducir su vida útil.

- Monitorización y control: Los reguladores de carga a menudo incluyen funciones de monitoreo y control que permiten a los usuarios supervisar el estado de carga de las baterías, ajustar los parámetros de carga según sea necesario y recibir alertas sobre condiciones de funcionamiento anormales.

Dada la naturaleza variable de la corriente producida por las celdas Peltier, sería apropiado utilizar un regulador de carga MPPT (Maximum Power Point Tracking, Seguimiento del Punto de Máxima Potencia). Los reguladores de carga MPPT son especialmente eficientes en entornos donde la potencia generada varía significativamente, como en generadores termoeléctricos basados en celdas Peltier. Estos reguladores pueden ajustar continuamente la corriente de carga para maximizar la potencia entregada a las baterías o dispositivos conectados, asegurando así una carga óptima y eficiente, incluso en condiciones de cambio de temperatura. Además, los reguladores de carga MPPT suelen ser más eficientes que otros tipos de reguladores de carga, lo que los convierte en una opción ideal para maximizar el rendimiento de un generador termoeléctrico basado en celdas Peltier.

### **3.3.5. Baterías e Inversor**

Las baterías y los inversores son componentes esenciales en un generador basado en celdas Peltier, ya que ayudan a almacenar y utilizar la energía generada de manera eficiente y compatible con dispositivos electrónicos estándar. Aquí se explica su función y la elección de tipo de batería e inversor:

Las baterías en un generador termoeléctrico basado en celdas Peltier se utilizan para almacenar la energía eléctrica generada por

las diferencias de temperatura. Esto permite que la energía esté disponible para su uso cuando no hay una diferencia de temperatura suficiente para generar electricidad de manera directa.

Para un generador basado en celdas Peltier, una opción adecuada de batería sería una batería recargable de iones de litio (Li-ion). Las baterías de iones de litio ofrecen una alta densidad de energía, lo que significa que pueden almacenar una gran cantidad de energía en un espacio relativamente pequeño, lo que es beneficioso para aplicaciones portátiles. Además, las baterías de iones de litio tienen una baja tasa de autodescarga, lo que significa que pueden retener la energía almacenada durante períodos prolongados sin perder mucha carga. Esto las hace ideales para su uso en generadores termoeléctricos donde la energía se almacena para su uso futuro.

El inversor convierte la energía eléctrica almacenada en las baterías en corriente alterna (CA) que es compatible con la mayoría de los dispositivos eléctricos y electrónicos. Esto permite utilizar la energía almacenada para alimentar dispositivos estándar que funcionan con corriente alterna, como electrodomésticos, dispositivos electrónicos, y herramientas eléctricas.

Para el inversor, se recomendaría utilizar un inversor de onda sinusoidal pura. Este tipo de inversor produce una forma de onda de salida que es idéntica a la forma de onda de la corriente alterna proporcionada por las compañías eléctricas. Esto garantiza una alimentación de energía limpia y estable a los dispositivos conectados, lo que es crucial para la operación segura y eficiente de equipos sensibles y electrónicos. Además, los inversores de onda sinusoidal pura son compatibles con una amplia gama de dispositivos, incluidos aquellos con requerimientos de energía más exigentes.

En resumen, utilizaría una batería recargable de iones de litio junto con un inversor de onda sinusoidal pura en un generador basado en celdas Peltier. Esto proporcionaría una solución eficiente y confiable para almacenar y utilizar la energía generada por el sistema de manera compatible con una variedad de dispositivos electrónicos

### 3.4.Simulación del sistema termoelectrico

Para realizar el diseño del sistema termoelectrico se utilizó el software Simulink para poder simular las diversas configuraciones de celdas Peltier con las que se obtendría la potencia requerida conforme a nuestro sistema, tal como se visualiza en la Figura 4

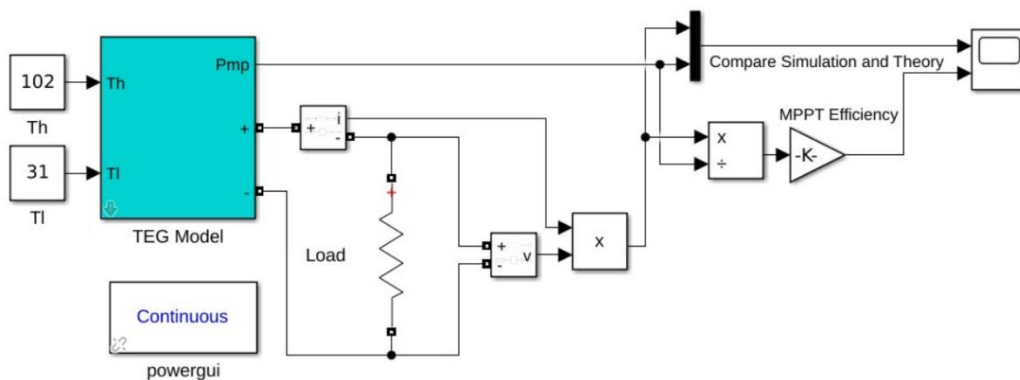


Figura 5 Modelo de simulación de Generador termoelectrico

El módulo "TEG" está configurado para que sea ingresado tanto los valores eléctricos de la celda como los valores de temperatura de los lados caliente y frío de ella, tal como se visualiza en la Figura 5.



TEC1-12706

**Performance Specifications**

Hot Side Temperature (° C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (° C)	66	75
I <sub>max</sub> (Amps)	6.4	6.4
V <sub>max</sub> (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30

Block Parameters: TEG Model

TEG Model

A simplified TEG model without heat energy modelling

Parameters

Seebeck Coefficient Per Unit, St<sub>eg\_u</sub> (V/oC)

Internal Resistance Per Unit, R<sub>int\_u</sub> (ohm)

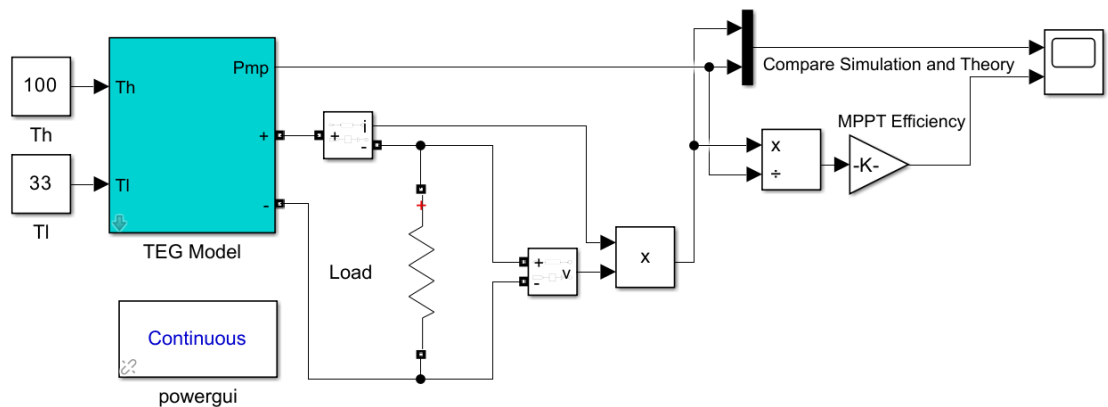
Number of Unit in Series, N<sub>s</sub>

Number of Unit in Parallel

*Figura 6 Inserción de datos para el TEG*

En primer lugar, se analizará el diseño para un generador para el distrito de Chepén, donde la temperatura ambiente es 33° C y la potencia requerida es de 30 W.

Para poder llegar a estas condiciones se tomará en cuenta la siguiente configuración según la Figura 6 y 7.



*Figura 7 Simulación del TEG para condiciones de Chepén*

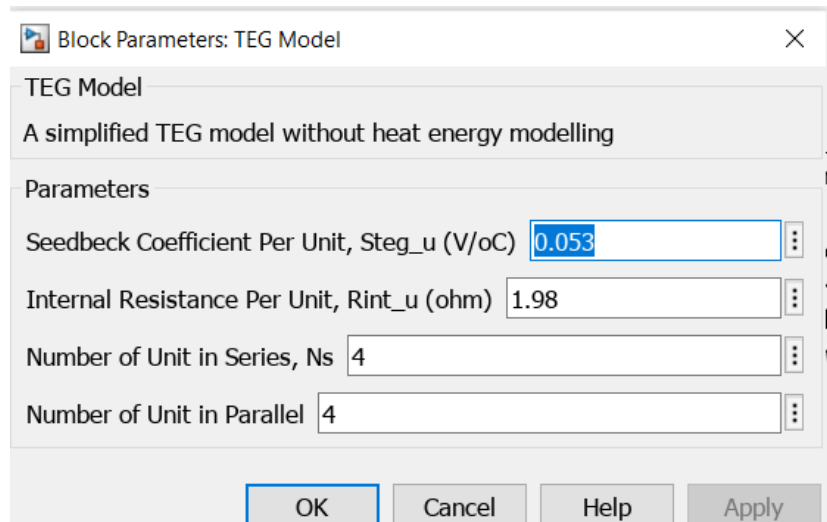


Figura 8 Parámetros de funcionamiento del TEG en Chapén

Después de un proceso iterativo se obtuvo que la mejor configuración de 4 celdas en serie y 4 en paralelo.

Los valores del coeficiente de Seedbeck y de la resistencia interna fueron obtenidos del Anexo 01.

En el caso de la figura 8 podemos observar que los mayores valores de corriente se dan cuando el voltaje es mínimo. Así mismo, en la figura 9 se puede observar que el valor de potencia requerido se satisface con una temperatura en el lado caliente de  $80^{\circ}\text{C}$ , que nos da un valor de 36 W a un voltaje de trabajo de 8.5 V.

Con los datos anteriores podemos obtener que la corriente de trabajo es 4.3 A, siendo ambos valores menores a los valores máximos de voltaje y corriente eléctrica.

Finalmente, la potencia en la celda es el producto del voltaje por la corriente lo que nos da un valor 36.55 W, que es menor que la potencia máxima de la celda.

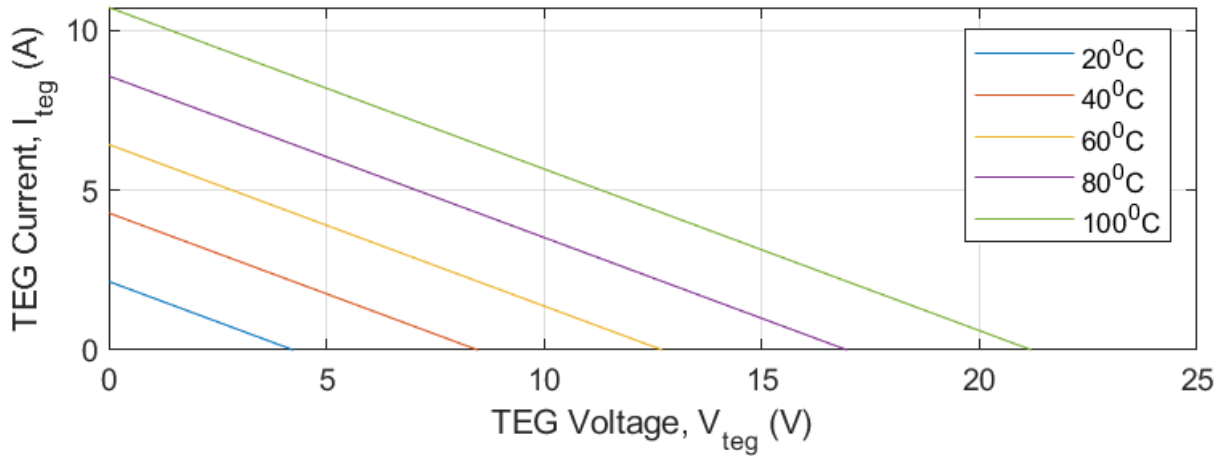


Figura 9 Gráfica de corriente en función de voltaje

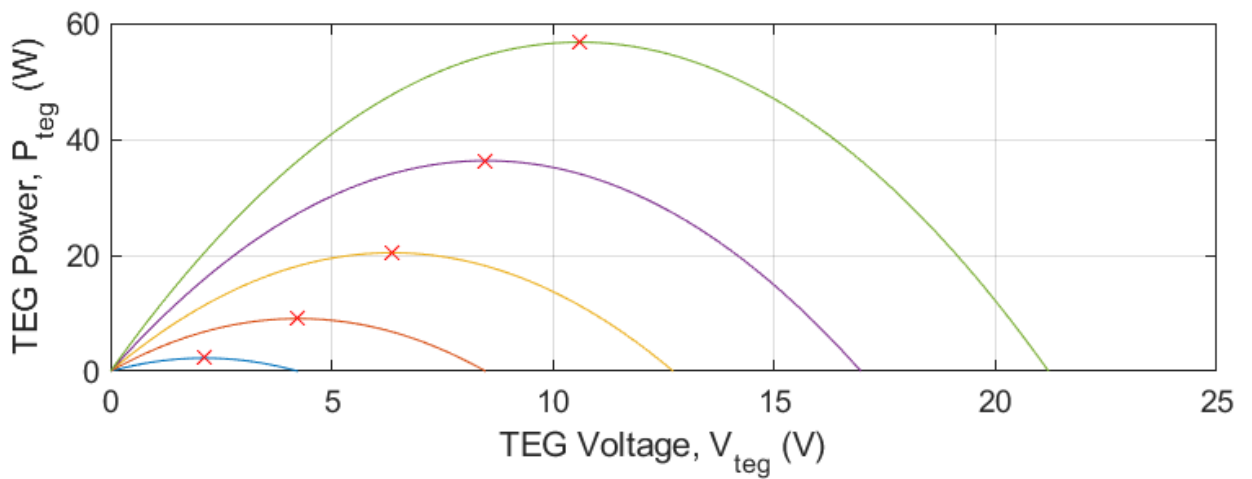


Figura 10 Gráfica de Potencia en función del Voltaje

En segundo lugar, se analizará el diseño para un generador para el distrito de Angamarca, donde la temperatura ambiente es 15° C y la potencia requerida es de 30 W.

Para poder llegar a estas condiciones se tomará en cuenta la siguiente configuración según la Figura 10 y 11.

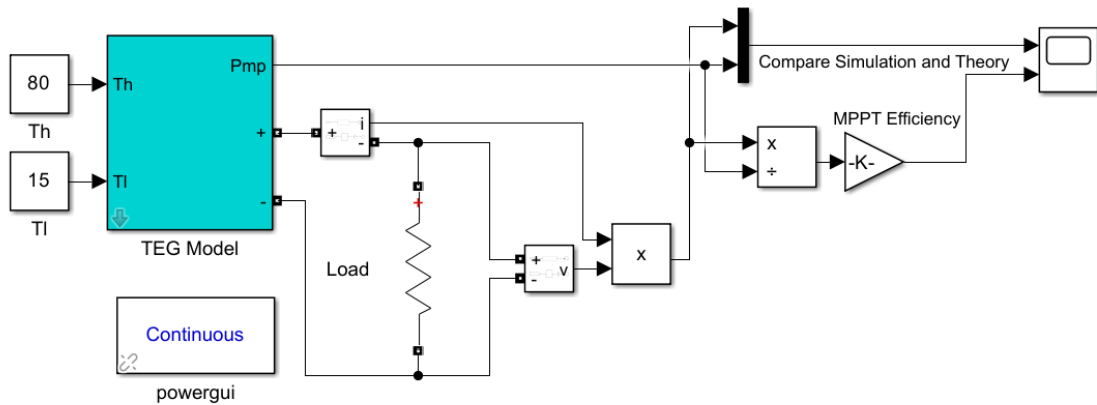


Figura 11 Simulación del TEG para condiciones de Angasmarca

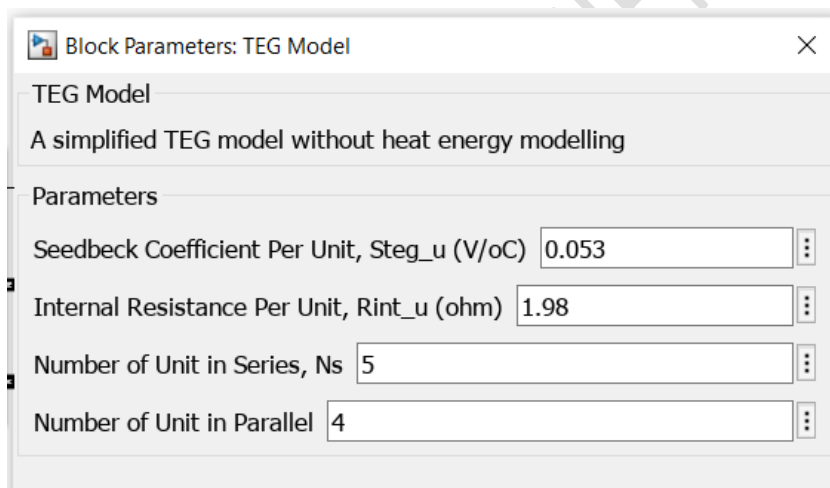


Figura 12 Parámetros de funcionamiento del TEG en Angasmarca.

Después de un proceso iterativo se obtuvo que la mejor configuración de 5 celdas en serie y 4 en paralelo.

Los valores del coeficiente de Seedbeck y de la resistencia interna fueron obtenidos del Anexo 01.

En el caso de la figura 12 podemos observar que los mayores valores de corriente se dan cuando el voltaje es mínimo. Así mismo, en la figura 9 se puede observar que el valor de potencia requerido se satisface con una temperatura en el lado caliente de  $80^{\circ}\text{C}$ , que nos da un valor de 45 W a un voltaje de trabajo de 10.5 V.

Con los datos anteriores podemos obtener que la corriente de trabajo es 4.3 A, siendo ambos valores menores a los valores máximos de voltaje y corriente eléctrica.

Finalmente, la potencia en la celda es el producto del voltaje por la corriente lo que nos da un valor 45.15 W, que es menor que la potencia máxima de la celda.

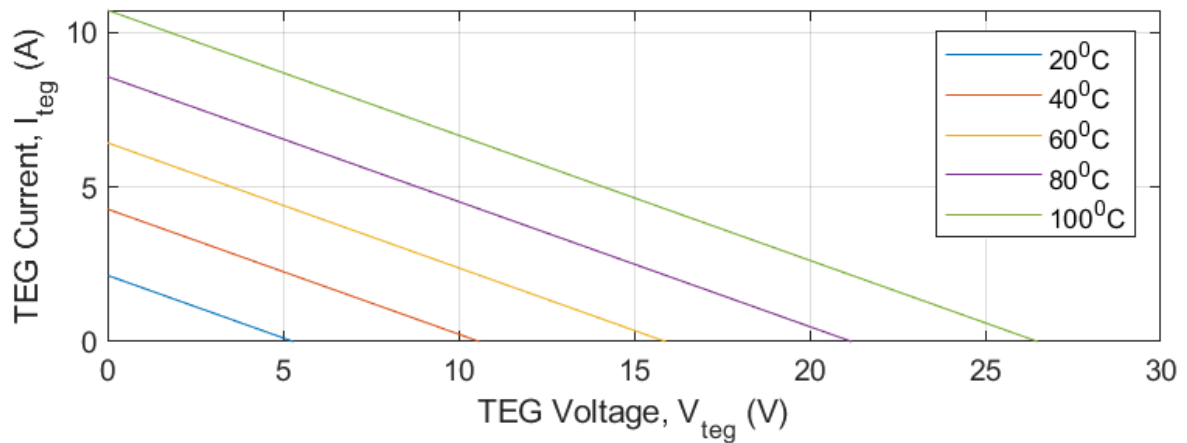


Figura 13 Gráfica de corriente en función de voltaje

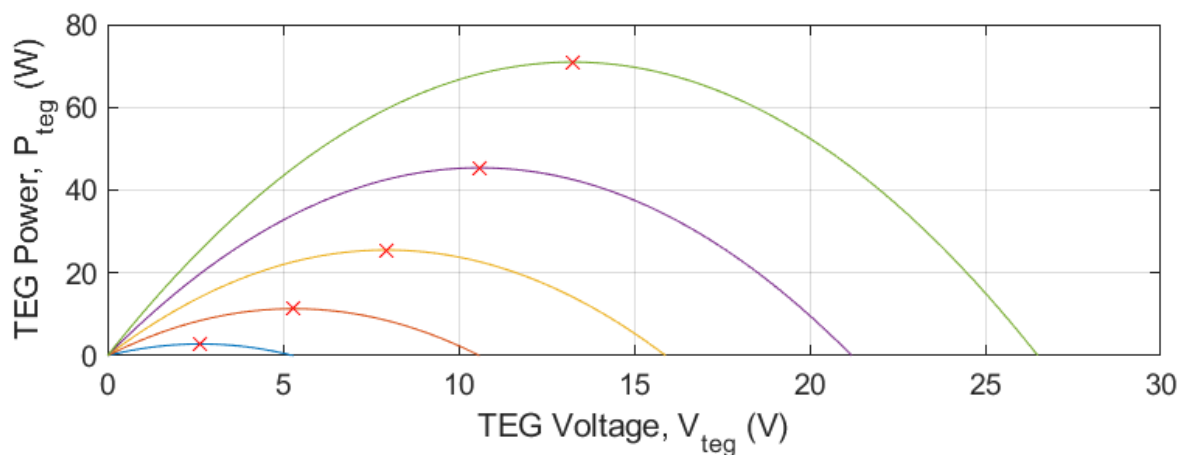


Figura 14 Gráfica de corriente en función de voltaje

Para seleccionar la batería necesitamos el consumo en kWh, por lo que se calculó de la siguiente forma:

$$\text{Potencia del generador} = \frac{40 \text{ W} \times 12 \text{ horas}}{1000} = 0.48 \text{ kWh}$$

Para el cálculo de la batería se consideró una autonomía de medio día, por lo que se obtuvo un consumo de 0.24 kWh y para obtener el tipo de batería se dividió entre el voltaje:

$$\text{Consumo} = \frac{240 \text{ Wh}}{12 \text{ V}} = 20 \text{ Ah}$$

Por la continuidad se recomendó una batería tipo Batería AGM 12V 20Ah Tensite de 12 V y 20 Ah.

Finalmente, para que pueda ser utilizada en la vivienda se debe instalar un inversor de 12 VDC/220 VAC y que pueda alimentar la máxima demanda que es 40 W.

Finalmente, se realizó el cálculo de los costos de fabricación en costos directos.

Tabla 15 Tabla de costos de fabricación del TEG

ÍTEM	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
Celdas Peltier	20	S/24.00	S/480.00
Inversor	1	S/ 575.00	S/ 575.00
Disipador	1	S/400.00	S/400.00
Estructura	1	S/500.00	S/500.00
Batería	2	S/400.00	S/300.00
<b>TOTAL</b>			<b>S/2,255.00</b>

#### **IV. CONCLUSIONES**

- Se demostró la viabilidad técnica y económica del generador termoeléctrico como una opción efectiva para la generación de energía en determinadas aplicaciones, especialmente en entornos remotos o de difícil acceso a fuentes convencionales de energía.
- Se comprobó que el diseño propuesto logra una eficiencia energética aceptable, utilizando materiales y configuraciones adecuadas para maximizar la conversión de calor en electricidad, contribuyendo así a la sostenibilidad energética.
- El generador termoeléctrico diseñado mostró capacidad de adaptación a diferentes condiciones ambientales y de operación, lo cual lo hace versátil y aplicable en una amplia gama de situaciones.
- Se concluyó que el generador termoeléctrico tiene un impacto ambiental menor en comparación con otras fuentes de energía convencionales, al ser una tecnología limpia que no emite gases ni residuos durante su funcionamiento.
- Perspectivas de Mejora: A pesar de los logros alcanzados, se identificaron áreas de mejora como la optimización de materiales termoeléctricos y la implementación de técnicas avanzadas de gestión térmica, que podrían incrementar aún más la eficiencia y rendimiento del generador.

## **V. RECOMENDACIONES**

- **Investigación Continua:** Continuar con la investigación en nuevos materiales termoeléctricos y tecnologías emergentes que puedan mejorar la eficiencia y reducir los costos del generador termoeléctrico.
- **Optimización del Diseño:** Realizar estudios de simulación y pruebas experimentales para optimizar el diseño del generador, considerando aspectos como la geometría de los elementos termoeléctricos y la configuración del sistema de gestión térmica.
- **Integración de Tecnologías Complementarias:** Evaluar la integración del generador termoeléctrico con otras tecnologías renovables o sistemas de almacenamiento de energía para maximizar su eficiencia y estabilidad operativa.
- **Validación en Campo:** Realizar pruebas piloto y validaciones en condiciones reales de operación para verificar el desempeño del generador termoeléctrico en diferentes entornos y escenarios de uso.
- **Consideraciones Económicas y Regulatorias:** Evaluar el impacto económico y las regulaciones locales relacionadas con la implementación del generador termoeléctrico, asegurando que el costo-beneficio sea favorable y cumpliendo con las normativas vigentes.



## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-RAWI, M., 2021. The thermal comfort sweet-spot: A case study in a residential house in Waikato, New Zealand. *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 28. ISSN 2214157X. DOI 10.1016/j.csite.2021.101530.
- BEERI, O., ROTEM, O., HAZAN, E., KATZ, E.A., BRAUN, A. y GELBSTEIN, Y., 2015. Hybrid photovoltaic-thermoelectric system for concentrated solar energy conversion: Experimental realization and modeling. *Journal of Applied Physics*, vol. 118, no. 11. ISSN 10897550. DOI 10.1063/1.4931428.
- BENAVIDES PADILLA, D.J., JURADO, F. y GONZÁLEZ, L.G., 2018. Data analysis and tools applied to modeling and simulation of a PV system in Ecuador. *Enfoque UTE*, vol. 9, no. 4. ISSN 1390-9363. DOI 10.29019/enfoqueute.v9n4.389.
- CANNISTRARO, M. y TRANCOSI, M., 2019. Enhancement of indoor comfort in the presence of large glazed radiant surfaces by a local heat pump system based on Peltier cells. *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 14. ISSN 24519049. DOI 10.1016/j.tsep.2019.100388.
- CHÁVEZ, J.M., ESPEJEL-BLANCO, D.F., HERNÁNDEZ-AGUIRRE, F.A. y RASCÓN-BARCELÓ, L.E., 2019. Generador de Agua mediante el uso de Celdas Peltier y Energía Solar. *Revista de Ingeniería Innovativa*, pp. 22-28. DOI 10.35429/joie.2019.11.3.22.28.
- CHENG, F., 2016. Calculation Methods for Thermoelectric Generator Performance. *Thermoelectrics for Power Generation - A Look at Trends in the Technology*. S.l.: s.n.,
- COELHO, F., 2020. Metodología de la investigación. *Significados.com*, no. September.
- D'AGOSTINO, D., LANDOLFI, R., NICOLELLA, M. y MINICHIELLO, F., 2022. Experimental Study on the Performance Decay of Thermal Insulation and Related Influence on Heating Energy Consumption in Buildings. *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 5. ISSN 20711050. DOI 10.3390/su14052947.
- DE MEY, G., KOS, A. y GÓRECKI, K., 2022. Optimal Temperature Regulation of Integrated Circuits with Peltier Heat Pumps. *Energies*, vol. 15, no. 3. ISSN 19961073. DOI 10.3390/en15031125.

- EGGERT, R., 2005. *Engineering Design*. 2. S.l.: s.n.
- FINOCCHIARO, L., GEORGES, L. y HESTNES, A.G., 2016. Passive solar space heating. *Advances in Solar Heating and Cooling*. S.l.: s.n.,
- FREIRE, L.O., NAVARRETE, L.M., CORRALES, B.P. y CASTILLO, J.N., 2021. Efficiency in thermoelectric generators based on Peltier cells. *Energy Reports*, vol. 7, pp. 355-361. ISSN 23524847. DOI 10.1016/j.egy.2021.08.099.
- HAIPOUR, A., 2020. Sistema de energía solar para calefacción y suministro de agua caliente doméstica con bomba de calor conectada en términos de ventilación fotovoltaica. *Dilemas contemporáneos: Educación, Política y Valores*, DOI 10.46377/dilemas.v33i1.2201.
- HERNÁNDEZ MENDOZA, S.L. y SAMPERIO MONROY, T.I., 2018. Enfoques de la Investigación. *Boletín Científico de las Ciencias Económico Administrativas del ICEA*, vol. 7, no. 13. DOI 10.29057/icea.v7i13.3519.
- IBÁÑEZ-PUY, E., MARTÍN-GÓMEZ, C., BERMEJO-BUSTO, J. y ZUAZUARIOS, A., 2018. Thermal and energy performance assessment of a thermoelectric heat pump integrated in an adiabatic box. *Applied Energy*, vol. 228. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2018.06.097.
- IVAYLO BELOVSKI, LILIYA STANEVA, ANATOLIY ALEKSANDROV y PAVLIK RAHNEV, 2017. Mathematical Model of Thermoelectric Peltier Module. *Journal of Communication and Computer*, vol. 14, no. 2. ISSN 15487709. DOI 10.17265/1548-7709/2017.02.002.
- JOGA, V.S., NATH, S.R., KUMAR, K.R., KUMAR, G.P. y SIMON, J., 2019. Design and Simulation of Thermoelectric Heat Pump. . S.l.: s.n.,
- JUTGLAR BANYERAS, L.V.L.M.M.B.A.L., 2015. *Manual de Aire Acondicionado de Carrier*. S.l.: Marcombo.
- KHAMIL, K.N., YUSOP, A.M., MOHAMED, R., SENSOR, A., CONTROL, E. y TEKNIKAL, U., 2020. Modelling and Simulation of the Performance Analysis for Peltier Module and Seebeck Module using MATLAB/Simulink. *Jurnal Kejuruteraan*, vol. 32, no. 2. ISSN 0128-0198.
- KHANLARI, A., SÖZEN, A., AFSHARI, F., ŞIRIN, C., TUNCER, A.D. y GUNGOR, A., 2020. Drying municipal sewage sludge with v-groove triple-pass and quadruple-pass solar air heaters along with testing of a solar absorber drying

chamber. *Science of the Total Environment*, vol. 709. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.136198.

KHIRE, R.A., MESSAC, A. y VAN DESSEL, S., 2005. Design of thermoelectric heat pump unit for active building envelope systems. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 48, no. 19-20. ISSN 00179310. DOI 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.04.028.

KNY, M., MAZANEC, V., ADAMOVSKÝ, D. y VČELÁK, J., 2019. Air Handling Unit with Heat Pump. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. S.l.: s.n., DOI 10.1088/1755-1315/290/1/012078.

KUDVA, N. y VEERESHA, R.K., 2020. A Review on Thermoelectric (Peltier) Module. *International Journal of Progressive Research in Science and Engineering.*, vol. Volume-1, no. 4.

LI, G., SHITTU, S., DIALLO, T.M.O., YU, M., ZHAO, X. y JI, J., 2018. A review of solar photovoltaic-thermoelectric hybrid system for electricity generation. 2018. S.l.: s.n.

LIU, Y., ZHAO, Y., CHEN, Y., WANG, D., LI, Y. y YUAN, X., 2022. Design optimization of the solar heating system for office buildings based on life cycle cost in Qinghai-Tibet plateau of China. *Energy*, vol. 246. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2022.123288.

MARDINI-BOVEA, J., TORRES-DÍAZ, G., SABAU, M., DE-LA-HOZ-FRANCO, E., NIÑO-MORENO, J. y PACHECO-TORRES, P.J., 2019. A review to refrigeration with thermoelectric energy based on the peltier effect. *DYNA (Colombia)*, vol. 86, no. 208, pp. 9-18. ISSN 00127353. DOI 10.15446/DYNA.V86N208.72589.

MARINA, A., SPOELSTRA, S., ZONDAG, H.A. y WEMMERS, A.K., 2021. An estimation of the European industrial heat pump market potential. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 139. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2020.110545.

MARTINEZ, A., DÍAZ DE GARAYO, S., ARANGUREN, P., ARAIZ, M. y CATALÁN, L., 2021. Simulation of thermoelectric heat pumps in nearly zero energy buildings: Why do all models seem to be right? *Energy Conversion and Management*, vol. 235. ISSN 01968904. DOI 10.1016/j.enconman.2021.113992.

- MERONI, A., ZÜHLSDORF, B., ELMGAARD, B. y HAGLIND, F., 2018. Design of centrifugal compressors for heat pump systems. *Applied Energy*, vol. 232. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2018.09.210.
- MIAO, R., HU, X., YU, Y., ZHANG, Q., LIN, Z., BANAWI, A. y MEGRI, A.C., 2022. Experimental study to analyze feasibility of a novel panelized ground-source thermoelectric system for building space heating and cooling. *Energies*, vol. 15, no. 1. ISSN 19961073. DOI 10.3390/en15010209.
- NOBREGA DE ARAUJO, R.M., ALISSON ALVES DA COSTA, H., DE CARVALHO NETO, J.T., MAGNUS GUIMARAES, A. y SALAZAR, A.O., 2019. Development of a Hybrid PV-Thermoelectric System. *2019 IEEE 15th Brazilian Power Electronics Conference and 5th IEEE Southern Power Electronics Conference, COBEP/SPEC 2019*. S.l.: s.n., DOI 10.1109/COBEP/SPEC44138.2019.9065298.
- QUISPE, D.K.P., SILVA, J.C.R. y SILVA, C.F. e, 2021. Confort térmico en viviendas sociales en la zona Mesoandina de Perú – soluciones para mejorar la calefacción pasiva usando materiales autóctonos. *Revista Latino-americana de Ambiente Construido & Sustentabilidade*, vol. 2, no. 6. DOI 10.17271/rlass.v2i6.2980.
- RIVASPLATA CABANILLAS, C.E., ESTALLA LLANQUE, F.J., COAQUIRA MIRANDA, E.E., ARIAS SANTANA, V.A. y MENA ORDOÑEZ, S.S., 2020. Data experimental en la calefacción solar de una piscina cerrada con envoltante de policarbonato. *TECNIA*, vol. 30, no. 1. ISSN 0375-7765. DOI 10.21754/tecnia.v30i1.855.
- SAHIN, A.Z., ISMAILA, K.G., YILBAS, B.S. y AL-SHARAFI, A., 2020. *A review on the performance of photovoltaic/thermoelectric hybrid generators*. 2020. S.l.: s.n.
- SEVAULT, A., VULLUM-BRUER, F. y TRANÅS, O.L., 2022. Active PCM-Based Thermal Energy Storage in Buildings. *Encyclopedia of Energy Storage*. S.l.: s.n.,
- SONG, F., YANG, C. y ZHOU, L., 2021. High-Efficiency and Energy-Saving Thermostat Combining Peltier Effect and Air Vortex Characteristics. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. S.l.: s.n., DOI 10.1088/1755-1315/769/4/042002.

- STAZI, F., 2017. Chapter Four - New Envelopes. *Thermal Inertia in Energy Efficient Building Envelopes*. S.l.: s.n.,
- TRANCOSSI, M., CANNISTRARO, G. y PASCOA, J., 2020. Thermoelectric and solar heat pump use toward self sufficient buildings: The case of a container house. *Thermal Science and Engineering Progress*, vol. 18. ISSN 24519049. DOI 10.1016/j.tsep.2020.100509.
- VÁSQUEZ, W., 2020. Metodología de la investigación, Manual de estudiante. *Universidad San Martín de Porres*,
- VERING, C., MAIER, L., BREUER, K., KRÜTZFELDT, H., STREBLOW, R. y MÜLLER, D., 2022. Evaluating heat pump system design methods towards a sustainable heat supply in residential buildings. *Applied Energy*, vol. 308. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2021.118204.
- WIESER, M., RODRÍGUEZ-LARRAÍN, S. y ONNIS, S., 2021. Estrategias bioclimáticas para clima frío tropical de altura. Validación de prototipo de vivienda. Puno, Perú. *Estoa*, vol. 10, no. 19. ISSN 13907263. DOI 10.18537/est.v010.n019.a01.
- WU, S., 2010. Heat energy storage and cooling in buildings. *Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings*. S.l.: s.n.,

## VII. ANEXOS

### Anexo 01: Ficha Técnica Celdas Peltier



Thermoelectric  
Cooler

TEC1-12706

#### Performance Specifications

Hot Side Temperature (° C)	25° C	50° C
Qmax (Watts)	50	57
Delta Tmax (° C)	66	75
I <sub>max</sub> (Amps)	6.4	6.4
V <sub>max</sub> (Volts)	14.4	16.4
Module Resistance (Ohms)	1.98	2.30



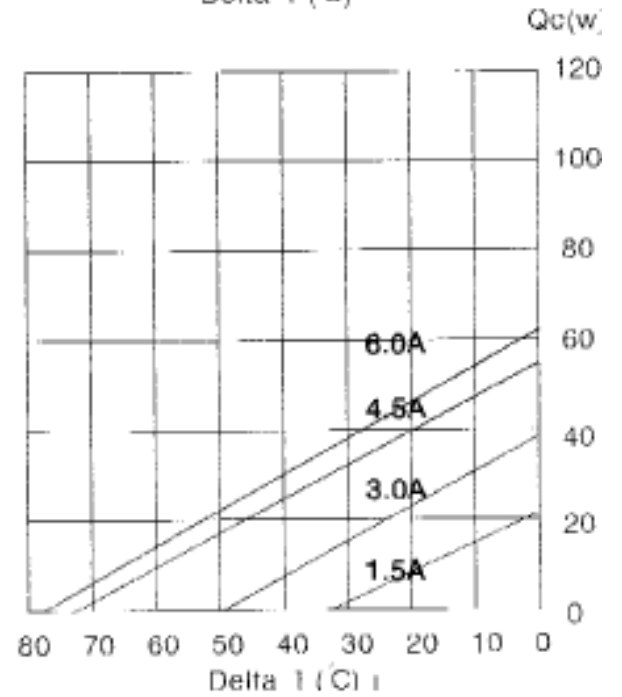
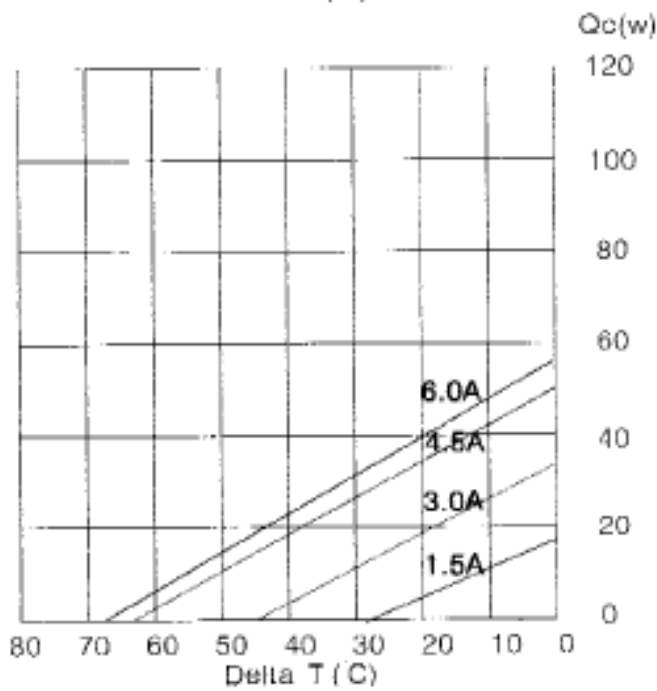
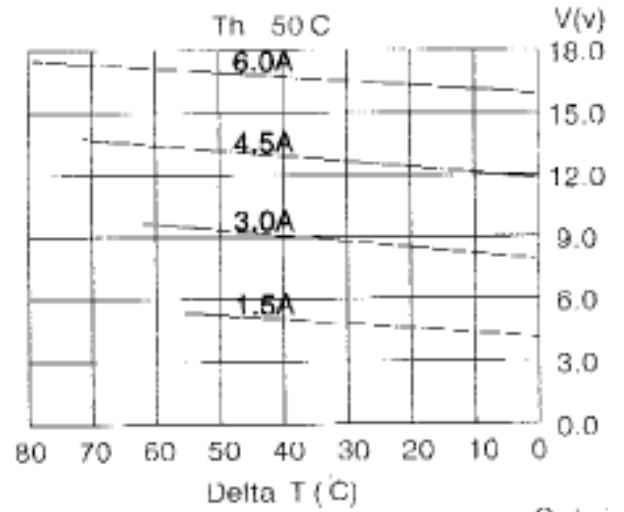
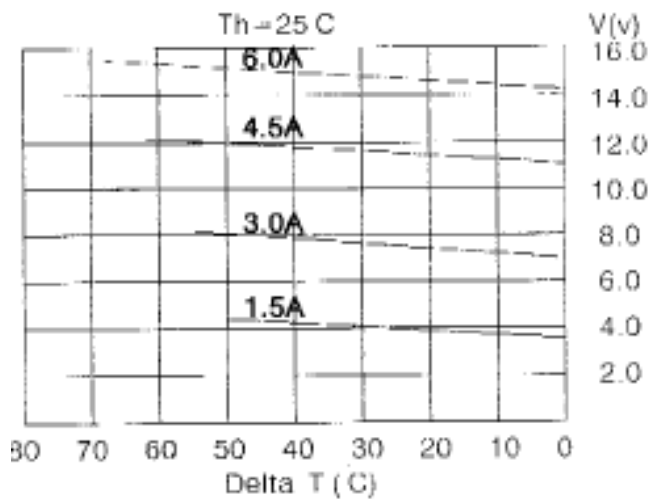
Performance curves on page 2

Copyright HB Corporation. HB reserves the right to change these specifications without notice.

Rev 2.03

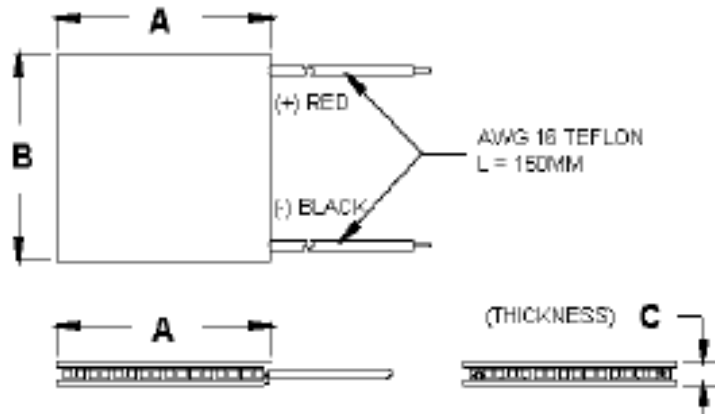


TEC1-12706





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%.




Copyright HB Corporation. HB reserves the right to change these specifications without notice.

Rev 2.03

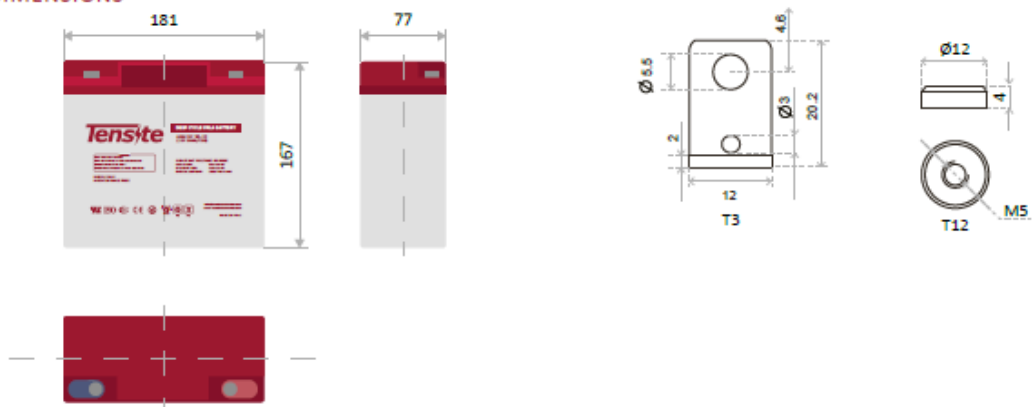




#### CHARACTERISTICS

-  Compact size ideal for any type of use.
-  Great performance due to its Deep Cycle technology.
-  Perfect to use as accumulator in photovoltaic installations.

#### DIMENSIONS



Tensite  
info@tensitebatteries.com  
www.tensitebatteries.com

**Tensite**

AGM DC 12-20

## AGM DEEP CYCLE BATTERY 12V 20 AH



### DEEP CYCLE SERIES BATTERY

DC series VRLA batteries are superior Deep Cycle design with thick plates, high-density active materials and slightly stronger electrolyte, which can withstand repeated deep cyclic applications. Deep Cycle series batteries are the special design batteries with 5 years floating design life at 25°C. Meet with IEC, BS, IIS and Eurobat standard, UL(MH62092), CE approved.

### APPLICATION

- Emergency Power System
- Communication equipment
- Telecommunication systems
- Uninterruptible power supplies
- Electric toy car and wheelchairs, etc.
- Power tools
- Marine equipment
- Medical equipment
- Solar and wind power system
- Golf cars and buggies

### GENERAL FEATURES

- Safety Sealing
- Non-spillable construction
- High power density
- Excellent recovery from Deep discharge
- Thick plates and high active materials
- Longer life and low self-discharge design

### TECHNICAL SPECIFICATIONS

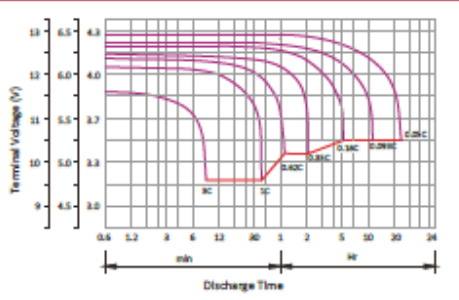
<b>BATTERY MODEL</b>	<b>Nominal voltage</b>		12V	
	<b>Rated capacity (100 hour rate)</b>		20Ah	
<b>DIMENSION</b>	<b>Cells Per battery</b>		6	
	<b>Length</b>	<b>Width</b>	<b>Height</b>	<b>Total Height</b>
<b>APPROX. WEIGHT</b>	181 mm (7.13 inches)	77 mm (3.03 inches)	158 mm (6.22 inches)	167 mm (7.13 inches)
<b>CAPACITY @ 25°C</b>	5.3 kg (11.68 lbs) ± 3%			
<b>MAX. DISCHARGE CURRENT</b>	<b>20 hour rate (1.02A, 10.5V)</b>	<b>10 hour rate (1.95A, 10.5V)</b>	<b>5 hour rate (3.58A, 10.5V)</b>	<b>1 hour rate (12.6A, 9.6V)</b>
	20.4 Ah	19.5 Ah	17.95 Ah	12.6 Ah
<b>INTERNAL RESISTANCE</b>	270 A (5 sec.)			
<b>CAPACITY AFFECTED BY TEMP. (10 HR)</b>	Full charged Vat 25°C: Approx. 11.5mΩ			
<b>SELF DISCHARGE @25°C</b>	<b>40°C (104 °F)</b>	<b>25°C (77 °F)</b>	<b>0°C (32°F)</b>	<b>-15°C (5°F)</b>
	102%	100%	85%	65%
<b>CHARGE METHOD @25°C</b>	<b>After 3 months storage</b>		<b>After 6 months storage</b>	<b>After 12 months storage</b>
	91%		82%	64%
<b>CONSTRUCTION</b>	<b>Cycle Use</b>		<b>Float Use</b>	
	14.4-14.7V (Initial charging current less than 6.0A)		13.50-13.80V	
<b>CONSTRUCTION</b>	<b>Container</b>	<b>Electrolyte</b>	<b>Separator</b>	<b>Positive</b>
	ABS (UL94-HB) / Flame retardant ABS (UL94-V0)	Sulfuric acid	Fiber glass	Lead dioxide
			<b>Negative</b>	<b>Safety valve</b>
			Lead	EPDR
				<b>Terminal</b>
				Copper

### BATTERY DISCHARGE TABLE

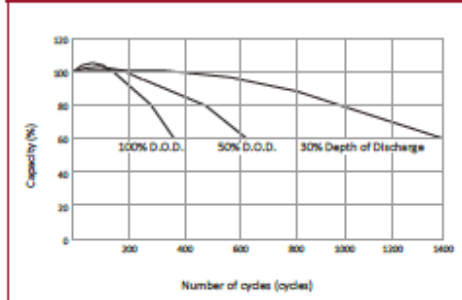
		CONSTANT CURRENT (AMP) AND CONSTANT POWER (WATT) DISCHARGE TABLE AT 25 °C											
F.V / TIME		5 min	10 min	15 min	30 min	1 hr	2 hr	3 hr	4 hr	5 hr	8 hr	10 hr	20 hr
9.60	A	64.80	42.50	31.50	20.70	10.80	6.30	4.64	3.72	3.16	2.08	1.70	0.93
	W	764.20	480.00	363.00	219.70	124.50	72.90	53.63	43.05	36.53	24.08	19.72	10.80
10.20	A	59.40	40.60	28.90	19.70	10.14	6.04	4.50	3.60	3.10	2.05	1.67	0.91
	W	719.20	454.50	341.20	218.30	117.00	70.00	52.12	41.70	35.85	23.70	19.35	10.50
10.50	A	54.10	38.00	27.00	19.00	9.81	5.93	4.42	3.42	3.06	2.03	1.66	0.90
	W	694.50	441.00	326.30	216.00	113.50	68.60	51.22	39.60	35.63	23.48	19.20	10.43
10.80	A	52.00	36.30	25.20	18.50	9.48	5.77	4.35	3.36	2.93	1.97	1.61	0.88
	W	609.00	427.50	314.20	215.20	110.30	67.20	50.63	39.11	34.05	22.50	18.75	10.20
11.10	A	48.00	34.20	23.40	18.00	9.15	5.63	4.13	3.30	2.80	1.92	1.58	0.86
	W	588.70	413.20	299.30	213.80	108.80	66.70	49.13	39.00	33.30	21.75	18.37	10.13

Tensite  
info@tensitebatteries.com  
www.tensitebatteries.com

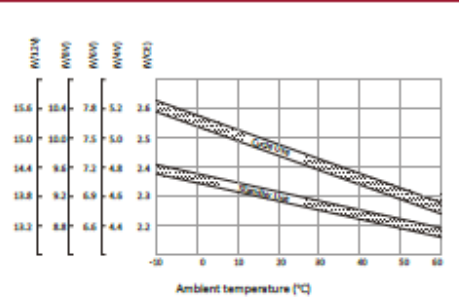
**Discharge characteristic Curve**



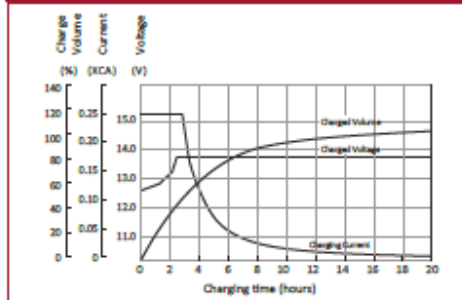
**Cycle service life in relation to depth of discharge**



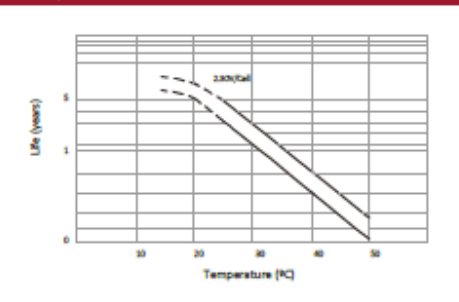
**Relationship between charging voltage and temperature**



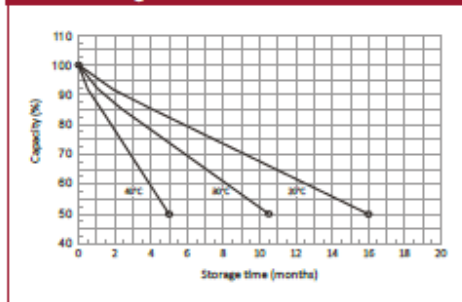
**Constant voltage charging characteristic (0.25CA, at 25°C)**



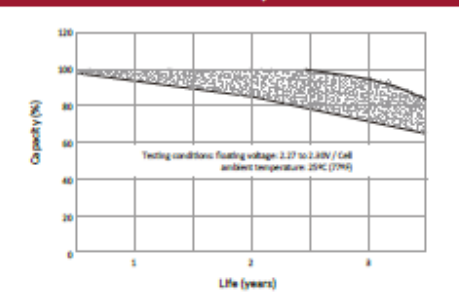
**Temperature effects on float life**



**Self-discharge characteristic**

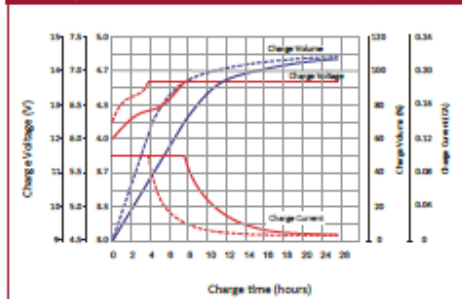


**Life characteristics of standby use\***



\*Testing conditions:  
Floating voltage 2.27 to 2.29V/Cell  
Ambient temperature 20°C

**Charge characteristic Curve for standby use\*\***



\*\*Discharge: 22Ah (2.25CA, 2.25V)  
N/A (2.25CA, 2.25V)  
Charge: Charge Voltage 2.275V/Cell  
Charge Current 0.5CA

## Anexo 02: Programación

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from simupy.systems import SystemFromCallable
from simupy.block_diagram import BlockDiagram
from simupy.matrices import empty_shape

# Define constants and parameters
Th = 102 # Hot side temperature
Tl = 31 # Cold side temperature
R_load = 10 # Load resistance in ohms

# TEG model - define the voltage and power output
def teg_model(t, x):
    V_out = (Th - Tl) * 0.01 # Simplified voltage equation
    P_out = V_out ** 2 / R_load # Power output
    return np.array([P_out, V_out])

# Load calculation
def load(t, x, u):
    V = u[0]
    I = V / R_load
    P = V * I
    return np.array([P])

# MPPT efficiency calculation
def mppt_efficiency(t, x, u):
    P_actual = u[0]
    P_theoretical = (Th - Tl) * 0.02 # Simplified theoretical power
    efficiency = P_actual / P_theoretical
    return np.array([efficiency])

# Simulation and theoretical comparison (dummy function for illustration)
def compare_simulation_and_theory(t, x, u):
    P_actual = u[0]
    P_theoretical = (Th - Tl) * 0.02
    return np.array([P_actual, P_theoretical])

# Create block diagram
bd = BlockDiagram()

# Create system from callable blocks
teg_sys = SystemFromCallable(teg_model, empty_shape(1))
load_sys = SystemFromCallable(load, empty_shape(1))
mppt_sys = SystemFromCallable(mppt_efficiency, empty_shape(1))
compare_sys = SystemFromCallable(compare_simulation_and_theory, empty_shape(1))
```

```

# Add systems to block diagram
bd.add_system(teg_sys)
bd.add_system(load_sys, inputs=[teg_sys])
bd.add_system(mppt_sys, inputs=[load_sys])
bd.add_system(compare_sys, inputs=[load_sys])

# Simulate the block diagram
times = np.linspace(0, 10, 100)
res = bd.simulate(times)

# Plot results
plt.figure()
plt.subplot(311)
plt.plot(times, res[:, teg_sys.output_idx_map[0]], label='TEG Power Output')
plt.ylabel('Power (W)')
plt.legend()

plt.subplot(312)
plt.plot(times, res[:, load_sys.output_idx_map[0]], label='Load Power')
plt.ylabel('Power (W)')
plt.legend()

plt.subplot(313)
plt.plot(times, res[:, mppt_sys.output_idx_map[0]], label='MPPT Efficiency')
plt.ylabel('Efficiency')
plt.legend()

plt.xlabel('Time (s)')
plt.show()

```



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

RECTORADO

UNT

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO  
CARTA DE AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TRABAJO DE  
INVESTIGACIÓN EN REPOSITORIO DIGITAL RENATI-SUNEDU

Trujillo, 26 de junio de 2024.

Los autores suscritos del INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN CIENTIFICA

Titulado: **“Diseño y fabricación de un generador termoelectrico (TEG)”**

AUTORIZAMOS SU PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL, REPOSITORIO RENATI-SUNEDU, ALICIA-CONCYTEC, CON EL SIGUIENTE TIPO DE ACCESO:

- A. Acceso Abierto:  .  
B. Acceso Restringido  (datos del autor y resumen del trabajo)  
C. No autorizo su Publicación  .

Si eligió la opción restringido o NO autoriza su publicación sírvase justificar .....

ESTUDIANTES DE PREGRADO: TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  TESIS   
ESTUDIANTES DE POSTGRADO: TESIS MAESTRÍA  TESIS DOCTORADO   
DOCENTES: INFORME DE INVESTIGACIÓN  OTROS)

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	FACULTAD	CONDICIÓN (NOMBRADO, CONTRATADO, EMÉRITO, estudiante, OTROS)	CÓDIGO Docente asesor Número Matrícula del estudiante	Autor Coautor asesor
1	QUIROZ LEON, LUIS ANTHONY	INGENIERIA	BACHILLER	1511400815	Autor
2	ZEVALLOS VÁSQUEZ, VÍCTOR ALEJANDRO	INGENIERIA	BACHILLER	1051400415	Autor
3	PALACIOS GUARNIZ, SEGUNDO JOSÉ	INGENIERIA	NOMBRADO	5235	Asesor

Firma

Ing. PALACIOS GUARNIZ, SEGUNDO JOSÉ  
DNI: 18850013

Firma

Br. QUIROZ LEON, LUIS ANTHONY  
DNI: 74387409

Firma

Br. ZEVALLOS VÁSQUEZ, VÍCTOR ALEJANDRO  
DNI: 70503845



Este formato debe ser llenado, firmado Y adjuntado en et informe de Tesis y/o Trabajo de Investigación respectivamente.

<sup>1</sup> Este formato en el caso de Informe de investigación científica docente debe ser llenado, firmado, escaneado y adjuntado en el sistema de [www.picfedu.unitru.edu.pe](http://www.picfedu.unitru.edu.pe)



UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

UNT

RECTORADO

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TRUJILLO

## DECLARACIÓN JURADA

Los AUTORES suscritos en el presente documento **DECLARAMOS BAJO JURAMENTO** que somos los responsables legales de la calidad y originalidad del contenido del Proyecto de Investigación Científica, así como, del Informe de la Investigación Científica realizado.

TITULO:

**"Diseño y fabricación de un generador termoeléctrico (TEG)".**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CIENTIFICAINFORME FINAL DE INVESTIGACION CIENTIFICA

PROY DE TRABAJO DE INVESTIGACION ( )

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN (PREGRADO) ( )

(PREGRADO)

PROYECTO DE TESIS PREGRADO ( )

TESIS PREGRADO (X)

PROYECTO DE TESIS MAESTRÍA ( )

TESIS MAESTRÍA ( )

PROYECTO DE TESIS DOCTORADO ( )

TESIS DOCTORADO ( )

Equipo Investigador Integrado por:

Nº	APELLIDOS Y NOMBRES	FACULTAD	DEP. ACADÉMICO	CATEGORÍA DOCENTE ASESOR	CÓDIGO Docente asesor Número Matrícula del estudiante	Autor Coautor asesor
1	QUIROZ LEON, LUIS ANTHONY	INGENIERIA	ING. MECANICA	BACHILLER	1511400815	Autor
2	ZEVALLOS VÁSQUEZ, VÍCTOR ALEJANDRO	INGENIERIA	ING. MECANICA	BACHILLER	1051400415	Autor
3	PALACIOS GUARNIZ, SEGUNDO JOSÉ	INGENIERIA	ING. MECANICA	NOMBRADO	5235	Asesor

Trujillo, 26 de Junio de 2024

Firma

Ing. PALACIOS GUARNIZ, SEGUNDO JOSÉ  
DNI: 18850013

Firma

Br. QUIROZ LEON, LUIS ANTHONY  
DNI: 74387409

Firma

Br. ZEVALLOS VÁSQUEZ, VÍCTOR ALEJANDRO  
DNI: 70503845

<sup>1</sup> Este formato debe ser llenado, firmado, adjuntado al final del documento del PIC, del Informe de Tesis, Trabajo de Investigación respectivamente



Trujillo, 24 de junio de 2024

Habiéndose hecho las correcciones y recomendaciones emitidas por el Jurado calificador, se declara expedito el presente trabajo.

Por tanto se autoriza continuar los trámites para la obtención del Título correspondiente.

**Ms. JUAN ELI DAVID ACOSTA HORNA**  
Presidente



---

**Mg. JHON EDGAR CHUQUILLANQUI VERAU**  
Secretario



---

**Mg. SEGUNDO JOSE PALACIOS GUARNIZ**  
Vocal



---



**Anexo 01**

**CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD**

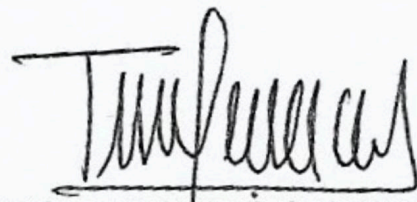
**N° 118-2024-C.E/FAC.ING.-UNT**

- 1) Investigador (es):  
Quiroz Leon Luis Anthony                      DNI: 74387409    CÓDIGO: 1511400815  
Zevallos Vasquez Victor Alejandro            DNI: 70503845    CÓDIGO: 1051400415
- 2) Asesor: Palacios Guarniz Segundo José    DNI: 18850013    CÓDIGO: 5235
- 3) Finalidad del trabajo de Investigación: Título Profesional
- 4) Programa o escuela: Ingeniería Mecánica
- 5) Título del trabajo de Investigación: “Diseño y fabricación de un Generador termoeléctrico (TEG)”.
- 6) Fecha de sustentación y aprobación del trabajo de Investigación: 24/06/2024
- 7) Fecha de evaluación de originalidad con depósito: 26/06/2024
- 8) Número de trabajo revisado por herramienta Turnitin: 2409105415
- 9) Porcentaje de reporte de similitud: 12 %
- 10) Condición: Aprobado



---

Ing. Palacios Guarniz Segundo José  
Asesor  
Código: 5235



---

Mg. Arq. Tatiana P. García Cam  
Pdte. del Comité de Ética  
Código: 6307