

Efectos y aplicaciones termoeléctricas de las celdas Peltier

Carlos Geovanny Patiño Vega

Asesor:

Jorge Enrique Arboleda Puerta

Universidad Nacional Abierta y a Distancia- UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Ingeniería y Tecnologías – ECBTI

Ingeniería Electrónica

2022

Resumen

Debido al incremento del impacto negativo por el uso de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, las investigaciones sobre nuevas alternativas han llevado a la comunidad científica a estudiar las características de dispositivos electrónicos para asociarlos con la posibilidad de la generación de esta energía. Se realizó un estudio de las celdas termogeneradoras (TEG), y se buscó determinar si las celdas Peltier tienen la capacidad de generar energía eléctrica y qué tan eficiente podría ser este resultado, se concluyó que se puede aplicar en la implementación de dispositivos de baja potencia. Posteriormente, se construyó un prototipo en el que las celdas Peltier pueden tener diferentes temperaturas, una de ellas alta y otra fría, debido a este fenómeno físico, se pudo lograr ese diferencial de voltaje requerido. Por medio de la experimentación se realizó la toma de datos resultante, y con una muestra de 50 datos obtenidos se comprobó que fue posible obtener energía eléctrica, que puede ser estabilizada y almacenada para su uso. La utilización de los dispositivos de baja potencia fue posible, gracias a que, de acuerdo a los resultados, obtuvimos una potencia alrededor de 1.15W permitiendo dar soluciones a hogares en los que utilizar un teléfono celular o un dispositivo electrónico era imposible. Con la obtención y regulación de este voltaje se puede ayudar a minimizar los altos costos y dificultades que requiere un montaje de otras energías renovables y llegar a lugares que por diversos motivos no tienen acceso a la energía cableada.

Palabras clave: Efecto Seebeck, celdas termoeléctricas, celdas Peltier, energía renovable

Abstract

Due to the increase in the negative impact of the use of fossil fuels for the generation of electrical energy, research on new alternatives has led the scientific community to study the characteristics of electronic devices to associate them with the possibility of generating this type of energy.

When carrying out a study of thermogenerator cells (TEG), we tried to find if Peltier cells have the capacity to generate electrical energy and how efficient this result could be, it was concluded that it can be applied in the implementation of low power devices. Subsequently, a prototype was built in which the Peltier cells can have different temperatures, one of them high and the other cold, due to this physical phenomenon, the required voltage differential could be achieved.

Through experimentation, the resulting data collection was carried out and it was verified that it was possible to obtain electrical energy, which can be stabilized and stored for use. The use of low power devices was possible, providing solutions to homes were using a cell phone or an electronic device was impossible. Obtaining and regulating this voltage can help minimize the high costs and difficulties required to assemble other renewable energies and reach places that, for various reasons, do not have access to cabled energy.

Keywords: Seebeck effect, thermoelectric cells, Peltier cells, renewable energy

Tabla de Contenido

Introducción	10
Planteamiento del Problema	13
Objetivos	15
Objetivo General	15
Objetivos Específicos.....	15
Estado del Arte.....	16
Aplicaciones en Campos Automotrices	17
Generadores Termoeléctricos TEG Aplicados a la Combustión de Gas Natural	19
Marco Teórico.....	20
Aplicación de los Sistemas Termoeléctricos	20
Efecto Seebeck.....	20
Efecto Peltier.....	22
Efecto Thomson	23
Eficiencia Termoeléctrica	29
Celdas o Células Peltier	42
Justificación	45
Metodología	47
Desarrollo del Tema.....	50
Primeros Análisis	50
Temperaturas en el Medio Ambiente.....	66
Tablas Comparativas.....	70

Comparativo del Potencial Energético de Algunas Energías Renovables	72
Panel Fotovoltaico	72
Generadores Eólicos o Aerogeneradores	74
Dispositivos Termoeléctricos TEG.....	75
Modelamiento Matemático	78
Comportamiento Dinámico.....	93
Conclusiones	95
Referencias.....	98

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Coefficiente térmico</i>	27
Tabla 2 <i>Factor de mérito termoeléctrico</i>	32
Tabla 3 <i>Rendimiento de Carnot</i>	35
Tabla 4 <i>Eficiencia</i>	38
Tabla 5 <i>Resistividad y conductividad eléctrica</i>	57
Tabla 6 <i>Efecto Seebeck</i>	60
Tabla 7 <i>Temperaturas en el medio ambiente</i>	68
Tabla 8 <i>Dispositivos TEG utilizados en el proceso</i>	70
Tabla 9 <i>Características de sistemas para energía renovable</i>	77
Tabla 10 <i>Temperatura y voltaje</i>	79
Tabla 11 <i>Primer fragmento de la Tabla 10</i>	82
Tabla 12 <i>Segundo fragmento de la Tabla 10</i>	84
Tabla 13 <i>Tercer fragmento de la Tabla 10</i>	85
Tabla 14 <i>Cuarto fragmento de la Tabla 10</i>	87
Tabla 15 <i>Quinto fragmento de la Tabla 10</i>	89

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Efecto Seebeck</i>	21
Figura 2 <i>Efecto Peltier</i>	22
Figura 3 <i>Efecto Thomson</i>	24
Figura 4 <i>Eficiencia</i>	40
Figura 5 <i>Estructura celda Peltier</i>	43
Figura 6 <i>Medición de la temperatura</i>	51
Figura 7 <i>Prototipo para el efecto Seebeck</i>	52
Figura 8 <i>Disipador</i>	55
Figura 9 <i>Prototipo</i>	63
Figura 10 <i>Celda Peltier</i>	64
Figura 11 <i>Implementación del prototipo</i>	65
Figura 12 <i>Resultados de la implementación</i>	65
Figura 13 <i>Instrumentos de medición</i>	67
Figura 14 <i>Resultados de la medición</i>	67
Figura 15 <i>Registro de temperaturas</i>	68
Figura 16 <i>Voltaje vs. Temperatura</i>	81
Figura 17 <i>Primer fragmento de la Figura 16</i>	83
Figura 18 <i>Segundo fragmento de la Tabla 16</i>	84
Figura 19 <i>Tercer fragmento de la Figura 16</i>	86
Figura 20 <i>Cuarto fragmento de la Figura 16</i>	88
Figura 21 <i>Quinto fragmento de la Figura 16</i>	89
Figura 22 <i>Polo de la función de transferencia Matlab</i>	92

Figura 23 <i>Polos y ceros</i>	93
Figura 24 <i>Comportamiento dinámico</i>	94

Lista de Apéndices

Apéndice A *Celdas Peltier*..... **102**

Apéndice B *Participación en eventos*..... **105**

Introducción

Los materiales semiconductores han sido objeto de estudio dentro del campo de la electrónica desde hace varios años (Luna & Del Río, 2018). En la actualidad debido a los problemas ambientales generados por los combustibles fósiles y los métodos para generar energía, se hace una investigación sobre cómo estos materiales pueden hacer parte de la obtención o producción de energía eléctrica. Al ser sometidos a un diferencial de temperatura los semiconductores reaccionan y permiten el movimiento de electrones a través de sus circuitos, es así como, debido a este fenómeno físico se logra un diferencial de voltaje en los extremos de estos dispositivos. De acuerdo con Flórez et al. (2009) se espera que esto sea suficiente para ser utilizado en diferentes lugares donde no se cuenta con este servicio, es pertinente aclarar que existen algunos puntos del país que todavía no están conectados a una red eléctrica debido a que la dificultad del terreno se convierte en un obstáculo para su llegada, o por la poca cantidad de población en la zona, entre otros.

Lo anterior, permite energizar dispositivos de baja potencia, lo cual soluciona inconvenientes en la comunicación, la conectividad, el aprendizaje, etc. y permite que los habitantes de estas zonas empiecen a ser parte de la globalización, generando beneficios y soluciones para diversos inconvenientes.

Con las características de las celdas Peltier y el uso de otros materiales que por sus condiciones favorecen el desarrollo de un prototipo que permita, no solo el estudio, sino a la vez el reconocimiento de estos fenómenos físicos que darán lugar a la implementación de estas pruebas que determinarán y se identificarán al aplicar un delta de temperatura sobre las superficies de las celdas, esto mostrará si se obtiene un potencial eléctrico y durante cuánto

tiempo es posible, para establecer si este potencial de voltaje es viable para ser aplicado, o si por el contrario no va a generar ningún beneficio.

Al obtener los datos y mediante al uso de diferentes programas de computación para la programación gráfica se puede determinar, con los datos más relevantes, si el dispositivo y sus características permiten obtener energía eléctrica que pueda ser utilizada y aprovechada. Además, se pueden comparar con otros sistemas de generación de energía eléctrica renovable para determinar su eficiencia y sus desventajas en medio de este campo. Estos datos y análisis serán compartidos a través de ponencias y exposiciones, con el objetivo de que las personas o comunidades interesadas puedan aportar a su desarrollo o se genere un interés para la continuación de este proyecto. Por ejemplo en el mes de octubre del año 2018, el centro de diseño e innovación tecnológica del SENA realiza como evento de divulgación de ciencia tecnología e investigación a través del encuentro de investigadores y semilleros de investigación, por medio de ponencias, el segundo congreso de investigación Teinnova - CDITI en el que el semillero Aurora participa con la muestra de los primeros pasos e intenciones de este proyecto, a partir de este momento empieza una serie de presentaciones con los avances logrados dentro del proyecto, presentaciones hechas en eventos para la divulgación de proyectos de investigación en lugares como Comfamiliar Risaralda, Tecnoparque nodo SENA, y la última presentación que se realizó, producto de un proceso de participación en algunas de las anteriores fue en el noveno encuentro de red regional de semilleros de investigación RREDSI, realizado en el mes de octubre del año 2019 en el departamento del valle del cauca. Mediante el trabajo de campo se conocen los datos más relevantes sobre la temperatura y sus diferencias en diferentes lugares, para poder determinar de qué manera se pueden aplicar los resultados de la investigación, buscando obtener

un beneficio, no solo para la comunidad impactada, sino para el desarrollo positivo en el cuidado del medio ambiente.

Por medio de este desarrollo se genera la posibilidad de que las personas que están ubicadas en lugares donde no hay servicio de energía eléctrica, puedan beneficiarse. Es importante tener en cuenta que los dispositivos de baja potencia requieren mínimos de voltaje para poder ser utilizados, por ejemplo: teléfono, tablet, linternas, bombillos, leds, reproductores de música, de videojuegos, etc. Por lo tanto, el desarrollo de esta investigación puede mejorar el estilo de vida de estas poblaciones, puede aportar a su educación y mejora su entorno, además, permite generar sentido de pertenencia y responsabilidad con el cuidado del medio ambiente y concientizar sobre el no uso de los combustibles fósiles.

Planteamiento del Problema

Desde el punto de vista ambiental, varios tipos de emisiones están relacionados con los sistemas de producción de energía, parte de la preocupación mundial está centrada en aquellas emisiones que fuerzan el equilibrio radioactivo (balance entre el porcentaje de radiación emitido hacia el espacio y el que se queda en la atmósfera). Este problema genera el fenómeno conocido como efecto invernadero, con el aporte de diferentes gases contaminantes, principalmente el CO₂ o dióxido de carbono. En general los sistemas energéticos contribuyen al menos con un 60% de los gases contaminantes que generan esta problemática (Vargas, 2013).

Es importante mencionar que la Unión Europea muestra una tendencia hacia la estabilización, y esto se debe al desplazamiento de los combustibles fósiles por energías renovables, impidiendo que cada año se generen hasta 1500 millones de toneladas de dióxido de carbono (Priddle, 1999).

En Colombia existe una gran dependencia de los combustibles fósiles (37.5%) para la producción de energía eléctrica, sin embargo, las energías renovables empiezan a representar una gran porción (27%) del suministro total de energía, convirtiéndose en un medio para la solución de problemas climáticos y a la vez económicos (Pereira, 2015).

Desde el estudio de los materiales semiconductores y sus propiedades, se hacen investigaciones sobre cómo estos se pueden implementar para la producción de energía eléctrica renovable, ya que la energía solar y la energía eólica han presentado problemáticas derivadas de sus altos costos de producción (Carrera, 2019). Algunos materiales tienen la característica de ser termoeléctricos, especialmente los materiales con grandes concentraciones de huecos o electrones a los que se les facilita la conductividad eléctrica, estos materiales al ser expuestos a diferenciales de temperatura tienen la propiedad de producir un diferencial de voltaje, logrando

aprovechar el calor residual proveniente de diferentes fuentes para convertirlo en electricidad o energía eléctrica directamente (Echeverría & Cevallos, 2015).

Al hacer referencia a Colombia se encuentra que las zonas no interconectadas (ZNI) se definen como aquellas áreas geográficas “donde no se presta el servicio público de electricidad a través del sistema interconectado nacional (SIN)” (Congreso de la República de Colombia, 1994, Ley 143, Artículo 11), estas zonas se caracterizan por su baja densidad poblacional, están ubicadas a una larga distancia de los centros urbanos, poseen dificultad de acceso y riquezas naturales (Flórez et al., 2009). Son lugares que no cuentan con las ventajas del uso de electrodomésticos, dispositivos electrónicos para la comunicación o la ayuda para la participación de un proceso no solo académico sino también laboral y el servicio para desarrollar múltiples actividades.

Por medio de esta investigación se plantea una posible solución de algunos aspectos desfavorables como el de acceso a la navegación en internet para el conocimiento y divulgación, control de temperaturas dentro del hogar, iluminación, servicios de carga para dispositivos electrónicos, dispersión, entre otras, derivados de la ausencia del servicio eléctrico en las zonas mencionadas, a partir de este planteamiento surgen las siguientes preguntas:

¿Cómo producir energía eléctrica con celdas termo generadoras (TEG) que pueda prestar un servicio a las personas ubicadas en zonas no interconectadas? ¿Será posible alimentar un dispositivo de baja potencia gracias a la energía eléctrica producida por un prototipo de generación termoeléctrica?

Objetivos

Objetivo General

Analizar el comportamiento de la celda Peltier bajo condiciones simuladas para la obtención de resultados, y de acuerdo a estos desarrollar un prototipo que permita la obtención de energía eléctrica e identificar la eficiencia del sistema.

Objetivos Específicos

Demostrar que es posible obtener energía eléctrica mediante el uso de celdas Peltier.

Analizar matemáticamente el comportamiento de la celda Peltier bajo la influencia de un fenómeno físico como lo es la temperatura.

Hacer una breve comparación con otros sistemas de energías renovables para identificar sus ventajas y desventajas.

Construir un prototipo adecuado para la toma de datos y estudio de la celda Peltier y determinar el montaje de dicho prototipo en lugares que fuese posible hacerlo.

Exponer en ponencias los alcances y logros del proyecto al momento.

Estado del Arte

De acuerdo con Luna & Del Río (2018) dado que se puede obtener energía eléctrica a partir de la diferencia de temperatura, se ha explorado en la conversión directa de la energía térmica en electricidad en dispositivos basados en el efecto termoeléctrico de materiales sólidos, sin embargo, los materiales naturales utilizados presentan una baja eficiencia menos del 1 % de la energía térmica en electricidad. En esta investigación se aprovecha el efecto Seebeck y la alta concentración de huecos o electrones, para obtener una eficiencia en la potencia eléctrica de unos 4,6 % , esto es posible de acuerdo a la investigación de materiales nanoestructurados que presentan el efecto termoeléctrico, materiales absorbentes de calor de alta frecuencia, materiales como el telurio de bismuto fue seleccionado como un material eficiente, materiales con características por encima de los naturales para dichos propósitos, como la absorción de calor y la conducción eléctrica.

Este generador presenta grandes ventajas como el bajo costo de producción y manufactura, y la abundancia de los materiales, en este sentido abre puertas a nuevos desarrollos de dispositivos que puedan aprovechar el potencial calórico perdido en medio de sus procesos, no solo a nivel industrial, sino también en el hogar o en una fogata, en medio de un día de camping. Se implementan las celdas Peltier en fuentes térmicas de calor residuales, para aprovechamiento de generación de energía eléctrica y climatización por frío en el hogar.

Las personas tienen contacto con fuentes de calor, en la mayoría de acciones ejecutadas, algunas tan simples, como encender una estufa para cocción de alimento o el arranque del motor de un vehículo, teniendo en cuenta que la temperatura es una variable física con mucha inercia se podrían aprovechar estos momentos de calentamiento para generar otro tipo de energía a través de elementos termoeléctricos como las celdas Peltier.

En diferentes espacios de la casa, o momentos en el día se puede aprovechar esta energía térmica y convertirla en energía eléctrica, por ejemplo: La cocina, específicamente la estufa desprende mucho calor residual que no es aprovechado en el momento de la cocción de alimentos, la mesa de planchar, lugar donde se utiliza el dispositivo más consumidor de energía eléctrica en el hogar, podría ser utilizada esta energía calórica desperdiciada para implementarse en otras aplicaciones, el cuarto de máquinas para lavado de ropa, incluyendo la secadora y los calentadores de agua a combustión son lugares donde se desperdicia energía calórica significativamente.

Aplicaciones en Campos Automotrices

Según Echeverría & Cevallos (2015) con el fin de reducir los impactos negativos en el medio ambiente y teniendo en cuenta el crecimiento automotriz en Ecuador, dan paso a la introducción de nuevas tecnologías en los vehículos, para lograr menos consumo de combustible y evitar mayor cantidad de emisiones. Solo el 25% de la combustión de la gasolina, es aprovechada en el desarrollo mecánico del automóvil, el resto se pierde en forma de calor residual en el escape y refrigerante; debido a esto la industria le apuesta al incremento de un mayor número de dispositivos electrónicos, para poder evitar al máximo estas pérdidas, pero esto requiere del uso de mayor cantidad de energía, y por ello las industrias le están apostando al uso de tecnología termoeléctrica (TEG).

Los avances en la tecnología TEG, puede tener un impacto significativo en la industria del automóvil en términos de ahorro de combustible, mejoras mediante la generación de electricidad a partir del calor residual. La tecnología de TEG tiene la capacidad de utilizar las decenas de kilovatios de las pérdidas de calor en los vehículos para generar electricidad sin carga del motor añadido.

Dentro del conjunto de aplicaciones automotrices los materiales termoeléctricos son utilizados para eliminar cargas secundarias desde el tren de potencia del motor, además, la potencia del generador TEG podría mejorar la eficiencia del combustible, a través de la recuperación de energía mediante el apoyo al motor apagado, operación con las necesidades mínimas de la batería y podría aumentar energía eléctrica. Un estudio reciente sugiere que la economía del combustible del automóvil se podría aumentar en un 20% mediante la captura del calor residual y la conversión de alrededor de un 10% de la misma a electricidad, un aumento en la eficiencia comparable a la que tendrían automóviles en EEUU.

A pesar de nuevos descubrimientos importantes en la última década, el desarrollo de calor residual TEG en automóviles a gran escala, con tecnologías de recuperación, sigue siendo extremadamente difícil, se sigue evaluando cuales son los mejores materiales para encontrar las características más eficientes, lograr los objetivos de reducción de combustible y ser amigable con el medio ambiente.

Uno de los primeros en implementar un estudio y un TEG han sido los vehículos BMW, que basándose en el efecto Seebeck obtiene energía eléctrica del calor que libera el motor, la técnica es similar a la que se usa desde décadas atrás en las sondas espaciales para obtener electricidad del calor generado de una fuente radioactiva, en los automóviles resulta más realista acoplar el TEG en los tubos de escape. De momento se consiguen potencias cercanas a 200 vatios, pero con los estudios de los nuevos materiales se espera incrementar este valor a 1000 vatios.

El centro de investigación de Nissan ha desarrollado para TEG, diferentes intervalos de temperatura, el prototipo utiliza módulos *BiTe* (teluro de bismuto), logrando grandes avances en los termogeneradores.

Generadores Termoeléctricos TEG Aplicados a la Combustión de Gas Natural

De acuerdo con Bollati (2007) en Argentina es frecuente el uso de generadores termoeléctricos de corriente continua, de baja potencia, sin partes móviles, que se utilizan en aplicaciones e instalaciones remotas no habitadas, para la lectura de dispositivos que trabajan con base en la combustión de gas natural. Además, se emplean en la industria del petróleo y del gas, para protección catódica, sistemas SCADA y de telecomunicaciones.

Los generadores termoeléctricos tienen gran aceptación en la Argentina, existen alrededor de quinientos equipos instalados en el país y en los gaseoductos trasandinos, las aplicaciones principales son la alimentación de instalaciones de protección catódica y SCADA en ductos y pozos, la mayoría de estas cargas de protección están alimentadas por TEG, así como gran parte de las instalaciones similares de las transportadoras de gas en Argentina. Las grandes empresas de gas tienen TEG para tele supervisión de pozos, puntos de medición y demás instalaciones alimentadas por TEG.

Marco Teórico

Aplicación de los Sistemas Termoelectricos

De acuerdo con Forero & Pinzón (2013), el Grupo de Investigación de Eficiencia Energética de la Universidad de Santo Tomás Bogotá, Colombia, determinan que los termo generadores son un camino a la conservación del medio ambiente y futuras fuentes de energía ideales para el sector urbano y rural del país.

Un módulo termoelectrico o también llamado célula Peltier es un componente construido a partir de semiconductores, el cual permite generar energía eléctrica en el momento que sus dos caras laterales sean impactadas con un diferencial de temperatura, además, si se conecta una carga en sus terminales, circulará una carga eléctrica proporcional a la impedancia y al diferencial de tensión generado.

Con la aplicación de un foco de calor el elemento se polariza creando una unión tipo P y otro tipo N, por ende, se crea un flujo de electrones que a su vez produce finalmente un flujo de corriente, para esto se requieren los siguientes pasos:

Fuente caliente: Quemador o calefactor que en la mayoría de los casos es a gas, pero que en general se puede utilizar cualquier tipo de fuente que proporcione tal forma de energía.

Dispositivo de conversión de energía: Es aquel dispositivo o módulo termoelectrico que por medio de su composición proporciona los cambios de energía que se desean.

Fuente fría: Elementos que hacen la labor de refrigerar con el fin de disminuir los niveles de temperatura, como el disipador de aluminio los tubos refrigerantes o los radiadores.

Efecto Seebeck

Según Ballús (2015) consiste en la conversión de una diferencia de temperatura en electricidad, la intensidad de esta corriente dependerá tanto del material semiconductor que se

utilice en el sistema, como de la diferencia entre las temperaturas que lo está impactando, debido a esta diferencia en las temperaturas se obliga a una migración de los electrones en el material semiconductor.

Para cada tipo de unión hay un coeficiente de Seebeck que relaciona la diferencia de potencial generada con la diferencia de temperatura aplicada, con las investigaciones se consiguen combinaciones más eficientes, pero estos valores suelen ser de microvoltios por grado kelvin de diferencia.

El efecto Seebeck es representado por: Ecuación 1.

$$V_{AB} = \alpha * \Delta T$$

Siendo:

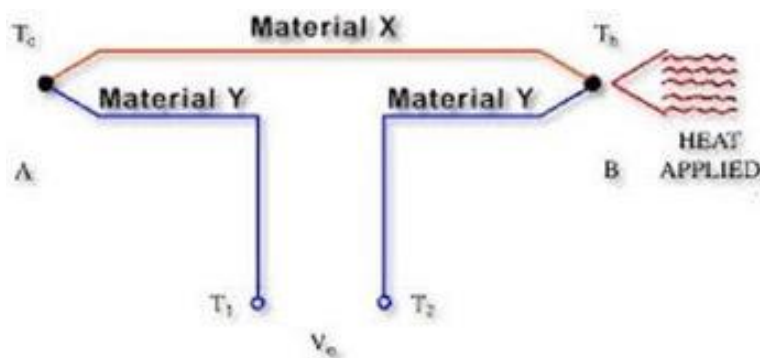
α = coeficiente Seebeck (V/K)

V_{AB} = tensión eléctrica entre los terminales A y B (V)

ΔT = diferencia de temperaturas ($^{\circ}k$ o $^{\circ}c$)

Figura 1

Efecto Seebeck



Nota. Fenómeno físico Seebeck presentado al aplicar una fuente de calor a dos materiales diferentes. Goldsmid (1964).

Efecto Peltier

Consiste en aplicar una diferencia de potencial en la unión de dos materiales se genera una diferencia de temperatura, una caliente en uno de los extremos y la otra fría en el otro extremo.

La expresión muestra la potencia generada o absorbida por la unión de materiales en función del material y la intensidad que lo atraviesa (Ballús, 2015).

Ecuación 2.

$$Q = \Pi AB * I$$

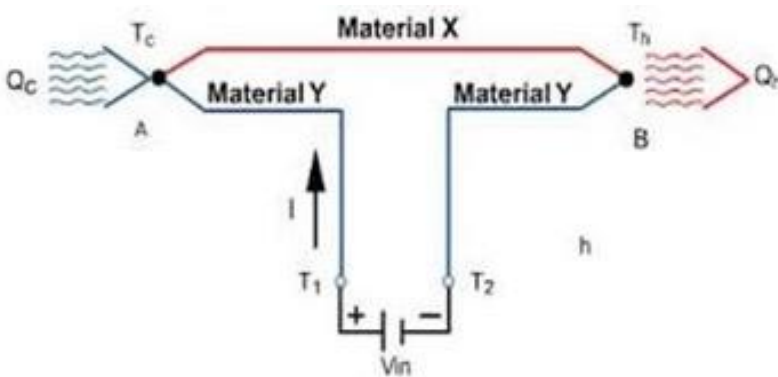
Siendo:

Q = potencia generada o absorbida por la union de materiales (W) ΠAB = coeficiente Peltier (V

I = intensidad de corriente (A)

Figura 2

Efecto Peltier



Nota. Imagen que muestra como al aplicársele voltaje a dos materiales diferentes estos reaccionan liberando temperaturas diferentes. Herranz (2008).

Efecto Thomson

A diferencia de los efectos anteriores, este solo se aplica a un material, estudiando el enfriamiento o calentamiento de un material expuesto a un gradiente de temperatura entre sus dos conexiones al pasar por él una corriente eléctrica según esta dirección el material absorbe o libera calor. La potencia calorífica generada o absorbida es el producto de la densidad de corriente por el gradiente de temperatura multiplicada por el coeficiente de Thomson (Ballús, 2015).

Ecuación 3.

$$Q_t = \mu * J * dT$$

dx

Siendo:

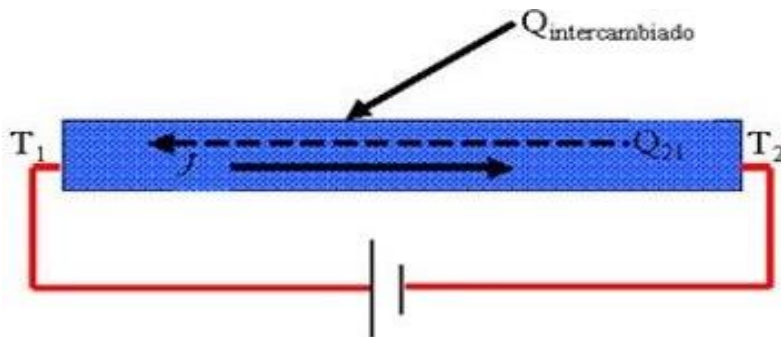
$Q_t = \text{potencia absorbida (W/m}^3\text{)}$

$\mu = \text{coeficiente de Thomson (W/AK)}$

$J = \text{densidad de corriente (A/m}^2\text{)}$

dT

$dx = \text{graiente de temperatura (K/m)}$

Figura 3*Efecto Thomson*

Nota. Imagen sobre el efecto que se genera sobre un material al ser aplicada una corriente para mostrar las temperaturas generadas. Grupo de investigación de Ingeniería Térmica (2021).

Como dice Ballús (2015), por medio de la potencia y la ecuación del efecto Seebeck, podemos deducir dos ecuaciones fundamentales definiendo la entrada y salida del calor gracias al efecto Seebeck.

Ecuación 4.

$$Q = \alpha * \Delta T * I$$

Entonces:

Potencia es igual:

Ecuación 5.

$$P = V * I$$

Calor absorbido:

Ecuación 6.

$$Qh = \alpha * TH * I$$

Calor perdido:

Ecuación 7.

$$Ql = \alpha * TL * I$$

Siendo:

TH = temperatura en la cara caliente (K)

TL = temperatura en la cara fría (K)

La ecuación de la relación Thomson y la del efecto Peltier tienen una relación, describiendo la potencia que genera o absorbe una célula termoeléctrica TEG o celda Peltier en función de la intensidad.

Ecuación 8.

$$\Pi = \alpha * T$$

De este modo se ha obtenido la relación de los coeficientes Seebeck y Peltier de los materiales, el coeficiente Thomson también puede ser expresado gracias a su relación

Ecuación 9.

$$d\alpha$$

$$\mu = T * dT$$

Siendo:

T = temperatura absoluta (K).

La conducción de calor es un factor importante en aras de la eficiencia de la celda Peltier es la conductividad térmica entre la cara fría y la cara caliente de la celda, la conducción de calor es una propiedad de los materiales que sucede cuando dos cuerpos a distintas temperaturas están en contacto directo, fluyendo calor desde el cuerpo de mayor temperatura al de menor. Esta propiedad es expresada por la ley de Fourier que describe el calor entre los dos extremos en función de la diferencia de temperaturas (ΔT), y la resistencia térmica (K)

Ecuación 10.

$$Q\dot{c} = -k * \Delta T$$

Siendo:

$Q\dot{c}$ = flujo de calor conducido (W)

k = resistencia térmica (K/mW)

ΔT = gradiente de temperatura (K/m)

Los datos compilados en la Tabla 1 se convierten en relevantes para determinar aspectos como la eficiencia del dispositivo.

Tabla 1*Coefficiente térmico*

T. C. °K	T. F. °K	Flujo de calor Qc (W)	Coefficiente térmico k (K/mW)
334,75	280,55	62,2	1,14760148
334,55	280,55	62,2	1,15185185
334,55	280,65	62,2	1,15398887
334,45	280,65	62,2	1,15613383
334,15	280,75	62,2	1,16479401
334,05	280,85	62,2	1,16917293
333,85	281,05	62,2	1,1780303
333,65	281,15	62,2	1,1847619
333,65	281,15	62,2	1,1847619
333,55	281,35	62,2	1,19157088
333,35	281,55	62,2	1,2007722
333,35	281,55	62,2	1,2007722
333,35	281,65	62,2	1,20309478
333,25	281,75	62,2	1,20776699
333,15	281,75	62,2	1,21011673
332,95	281,85	62,2	1,21722114
332,85	281,95	62,2	1,22200393
332,65	281,95	62,2	1,22682446

T. C. °K	T. F. °K	Flujo de calor Qc (W)	Coeficiente térmico k (K/mW)
332,65	282,05	62,2	1,22924901
332,55	282,25	62,2	1,23658052
332,35	282,45	62,2	1,24649299
332,25	282,65	62,2	1,25403226
332,15	283,05	62,2	1,26680244
332,05	283,45	62,2	1,27983539
331,85	283,45	62,2	1,28512397
331,75	283,65	62,2	1,29313929
331,75	284,05	62,2	1,30398323
331,65	284,35	62,2	1,31501057
331,45	284,85	62,2	1,33476395
331,35	285,15	62,2	1,34632035
331,25	286,05	62,2	1,37610619
331,25	286,25	62,2	1,38222222
331,15	286,75	62,2	1,4009009
330,85	287,05	62,2	1,42009132
330,65	287,65	62,2	1,44651163
330,55	287,75	62,2	1,45327103
330,25	287,95	62,2	1,47044917
330,25	288,35	62,2	1,48448687
329,75	289,05	62,2	1,52825553

T. C. °K	T. F. °K	Flujo de calor Qc (W)	Coeficiente térmico k (K/mW)
329,45	289,15	62,2	1,54342432
329,35	289,35	62,2	1,555
328,95	289,55	62,2	1,5786802
328,35	289,75	62,2	1,61139896
327,45	289,95	62,2	1,65866667
327,15	289,95	62,2	1,67204301
326,85	290,05	62,2	1,69021739
326,35	290,25	62,2	1,72299169
325,55	290,45	62,2	1,77207977
324,75	290,55	62,2	1,81871345
324,15	290,55	62,2	1,85119048

Nota. Datos obtenidos experimentalmente en el laboratorio de Tecno parque nodo SENA

Eficiencia Termoeléctrica

Los dispositivos termoeléctricos ofrecen generación de energía y refrigeración, sin partes móviles y su funcionamiento es casi libre de mantenimiento. Se puede decir que la termoelectricidad es esencialmente un motor térmico de partículas, donde el flujo de trabajo se compone de electrones o agujeros. La energía termoeléctrica se encuentra entre un 20% y un 30% menos eficiente que la quema de combustibles fósiles, y los principios termoeléctricos se encuentran bien definidos para materiales como la aleación de Bi_2Te_3 con eficiencia del 10% (Quezada & Meza, 2019).

De acuerdo con Díez (2017) un generador termoeléctrico se considera una máquina de calor obedeciendo a las leyes de la termodinámica, y cuando no hay pérdidas de calor la eficiencia se calcula como:

$$\phi = \frac{\textit{energía eléctrica obtenida}}{\textit{calor absorbido}}$$

Realizando el análisis del efecto Seebeck para el dispositivo termo generador TEG, o celda Peltier, se tiene que:

Ecuación 11

$$\phi = \frac{I^2 R}{Q}$$

Y si se hace un llamado al rendimiento de Carnot:

Ecuación 12

$$n_c = \frac{T_h - T_c}{T_h}$$

Siendo

T_h = temperatura caliente.

T_c = temperatura fría.

Y se incluye el factor de mérito:

Ecuación 13

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{k}$$

Donde:

$\alpha = \text{coeficiente Seebeck } (\mu\text{VK})$

$\sigma = \text{conductividad eléctrica } (\text{Sm})$

$k = \text{conductividad térmica } \left(\frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}\right)$

Queda entonces que la eficiencia es:

Ecuación 14

$$\Phi = n_c \frac{(\sqrt{1 + Z\bar{T}}) - 1}{(\sqrt{1 + Z\bar{T}}) - \frac{T_c}{T_H}}$$

Se concluye que la eficiencia de un dispositivo termo generador es directamente proporcional al rendimiento de Carnot y al factor de mérito Z que depende de las características de los materiales. El factor de mérito Z tiene unidades de K^{-1} por lo que se suele adimensionalizar multiplicando por la temperatura media T , quedando así:

Ecuación 15

$$ZT = \frac{\alpha^2 \sigma T}{k}$$

Este factor $\alpha^2 \sigma T$ está relacionado con la potencia eléctrica, mientras que k está relacionado con la potencia térmica, se concluye que al aumentar la diferencia de temperaturas entre el lado caliente y el lado frío se obtendrá mayor eficiencia, y por lo tanto mayor energía eléctrica.

Como el rendimiento del efecto Seebeck es muy bajo, se tiene por reto encontrar materiales con un alto índice de ZT o factor de mérito, es decir materiales con baja conductividad térmica y alta conductividad eléctrica.

Para el dispositivo TEG se tiene entonces:

Tabla 2

Factor de mérito termoeléctrico

C. Seebeck α	C. eléctrica σ	Coeficiente térmico k (K/mW)	T. caliente K°	T. fría K°	F. de mérito ZT
0,00763838	1,20772947	1,14760148	334,75	280,55	0,003327974
0,00762963	1,21359223	1,15185185	334,55	280,55	0,003311897
0,00760668	1,2195122	1,15398887	334,55	280,65	0,00329582
0,00756506	1,22850123	1,15613383	334,45	280,65	0,003271704
0,00758427	1,2345679	1,16479401	334,15	280,75	0,003255627
0,00759398	1,23762376	1,16917293	334,05	280,85	0,003247588
0,00757576	1,25	1,1780303	333,85	281,05	0,003215434
0,00758095	1,25628141	1,1847619	333,65	281,15	0,003199357
0,00748571	1,27226463	1,1847619	333,65	281,15	0,003159164
0,00745211	1,28534704	1,19157088	333,55	281,35	0,00312701
0,00747104	1,29198966	1,2007722	333,35	281,55	0,003110932
0,00737452	1,30890052	1,2007722	333,35	281,55	0,00307074
0,00733075	1,31926121	1,20309478	333,35	281,65	0,003046624
0,00728155	1,33333333	1,20776699	333,25	281,75	0,003014469
0,00719844	1,35135135	1,21011673	333,15	281,75	0,002974277
0,00714286	1,36986301	1,21722114	332,95	281,85	0,002934084
0,00707269	1,38888889	1,22200393	332,85	281,95	0,002893891
0,0070217	1,40449438	1,22682446	332,65	281,95	0,002861736

C. Seebeck α	C. eléctrica σ	Coeficiente térnico k (K/mW)	T. caliente K°	T. fría K°	F. de mérito ZT
0,00697628	1,41643059	1,22924901	332,65	282,05	0,002837621
0,00689861	1,44092219	1,23658052	332,55	282,25	0,002789389
0,00691383	1,44927536	1,24649299	332,35	282,45	0,002773312
0,00729839	1,38121547	1,25403226	332,25	282,65	0,002909968
0,00729124	1,39664804	1,26680244	332,15	283,05	0,002877814
0,00722222	1,42450142	1,27983539	332,05	283,45	0,002821543
0,00716942	1,44092219	1,28512397	331,85	283,45	0,002789389
0,00706861	1,47058824	1,29313929	331,75	283,65	0,002733119
0,00696017	1,5060241	1,30398323	331,75	284,05	0,00266881
0,00693446	1,52439024	1,31501057	331,65	284,35	0,002636656
0,00706009	1,51975684	1,33476395	331,45	284,85	0,002644695
0,00703463	1,53846154	1,34632035	331,35	285,15	0,00261254
0,0070354	1,57232704	1,37610619	331,25	286,05	0,00255627
0,00695556	1,59744409	1,38222222	331,25	286,25	0,002516077
0,00684685	1,64473684	1,4009009	331,15	286,75	0,00244373
0,00687215	1,66112957	1,42009132	330,85	287,05	0,002419614
0,00690698	1,68350168	1,44651163	330,65	287,65	0,00238746
0,00707944	1,65016502	1,45327103	330,55	287,75	0,002435691
0,00711584	1,66112957	1,47044917	330,25	287,95	0,002419614
0,00713604	1,6722408	1,48448687	330,25	288,35	0,002403537

C. Seebeck α	C. eléctrica σ	Coeficiente térmico k (K/mW)	T. caliente K°	T. fría K°	F. de mérito ZT
0,00722359	1,70068027	1,52825553	329,75	289,05	0,002363344
0,00722084	1,71821306	1,54342432	329,45	289,15	0,002339228
0,00705	1,77304965	1,555	329,35	289,35	0,002266881
0,00728426	1,74216028	1,5786802	328,95	289,55	0,002307074
0,00715026	1,8115942	1,61139896	328,35	289,75	0,00221865
0,00704	1,89393939	1,65866667	327,45	289,95	0,002122186
0,0069086	1,94552529	1,67204301	327,15	289,95	0,002065916
0,00654891	2,0746888	1,69021739	326,85	290,05	0,001937299
0,00620499	2,23214286	1,72299169	326,35	290,25	0,001800643
0,00598291	2,38095238	1,77207977	325,55	290,45	0,001688103
0,00590643	2,47524752	1,81871345	324,75	290,55	0,001623794
0,00589286	2,52525253	1,85119048	324,15	290,55	0,00159164

Nota. Datos obtenidos experimentalmente en el laboratorio de Tecno parque nodo SENA

Después de tener claro el valor del factor de mérito, relacionado con la eficiencia de los dispositivos para la generación de energía eléctrica, se procede a determinar el rendimiento de Carnot, dado por la solución de esta fórmula matemática $= \frac{T_h - T_c}{T_h}$ así se determina si la eficiencia del dispositivo es adecuada para el desarrollo del proyecto, como se observa en la Tabla 3.

Tabla 3*Rendimiento de Carnot*

T. caliente K°	T. fría K°	Ren. de Carnot <i>n_c</i>
334,75	280,55	0,16191187
334,55	280,55	0,16141085
334,55	280,65	0,16111194
334,45	280,65	0,16086112
334,15	280,75	0,15980847
334,05	280,85	0,1592576
333,85	281,05	0,15815486
333,65	281,15	0,15735052
333,65	281,15	0,15735052
333,55	281,35	0,15649828
333,35	281,55	0,15539223
333,35	281,55	0,15539223
333,35	281,65	0,15509225
333,25	281,75	0,15453863
333,15	281,75	0,15428486
332,95	281,85	0,1534765
332,85	281,95	0,15292174
332,65	281,95	0,15241245
332,65	282,05	0,15211183

T. caliente K°	T. fría K°	Ren. de Carnot η_c
332,55	282,25	0,15125545
332,35	282,45	0,15014292
332,25	282,65	0,14928518
332,15	283,05	0,14782478
332,05	283,45	0,1463635
331,85	283,45	0,14584903
331,75	283,65	0,1449887
331,75	284,05	0,14378297
331,65	284,35	0,14262023
331,45	284,85	0,14059436
331,35	285,15	0,13942961
331,25	286,05	0,13645283
331,25	286,25	0,13584906
331,15	286,75	0,13407821
330,85	287,05	0,13238628
330,65	287,65	0,13004688
330,55	287,75	0,12948117
330,25	287,95	0,12808478
330,25	288,35	0,12687358
329,75	289,05	0,12342684
329,45	289,15	0,12232509

T. caliente K°	T. fría K°	Ren. de Carnot η_c
329,35	289,35	0,12145134
328,95	289,55	0,11977504
328,35	289,75	0,11755748
327,45	289,95	0,1145213
327,15	289,95	0,11370931
326,85	290,05	0,11258987
326,35	290,25	0,11061744
324,75	290,55	0,10531178
325,55	290,45	0,10781754
324,15	290,55	0,10365571

Nota. Datos obtenidos experimentalmente en el laboratorio de Tecno parque nodo SENA

Una vez, obtenidos estos valores, se puede conocer la eficiencia del dispositivo, como lo muestra la Tabla 4.

Tabla 4*Eficiencia*

Ren. de Carnot	F. de mérito ZT	Eficiencia φ
0,16191187	0,00332797	0,00053884
0,16141085	0,0033119	0,00053458
0,16111194	0,00329582	0,000531
0,16086112	0,0032717	0,00052629
0,15980847	0,00325563	0,00052028
0,1592576	0,00324759	0,0005172
0,15815486	0,00321543	0,00050854
0,15735052	0,00319936	0,00050342
0,15735052	0,00315916	0,0004971
0,15649828	0,00312701	0,00048937
0,15539223	0,00311093	0,00048341
0,15539223	0,00307074	0,00047717
0,15509225	0,00304662	0,00047251
0,15453863	0,00301447	0,00046585
0,15428486	0,00297428	0,00045889
0,1534765	0,00293408	0,00045031
0,15292174	0,00289389	0,00044254
0,15241245	0,00286174	0,00043616
0,15211183	0,00283762	0,00043164
0,15125545	0,00278939	0,00042191

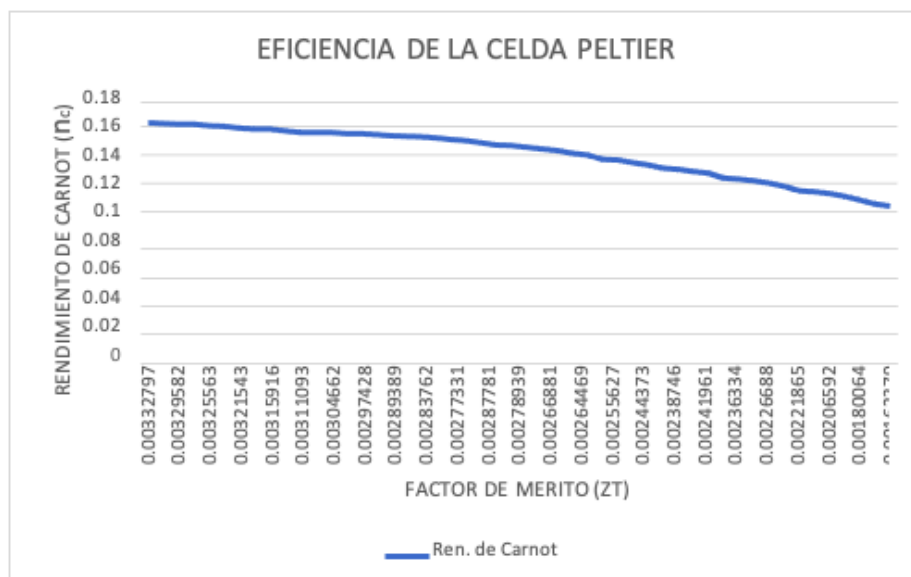
Ren. de Carnot	F. de mérito ZT	Eficiencia φ
0,15014292	0,00277331	0,00041639
0,14928518	0,00290997	0,00043442
0,14782478	0,00287781	0,00042541
0,1463635	0,00282154	0,00041297
0,14584903	0,00278939	0,00040683
0,1449887	0,00273312	0,00039627
0,14378297	0,00266881	0,00038373
0,14262023	0,00263666	0,00037604
0,14059436	0,00264469	0,00037183
0,13942961	0,00261254	0,00036427
0,13645283	0,00255627	0,00034881
0,13584906	0,00251608	0,00034181
0,13407821	0,00244373	0,00032765
0,13238628	0,00241961	0,00032032
0,13004688	0,00238746	0,00031048
0,12948117	0,00243569	0,00031538
0,12808478	0,00241961	0,00030992
0,12687358	0,00240354	0,00030495
0,12342684	0,00236334	0,0002917
0,12232509	0,00233923	0,00028615
0,12145134	0,00226688	0,00027532
0,11977504	0,00230707	0,00027633

Ren. de Carnot	F. de mérito ZT	Eficiencia ϕ
0,11755748	0,00221865	0,00026082
0,1145213	0,00212219	0,00024304
0,11370931	0,00206592	0,00023491
0,11258987	0,0019373	0,00021812
0,11061744	0,00180064	0,00019918
0,10781754	0,0016881	0,00018201
0,10531178	0,00162379	0,000171
0,10365571	0,00159164	0,00016498

Nota. Datos obtenidos experimentalmente en el laboratorio de Tecno parque nodo SENA

Figura 4

Eficiencia



Nota. grafica de una característica de la celda Peltier.

De acuerdo a los valores de la Tabla 4 se obtiene la gráfica de la eficiencia, en donde sobre el eje vertical están expresados los valores del rendimiento de Carnot (η_c) que dependen del delta de

temperatura, y en el eje horizontal esta expresado por el factor de mérito con unidades de (K^{-1}) , por lo que se suele adimensionalizar multiplicándolo por la temperatura media (T).

De acuerdo con la Tabla 4 y la Figura 4 relacionadas con el factor de mérito o eficiencia termoeléctrica, se observa que están determinadas por dos variables, la potencia eléctrica y la potencia térmica, de estas dos y su fluctuación o estabilidad depende que el dispositivo TEG que se utiliza en las pruebas de un resultado adecuado, mientras haya una diferencia de temperaturas considerable, es decir, una temperatura caliente y una fría, se podrá obtener un diferencial de voltaje con valores que se puedan implementar para el uso y aplicación de este desarrollo o por el contrario no se encuentre ningún beneficio para el propósito de esta investigación, en las pruebas no se contó con la estabilización de las temperaturas y por esto notamos un descenso en la estabilidad o eficiencia de la producción de energía eléctrica.

Desde el comienzo se ha mencionado que una producción de voltaje por parte del dispositivo TEG depende de un gradiente de temperatura, a mayor gradiente de temperatura, mayor la cantidad de voltaje resultante. La Tabla 2 y la Figura 4 de la eficiencia termoeléctrica, lo comprueban, en la Figura 4 se puede ver el coeficiente Seebeck enfrentado al factor de mérito, se observa que a mayor coeficiente Seebeck, mayor eficiencia del dispositivo TEG, la Figura está en relación ascendente y es muy inestable, muestra fluctuaciones hacia la derecha o hacia la izquierda, pero siempre en sentido ascendente. Lo anterior quiere decir que el factor de mérito o eficiencia del dispositivo TEG crece o disminuye ante el comportamiento del coeficiente de Seebeck, esto claramente será notable, debido a la inestabilidad de la aplicación de las diferentes temperaturas sobre el dispositivo TEG. Esto no quiere decir que el dispositivo tenga un funcionamiento errático, sino que está actuando de acuerdo a la variación de estos parámetros.

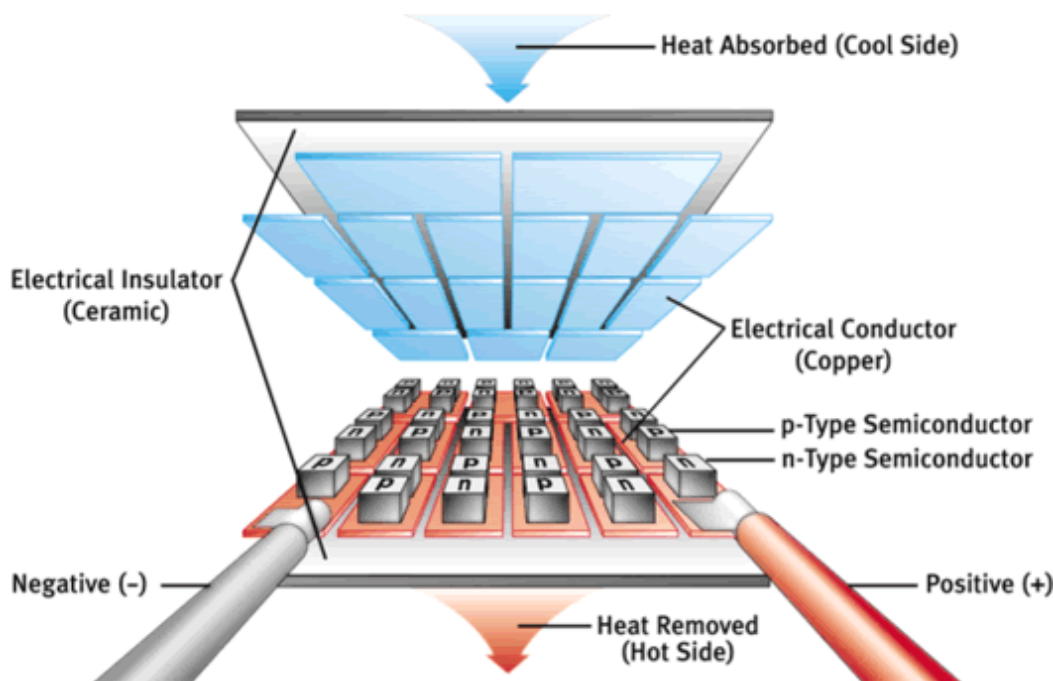
También se encuentra que el dispositivo responde de manera asertiva y con muy buenos resultados ante la influencia de estos fenómenos físicos y su respuesta es la ideal para lograr el objetivo de la práctica y la investigación.

Celdas o Células Peltier

De acuerdo con Ballús (2015) una celda o célula Peltier está compuesta por semiconductores tipo N y tipo P dispuestos alternadamente y conectados en serie, mediante soldaduras en contacto con la cara fría (NP) y la cara caliente (PN), aislados entre sí, por medio de un material cerámico, para garantizar que el flujo eléctrico haga el recorrido deseado.

Debido a la diferencia de temperatura entre el lado frío y el caliente, la estructura molecular del material cambia, provocando una migración de huecos hacia el lado frío de los componentes tipo P, cargándolos positivamente. Esto produce una migración de electrones en los materiales tipo N, para que la carga se estabilice, convenientemente se crea una corriente eléctrica, esta intensidad creada siempre es continua pues los electrones siempre siguen la misma dirección, desde que no se inviertan los lados frío y calor de la celda. Al aplicar un potencial el efecto es contrario, sucediendo el movimiento de los electrones y después el de los huecos, cambiando la estructura del material que conlleva al descenso de la temperatura en las soldaduras.

Otra característica interesante es que, si se invierte la polaridad, se invierte el movimiento de los electrones y esto obliga a cambiar la temperatura en las caras

Figura 5*Estructura celda Peltier*

Nota. Esta figura expone la estructura física de una celda Peltier se observan los elementos semiconductores dispuestos electrónicamente en serie y térmicamente en paralelo. Professional Review (s.f.).

Según Múnera (2012) una celda Peltier es un generador de potencia termoeléctrico, es un dispositivo capaz de convertir energía térmica, en energía eléctrica, utilizando el fenómeno Seebeck. Funciona como una máquina de calor que absorbe temperatura, por un lado y libera calor, por el otro, de allí se puede extraer energía para realizar un trabajo W .

Es considerado como un sistema compuesto de dos materiales semiconductores α y β , los dos materiales son conectados térmicamente en paralelo y eléctricamente en serie y están sometidos a un gradiente de temperatura generados por dos reservorios, uno con temperatura alta

T_H y otro con temperatura baja T_L , el calor neto transferido T_H es Q_H . En esta zona los materiales están unidos por una barra de cobre dispuesta horizontalmente, mientras que en la parte fría están separados por un aislante eléctrico, para generar una corriente eléctrica de trabajo que pase a través de una resistencia de carga RL el calor neto transferido de baja temperatura es T_L es Q_L .

La juntura es la unión eléctrica y térmica entre los materiales α y β , las propiedades físicas de estos materiales son diferentes, al igual que sus geometrías, por eso existe una longitud característica diferente para ambos materiales conocidas como l_α y l_β , igualmente difieren en el área transversal A_α y A_β .

Justificación

En el contexto del presente trabajo se debe tener en cuenta que la falta de energía eléctrica en algunas zonas de Colombia, no ha sido remediada por diferentes razones y que la producción de energía eléctrica convencional está generando problemas ambientales, algunos irremediables. Además, Flórez et al. (2009) traen a colación que en Colombia la Ley 143 de 1994 o Ley Eléctrica, determina que el 66% del territorio nacional esta interconectado eléctricamente, mediante el sistema interconectado nacional (SIN), territorio donde habita aproximadamente el 95% de la población, pero el 34% del territorio no hace parte de esta red, esto no quiere decir que no se estén haciendo estudios para la generación de la energía eléctrica que se necesita, aunque las dificultades no faciliten su progreso, pero este porcentaje se ubica entonces dentro de las zonas no interconectadas (ZIN). Entonces se trata de investigar cómo los dispositivos termo generadores, por ejemplo, las celdas o células Peltier a través de sus características, pueden generar un flujo eléctrico suficiente para ejecutar algunas aplicaciones eléctricas de baja potencia que disminuyan los inconvenientes presentados por no tener energía eléctrica en el hogar. Por medio de prototipos acondicionados para el uso de los dispositivos termo generadores TEG, se logrará obtener un potencial de energía, generado posiblemente durante las 24 horas del día, si los recursos naturales lo permiten, o por lapsos de tiempo, gracias a la manipulación de variables como la temperatura para poder ofrecer el servicio.

De esta manera se logra suplir las necesidades básicas de baja potencia en un hogar, como por ejemplo la iluminación por medio de bombillas, la carga de dispositivos electrónicos, que permiten la comunicación y la educación. La investigación ofrece conocimiento para la expansión de la generación de energía eléctrica renovable por medio de los termo generadores

TEG en Colombia, con documentos y ejemplos de sus resultados, se espera que se siga investigando de manera exponencial, el beneficio de la obtención de esta energía eléctrica.

Metodología

Como primera actividad se hizo el reconocimiento del dispositivo electrónico termo generador TEG, denominado celda o célula Peltier, se describieron sus características físicas y su comportamiento ante la influencia de dos fenómenos físicos, un diferencial de voltaje y uno de temperatura. Después se procedió a la toma de datos que este dispositivo genera, mediante el procedimiento que se lleva a cabo para las pruebas, se tuvo en cuenta que sus características dependen de los efectos físicos Seebeck y Peltier.

Posteriormente se analizó el comportamiento basado en el efecto Peltier y se consideró que este dispositivo es altamente utilizado para controlar la temperatura en algunos espacios; se aplicó para la prueba un diferencial de voltaje y se aumenta gradualmente hasta los límites permitidos por la celda, acompañado de una intensidad que no varía, después la celda Peltier fue sometida a un diferencial de temperaturas para analizar su comportamiento ante la influencia del efecto Seebeck y determinar si el dispositivo como tal, responde a la influencia de estos fenómenos físicos y si lo hace de acuerdo a las características del fabricante, lo cual permitió saber si se está utilizando el dispositivo adecuado y si se están realizando bien las pruebas. Es por esto que se implementó el diseño experimental en la toma de los datos recopilados, a medida que se realizó el procedimiento para lograr el conocimiento previo del dispositivo y lograr los objetivos.

De acuerdo con Abreu (2012), un experimento es el proceso planificado de investigar en el que al menos una variable (experimental o independiente) es manipulada o controlada por el investigador, para conocer el efecto que produce en otra variable dependiente, se puede influir sobre alguna variable y establecer de forma clara y específica hipótesis causales.

De acuerdo con lo anterior, el trabajo se realizó bajo el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, pues a medida que se obtuvieron los resultados experimentales con el dispositivo termoeléctrico TEG, se construyeron diferentes prototipos adecuados a estos análisis, para concluir con la posible generación de energía eléctrica, por parte del dispositivo. Esto condujo a la construcción de un prototipo a escala de un compartimiento que generó la inducción de diferentes temperaturas al dispositivo, una caliente por un lado y otra fría por el otro. Para que con esta diferencia en temperaturas el dispositivo reaccione y genere energía eléctrica, se empezó con prototipos simples que arrojaron información del comportamiento de la celda o célula Peltier.

A partir de este conocimiento se mejoró no solo el prototipo, sino la forma de obtención de los datos generados, para al final concluir con los valores adecuados que optimicen la generación de esta energía. Se concluyó que el dispositivo puede ser óptimo si la temperatura aplicada se estabiliza en un solo valor ya que la influencia de esta entre valores de 30 y 60 grados centígrados hace que el dispositivo aumente gradualmente su generación de voltaje logrando los mejores valores de voltaje con los más altos valores del diferencial de temperatura.

Con relación a la investigación cuantitativa Pita & Pértegas (2002) exponen que es aquella donde se recogen datos sobre variables y se estudia la asociación o relación entre variables, haciendo una generalización y objetivación de los resultados para hacer inferencia sobre el dispositivo del cual este procede. Tras el estudio de la asociación o correlación pretende, a su vez, hacer inferencia casual que explique por qué las cosas suceden o no, de una forma determinada.

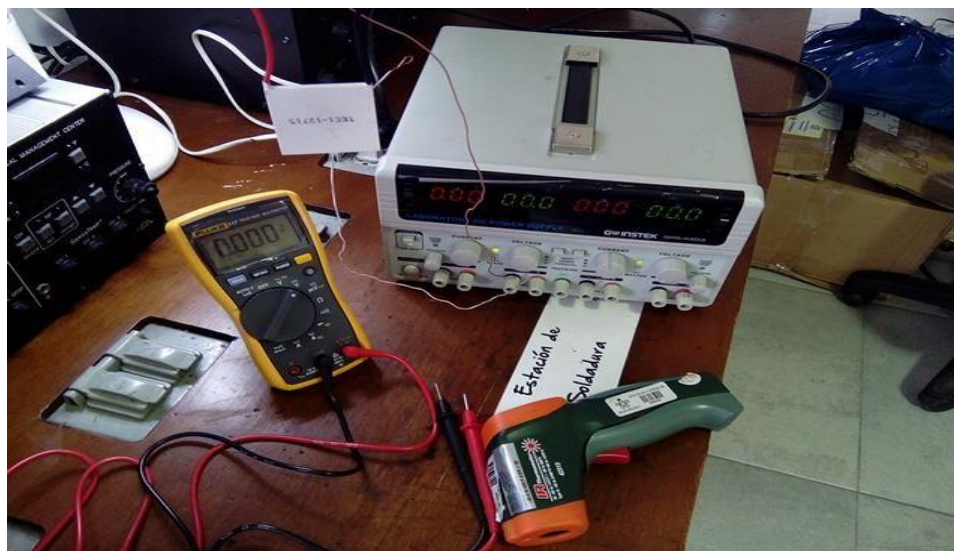
La caracterización de las variables obtenidas se analizó y se realizó un modelamiento matemático de este dispositivo con la ayuda del software MATLAB, con el propósito de entender de manera teórica cómo se comporta. Además, se establece una comparación entre dos de los sistemas de generación de energía renovable más comunes, para determinar las ventajas y desventajas que se pueden presentar en los dispositivos termo generadores TEG.

A medida que la investigación progresó, sus avances serán presentados en ponencias, donde se muestren los logros obtenidos.

Desarrollo del Tema

Primeros Análisis

Con el objetivo de reconocer las características del dispositivo termo generador TEG, representado en este caso, por una celda o célula Peltier cuya referencia es TEC1 – 12710, se analiza su comportamiento, bajo la influencia del efecto Peltier, aplicando un voltaje directamente a la celda para que reaccione, proporcionando dos temperaturas diferentes, ya que el control de las temperaturas producidas por este dispositivo indica si se encuentra en buen estado, si se pueden aprovechar sus cualidades y por lo tanto, continuar con la investigación. Se empieza con pruebas básicas para la obtención de las variables de temperatura, presentadas en sus dos caras (una temperatura alta y otra baja), esto debido al movimiento de los electrones excitados por el diferencial de voltaje, los electrones se desplazan hacia un lado de la celda Peltier, es precisamente este lado el que se calienta, si por práctica se invierte la polaridad, los electrones se dirigen al lado contrario produciendo el calor en la cara hacia donde se dirigen, esto se deriva de la aplicación de un potencial de voltaje, acompañado de una corriente constante directamente a la celda o célula Peltier.

Figura 6*Medición de la temperatura*

Nota. Celda Peltier e instrumentos utilizados para la medición de temperaturas, como reacción al aplicar un determinado voltaje.

Como se observa en la Figura 6, a partir del primer procedimiento se obtienen valores relacionados con las temperaturas emitidas por el dispositivo, debido a la aplicación gradual de un diferencial de voltaje. Se aplica gradualmente con el propósito de observar la reacción de la celda, paso a paso y para evitar posibles daños o malos procesos que interrumpan la adecuada toma de datos de la prueba. Por medio del uso de un termómetro digital se obtiene el valor en un instante, del tiempo determinado de los resultados del fenómeno físico que representa en este caso al efecto Peltier. Estos resultados fueron mínimos, pues se evidencia la necesidad de cambiar el montaje para la prueba, si se quería obtener una mejora en los datos que se compilaron, debido a que el comportamiento físico del dispositivo requiere de cierto tipo de manejo y accesorios adecuados. Uno de los problemas es que el calor generado por la cara de la celda para esta temperatura, es tan alto que invade la superficie o cara fría de la celda y las

medidas entonces se empiezan a comportar de manera errónea y a no aportar ningún dato que sea pertinente, se determinó que era necesario intervenir esta cara con un disipador de temperatura que se encargó de dirigir la temperatura caliente en un sentido, alejándola de la celda para que esta no invadiera la parte de la disipación de la temperatura fría.

Se evidenció qué depósitos dispuestos para esta tarea se podrían adaptar al montaje, dispositivos generalmente hechos de aluminio porque es un metal conductor de calor, logrando disiparlo en la dirección correcta. Para la obtención de valores relacionados con el fenómeno físico, denominado efecto Seebeck, se inició entonces con prototipos básicos, no se obtuvieron los resultados deseados, porque no se contó con los implementos adecuados.

Figura 7

Prototipo para el efecto Seebeck



Nota. Prototipo básico para las celdas Peltier.

Los resultados comprobaron que el efecto Seebeck para este dispositivo es factible y también se da la posibilidad de generar energía eléctrica con la inducción de diferentes

temperaturas una de ellas alta y la otra temperatura baja sobre las caras de la celda o célula Peltier. Lo anterior se pudo reconocer con la implementación de un prototipo básico, donde dos láminas de aluminio están sujetando la celda o célula Peltier, cada una de ellas sobre caras diferentes del dispositivo TEG, para que las diferentes temperaturas obtenidas en los recipientes de polipropileno, llenados con agua caliente y con agua fría en estado sólido respectivamente, impactaran sobre el dispositivo TEG, debido a que las láminas estaban en contacto con las diferentes temperaturas.

Estas medidas fueron muy insignificantes para los logros que se pretendían, el voltaje obtenido estuvo dentro de un rango de 0 a 0.81 V, lo cual es improbable que un dispositivo eléctrico funcione con este rango, esto debido a la separación de la celda y la diferencia de las temperaturas, a pesar de que las láminas de aluminio se encargarían de llevar las diferentes temperaturas hasta la celda Peltier, estas tenían un recorrido muy largo para llegar a su objetivo, lo que permitió que las temperaturas que transportaban se disiparan en medio del camino, por la influencia del medio ambiente y otros factores que impidieron que un impacto contundente de las temperaturas sucediera sobre el dispositivo TEG.

Es importante mencionar que esta situación ayudó a entender que ciertas características de la celda dependen de ciertos criterios, por ejemplo, se determinó que la generación de energía eléctrica depende del gradiente de la temperatura a la que sea sometida la celda, y se entendió que la disipación de la energía térmica debe ser controlada con mucho rigor mediante la implementación de nuevos dispositivos.

Con estos resultados no muy aceptables, se empezó a considerar la mejora de los prototipos, lo cual optimizó la obtención de variables o datos con los que ya se empezaron a sacar conclusiones. También se descubrió que para obtener resultados fiables con respecto al

efecto Peltier que se presenta en el dispositivo, se debían disipar contundentemente las temperaturas obtenidas por la célula o celda Peltier.

Se pudo concluir que la mejor manera de disipar la temperatura, es por medio de dispositivos específicos para el tema, denominados disipadores, elaborados en materiales conductores de la temperatura, en especial de aluminio, con formas adecuadas para que esta conducción se optimice, además, de la ayuda de un extractor convenientemente ubicado dentro del prototipo, para lograr capturar los valores reales y adecuados de las variables que genera el sistema. También se tuvo en cuenta que las características de las celdas eran diferentes de acuerdo a su implementación, es por esto que se recurrió a obtener una nueva celda o célula Peltier con mejores características que la anterior y se empezó a trabajar con la celda o célula Peltier de referencia TEC1 – 12715, además, se elaboró un prototipo donde se pudo lograr la manifestación del efecto Peltier, sin perturbaciones y se pudieron medir y concluir datos para su estudio.

Figura 8*Disipador*

Nota. Prototipo incluido un disipador de temperatura para determinar el comportamiento de la celda Peltier ante la aplicación de voltaje.

Con la nueva implementación del prototipo que consta de un disipador de aluminio y un extractor, y la nueva célula o celda Peltier, la temperatura disipada por el dispositivo TEG es eficientemente aislada del sistema, dando paso a la obtención de datos que generan una idea del comportamiento del dispositivo TEG. Posteriormente, se evidencia que la disipación de las temperaturas es proporcional a la inducción del potencial de voltaje, mientras éste aumente las temperaturas también lo harán, la temperatura caliente aumentará, y la fría disminuirá, logrando un patrón constante del efecto físico Peltier.

Con estos datos, se da paso a la obtención de nuevas variables gracias procesos matemáticos, éstas serán relevantes en la búsqueda de otros datos esenciales para determinar si la celda Peltier es el dispositivo adecuado para los objetivos que se pretenden, es por esto que usando la Ley de OHM se halla el resultado de la resistividad del dispositivo. Este valor viene especificado en su hoja de datos, pero es un valor en general para el dispositivo, de acuerdo con

la hoja de datos para el dispositivo sometido a las pruebas su resistividad es de $0,75 \pm 0.05$, sometido a una temperatura ambiente de $25^{\circ}C$, con lo que se concluye que se están obteniendo valores adecuados, relacionados con su comportamiento normal, de acuerdo al fabricante, pero para los datos que se necesitan, es preciso obtener su resistividad para cada instante evaluado. Y como la conductividad eléctrica requerida para el análisis de su eficiencia se logra a partir de los nuevos datos de la resistividad, entonces se procede a su obtención.

Tabla 5*Resistividad y conductividad eléctrica*

Corriente. I	Voltaje. V	T caliente °C	T fría. °C	Resistividad ρ	Conductividad eléctrica σ
0,5	0	23,7	21,7	0	
0,5	0,2	23,7	20	0,4	2,5
0,5	0,4	23,7	19,9	0,8	1,25
0,5	0,6	23,7	19,7	1,2	0,83333333
0,5	0,8	23,8	19,5	1,6	0,625
0,5	1	24	18	2	0,5
0,5	1,2	24	17,7	2,4	0,41666667
0,5	1,4	24	17,5	2,8	0,35714286
0,5	1,6	24	17,3	3,2	0,3125
0,5	1,8	24	16,5	3,6	0,27777778
0,5	2	24,7	16,3	4	0,25
0,5	2,2	25	16,2	4,4	0,22727273
0,5	2,4	25,1	16,1	4,8	0,20833333
0,5	2,6	25,2	15,7	5,2	0,19230769
0,5	2,8	25,3	15,6	5,6	0,17857143
0,5	3	35,1	13,5	6	0,16666667
0,5	3,2	36,4	10	6,4	0,15625
0,5	3,4	38	9,6	6,8	0,14705882
0,5	3,6	38,9	8,9	7,2	0,13888889

Corriente. I	Voltaje. V	T caliente °C	T fría. °C	Resistividad ρ	Conductividad eléctrica σ
0,5	3,8	40,3	8,4	7,6	0,13157895
0,5	4	42,1	7,1	8	0,125
0,5	4,2	43,6	6,8	8,4	0,11904762
0,5	4,4	46,7	6,6	8,8	0,11363636
0,5	4,6	47,3	6,4	9,2	0,10869565
0,5	4,8	50,3	6,1	9,6	0,10416667
0,5	5	54,9	5,8	10	0,1

Nota. Datos obtenidos experimentalmente en el laboratorio de Tecno parque nodo SENA

Entre los primeros comportamientos del dispositivo TEG y la adición de diferentes temperaturas proporcionada específicamente por un diferencial de la temperatura en el agua, se encuentra un claro comportamiento del efecto Seebeck en el dispositivo, lo cual demuestra que la generación de energía o la obtención de un diferencial de potencial, depende estrictamente del diferencial de temperatura. Estos son inversamente proporcionales, ya que se concluye que, a mayor diferencial entre las temperaturas, mayor la cantidad de voltaje obtenido en el dispositivo TEG. Siempre en medio de las pruebas se ha recurrido a lograr la diferencia de las temperaturas, mediante el agua, ya que puede estar a diferentes temperaturas, sin el más mínimo problema. El agua se calienta a temperaturas muy altas, cerca de los 100°C y se enfría a temperaturas muy bajas, cerca de los 0°C, esperando que este diferencial provea datos relevantes y apropiados para la investigación, al momento de aplicársele a la celda Peltier o dispositivo TEG.

De acuerdo con estas pruebas se obtienen los siguientes resultados relacionados con el fenómeno físico, efecto Seebeck.

Tabla 6*Efecto Seebeck*

T. C. °C	T. C. °K	T. F. °C	T. F. °K	V. mmV	C Seebeck. μV/K
61,6	334,75	7,4	280,55	0,414	0,00763838
61,4	334,55	7,4	280,55	0,412	0,00762963
61,4	334,55	7,5	280,65	0,41	0,00760668
61,3	334,45	7,5	280,65	0,407	0,00756506
61	334,15	7,6	280,75	0,405	0,00758427
60,9	334,05	7,7	280,85	0,404	0,00759398
60,7	333,85	7,9	281,05	0,4	0,00757576
60,5	333,65	8	281,15	0,398	0,00758095
60,5	333,65	8	281,15	0,393	0,00748571
60,4	333,55	8,2	281,35	0,389	0,00745211
60,2	333,35	8,4	281,55	0,387	0,00747104
60,2	333,35	8,4	281,55	0,382	0,00737452
60,2	333,35	8,5	281,65	0,379	0,00733075
60,1	333,25	8,6	281,75	0,375	0,00728155
60	333,15	8,6	281,75	0,37	0,00719844
59,8	332,95	8,7	281,85	0,365	0,00714286
59,7	332,85	8,8	281,95	0,36	0,00707269
59,5	332,65	8,8	281,95	0,356	0,0070217
59,5	332,65	8,9	282,05	0,353	0,00697628

T. C. °C	T. C. °K	T. F. °C	T. F.	°K	V. mmV	C Seebeck. μV/K
59,4	332,55	9,1	282,25		0,347	0,00689861
59,2	332,35	9,3	282,45		0,345	0,00691383
59,1	332,25	9,5	282,65		0,362	0,00729839
59	332,15	9,9	283,05		0,358	0,00729124
58,9	332,05	10,3	283,45		0,351	0,00722222
58,7	331,85	10,3	283,45		0,347	0,00716942
58,6	331,75	10,5	283,65		0,34	0,00706861
58,6	331,75	10,9	284,05		0,332	0,00696017
58,5	331,65	11,2	284,35		0,328	0,00693446
58,3	331,45	11,7	284,85		0,329	0,00706009
58,2	331,35	12	285,15		0,325	0,00703463
58,1	331,25	12,9	286,05		0,318	0,0070354
58,1	331,25	13,1	286,25		0,313	0,00695556
58	331,15	13,6	286,75		0,304	0,00684685
57,7	330,85	13,9	287,05		0,301	0,00687215
57,5	330,65	14,5	287,65		0,297	0,00690698
57,4	330,55	14,6	287,75		0,303	0,00707944
57,1	330,25	14,8	287,95		0,301	0,00711584
57,1	330,25	15,2	288,35		0,299	0,00713604
56,6	329,75	15,9	289,05		0,294	0,00722359
56,3	329,45	16	289,15		0,291	0,00722084

T. C. °C	T. C. °K	T. F. °C	T. F. °K	V. mmV	C Seebeck. μV/K
56,2	329,35	16,2	289,35	0,282	0,00705
55,8	328,95	16,4	289,55	0,287	0,00728426
55,2	328,35	16,6	289,75	0,276	0,00715026
54,3	327,45	16,8	289,95	0,264	0,00704
54	327,15	16,8	289,95	0,257	0,0069086
53,7	326,85	16,9	290,05	0,241	0,00654891
53,2	326,35	17,1	290,25	0,224	0,00620499
52,4	325,55	17,3	290,45	0,21	0,00598291
51,6	324,75	17,4	290,55	0,202	0,00590643
51	324,15	17,4	290,55	0,198	0,00589286

Nota. Datos obtenidos experimentalmente en el laboratorio de Tecno parque nodo SENA

De la misma manera se optimizaron los prototipos, con el objetivo de lograr mejores resultados sobre el efecto Seebeck, logrando mejorar la inducción de diferentes temperaturas, cada una en una cara diferente del dispositivo TEG, esperando la obtención de un buen diferencial de voltaje y entender cómo se comporta el dispositivo en medio del proceso. Se implementaron diferentes diseños para el prototipo obteniendo cada vez, mejores resultados.

Figura 9*Prototipo*

Nota. Prototipo construido para determinar el comportamiento de la celda Peltier con relación al efecto Seebeck.

El objetivo de este prototipo es suministrar al dispositivo TEG que está ubicado en medio de los dos recipientes de polipropileno, dos temperaturas diferentes, una caliente y otra fría, temperatura obtenida por la manipulación de los estados del agua, y como lo muestra la Figura 9 estas temperaturas llegarán al dispositivo TEG con eficacia por medio de los disipadores de temperatura adaptados a los recipientes.

Figura 10*Celda Peltier*

Nota. Celda Peltier utilizada en las pruebas realizadas.

Con la mejora del prototipo los valores en voltaje se aumentaron, en este sentido se obtuvieron voltajes en corriente directa de alrededor de 1.3 V, debido a una diferencia de temperaturas entre 50 y 60 grados, sin embargo, no eran los voltajes esperados para poder implementar el proyecto.

También se determinó, de acuerdo a los resultados obtenidos, que el dispositivo TEG tiene unas especificaciones o características que lo limitaban en la generación de valores adecuados para el sistema, se recurrió entonces a la obtención de dispositivos TEG de mejores características, esperando un incremento en el valor de los resultados. Además, el prototipo fue mejorado con nuevas características en la disipación de las temperaturas inducidas:

compartimientos más grandes para mejorar las temperaturas adquiridas y aislamiento del dispositivo TEG, para que estas temperaturas impactaran 100% sobre las caras requeridas y no invadieran las opuestas. De esta manera se logra una mínima pérdida de temperatura y se obtiene más eficiencia y mejores resultados en la generación del voltaje requerido.

Figura 11

Implementación del prototipo



Nota. Se implementa prototipo y se toman datos de temperatura y voltaje.

Figura 12

Resultados de la implementación



Nota. Resultados obtenidos en medio de la implementación del prototipo.

Como se puede observar en la Figura 12, se logra optimizar el prototipo y se logran los resultados esperados, pues con el voltaje obtenido con la inducción de temperaturas diferentes al dispositivo TEG, se pudo implementar y al darle la carga suficiente a un motor DC de baja potencia, para que este girara impulsando una hélice de plástico con gran energía y durante mucho tiempo. Se puede observar que el gradiente de temperatura es aproximadamente $\Delta T = 59.9^{\circ}C$ y se logra una generación de un potencial de energía de $V = 2.2V$, lo suficiente para dar movilidad a este pequeño motor, durante un largo periodo de tiempo.

Temperaturas en el Medio Ambiente

Uno de los objetivos planteados es la verificación de las diferencias encontradas en la temperatura de un lugar de manera natural, para ello se realizó una práctica en la zona rural, se implementó un prototipo basado en el uso de dos termómetros digitales y un dispositivo en aluminio que se introdujo en la tierra a una profundidad de 60 cm, como disipador de la temperatura de la tierra y la llevó hasta uno de los termómetros, el otro termómetro midió la temperatura ambiente. La medición se realizó durante tres horas y media guardando los datos obtenidos de los termómetros cada media hora. De esta manera, se logró el objetivo, se encontró una diferencia de temperatura entre el interior de la tierra y el medio ambiente.

Lo anterior motivó a la creación de un prototipo que utilice esta diferencia de temperatura para generar energía eléctrica, aunque la diferencia es muy poca para obtener buenos resultados, no se descarta su implementación en zonas donde la diferencia de temperaturas es muy notable por diferentes aspectos naturales; por ejemplo en los lugares donde hay aguas termales y el medio ambiente es frío, se encuentra un gradiente de temperatura notable, que podría ser implementado con resultados muy satisfactorios en la generación de energía eléctrica, por medio de dispositivos TEG. Esto sería posible durante las veinticuatro horas del día, además, no se

descarta la posibilidad de diseñar un prototipo con varios dispositivos TEG, que a pesar del gradiente de temperatura bajo, su disposición genere un potencial de voltaje adecuado para su implementación.

Figura 13

Instrumentos de medición



Nota. Instrumentos para la medición de la temperatura ambiente.

Figura 14

Resultados de la medición

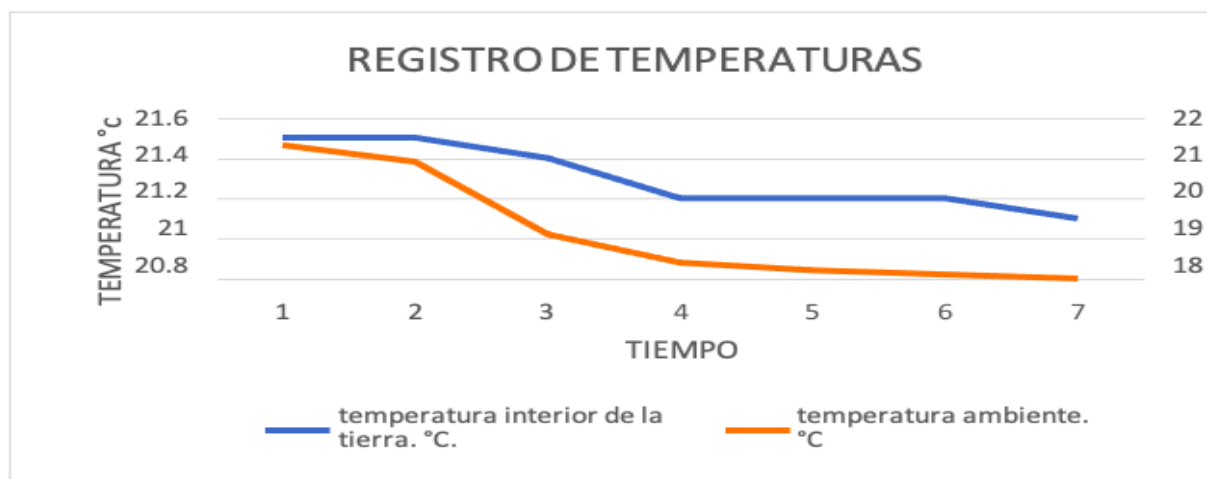


Nota. Valores de la temperatura tomados al medio ambiente.

Tabla 7*Temperaturas en el medio ambiente*

Temperatura interior de la tierra °C	Temperatura ambiente °C
21,5	21,3
21,5	20,9
21,4	19,1
21,2	18,2
21,2	18,1
21,1	18

Nota. Datos obtenidos experimentalmente en el laboratorio de Tecno parque nodo SENA

Figura 15*Registro de temperaturas*

Nota. Registro obtenido de temperaturas.

En la Figura 15 y la Tabla 7 se observa la diferencia obtenida en la práctica, tal vez no sea una diferencia que genere resultados satisfactorios al momento de la instalación del

prototipo, pero si es un indicador de que se pueden encontrar gradientes de temperaturas, que posibiliten el uso de un prototipo, dado que a mayor profundidad se encuentran temperaturas más altas.

Tablas Comparativas

Tabla 8

Dispositivos TEG utilizados en el proceso

Celdas	Características	Descripción
Peltier		
Tec. 1-12710.	Voltaje: 12 <i>nominal</i> ~ 15.4 <i>vcc</i> <i>máx.</i> Corriente <i>máx.</i> : 10 <i>A.</i> Potencia <i>máx.</i> de enfriamiento (Q <i>máx.</i>): 89 <i>W.</i> Resistencia: 1,2 + 10% <i>ohm</i> Temperatura de operación: -50 a 150 °c Dimensiones: 40 x 40 x 3,8 <i>mm</i> Peso: 25 <i>g</i>	Las caras de la celda están fabricadas con material cerámico especial, actuando como un buen aislante eléctrico, pero como un buen conductor térmico, pero relativamente frágil ante diferentes pruebas mecánicas, por lo que no se debe someter a golpes ni a grandes esfuerzos.
Tec. 1-12715.	Voltaje: 12 <i>nominal</i> ~ 15.4 <i>vcc</i> <i>máx.</i> Corriente <i>máx.</i> : 15,6 <i>A.</i> Potencia <i>máx.</i> de enfriamiento(Q <i>máx.</i>): 150 <i>W.</i> Resistencia: 0,8 <i>ohm</i> Temperatura de operación: -70 a 138 Dimensiones: 40 x 40 x 3,8 <i>mm</i> Peso: 50 <i>g</i>	Las caras de la celda están fabricadas con material cerámico especial, actuando como un buen aislante eléctrico, pero como un buen conductor térmico, pero relativamente frágil ante diferentes pruebas mecánicas, por lo que no se debe someter a golpes ni a grandes esfuerzos.

Celdas	Características	Descripción
Peltier		
Tec.	Voltaje:	Las caras de la celda están fabricadas
1-12730.	15,6 <i>nominal</i> ~ 17.8 <i>vcc</i> <i>máx.</i>	con material cerámico especial,
	Corriente <i>máx.</i> : 30,5A. Potencia <i>máx.</i>	actuando como un buen aislante
	de enfriamiento(Q <i>máx.</i>): 257 W.	eléctrico, pero como un buen
	Resistencia: 0,27 <i>ohm</i>	conductor térmico, pero relativamente
	Temperatura de operación:	frágil ante diferentes pruebas
	-70 a 138 °c	mecánicas, por lo que no se debe
	Dimensiones: 62 x 62 x 4,8 mm	someter a golpes ni a grandes
	Peso: 90 g	esfuerzos. debido a que sus
		características son mejores, esto
		incluye que su peso y dimensiones
		aumenten gracias a que cuenta con más
		parejas de semiconductores, mejorando
		sus aplicaciones, alargando su vida útil
		y demostrando poder ser utilizada en

Celdas	Características	Descripción
Peltier		diferentes espacios para la generación de energía y temperatura.
Tec. 1-127145	<p>Voltaje: 4,8 V.</p> <p>Corriente: 225 a 669 mA</p> <p>Temperatura con una distribución en pares de de operación: 0 a 150 °C</p> <p>Dimensiones: 40 x 40 x 3,6 mm</p> <p>Peso: 30g</p>	<p>Generador de energía termoeléctrica, materiales semiconductores unidos por una fina capa de cobre y protegido por dos placas de cerámica, frágil a los fenómenos físicos, por lo que no es recomendable someterla a golpes o presiones.</p>

Nota. Comparativo de características de las celdas Peltier.

Comparativo del Potencial Energético de Algunas Energías Renovables Panel Fotovoltaico

De acuerdo con Valdiviezo (2014) un panel fotovoltaico es la conexión de varias células en serie o paralelo. En serie para obtener mayor rendimiento en la generación de corriente y en paralelo para obtener mayor rendimiento en la generación de voltaje.

El componente principal de los paneles solares son las células, su funcionamiento es el que hace posible la obtención de energía gracias a la luz solar, están hechas de un material semiconductor, silicio en la mayoría de los casos, el cual se excita ante la presencia de la radiación (aumento de temperatura). Los electrones pueden fluir del tipo P al tipo N, esto

ocasiona un voltaje interno que ante una resistencia se produce una corriente, Los voltajes y las corrientes producidas por los paneles fotovoltaicos dependen de factores como la irradiación y la temperatura en la que se encuentra el módulo.

En los paneles al disminuir la temperatura aumenta la tensión de salida también la potencia y la corriente se mantiene casi constante.

Se logran los siguientes datos:

Tabla 9

Datos obtenidos 1

Temperatura = 75°C	Intensidad = 3.1 A	Tensión = 14 V
Temperatura = 50°C	Intensidad = 3.0 A	Tensión = 18 V
Temperatura = 25°C	Intensidad = 2.9 A	Tensión = 22 V
Temperatura = 0°C	Intensidad = 2.85 A	Tensión = 28 V
Temperatura = -25°C	Intensidad = 2.8 A	Tensión=30V

Nota. Datos obtenidos de las propiedades de las celdas Peltier.

Con relación a la radiación, a una máxima de 1000 W/m^2 el panel produce una potencia mayor, se logran los siguientes resultados:

Radiación = $1000 \frac{W}{m^2}$. Intensidad = 3.3 A. Tensión = 22.2 V. Potencia = 50.1 W.

Radiación = $800 \frac{W}{m^2}$. Intensidad = 2.6 A. Tensión = 21.8 V. Potencia = 38.8 W.

Radiación = $600 \frac{W}{m^2}$. Intensidad = 1.9 A. Tensión = 21 V. Potencia = 27.8 W.

Radiación = $400 \frac{W}{m^2}$. Intensidad = 1.3 A. Tensión = 20.1 V. Potencia = 17.3 W.

Radiación = $200 \frac{W}{m^2}$. Intensidad = 0.68 A. Tensión = 18.7 V. Potencia = 7.4 W.

Generadores Eólicos o Aerogeneradores

Escudero (2003) afirma que los aerogeneradores o turbinas de viento tienen varios componentes, el rotor convierte la fuerza del viento en energía rotatoria del eje, una caja de engranajes aumenta la velocidad y un generador transforma la energía del eje en energía eléctrica. La potencia suministrada por un aerogenerador depende de la superficie barrida por la hélice, y, por lo tanto, de la longitud de las palas y es independiente del número de palas. La potencia obtenida aumenta de manera gradual con la velocidad del viento, para una turbina pequeña cuyo diámetro es de 2,86 m se pueden obtener estos resultados:

$$\text{Velocidad del viento} = 2 \frac{m}{s}. \quad \text{Tensión} = 1 \text{ V.}$$

$$\text{Velocidad del viento} = 4 \frac{m}{s}. \quad \text{Tensión} = 210 \text{ V.}$$

$$\text{Velocidad del viento} = 6 \frac{m}{s}. \quad \text{Tensión} = 620 \text{ V.}$$

$$\text{Velocidad del viento} = 8 \frac{m}{s}. \quad \text{Tensión} = 1000 \text{ V.}$$

$$\text{Velocidad del viento} = 10 \frac{m}{s}. \quad \text{Tensión} = 1250 \text{ V.}$$

$$\text{Velocidad del viento} = 12 \frac{m}{s}. \quad \text{Tensión} = 1550 \text{ V.}$$

$$\text{Velocidad del viento} = 14 \frac{m}{s}. \quad \text{Tensión} = 1750 \text{ V.}$$

$$\text{Velocidad del viento} = 16 \frac{m}{s}. \quad \text{Tensión} = 1900 \text{ V.}$$

$$\text{Velocidad del viento} = 18 \frac{m}{s}. \quad \text{Tensión} = 2100 \text{ V.}$$

$$\text{Velocidad del viento} = 20 \frac{m}{s}. \quad \text{Tensión} = 2350 \text{ V.}$$

Dispositivos Termoeléctricos TEG

Celda Peltier TEC-1 12715: Dispositivo TEG que funciona con una temperatura entre -70 y 138 °C, posee unas dimensiones de $40 \times 40 \times 3,8$ cm cubierta por una capa de cerámica por ambas caras para controlar la temperatura generada o suministrada. Si este dispositivo es sometido a un gradiente de temperatura los componentes internos o semiconductores reaccionan, generando un potencial de energía, este depende del gradiente de temperatura, a mayor diferencia entre las temperaturas impuestas, mayor producción de energía eléctrica. De acuerdo a la aplicación se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 10

Datos obtenidos 2

Temperatura caliente = 61.6 °C	Temperatura fría = 7.4 °C	Voltaje = 414 mmV
Temperatura caliente = 61 °C	Temperatura fría = 7.7 °C	Voltaje = 404 mmV
Temperatura caliente = 60.5 °C	Temperatura fría = 8.2 °C	Voltaje = 393 mmV
Temperatura caliente = 60 °C	Temperatura fría = 8.6 °C	Voltaje = 365 mmV
Temperatura caliente = 59.5 °C	Temperatura fría = 8.7 °C	Voltaje = 347 mmV

Nota. Datos obtenidos de las propiedades de las celdas Peltier.

Como es evidente las características de cada uno de estos sistemas, totalmente diferentes en algunos aspectos, conllevan a la generación de energía eléctrica en proporciones independientes, es decir, que no se pueden comparar el potencial eléctrico producido por un panel solar, un generador eólico o un dispositivo TEG cuando estos no tienen los mismos principios de funcionamiento. Si se hace referencia a su tamaño o volumen, la diferencia es abismal, esta es una característica importante en la generación de energía eléctrica, pues a mayor

tamaño, mayor capacidad de disposición de semiconductores, en el caso de los paneles solares y el dispositivo TEG, y mayor aprovechamiento de los recursos naturales, en el caso de los tres.

Por ejemplo, a mayor aprovechamiento de la radiación solar, mayor optimización de los paneles solares, a mayor aprovechamiento de la energía del viento mayor optimización de los generadores eólicos y a mayor aprovechamiento de un diferencial de temperaturas, mayor optimización de un dispositivo TEG.

De pronto, se puede encontrar un comparativo entre los tres sistemas, si se hace referencia a los costos del sistema como tal, pero si se hace cualquier tipo de comparación, se debe hacer a partir de un tope de potencial propuesto, por ejemplo: qué tan eficiente es y cuál es la diferencia con los otros sistemas de generación de energía eléctrica un sistema, al producir x voltios durante un día. En este sentido, lo que queda claro es que los tres sistemas pueden ser escalables, o se puede aumentar su tamaño, con el fin de obtener mayor cantidad en el potencial energético deseado.

A continuación, se presentan otras características de estos tres sistemas y que dan una idea de sus ventajas.

Tabla 11*Características de sistemas para energía renovable*

Características de sistemas para la obtención de energías renovables		
Energía solar	Energía eólica	Celda Peltier
<ul style="list-style-type: none"> - De naturaleza inagotable pero intermitente. - Limpia, libre de contaminación. - Baja densidad de potencia, requerimiento de una mayor extensión de equipos de conversión. - Económica y confiable, a largo plazo. - Potencial de energía, limitada por la región. 	<ul style="list-style-type: none"> - Muy buen potencial energético, hasta 20 veces el actual consumo de energía mundial. - Se deben mantener paralelos al viento. - De potencia baja o media, hasta 50 KW para uso doméstico. - De potencia alta, más de 50 KW, de uso industrial. - Necesidad de vientos de más de 5 m/s. - De dimensiones muy grandes, generan problemas estructurales. - Depende de la información meteorológica 	<ul style="list-style-type: none"> - Sin partes móviles. - De dimensiones muy pequeñas, y de fácil aplicabilidad. - Bajos costos para el sistema. - Producción de energía las 24 horas en condiciones naturales adecuadas. - Sin ningún impacto ambiental. - De larga duración, y fácil mantenimiento

Nota. Datos obtenidos de las propiedades de las celdas Peltier.

Modelamiento Matemático

Se realizó un análisis matemático del comportamiento dinámico del dispositivo TEG implementado, en los prototipos para el desarrollo de esta investigación, el cual por medio de la aplicación de dos temperaturas diferentes sobre sus caras fenómenos físicos que permitieron la reacción del dispositivo, este a su vez produjo energía eléctrica o un diferencial de voltaje específicamente, debido a esta reacción, fue medido y analizado de manera matemática mediante el software Matlab.

A partir del registro de las temperaturas, una temperatura caliente y la otra fría, aplicadas al dispositivo TEG por medio de uno de los prototipos implementados en el transcurso de la investigación y con la ayuda del agua en su estado líquido, se registraron los datos de esta temperatura en una hoja de Excel. De allí se obtuvo un delta de estas dos temperaturas, y, además, el voltaje producido por este delta aplicado al dispositivo TEG, con el software Excel y su implementación, se obtiene el polinomio de la linealización de la gráfica, representando la entrada del sistema (X) con las temperaturas adicionadas, y la salida del sistema (Y) con el voltaje obtenido se toma como una constante, en la Tabla 10 se presenta el resultado.

Tabla 12*Temperatura y voltaje*

ΔT °C	Voltaje. mV
54,2	0,414
54	0,412
53,9	0,41
53,8	0,407
53,4	0,405
53,2	0,404
52,8	0,4
52,5	0,398
52,5	0,393
52,2	0,389
51,8	0,387
51,8	0,382
51,7	0,379
51,5	0,375
51,4	0,37
51,1	0,365
50,9	0,36
50,7	0,356
50,6	0,353

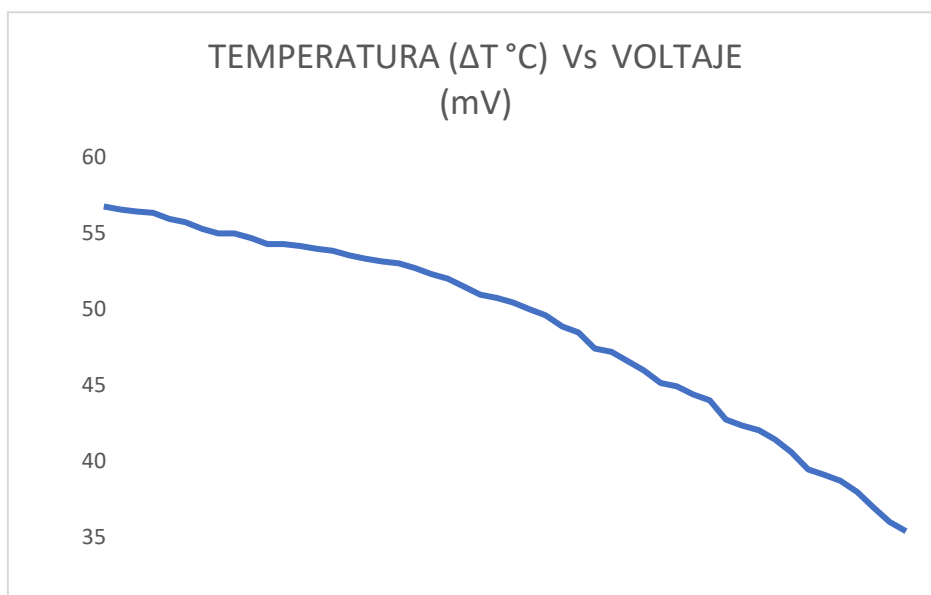
ΔT °C	Voltaje. mV
50,3	0,347
49,9	0,345
49,6	0,362
49,1	0,358
48,6	0,351
48,4	0,347
48,1	0,34
47,7	0,332
47,3	0,328
46,6	0,329
46,2	0,325
45,2	0,318
45	0,313
44,4	0,304
43,8	0,301
43	0,297
42,8	0,303
42,3	0,301
41,9	0,299
40,7	0,294
40,3	0,291
40	0,282

ΔT °C	Voltaje. mV
39,4	0,287
38,6	0,276
37,5	0,264
37,2	0,257
36,8	0,241
36,1	0,224
35,1	0,21
34,2	0,202
33,6	0,198

Nota. Delta de temperaturas para la obtención de voltajes.

Figura 16

Voltaje vs. Temperatura



Nota. grafica de la temperatura con relación al voltaje.

Es evidente que la Figura 16 muestra un comportamiento irregular en su trayectoria, si bien es notable que la gráfica tiende a el valor mínimo obtenido por el dato más pequeño que se implementa en la práctica, en diferentes intervalos vemos como esta presenta aumentos o disminuciones notables que deben ser analizadas para poder entenderla, por ejemplo, en el intervalo comprendido entre los valores de la temperatura $54.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $52.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ notamos un cambio en la variable resultante que es el voltaje desde 0.414mV hasta 0.400 mV .

Tabla 13

Primer fragmento de la Tabla 10

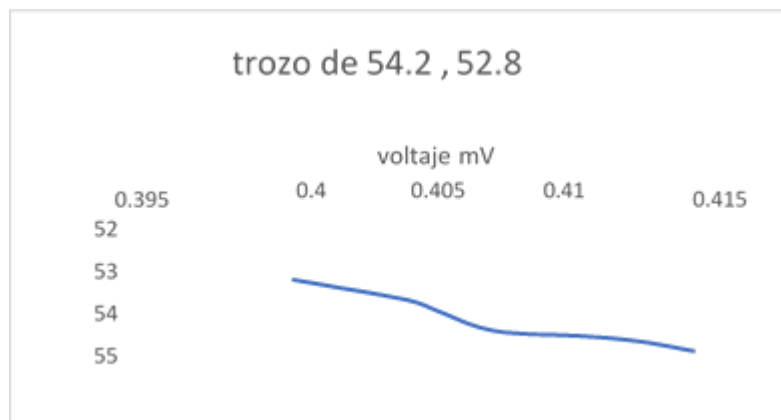
Primer fragmento de la Tabla 10	
54,2	0,414
54	0,412
53,9	0,41
53,8	0,407
53,4	0,405
53,2	0,404
52,8	0,4

Nota. fragmento de tabla.

Se tiene la Figura 17:

Figura 17

Primer fragmento de la Figura 16



Nota. imagen del fragmento de tabla.

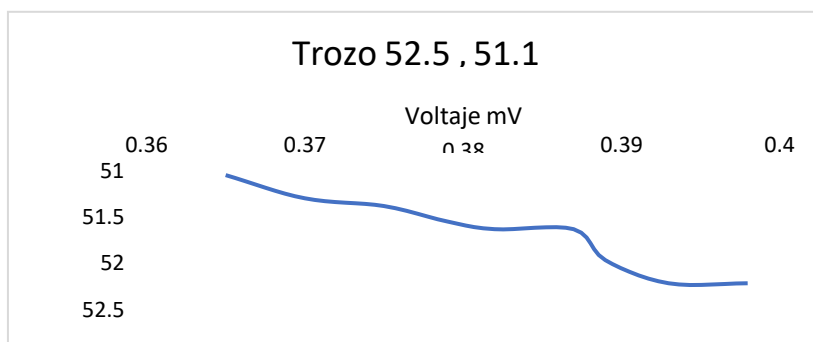
Es notable que el comportamiento de las variables tiende a hacer polinómico mostrando que en momentos disminuye y en otros momentos aumenta de acuerdo al estímulo generado. Si linealizamos la gráfica obtenemos un polinomio como este: $y = 99.205x + 13.195$. En el intervalo comprendido entre los valores de la temperatura comprendidos entre $52.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $51.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ notamos un cambio en la variable resultante que es el voltaje desde 0.398mV hasta 0.365 mV .

Tabla 14*Segundo fragmento de la Tabla 10*

Segundo fragmento de la Tabla 10	
52,5	0,398
52,5	0,393
52,2	0,389
51,8	0,387
51,8	0,382
51,7	0,379
51,5	0,375
51,4	0,37
51,1	0,365

Nota. fragmento de tabla.

Se puede ver en la Figura 18.

Figura 18*Segundo fragmento de la Tabla 16*

Nota. imagen del fragmento de tabla.

Se puede ver en este trozo como la gráfica toma una forma diferente, notando que los puntos en donde se deforma la gráfica son menos notables mostrando un comportamiento casi que lineal con poca desviación de esta tendencia. Si linealizamos la gráfica obtenemos un polinomio como este: $y = 43.312x + 35.288$. En el intervalo comprendido entre los valores de la temperatura comprendidos entre $50.9\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $48.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ notamos un cambio en la variable resultante que es el voltaje desde 0.360mV hasta 0.340 mV .

Tabla 15

Tercer fragmento de la Tabla 10

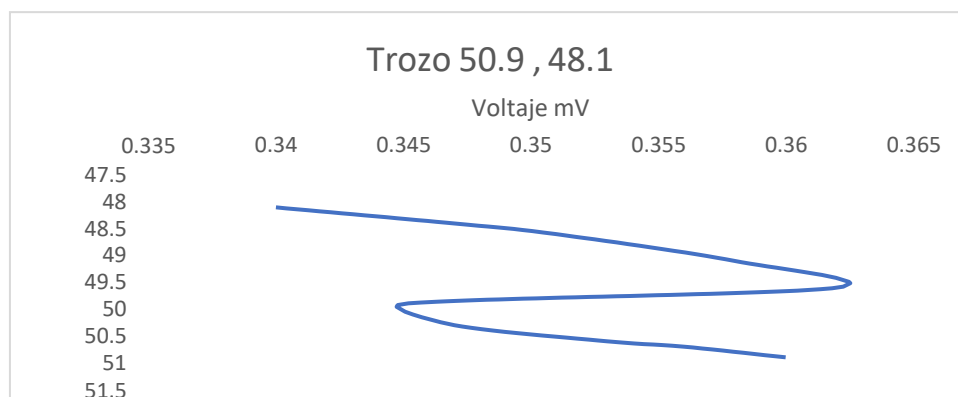
Tercer fragmento de la Tabla 10	
50,9	0,36
50,7	0,356
50,6	0,353
50,3	0,347
49,9	0,345
49,6	0,362
49,1	0,358
48,6	0,351
48,4	0,347
48,1	0,34

Nota. fragmento de tabla.

De acuerdo a este intervalo se puede ver en la Figura 19.

Figura 19

Tercer fragmento de la Figura 16



Nota. imagen del fragmento de tabla.

Con un comportamiento inusual la gráfica muestra un cambio brusco en su forma debido al valor del voltaje obtenido en cierto intervalo, esto debido a diferentes posibilidades como un fallo en la toma de datos, instrumentos de medición que fluctúan en ese momento o variables físicas naturales que pudieron intervenir para que estos valores tomaran este comportamiento.

Si linealizamos la gráfica obtenemos un polinomio como este: $y = 69.907x + 25.02$. En el intervalo comprendido entre los valores de la temperatura comprendidos entre $47.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $40.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ notamos un cambio en la variable resultante que es el voltaje desde 0.332 mV hasta 0.282 mV .

Tabla 16*Cuarto fragmento de la Tabla 10*

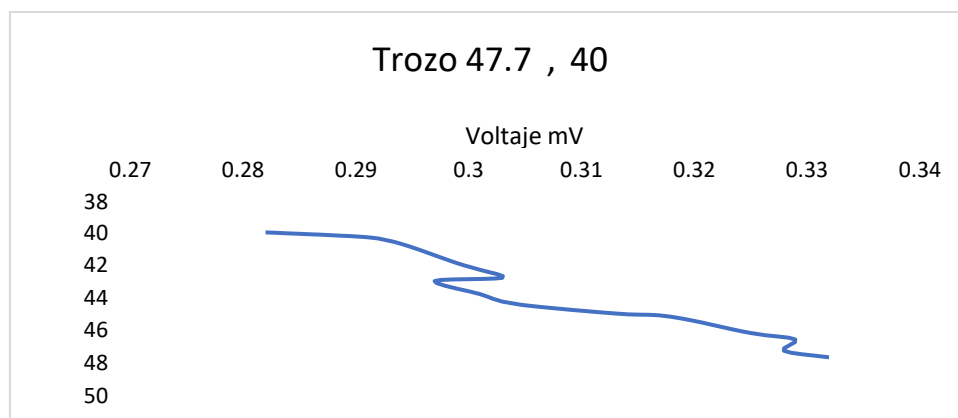
Cuarto fragmento de la Tabla 10	
47,7	0,332
47,3	0,328
46,6	0,329
46,2	0,325
45,2	0,318
45	0,313
44,4	0,304
43,8	0,301
43	0,297
42,8	0,303
42,3	0,301
41,9	0,299
40,7	0,294
40,3	0,291
40	0,282

Nota. fragmento de tabla.

La gráfica que muestra esta distribución de datos es:

Figura 20

Cuarto fragmento de la Figura 16



Nota. imagen del fragmento de tabla.

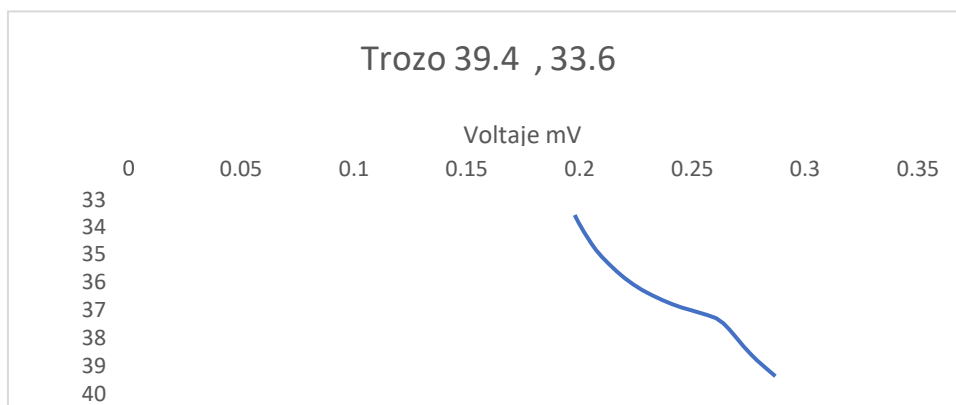
Una vez más vemos como la gráfica tiene la tendencia hacer lineal con algunos picos que interrumpen esta linealidad pero que hacen parte de la toma de los datos en el momento en el que se evaluaron en la práctica. La diferencia de estos picos es despreciable pues se obtienen en intervalos muy pequeños entre valores con diferencias mínimas. Si linealizamos la gráfica obtenemos un polinomio como este: $y = 157.23x - 4.5808$. En el intervalo comprendido entre los valores de la temperatura comprendidos entre $39.4\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $33.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ notamos un cambio en la variable resultante que es el voltaje desde 0.287 mV hasta 0.198 mV

Tabla 17*Quinto fragmento de la Tabla 10*

Quinto fragmento de la Tabla 10	
39,4	0,287
38,6	0,276
37,5	0,264
37,2	0,257
36,8	0,241
36,1	0,224
35,1	0,21
34,2	0,202
33,6	0,198

Nota. fragmento de tabla.

Se puede apreciar que los últimos datos de la Tabla 15 generan esta gráfica.

Figura 21*Quinto fragmento de la Figura 16*

Nota. imagen del fragmento de tabla.

Al final de la gráfica se nota que tiene la tendencia a convertirse en una gráfica lineal tendiente a un punto final, esto debido a que la intervención de la variable de la temperatura llega a un punto en donde ya no tiene la capacidad de hacer que el dispositivo genere la energía que esperamos gracias a que las temperaturas no tienen la energía calórica suficiente para estimular el dispositivo.

Si linealizamos la gráfica obtenemos un polinomio como este: $y = 57.894x + 22.612$.

Como vemos todos los trozos analizados tienen comportamientos similares en el momento de la linealización presentando polinomios que son muy parecidos con unos pequeños cambios en sus valores, pero con similar grado y en su mayoría con valores positivos. Se debe resaltar que en el momento de iniciar las pruebas en el prototipo se empezó a tomar datos a partir de la temperatura máxima que logramos en la práctica, desde ese momento gracias a los fenómenos físicos esta temperatura empieza a descender y con esta los resultados obtenidos en el voltaje que se requería. La finalidad de la práctica era determinar si podíamos obtener un voltaje a partir de la influencia de estas temperaturas, y determinar cuáles de estas serían adecuadas para poder aplicar este voltaje.

Si el proceso se realiza de manera inversa pues el voltaje que se requiere será mayor a medida que la temperatura aumente, mostrando una tendencia exponencial en la gráfica; una de las ideas del proyecto es estabilizar la temperatura ideal para obtener todo el tiempo un mismo valor de voltaje que pueda ser aplicable, esto se realizara en futuras investigaciones. A partir de este análisis y gracias al software Excel podemos linealizar la gráfica en su totalidad obteniendo un polinomio que será matemáticamente procesado para poder determinar cómo es el comportamiento de este sistema.

Ecuación 16.

$$X = -0.4105x + 56.943 \quad \text{polinomio de la entrada al sistema}$$

Se aplica la transformada de Laplace al polinomio para obtener una respuesta en el dominio de la s .

Entrada del sistema.

$$\begin{aligned} & f[-0.4105x + 56.943] \\ &= -0,4105f[x] + f[56.943] \\ &= -(0,4105) \left(\frac{1!}{s^2}\right) + \frac{56.943}{s} \\ X(s) &= -\frac{0,4105}{s^2} + \frac{56.943}{s} \end{aligned}$$

Con el polinomio representados en el dominio de la s con la transformada de Laplace, la salida al ser un valor constante se representa con un 1, se obtiene una función de transferencia del sistema, con estos resultados:

Ecuación 17.

$$\begin{aligned} FT &= \frac{Y(s)}{X(s)} \\ FT &= \frac{1}{-\frac{0.4105}{s^2} + \frac{56.943}{s}} \\ FT &= \frac{1}{56.943s - 0.4105} \end{aligned}$$

Si se iguala el denominador cero para obtener los polos:

$$56.943s - 0.4105 = 0$$

$$s = -0.0072$$

Como dato importante es el análisis de los polos del sistema que se encuentran en la función de transferencia obtenida, ellos nos indicaran que clase de sistema tenemos y como será su comportamiento. En este caso tenemos un polo negativo que se encuentra sobre la parte imaginaria del plano complejo sobre el eje real mostrándonos una respuesta que crece en el tiempo pero que converge en un punto, estabilizando el sistema, recordemos que este dato lo obtuvimos gracias al proceso que se le realizó a los datos obtenidos en las pruebas echas al prototipo construido.

Con el software Matlab se puede determinar cómo será el comportamiento de este sistema, gracias al conocimiento de los polos y ceros que están expuestos en la función de transferencia, este nos mostrara los polos y su ubicación.

Figura 22

Polo de la función de transferencia Matlab

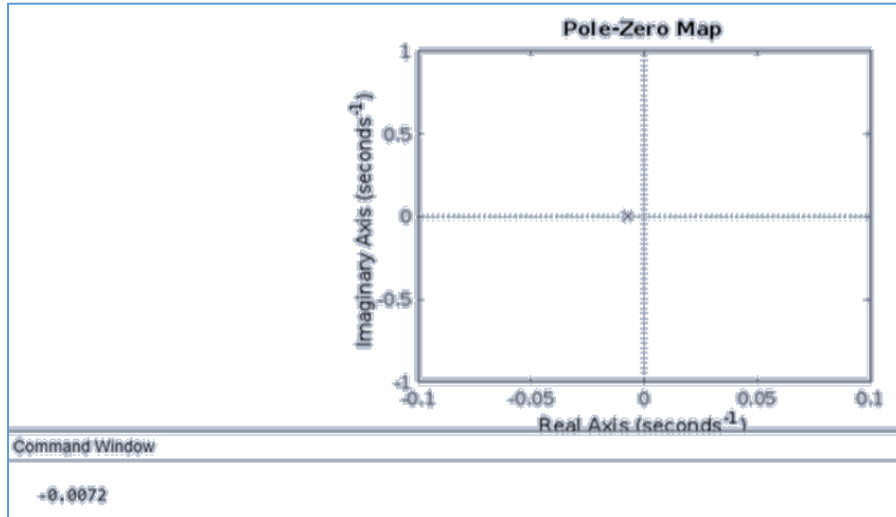


Nota. función de transferencia obtenida del software Matlab.

De acuerdo a los polinomios obtenidos en la Tabla 10 y las Figuras 16 y 17, Matlab calcula la función de transferencia con sus polos y ceros. De acuerdo al mecanismo del software Matlab se calculan los valores correspondientes a la función de transferencia y sus polos y ceros, estos datos dicen cómo se puede comportar el sistema, desde un punto de vista matemático.

Figura 23

Polos y ceros



Nota. Ubicación de polo del sistema gracias al software Matlab.

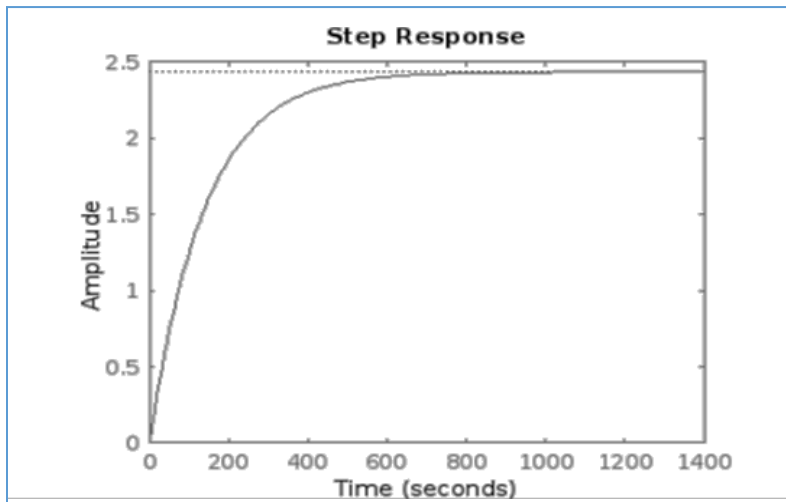
De acuerdo con la Figura 18 En este caso tenemos un polo negativo que se encuentra sobre la parte imaginaria del plano complejo sobre el eje real mostrándonos una respuesta que crece en el tiempo pero que converge en un punto, estabilizando el sistema, recordemos que este dato lo obtuvimos gracias al proceso que se le realizó a los datos obtenidos en las pruebas echas al prototipo construido.

Comportamiento Dinámico

De acuerdo a esto el software Matlab nos da una gráfica de esta función de transferencia mostrándonos el comportamiento del sistema, vemos un comportamiento ascendente, esto gracias al sometimiento del sistema a variables deferentes del fenómeno físico de la temperatura pero que de acuerdo a la función de transferencia se puede estabilizar en un punto, esto según la práctica, depende de, brindar un diferencial de temperatura estable y constante a la celda Peltier, para que esta reaccione y produzca un diferencial de voltaje constante también optimizando el sistema y logrando lo que se desea con la investigación.

Figura 24

Comportamiento dinámico



Nota. Respuesta de la función de transferencia indicando la estabilidad del sistema.

Conclusiones

A partir de la implementación de los prototipos con el dispositivo TEG o celda Peltier, se determinaron sus características y se concluyó que es posible la generación de energía eléctrica. Además, se logró un desempeño adecuado para la obtención de voltaje que puede ser usado en dispositivos electrónicos de baja potencia. Los valores adecuados para implementarse, se obtienen de la maximización del prototipo, o del uso de varias celdas Peltier para sumar el resultado de cada una de estas e implementarlo, si una de ellas nos ofrece un voltaje de 0.414V para un diferencial de temperatura de 54.2°C logrando entonces una potencia de 0.14283W la suma de varias celdas Peltier nos darán como resultado la cantidad de voltaje necesario para ser aplicado y usado. Lo anterior les solucionaría algunos problemas a las comunidades más apartadas, que no poseen un servicio de energía eléctrica cableada o renovable y, en consecuencia, no tienen conexión redes de internet, iluminación, etc., por lo tanto, su puesta en marcha mejoraría su estilo de vida y alentaría el desarrollo, lo cual mejoraría su calidad de vida.

Para poder obtener una información adecuada del sistema o funcionamiento del dispositivo TEG, por medio de la prueba y error, se fueron construyendo prototipos que permitían conocer las características de este dispositivo y predecir su comportamiento ante la influencia de fenómenos físicos aplicados en sus prácticas, lo que lleva a concluir que es posible lograr los objetivos propuestos, a pesar de que en estas pruebas se evidenció que el sistema no es estable. También se determinó que ante la aplicación estable de los fenómenos implicados, ósea, mantener una temperatura caliente y una fría en el mismo valor en todo momento para que estas hagan su trabajo y el sistema se comporte con las mismas características todo el tiempo logrando una producción de energía constante e invariable que pueda permitir una eficiencia del sistema, es de vital importancia que la parte física también cumpla con los requerimientos para su buen

funcionamiento y es por esto que cada dispositivo debe estar adaptado de acuerdo a su aplicación teniendo en cuenta de que material esta echo y cuáles son sus propiedades en especial las propiedades térmicas ya que es un fenómeno primordial para el uso del sistema durante largos periodos de tiempo.

Además, se dedujo a partir del análisis matemático con la implementación de software como Matlab y Excel, que el sistema conlleva a una eficiencia en la producción de energía eléctrica, ya que el sistema tiende a converger en un punto comportándose como estable, al relacionarlo con el prototipo construido, si mantenemos una temperatura constante la celda Peltier reacciona está produciendo un voltaje constante en el tiempo, que puede ser aprovechado.

Al realizar una comparación con otros sistemas de producción de energía renovable, estos sistemas, en especial la fotovoltaica y la eólica, en comparación con los dispositivos TEG son muy diferentes entre sí y dependen de fenómenos físicos con claras diferencias al producirse.

Además, se debe tener en cuenta el tamaño de los prototipos aplicados, que, aunque todos los sistemas son escalables para su mejora y producción, no es posible compararlos. Lo que sí es evidente son algunas características positivas para los dispositivos TEG, como que el sistema puede ser mucho más económico que los otros, mucho más fácil para su implementación, y que son más amigables con el medio ambiente, al no generar ningún residuo que sea contaminante para su entorno.

Para la muestra o divulgación de los resultados obtenidos, los investigadores fueron invitados a diferentes ponencias, regionales y departamentales, como el evento RREDSI (Red Regional de Semilleros de Investigación) en las que se expusieron los resultados, el impacto y la recepción de este trabajo fue positiva, por parte tanto de los jurados, como de los participantes, los aspectos más relevante fueron el método y sus aportes positivos para el medio ambiente y en

la problemática del uso de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica. Iniciando con el proyecto, la Universidad Nacional Abierta y a Distancia realiza el tercer encuentro de semilleros de investigación en donde se hace gracias al semillero AURORA invitado a participar, la presentación del proyecto queriendo mostrar los logros que se habían obtenido en el momento y manifestar la importancia a nivel socio-ambiental del trabajo realizado, siendo uno de los proyectos muy bien mencionados por la universidad y sus participantes, obteniendo de la universidad un reconocimiento plasmado en el certificado por haber participado y aportado a tan interesante evento (Apéndice B).

Referencias Bibliográficas

- Abreu, J. (2012). Hipótesis, método y diseño de investigación. *Daena, International Journal of Good Conscience*, 7 (2), 195-196. <http://www.spentamexico.org/v7-n2/7%282%29187-197.pdf>
- Ballús, A. (2015). Estudio y parametrización de un generador termoeléctrico. [Trabajo de grado]. Universidad Politécnica de Catalunya.
https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/79156/01_TFG.pdf
- Bollati, E. (2007). Generadores termoeléctricos, generación de energía sin partes móviles. *Petrotecnica*, 84-90. <http://biblioteca.iapg.org.ar/ArchivosAdjuntos/Petrotecnica/2007-2/Generadores.pdf>
- Carrera, E., Posada, R., & Rodríguez, J. (2019). Desarrollo de un generador híbrido eólico-solar de baja potencia. [Tesis de Maestría, Instituto Tecnológico de Orizaba].
<http://repositorios.orizaba.tecnm.mx:8080/xmlui/handle/123456789/484>
- Díez S. (2017). Análisis de viabilidad de aplicaciones para recuperación de energía mediante efectos termoeléctricos [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Madrid].
<https://oa.upm.es/48875/>
- Echeverría, M., & Cevallos, E. (2015). Materiales termoeléctricos que permiten transformar calor residual de automóviles en energía eléctrica. *Ciencia*. 41-57.
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/ciencia/article/view/510>
- Escudero, J. (2003). *Manual de energía eólica*. Mundiprensa.
- Flórez, A. (2016). Implementación de las celdas Peltier en fuentes térmicas de calor residuales, para aprovechamiento de energía eléctrica y climatización por frío en el hogar. *Visión Revista de Investigaciones UNICIENCIA*. 62- 69.

- https://www.researchgate.net/publication/322641877_Implementacion_de_la_Celda_Peltier_en_fuentes_termicas_de_calor_residuales_para_aprovechamiento_de_generacion_de_energia_electrica_y_climatizacion_por_frio_en_el_hogar
- Flórez, J., Tobón, H., & Castillo, G. (2009). (2009). ¿Ha sido efectiva la promoción de soluciones energéticas en las zonas no interconectadas (ZIN) en Colombia? *Cuadernos de Administración*, 219-245. <http://www.scielo.org.co/pdf/cadm/v22n38/v22n38a11.pdf>
- Forero, A., Pinzón, I., Espinosa, J., & Althaviz, J. (2013). Evaluación y caracterización de sistemas termoeléctricos TEG. Elevent LACCEI. *Cancun. International Competition of Students Posters and Paper*. <http://laccei.org/LACCEI2013-Cancun/StudentPapers/SP029.pdf>
- Goldsmid, H. (1964). *Thermoelectric Refrigeration*. Plenum Press.
- Grupo de Investigación de Ingeniería Térmica. (2021). Introducción a la termoelectricidad. U Navarra. [http://www.unavarra.es/ets02/Introduccion%20a%20TE\(c\).htm](http://www.unavarra.es/ets02/Introduccion%20a%20TE(c).htm)
- Herranz, R. (2008). *Climatización mediante células Peltier*. Universidad Pontificia Comillas / Escuela Técnica Superior de Ingeniería.
- Luna, N., & Del Río, A. (2018). Entre el calor y el frío hay una corriente eléctrica. Instituto de Energías Renovables, UNAM Academia de Ciencias de Morelos. <https://conogasi.org/articulos/entre-el-calor-y-el-frio-hay-una-corriente-electrica/>
- Múnera, A. (2012). *Desarrollo de un modelo matemático fenomenológico que permita simular el comportamiento de sistemas termoeléctricos*. [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. <http://www.repositorio.unal.edu.co/handle/unal/11246>
- Mundo digital (s.f.). ¿Qué es el efecto Peltier? <http://www.mundodigital.net/que-es-el-efecto-peltier/>

Pereira, M. (2015). Relación entre energía, medio ambiente y desarrollo económico, a partir del análisis jurídico de las energías renovables en Colombia. *Saber Ciencia y Libertad*, 35-60. <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/saber/article/view/868>

Pita Fernández, S., & Pértegas Díaz, S. (2002). investigación cuantitativa y cualitativa. *Cuadernos de Atención Primaria*. 76-78.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2>

Priddle, R. (1999). Energía y desarrollo sostenible. Boletín de OIEA.
https://www.iaea.org/sites/default/files/41104080206_es.pdf

Profesional Review. (s.f.). Estructura celda Peltier. <https://www.profesionalreview.com/>

Quezada, A., & Meza, C. (2019). Evaluación de materiales semiconductores utilizando simulación numérica con elementos finitos para la producción termoeléctrica en condiciones de vacío. *Tecnología en Marcha*, 18-29.
https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/4346

Valdiezo, P. (2014). *Diseño de un sistema foto voltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5447>

Vargas., C. (2013). Sobre la problemática energética. *Revista Comunicación*. 62-74.
<https://revistas.tec.ac.cr/index.php/comunicacion/article/view/1214>

Apéndices

Apéndice A

Celdas Peltier

Figura A1

Entradas de agua en el prototipo



Nota. maqueta realizada para el prototipo.

Figura A2

Salidas de agua en el prototipo



Nota. maqueta realizada para el prototipo.

Figura A3

Parte interna del prototipo



Nota. maqueta realizada para el prototipo.

Figura A4

Parte externa del prototipo



Nota. maqueta realizada para el prototipo.

Figura A5

Celdas Peltier conectadas en serie



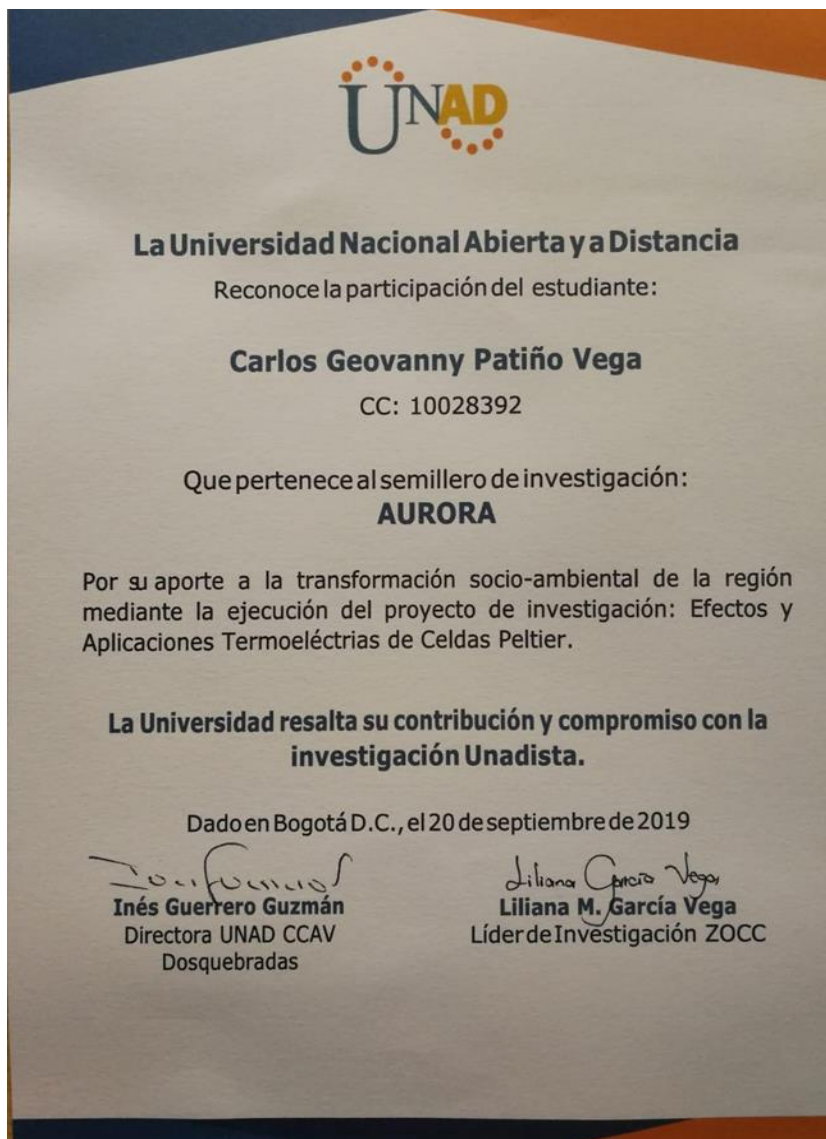
Nota. ordenamiento de las celdas Peltier.

Apéndice B

Participación en eventos

Figura B1

III encuentro de semilleros de investigación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD



Nota. certificado de participación III encuentro de semilleros de investigación, Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD.

Figura B2

TEINNOVA, Centro de diseño e innovación tecnológica industrial regional Risaralda



Nota. participación TEINNOVA.

Figura B3

Presentación del proyecto en Comfamiliar Risaralda



Nota. participación en Comfamiliar Risaralda

Figura B4

Evento Red Tecnoparque nodo Pereira, SENA Risaralda



Nota. participación en Red Tecnoparque nodo Pereira.

Figura B5

IX encuentro de semilleros de investigación RREDSI



Nota. participación en RREDSI.