

# SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA A PARTIR DEL EFECTO TERMOELÉCTRICO DEL SOL

Juan David Conde Sánchez, Michael Steven Silva Molina

---

**Resumen** – El presente trabajo presenta el desarrollo de un sistema de generación de energía eléctrica en la ciudad de Cali – Colombia a partir del efecto térmico del sol como principio del efecto Seebeck. Para el desarrollo de este se optó por una recolección de datos en el tiempo del comportamiento del sol en cuanto a su radiación, aplicado a dos diferentes colectores solares como son el colector plano y colector parabólico, en la cual se midieron las temperaturas alcanzadas para cada uno de los colectores. A partir de esto se hace una caracterización de cuál debe ser el tamaño del concentrador para obtener la temperatura necesaria del sistema la cual depende de las condiciones técnicas del módulo. Alcanzando valores de temperatura de 115.1 °C para el lado caliente y el lado frío de 29.3 °C para una diferencia de temperatura de 85 °C lo que equivale a 5.7 V de tensión para el sistema que consta de 7 módulos conectados en serie. Se utilizó un convertidor DC-DC tipo elevador como carga para medir el rendimiento. Alcanzando un 79.8% de eficiencia en función del voltaje pero 34.5% de eficiencia con respecto a la corriente.

## I. INTRODUCCIÓN

El constante desarrollo y avances tecnológicos hacen que día a día el consumo de energía y el tamaño de dispositivos electrónicos sea cada vez menor, lo que significa que la investigación en fuentes alternativas de energía sea mayor. Además el método de distribución corresponde a redes centralizadas en las que una única planta cubre energéticamente grandes extensiones, lo cual incrementa los costos de distribución [1].

A raíz de estas problemáticas identificadas, el aprovechamiento de energías limpias cada vez resulta más necesario, la insostenibilidad ambiental ya no es una opción, y es fundamental la investigación con el fin de incrementar el 19% de energía eléctrica consumida de carácter alternativo que se presenta actualmente en el mundo para dar un mejor soporte del sistema eléctrico y que se

conserven un poco más en el tiempo los recursos que están siendo explotados, sustituyendo de alguna manera las plantas que existen actualmente o complementarlas [2].

En este trabajo se ofrece una aplicación, un sistema de generación alternativa, que consiste en obtener energía eléctrica mediante el aprovechamiento del recurso solar, haciendo uso de la temperatura que se pueden presentar, en el cual se ve implementado el efecto Seebeck [3].

Se propone el uso de un transductor termoeléctrico, para ello se tendrá en cuenta que el recurso solar es muy variable en el tiempo y se realiza las adecuaciones necesarias para mantener una generación por un transcurso largo de tiempo diariamente [1].

## II. ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS TÉCNICOS DE DISEÑO.

El desarrollo del proyecto considera el aprovechamiento de la energía térmica solar para la generación eléctrica; a partir de esto se analizará el fenómeno termoeléctrico que hace posible la transducción de la energía térmica a energía eléctrica, denominado efecto Seebeck. Cuando se establece un gradiente de temperatura a lo largo de un conductor, la acumulación de carga en los extremos permite una fuerza que se opone al flujo de carga (FEM), este efecto se da cuando dos metales o semiconductores diferentes permiten un coeficiente de conversión de la energía térmica a eléctrica [4], tal como se muestra en la siguiente imagen.

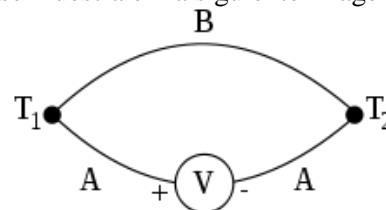


Figura 1. Esquema efecto Seebeck [1].

El cálculo del coeficiente Seebeck nos va a permitir el cálculo de la Figura de Merit la cual es una cuantificación del potencial que tiene un material

para ser empleado en una aplicación termoeléctrica del efecto Seebeck, esta figura de Merit corresponde a una ecuación que tiene como variables la conductividad eléctrica, térmica, el coeficiente Seebeck y la temperatura, tal como se muestra a continuación:

$$ZT = \frac{T\sigma S^2}{k} = \frac{TS^2}{k\rho}$$

La cual va a permitir la escogencia del tipo de material adecuado de acuerdo a la temperatura de trabajo y la conductividad térmica y eléctrica que presente el material, este comportamiento se puede apreciar mejor en la siguiente imagen:

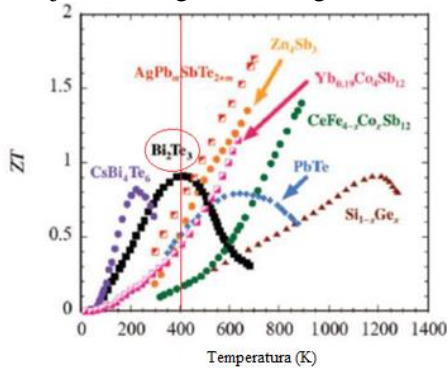


Figura 2. Figura de Merit de un par de semiconductores [5].

En la gráfica podemos observar un valor adimensional que toma la figura de Merit de determinado par de semiconductores, teniendo en cuenta el diferencial de temperatura, así pues muestra la curva de rendimiento permitiendo ubicar cual es el más apropiado para un determinado gradiente, el cual nos permite identificar que a la temperatura de trabajo la cual se encuentra alrededor de 130 °C los materiales que presentan una mejor relación son BiTe.

A partir de la escogencia de cuáles son los componentes con mayor rendimiento para la conversión térmica – eléctrica (BiTe) se realizó la escogencia del módulo tal como se muestra a continuación:

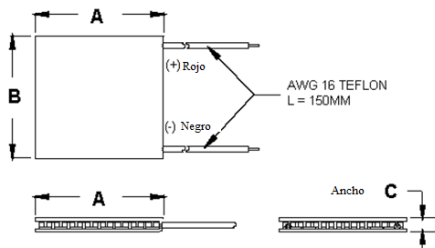


Figura 3. Especificaciones de los módulos. [6]

El modulo escogido es el TEHP1-1994-1.5 el cual es constituido por la combinación de bismuto y telurio, se caracteriza por entregar el mejor rendimiento de conversión para un temperatura alrededor de 330 °C, y tener un rendimiento intermedio para 400°C. Está recubierta por una lámina delgada de grafito de alta conductividad que aumenta la transferencia de calor hacia el modulo [6].

### III. DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

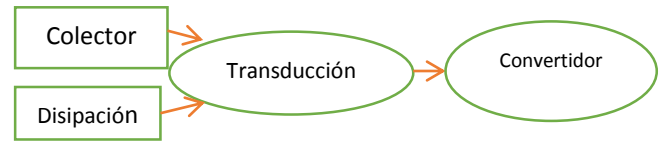


Figura 4. Diagrama del diseño [Autores].

El núcleo fundamental de proyecto es la transducción de la energía térmica a eléctrica, la transducción se realizara por medio del efecto Seebeck, aplicado a las condiciones de temperatura más altas posibles que permitan la mayor capacidad de generación. Como se definió en el capítulo anterior partiendo de la figura de Merit se estableció que según la temperatura máxima alcanzada y a la composición de materiales más aptos para un módulo a esta temperatura, se debe usar un módulo termoeléctrico de referencia TEHP1-1994-1.5 para el fenómeno de transducción.

A continuación se presenta además la recolección de datos realizada en esta investigación relacionadas con la radiación puntualmente en la pontificia Javeriana Cali durante 4 días. Los datos fueron adquiridos usando el sensor (Radiation Sensor Vantage), un arduino de referencia uno R3 para la recopilación de datos, tal como se ve a continuación:

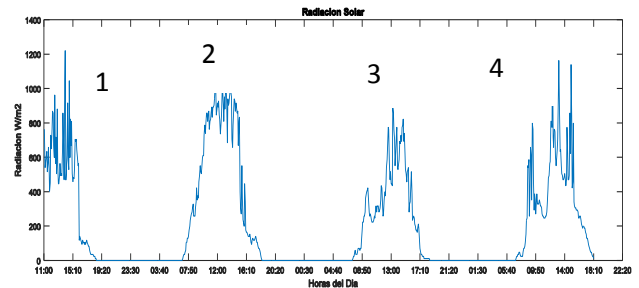


Figura 5. Radiación solar Campus U. Javeriana Cali [Autores]

La gráfica anterior nos muestra como es el comportamiento de la radiación solar en Cali en el transcurso de 4 días para observar mejor como es el cambio en su comportamiento, tal como se ve en el punto 2 de la gráfica observamos que es un día soleado, un día común en Cali, con una radiación máxima de 1000 W/m<sup>2</sup>. Manteniéndose en valores de radiación por encima de los 800 W/m<sup>2</sup> dentro de un intervalo de tiempo de (09:00 – 15:00) lo que indica un buen comportamiento para la radiación que requiere el sistema. En cambio en el punto 3 y 4 de la gráfica se puede observar un cambio más brusco en la radiación, disminuyendo considerablemente manteniéndose en promedio alrededor de 600 W/m<sup>2</sup> debido a que en estos días se presentó lluvia.

Teniendo claro de que el recurso solar en el sitio planteado es favorable, se realiza la definición del material colector, el cual va a ser el encargado de captar todos los rayos solares concentrados, para ello se realiza un estudio térmico de las propiedades de los materiales, para escoger cual es el más oprimado para esta implementación:

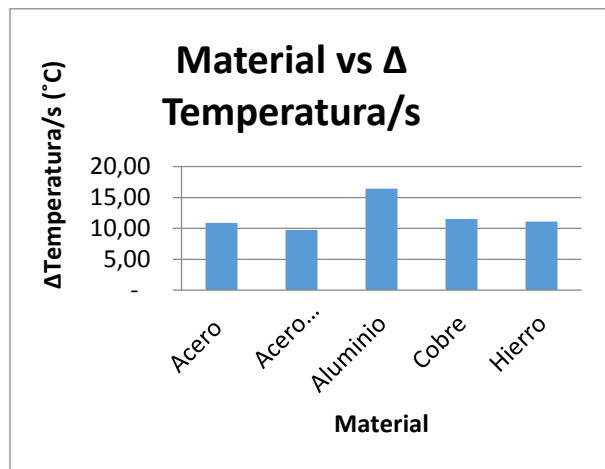


Figura 6. Δ Temperatura/s vs Material

Respecto a la gráfica 6 queda en evidencia que la lámina de aluminio con las dimensiones mencionadas incrementan más rápido su temperatura para una radiación de 1000W que los otros materiales, concretamente incrementa a una tasa de 16,44 °C cada segundo, este caso resulta hipotético porque pese a que 1000 w/m<sup>2</sup> es una radiación que se puede presentar, para este caso se evalúa la

incidencia de 1000w sobre únicamente una superficie cuadrada de 16x16 cm, pero que en general permite la misma conclusión indicando que el aluminio incrementa más rápido su temperatura que los otros materiales para el mismo calor aplicado.

Después de haber escogido el material del colector se procede a realizar pruebas mediante 3 métodos, los cuales son:

1. Colector Plano limpio
2. Colector Plano con pintura negra mate con trampa de calor.
3. Concentrador Parabólico.

Los resultados respecto a la temperatura de estos métodos se presentan a continuación:

Colector plano limpio.

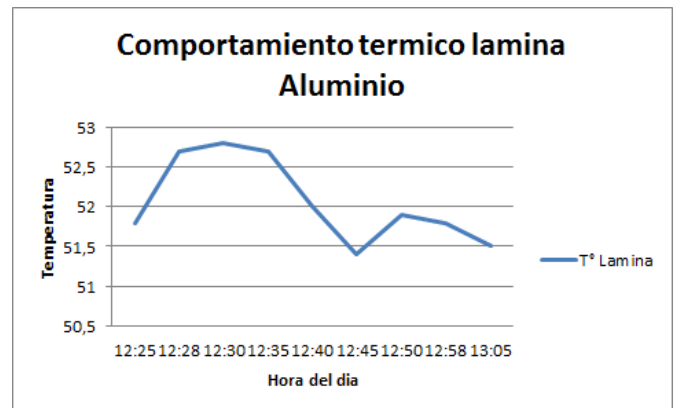


Figura 7. Comportamiento térmico aluminio.

De la figura 7 se puede observar que alcanza una temperatura máxima de 52,5 °C y una mínima de 50,8 °C lo cual no garantiza las especificaciones necesarias para el transductor, por lo cual este método de colección de radiación es descartado.

Posteriormente se realiza una toma de datos para el colector plano con trampa de calor, los resultados a continuación:

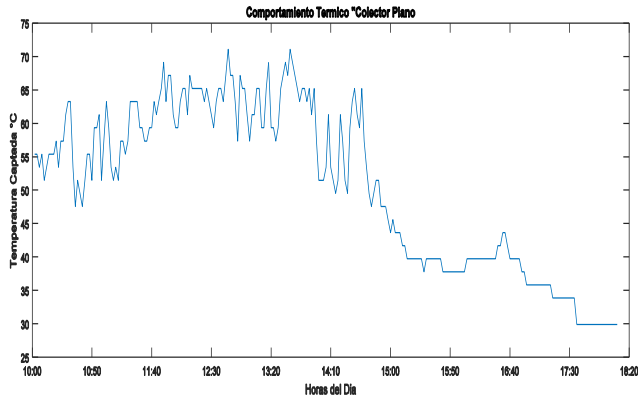


Figura 8. Comportamiento Térmico Lamina Negra.

Los resultados observados en la figura 8. Permite identificar respecto a la temperatura alcanzada, que dentro del intervalo de tiempo de mayor radiación solar (10:00 – 15:00) la temperatura se mantiene en promedio entre los valores de 52°C – 71.6°C, presentado algunos picos debido a las interposición de las nubes disminuyendo la radiación captada por el sistema, pero aun así logra mantenerse por encima de los 50 °C por 5 horas. A medida que transcurre el tiempo y el colector plano estaba expuesto al sol, se iba produciendo vapor que quedaba atrapado entre la lámina y el acetato.

Como conclusión se observa que mediante este método resulta difícil superar temperaturas de 100 °C, pero que al incrementar el aislamiento del sistema es posible reducir el calor disipado permitiendo así elevar la temperatura máxima respecto a un colector plano normal.

Respecto a los resultados del concentrador parabólico se pueden apreciar mejor los resultados en el siguiente capítulo, dado que este método fue el escogido gracias a que presenta las condiciones necesarias para el desarrollo de este.

Teniendo claro de cuál es el método de recolección de radiación solar, se procede a analizar la mejor alternativa de disipación térmica por la cara fría, para los cuales se realiza un análisis mediante dos métodos, los cuales son utilizando disipadores convencionales y refrigerantes como el agua.

Para la escogencia de un método sobre otro se realiza una evaluación de la capacidad de disipación

de calor, en la que se aplica la fórmula de enfriamiento de Newton, tal como se muestra a continuación:

**Tabla 1. Convección de calor - Disipador.**

Disipador		Unidades
Área de la antena	0.250344	Metros
Absorbancia	0.95	
Área colector	0.0324	Metros
TF	29	°C
Área disipador	0.882	Metros
H	25	
Qconveccion max	5975.55	Joules

**Tabla 2. Convección de calor - Agua**

Agua directa		Unidades
Área de la antena	0.250244	metros
Absorbancia	0.95	
Área colector	0.0324	metros
TF	24	°C
Área Módulos	0.0128	metros
H	2000	W/m2
QConvección max	7065.60	Joules

Entre las soluciones para la extracción del calor para garantizar el gradiente, se identificó que podría existir una solución al sustituir el fluido (primer método) por otro cuya constante de convección fuera mayor, de esta manera se identificó que la constante de convección del agua era aproximadamente 100 veces mayor que la del aire (300-3000), por esta razón se tomaron en cuenta estos dos métodos, para realizar una comparación de cual era capaz de disipar más calor, en comparación con los disipadores en teoría la aplicación de un flujo de agua tiene la capacidad de extraer aproximadamente 1000 Joules por segundo más que el disipador de mayor superficie. Lo que implica que resulta más

eficiente por lo cual se optó por realizar las pruebas sobre este método.

Posteriormente a conocer cuál será el método de transducción de energía solar a eléctrica, de cuál será el método de recolección de radiación solar para el lado caliente y etapa de refrigeración para el lado frío, se realiza un análisis sobre la adaptación eléctrica.

La adaptación eléctrica es un paso necesario en todas las energías renovables, ya que estas presentan muchas fluctuaciones en su tensión debido a que son dependientes de variables independientes del sistema como son el agua, sol o aire. Por este razón para el desarrollo del sistema se realiza un conversor DC DC tipo Boost, el cual será el encargado de elevar el valor de tensión generada a 12 v el cual es el valor de diseño utilizado en muchas aplicaciones como adaptadores, laptops, entre otros.

El convertidor DC-DC presenta la siguiente configuración:

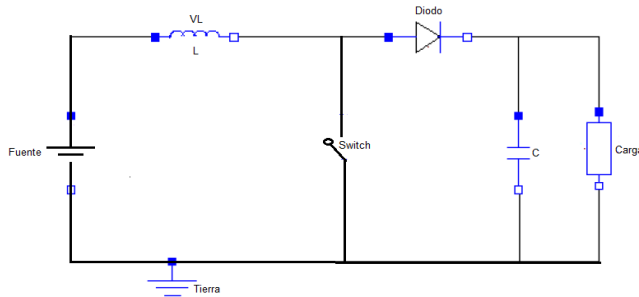


Figura 9. Convertidor Boost

En el cual el elemento principal es el Switch o conmutador, el cual va a tener la función de cambiar los estados On – Off a una frecuencia determinada para permitir el flujo de corriente hacia la carga, obteniendo así un incremento de tensión.

Las especificaciones del diseño se presentan a continuación:

$$Vi = 5v \quad Vo = 12v \quad Io = 100mA \quad Vd = 0.5$$

Teniendo en cuenta las especificaciones del diseño se realizan los cálculos para encontrar los valores de C, L. para al fin obtener un diseño final tal como se muestra a continuación:

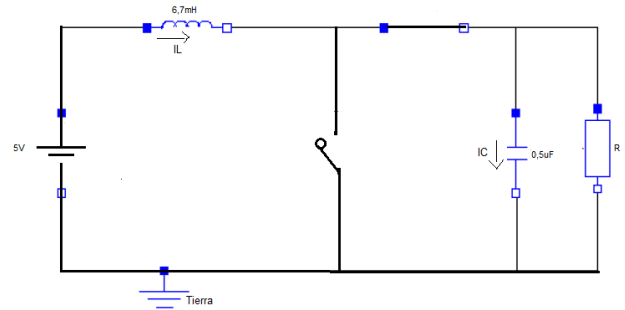


Figura 10. Convertidor Boost.

El esquema final del convertidor presentado en la figura 10 es un comportamiento ideal de este tipo de convertidores, para llevarlo a una implementación real, el Switch se cambia por un Mosfet XL6009 el cual realizara la conmutación, presentado un diseño final de la siguiente manera:

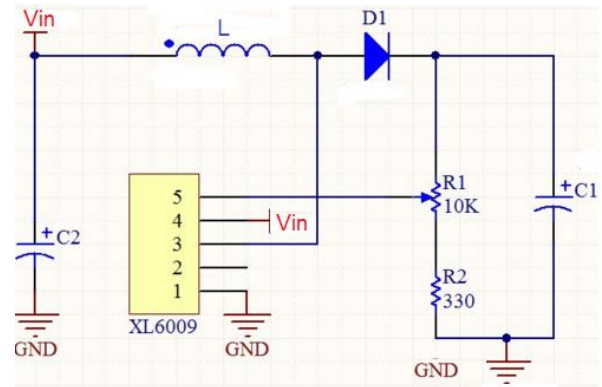


Figura 11. Convertidor Boost Real. [8]

Este circuito XL6009 trabajo con una frecuencia de conmutación de 400KHz, alcanzando una eficiencia del 94%, el rango de entrada para su correcto funcionamiento debe estar entre (5v - 32v). Lo cual es un parámetro que se tiene que garantizar en la etapa de diseño. Así como se pudo apreciar en la figura 11, la función de esas resistencias es para obtener un valor más alto de ganancia, con lo cual se obtiene un  $V_{out}$  entre los rangos de (5v – 60v).

$$Vo = 1.25 * \left(1 + \frac{R2}{r1}\right)$$

## IV. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se realizó un análisis térmico entorno a los diferentes tipos de colectores, considerando su aplicación para asegurar la temperatura caliente de un módulo, desde este punto de vista se implementaron dos diseños; el colector plano y un colector parabólico. A continuación se documenta los datos registrados de comportamiento para los dos diseños.

### Resultados concentrador plano

Los resultados obtenidos para la implementación del colector plano se muestran a continuación:

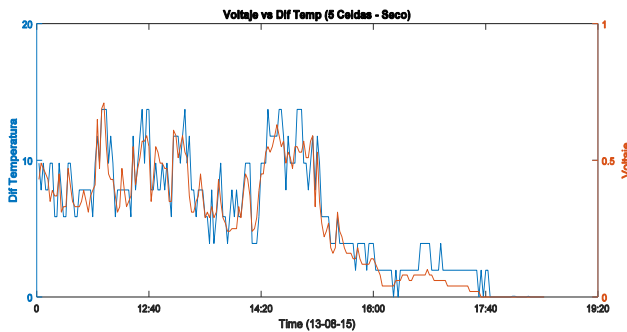


Figura 12. Diferencial de temperatura vs voltaje colector plano [autores].

La gráfica anterior nos muestra claramente cómo cambia el voltaje generado (Rojo) en función a la diferencia de temperatura (Azul) durante el transcurso del día, llegando a su valor mínimo alrededor de las 17:40h. Las condiciones a la cual estuvo expuesto el sistema de la figura anterior son 5 celdas en serie, con disipadores para el lado frío de la celda. Dado que el voltaje generado por este sistema no es suficiente (0.6V máx.), se procede a realizar la prueba con agua como disipador térmico, manteniendo en valores promedio de 0.3 V a gradientes de temperatura que no pasan los 20 °C, lo cual no es suficiente para la siguiente etapa de adaptación de energía eléctrica que requiere valores por encima de 5 V.

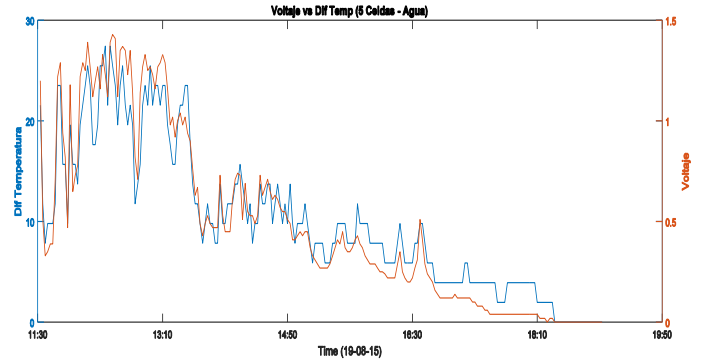


Figura 13. Dif Temperatura Vs Voltaje (Colector plano) [Autores].

La mejor forma de disipar el calor para este sistema es el agua y de esa manera se pudo evidenciar en la figura anterior, logrando aumentar el valor de voltaje máximo a (1.4V). Presentando igualmente valores muy bajos de energía para lo que requiere el sistema. De las gráficas anteriores se puede observar claramente que la diferencia de temperatura no pasa los 28°C lo cual hace que el sistema no sea eficiente, debido a que no se le están presentando las condiciones necesarias para que presente una mayor eficiencia. A partir de esto se concluyó que se puede obtener mejor eficiencia de transducción para un gradiente de temperatura mucho mayor, el cual se consigue aumentando la temperatura del lado caliente.

### RESULTADOS CONCENTRADOR PARABÓLICO IMPLEMENTADO

Teniendo en cuenta todas las características del comportamiento de los diferentes tipos de colectores, y los diferentes métodos de disipación se logró definir el diseño más eficiente el cual corresponde a: Concentrador parabólico de radio 30 cm, con foco a 48 cm del centro y altas prestaciones de reflexión basado en aplicar un procedimiento de cromado. El Colector cuadrado de lado 18cm, calibre 19, de aluminio pintado por una cara con pintura negra mate. Dentro del colector cuadrado se distribuyeron 7 módulos termoelectrónicos en serie asegurados con silicona termo-resistente que obliga la conducción de calor hacia cada uno de los módulos únicamente. Refrigeración artificial, aplicando flujo de agua, se consiguió usando motobomba solar.

En cuanto a la temperatura que puede alcanzar se sufrieron dificultades al trabajar con 300°C, el diseño permite superar este margen que en teoría los

módulos toleran, pero a pesar de esto se sufrió la pérdida de los módulos. Actualmente se desconoce la razón por la cual se quemaron los módulos considerando que nunca se superaron los 330 grados (temperatura límite según el fabricante), identificamos que probablemente este límite teórico se encuentra por encima del límite real de funcionamiento. A demás conseguir garantizar 30 °C para la cara fría del sistema de tal manera que sea posible comparar los resultados teóricos con los prácticos resulta mucho más complejo de acuerdo a lo que se evidencio en las tablas siguientes. Por lo cual decidí restringirse la temperatura disminuyendo la radiación incidente a la mitad.

La siguiente grafica ilustra el comportamiento del voltaje en función del diferencial de temperatura para los datos reordenados de menor a mayor en el dominio.

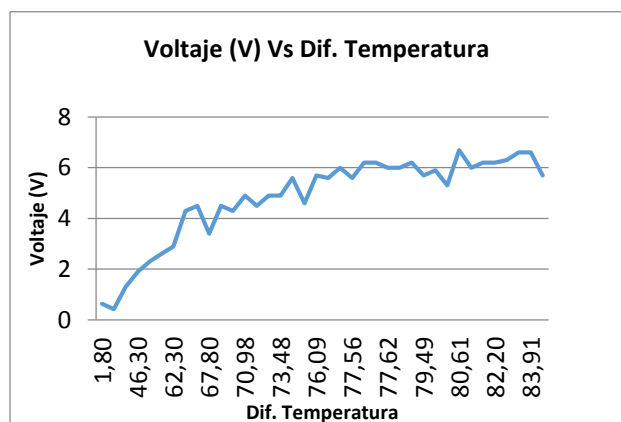


Figura 14. Voltaje vs Diferencial de temperatura [Autores].

Observamos que existe un comportamiento creciente del voltaje en la medida que el diferencial aumenta, A demás una fluctuación que no permite identificar un comportamiento continuo de los datos, consideramos que la causa de este comportamiento es el método que se utilizó para la toma de datos. La toma de datos fue realizada usando una termocupla que manualmente se apoyaba sobre el objeto de la prueba, permanentemente era necesario realizar presión para conseguir el dato lo que incurre en fluctuaciones que se pueden observar en la gráfica anterior.

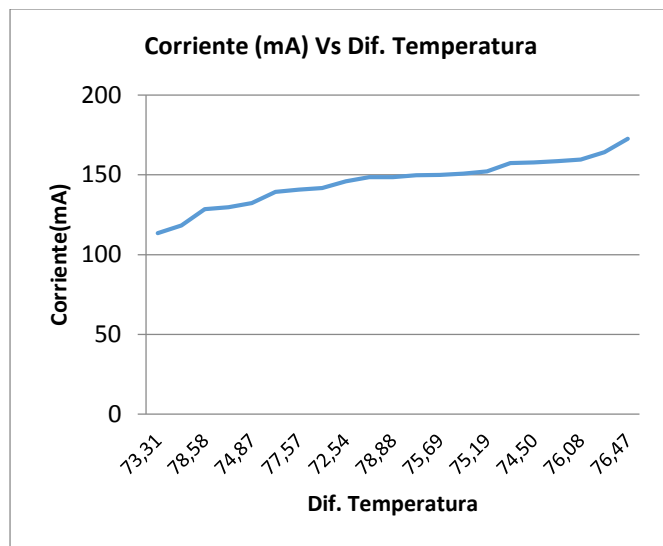


Figura 15. Corriente vs diferencial de temperatura [Autores]

La grafica 15 nos permite observar como aumenta la corriente en la medida que el diferencial de temperatura aumenta, se concluye que la corriente no aumenta en la misma proporción que aumenta el voltaje, y además que los datos tomados para esta grafica no alcanzaron valores de diferencial tan altos como en el caso de los datos del voltaje. Para apreciar mejor los datos obtenidos en cuanto a voltaje, corriente y temperatura alcanzada se muestra la siguiente tabla:

Tabla 3. Estadísticas del sistema.

Promedio Th °C	94,94
Promedio Tc °C	30,58
Promedio V (v)	4,49
Promedio I (mA)	145,72
Promedio dT °C	69,2394737

La anterior tabla nos indica un valor promedio de temperatura máxima y mínima alcanzada, para poder así comparar su comportamiento teórico con respecto al practico, garantizando así las condiciones necesarias para su correcto funcionamiento, obteniendo un voltaje promedio de 4.49 v, lo cual resulta ineficiente para la siguiente etapa de adaptación eléctrica que requiere voltajes por encima de 5 v, pero este valor se debe a que se hizo toma de datos de un periodo corto de tiempo, en el cual los valores iniciales, es decir cuando el sistema apenas

entra en el sol son muy bajos, afectando los valores más altos que se presentan con el transcurso del tiempo cuando el sistema ya supera los 2 minutos expuesto al sol.

A continuación se presenta la comparación entre los datos obtenidos y los datos teóricos, el análisis lo realizamos entorno al voltaje y la corriente máxima alcanzada y la máxima teóricamente.

$T_H=113.3^\circ\text{C}$ ,  $T_c=28.3^\circ\text{C}$ ,  $V=6.7$ .

Lo que indica que individualmente cada módulo suponiendo que están en igualdad de condiciones genera 0.958 voltios.

$T_H=109.3^\circ\text{C}$ ,  $T_c=32.8^\circ\text{C}$ ,  $I=172.7\text{ mA}$ .

Lo que indica que individualmente al estar en serie cada módulo genera aproximadamente 172.7 mA.

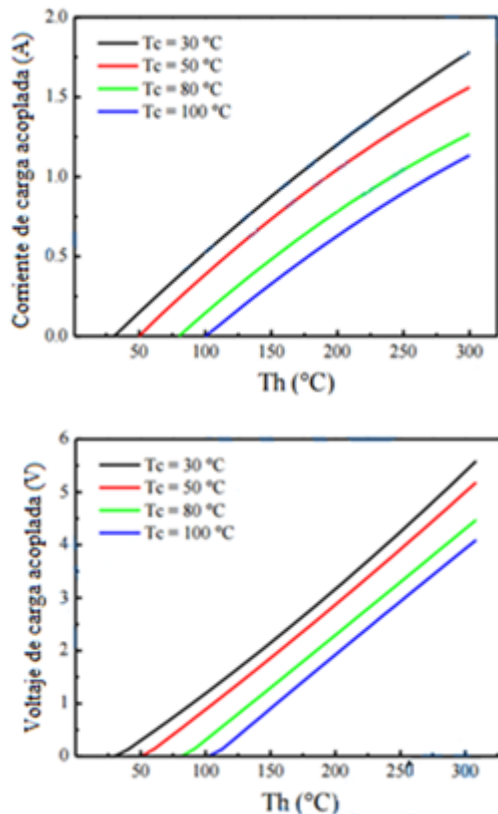


Figura 16. Voltaje y corriente vs temperatura cara caliente. [7]

En la figura del voltaje observamos que para  $100^\circ\text{C}$  aproximadamente el voltaje alcanzado teóricamente es de 1.2 Voltios, comparándolo con el valor práctico (0.958 V), el valor práctico corresponde al 79.8% del valor teórico. Respecto a la figura de la corriente observamos que para  $100^\circ\text{C}$ , la corriente debe superar 0.5 A, comparándolo con el valor

conseguido (172.7mA), concluimos que solo corresponde al 34.5% del valor teórico. Concluimos que el valor práctico conseguido del voltaje logra aproximarse significativamente más que la corriente a su respectivo valor teórico, la corriente se aproxima muy poco al valor lo que reduce considerablemente la capacidad de generación del sistema según el fabricante.

La potencia máxima conseguida de acuerdo a los datos corresponde a 1.15W totales, equivalente a 0.164W por módulo. La potencia fue calculada al multiplicar la corriente máxima por el voltaje máximo alcanzado.

La potencia según las gráficas anteriores es de 0.6W por cada módulo.

Si comparamos este dato real con el dato teórico identificamos que se alcanza únicamente el 27.4% de rendimiento sugerido por el fabricante.

Al realizar una comparación con los paneles fotovoltaicos se concluyó que a pesar de que no se consiguió extraer el total rendimiento de las celdas es observable que para las dimensiones del proyecto los paneles fotovoltaicos tienen alrededor de 25 veces más capacidad de generar energía eléctrica. Cabe resaltar que la temperatura en la cara fría máxima registrada, corresponde a  $36^\circ\text{C}$ , la temperatura mínima fue de  $27.5^\circ\text{C}$ , en general los datos se encuentran alrededor de  $30^\circ\text{C}$  con una desviación de 1.01, concluyendo de esta manera que el método escogido para la disipación fue suficiente y permitió cumplir los requerimientos del diseño.

## ANÁLISIS DE EFICIENCIA TÉRMICA

El único objeto que hace uso de energía eléctrica para su funcionamiento es la motobomba, por lo tanto el análisis de la potencia generada se calcula respecto a la energía que consume.

Para el desarrollo del sistema se implementó una Bomba de agua la cual va a cumplir la función de recircular el agua del tanque hasta el transductor, manteniendo así la temperatura de la cara fría mucho menor a la alcanzada por el lado caliente.

La Bomba de agua solar escogida es de la marca AGPTEK la cual tiene las siguientes especificaciones.



**Tabla 4. Especificaciones técnicas Bomba Solar**

Tamaño panel	9.5*9.5 cm
Flujo máximo	175 L/H
Color	Negro
Altura máxima	50 - 70 cm
Consumo Bomba	0.5 - 0.7 W

La razón por la que se escogió esta Bomba de agua solar es debido a su poco consumo de energía con respecto al flujo y altura máxima alcanzada por el agua. A partir de este consumo se realiza la eficiencia térmica que tiene el sistema mediante la ecuación a continuación.

$$\eta = \frac{\text{Potencia generada}}{\text{Potencia consumida}}$$
$$\eta = \frac{1.2 \text{ W}}{0.6 \text{ W}} = 2$$

Con este resultado obtenido, se puede garantizar que la relación Potencia generada con respecto a la Potencia consumida es mucho mayor, lo que garantiza que el sistema está generando el doble de la potencia que se está consumiendo, siendo una buena implementación para el sistema. Debido a que se tiene que garantizar que la parte de refrigeración del sistema sea constante.

## V. CONCLUSIONES

Una de las mayores dificultades identificadas durante el desarrollo del proyecto fue El espacio entre las dos caras del módulo convertidor que permite conducción térmica. A grandes temperaturas no es eficiente esta conversión. Debido a que se eleva la dificultad a la hora de garantizar la temperatura más baja sobre la otra cara.

Como se mencionó en el párrafo anterior una de las dificultades giraba en torno a garantizar el lado de menor temperatura, la investigación permitió concluir que la utilización del aire en condiciones naturales para la extracción no constituye una

solución posible, descartando de este modo aplicaciones relacionadas con disipadores por si solos. Lo que resalta la necesidad de aplicar un fluido cuyo calor específico sea mayor para la extracción de mayor calor para un incremento menor de temperatura. De esta manera se consideró para el desarrollo de este proyecto aplicar agua como fluido permanente para garantizar la temperatura de la cara fría entorno a los 30°C.

Hacemos uso del espacio para concluir respecto a la potencia generada se consiguió generar 0.164W por modulo y 1.15W del diseño total. El porcentaje de aproximación a la potencia teórica fue del 27%. Teniendo en cuenta lo anterior y sabiendo que la potencia de un panel solar fotovoltaico de dimensiones 40x40 cm es esta entre 40 y 50w, concluimos que en términos de eficiencia por superficie, el panel solar resulta más eficiente.

El análisis realizado basado en la figura de Merit para identificar la mejor composición de materiales para el efecto Seebeck, facilita identificar como mejor composición a bajas temperaturas la base del compuesto BiTe, por otro lado los resultados conseguidos nos mostraron que la transducción de la energía para estas temperaturas aun no resultan suficientemente eficiente. Se identificó que por cada módulo teóricamente se consigue generar para las condiciones nombradas alrededor de 0.6W , para alcanzar la potencia generada por un panel fotovoltaico haría falta usar aproximadamente 80 módulos, por lo cual observamos que es necesario continuar con la investigación de otros compuestos que permitan una relación más favorable.

La investigación realizada permitió verificar el comportamiento de la temperatura máxima teórica, consiguiendo con los datos prácticos aproximarse en un 99.2%. Permitiendo de esta manera caracterizar el comportamiento de los diferentes tipos de colectores a partir de la radiación solar y la disipación térmica. De esta manera la caracterización desarrollada puede ser aplicada a requerimientos diferentes de temperatura para calcular las dimensiones ya sea del colector parabólico o del colector plano.

## VI. BIBLIOGRAFIA

- [1] Shyam S. Nandwani. Junio 2005, "Energía solar conceptos básicos y utilización". [www.mercadosolar.com],  
De: [http://www.mercadosolar.cl/wp-content/uploads/2013/12/Energia\\_Solar\\_Conceptos\\_Basicos.pdf](http://www.mercadosolar.cl/wp-content/uploads/2013/12/Energia_Solar_Conceptos_Basicos.pdf).
- [2] Netzer, n; Kofler B (2014). "Una Transformación Energética Mundial". Friedrich – Ebert – Stiftung.
- [3] Rodríguez, J. E. (2012). La recuperación termoeléctrica del calor residual, una fuente de energía ambientalmente amigable - Thermoelectric waste heat recovery, an environmentally friendly energy source.
- [4] ING ARGÜELLES GUERRERO, R. O. D. R. I. G. O. (2011). ANÁLISIS EXPERIMENTAL DE UN GENERADOR PELTIER Y SUS PROCESOS IRREVERSIBLES (Doctoral dissertation).
- [5] Duque-Solís, M. (2014). Diseño de paneles generadores de electricidad por efecto Seebeck (Doctoral dissertation, Escuela de Ingeniería de Antioquia).
- [6] Computer, B. E. Thermoelectric Cooler. TEC1-12706. HB Brand Electronic Components from China.
- [7] Thermonamic Electronics (Jiangxi) Corp. Ltd. TEHP1-1994-1.5. Thermonamic Components from China.
- [8] Garzón Muñoz, Stefany Carolina. (2012). Análisis de convertidores de potencia DC-DC con software libre OPENMODELICA. Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control. ESPE. Sede Sangolquí.