

III Congreso Internacional en Inteligencia Ambiental, Ingeniería de Software y Salud Electrónica y Móvil
AmTIC 2019
11 al 13 de septiembre de 2019
Pereira, Colombia

Prototipo de sistema termosolar para la generación de energía eléctrica a través del motor Stirling

Thermosolar system prototype for electricity energy generation through the Stirling engine

Miguel Angel Arias Cifuentes ^{1*}, Erika Viviana Moreno Rodríguez ¹, Maicol Cárdenas Hernández ¹

¹Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria Cafam, Colombia

*Autor de correspondencia: miguel.arias@unicafam.edu.co

RESUMEN– En la actualidad, las nuevas formas de producir energía eléctrica mediante procesos naturales, ha impactado positivamente al mejoramiento del planeta y la reducción en el uso excesivo de recursos no renovables y energéticos fósiles. Con esta finalidad se lleva a cabo este proyecto, haciendo énfasis en la generación de energía eléctrica autosustentable a partir de radiación solar y un prototipo de antena parabólica cromada captadora. En fases preliminares, se estudiaron conceptos sobre los colectores termosolares y los efectos termoeléctricos para seleccionar el modelo que se acoplaría al captador de energía solar “antena parabólica cromada”. Dentro de este proceso y teniendo como antecedentes la experiencia con las celdas Peltier, se optó por incluir un motor Stirling como colector termoeléctrico. El objetivo del proyecto consistió en desarrollar un prototipo de captación solar que, mediante un proceso de transformación energética, pasando de energía térmica a eléctrica y realizando un acople al captador termosolar desarrollado se apropiaran modelos de obtención de energía térmica, y gracias al modelo de aprovechamiento energético del motor Stirling, el cual mediante un ciclo termodinámico sencillo, permitió un prototipo que logra conservar energía eléctrica y usarla en procesos básicos como, la carga de una pila de teléfonos móviles celular o de almacenamiento energético. La fase inicial del proyecto se llevó a cabo mediante un marco metodológico cuantitativo y con enfoque exploratorio-descriptivo. Se tomaron mediciones para validar la cantidad de voltaje generado a través del motor Stirling que, en pruebas de laboratorio bajo parámetros controlados, generó un valor máximo de voltaje de 5,56 V y en campo con variables incontrolables 7,40 V, datos que representaron el buen comportamiento del motor y que permite realizar investigaciones de desarrollo adicionales.

Palabras clave– celdas Peltier, ciclo termodinámico, colectores termosolares, compresión térmica, efectos termoeléctricos, expansión térmica, motor Stirling.

ABSTRACT– Currently, the new ways of producing electricity through natural processes has had a positive impact on the improvement of the planet and the reduction in the excessive use of resources. With that purpose, the project was carried out, making emphasis on the self-sustaining electric power source based on solar radiation and a chromed parabolic antenna prototype. In preliminary phases, concepts of collectors, thermosolar and thermoelectric effects were studied to select which model would be coupled to the solar energy collector "chrome parabolic antenna". Within this process and taking into account the background of the experience with the Peltier cells, the Stirling engine was selected as the thermoelectric collector. The objective of the project was to develop a prototype of solar capture, through an energy transformation process from thermal to electrical energy and with the coupled of the solar collector developed appropriates the use of thermal energy models extraction through the Stirling engine working. Which a simple thermodynamic cycle develops a prototype that allows to conserve electrical energy and use it on basic processes such as charging a cell phone battery or energy storage. The first phase of the project was carried out through a quantitative methodological framework and with an exploratory-descriptive approach. The measurements were taken to validate the amount of voltage through the Stirling engine, which, in laboratory tests under controlled parameters, generated a maximum voltage value of 5.56 V and in the field with uncontrollable variables 7.40 V, data that represented the good behavior of the engine and allows to carry out additional development investigations.

Keywords– Peltier cells, thermodynamic cycle, thermosolar collectors, thermal compression, thermoelectric effects, thermal expansion, Stirling engine.

1. Introducción

“La necesidad de que Colombia adopte sistemas renovables para la generación de energía es inminente. En el país, la cogeneración solo aportó el 1% de la matriz

energética el año pasado, cifra que evidencia que queda un largo camino por recorrer” [1].

Un estudio realizado por la Unidad de Planeación minero-energética (UPME) plantea que en el año 2030 el país debe consumir un 30% de energías limpias o

renovables no convencionales y 70% de las fuentes tradicionales (hidroeléctrica y térmica [1].

La capacidad total de generación eléctrica en Colombia es estimada en 16.800MW, si bien está conformada en su mayoría por fuentes hidráulicas y pequeñas centrales hidroeléctricas, aún tiene una mínima participación de las fuentes no convencionales de energía renovable, que incluyen tipos como biomasa, solar, eólica, entre otras. Las dos últimas solo contribuyen con 0,02% de la generación total con cerca de 30 MW, aun cuando Colombia cuenta con una radiación solar promedio de 4,5 KW por metro cuadrado, con algunas zonas del Caribe que alcanzan 6 KW, mientras que el promedio global se ubica cerca de 3,9 KW [2].

Este proyecto se enfocó en el desarrollo de un prototipo que buscara representar un modelo de transformación termoeléctrica e informar sobre su aplicación en el entorno de las energías renovables en Colombia, a su vez crear una orientación para que a futuro se puedan implementar desarrollos en generación de energías alternativas, lo cual se está volviendo una necesidad a causa de los impactos ambientales. Por esta razón, se buscó hacer un análisis a fondo, mediante la experimentación en pruebas de campo con el prototipo “antena parabólica cromada” y el motor Stirling para aprovechar la energía solar generada en la ciudad de Bogotá, D.C.

Debido a la diversidad climática que posee Colombia, el proceso de estudio buscó caracterizar el prototipo elaborado, para brindar soluciones a futuro en el uso de energías autosustentables e implementarlo en otras ciudades. Además de brindar conocimientos a todas aquellas instituciones que precisaran investigar sobre energías renovables y el cuidado del medio ambiente.

De acuerdo con dos informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS), más de una cuarta parte de las defunciones de niños menores de cinco años son consecuencia de la contaminación ambiental. Cada año, las condiciones insalubres del entorno, tales como la contaminación del aire en espacios cerrados y en el exterior, la exposición al humo de tabaco ajeno, la insalubridad del agua, la falta de saneamiento y la higiene inadecuada, causan la muerte de 1,7 millones de niños menores de cinco años [3].

En ese orden de ideas, la polución es catalogada como el principal riesgo medioambiental y de la salud. Es por ello que el uso de energías renovables a nivel mundial se ha convertido en una necesidad fundamental, debido a los

daños ambientales generados por el uso de fuentes energéticas convencionales. Basado en estos estudios, se generó el prototipo ya mencionado para que sea usado como alternativa de generación de energías limpias en el sector energético del país, de tal forma que permita directa e indirectamente a todos los ciudadanos de la región de estudio, unas mejoras tanto económicas como sociales.

El interés investigativo, el esfuerzo humano, ético y profesional de indagar y proponer posibles soluciones sobre problemáticas planteadas, es la labor principal que como ingenieros se inculca en el desarrollo profesional, con tal fin se planteó el proyecto como una alternativa viable y práctica para lo cual, mediante un análisis sectorial de la zona de interés, en este caso Bogotá, se lograra definir parámetros que a futuro fueran usados se extienda a otras regiones del país en las que sea aplicable.

El objetivo es realizar un prototipo de transformación de energía térmica a eléctrica mediante la elaboración de una antena termosolar parabólica que apropie los modelos de captación solar y de aprovechamiento energético del motor Stirling, para generar una carga efectiva y utilizable.

Los principios de la energía termosolar fueron definidos por Auguste Mouchot en 1860 el cual concibió la idea de elaborar máquinas de vapor con energía solar. Su interés era lograr construir una máquina capaz de extraer energía del sol de forma práctica.

En su deseo de obtener energía alternativa y económica, diferente a la tracción animal y al vapor originado en la combustión del carbón, Mouchot, en el verano de 1866 desarrolló su primer colector solar. En las siguientes dos décadas, él y su ayudante, Abel Pifre, construyeron los primeros motores de energía solar y los utilizó para varias aplicaciones. Estos motores se convirtieron en los precursores de los modernos colectores parabólicos. A su vez, en los años 80 varias experiencias demostraron su viabilidad [4] [5].

Mouchot demostró su primer motor solar en París en agosto de 1866 como se ve en la figura 1, ante el Emperador Napoleón III, y el inventor fue financiado para una fase de construcción más ambiciosa. En los próximos años, Mouchot construyó máquinas cada vez más grandes y se dedicó a escribir el primer libro dedicado a la energía solar: *Le “Chaleur Solaire et les Applications Industrielles”* (1869). Su publicación coincidió con el estreno de su motor más grande hasta el momento. Construyó un espejo en expansión debajo de una caldera de cobre de siete pies, una configuración que generó un respetable 45 psi de vapor [6].

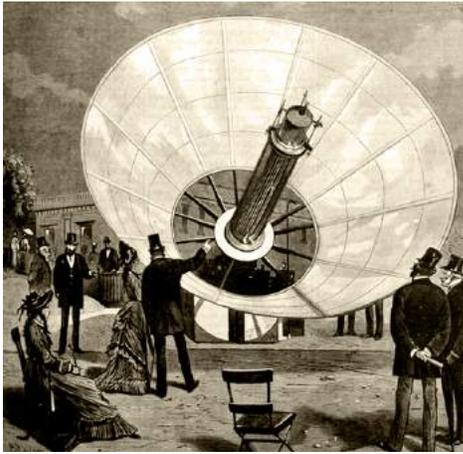


Figura 1: Concentrador solar de August Mouchot, 1866 [5].

Mouchot demostró su primer motor solar en París en agosto de 1866 como se ve en la figura 1, ante el Emperador Napoleón III, y el inventor fue financiado para una fase de construcción más ambiciosa. En los próximos años, Mouchot construyó máquinas cada vez más grandes y se dedicó a escribir el primer libro dedicado a la energía solar: *Le "Chaleur Solaire et les Applications Industrielles"* (1869). Su publicación coincidió con el estreno de su motor más grande hasta el momento. Construyó un espejo en expansión debajo de una caldera de cobre de siete pies, una configuración que generó un respetable 45 psi de vapor [6].

El motor de exhibición de Mouchot era pesado, con un espejo de más de 13 pies de diámetro y una caldera de 21 galones. Un día soleado en el Trocadéro, Mouchot generó siete atmósferas de presión en su caldera, creó una máquina de hielo y produjo un bloque de hielo solar. Los espectadores se desconcertaron ante la paradoja de poner en funcionamiento un horno para crear hielo, y el cosquilleo de la fantasía de los jueces hizo que Mouchot obtuviera una medalla de oro [6].

Algunos conceptos fundamentales para tener en cuenta y conocer más sobre el funcionamiento de los componentes presentes en el proyecto son:

- Disco parabólico: se compone básicamente de un reflector o conjunto de reflectores, que tienen forma de paraboloide de revolución. Además, poseen un receptor situado en el foco puntual de dicho paraboloide, y de un sistema de generación eléctrica compacto (un motor o una turbina más un alternador). Por lo general, el receptor y el sistema de generación suelen formar parte de un mismo conjunto [7].

- Motor de Stirling: El motor de Stirling dispone de un dispositivo denominado regenerador. Actúa como un sistema que almacena energía en cada ciclo. El calor se deposita en el regenerador cuando el gas se desplaza desde el foco caliente hacia el foco frío disminuyendo su temperatura. Cuando el gas se desplaza desde el foco frío hacia el foco caliente el regenerador suministra energía al gas aumentando su temperatura [8].

El ciclo ideal Stirling se compone de dos procesos isométricos (calentamiento y enfriamiento del fluido de trabajo a volumen constante) y dos isotérmicos (compresión y expansión a temperatura constante) [9].

La eficiencia termodinámica del ciclo ideal Stirling es igual a la de un ciclo de Carnot, trabajando a las mismas temperaturas de las fuentes de calor, lo cual se debe principalmente a la «regeneración» que se lleva a cabo durante los procesos a volumen constante del ciclo [9].

Sin embargo, en la práctica, es muy difícil que un motor de Stirling trabaje con el ciclo teórico debido, a la cinemática del mecanismo que transforma la energía térmica en mecánica impide reproducir exactamente los procesos del ciclo teórico como se muestra en la figura 2, lo que a su vez determina que la eficiencia sea menor que la de ciclo ideal [9].

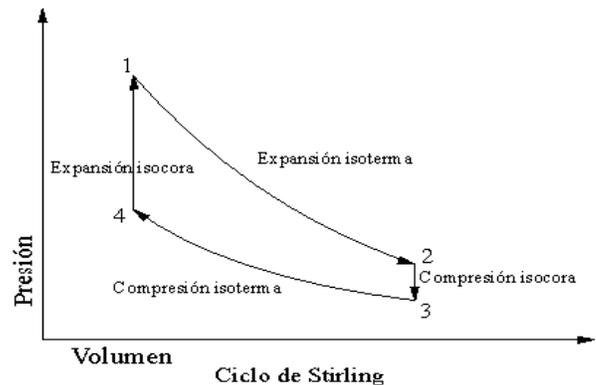


Figura 2. Ciclo Termodinámico del motor Stirling [10].

Los gases que se utilizan nunca llegan a salir del motor, lo que ayuda a reducir las emisiones de gases contaminantes, no tiene válvulas de escape que ventilen los gases de alta presión, al igual que pasa con el motor de gasolina o diésel. En el caso de que haya algún peligro, no tiene riesgos de explosiones. Debido a esto, los motores de Stirling son muy silenciosos [11].

Este motor tiene cuatro partes en su ciclo de funcionamiento o combustión como se ve en la figura 3, los dos pistones son los que cumplen todas las partes del ciclo [11]:

- Para empezar, se agrega calor al gas dentro del cilindro calentado. Esto genera presión y fuerza al pistón a moverse hacia abajo. Esta es la parte del ciclo de Stirling que hace el trabajo [11].
- Luego, el pistón izquierdo se mueve hacia arriba mientras que el pistón derecho se mueve hacia abajo. Estos movimientos van desplazando el gas caliente hacia el cilindro que está refrigerado por hielo. Al enfriarlo rápidamente disminuye la presión del gas y se puede comprimir más fácil para la siguiente parte del ciclo [11].
- El pistón comienza a comprimir el gas refrigerado y el calor generado por esa compresión se elimina por la fuente de enfriamiento [11].
- El pistón derecho se mueve hacia arriba mientras el izquierdo hacia abajo. Esto de nuevo hace que el gas entre al cilindro calentado donde se calienta rápidamente, generando presión y el ciclo se repite de nuevo [11].

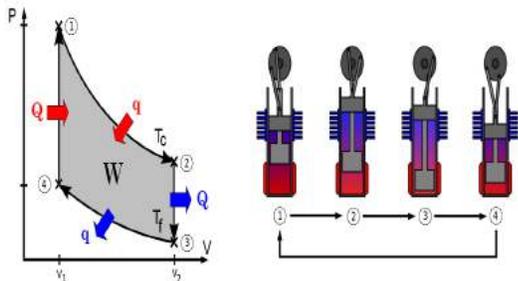


Figura 3: Esquema del ciclo termodinámico y comportamiento del pistón en el motor Stirling [12].

Se puede contar con tres tipos de motor Stirling inicialmente hablaremos del tipo *beta*, *alfa* y *gamma* para más información remítase a la referencia [13]. El implementado en este prototipo es el gamma, este tipo es derivado de beta, pero es más sencillo de construir.

Consta de dos cilindros separados en uno de los cuales se sitúa el desplazador y en otro el pistón de potencia. Los sistemas para enfriar y calentar son idénticos a los del tipo beta. Aquí el pistón y el desplazador deben de moverse desfasados 90 grados, lo cual se consigue mediante el cigüeñal adecuado ver figura 4 y 5.

La realización de esta investigación experimental contemplará la comprensión de los conceptos básicos de generación de energía eléctrica y así poder tener la capacidad de proponer mejoras a investigaciones existentes y generar nuevos planteamientos que sirvan en el desarrollo del proyecto.

Desde el campo práctico poder realizar experimentos que lleven a la producción de nuevas teorías o ensayos que aún sean desconocidas con el fin de verificar el correcto funcionamiento y optar por la creación de nuevos modelos energéticos mediante el uso del motor Stirling tipo gamma.

Con base en lo anterior, se acopló el motor Stirling a la antena para poder someter a diferentes temperaturas y captar la radiación solar y así este permita generar un voltaje necesario para encender un LED y captar energía eléctrica para cargar la batería de un celular u otro dispositivo.

2. Materiales y métodos

El proceso utilizado para esta investigación es de tipo exploratorio-descriptivo, mediante la revisión de varias fuentes, artículos de universidades, artículos de prensa, análisis secundarios, revisión de investigaciones similares, investigación evaluativa e investigación descriptiva.

Es innegable el compromiso por parte de la sociedad para diversificar modelos de energías autosustentables. Es por ello que desde el rol de estudiantes se buscó realizar un análisis experimental basados en un prototipo de “Antena termosolar” y algunos colectores termoeléctricos con el fin de aprovechar la energía solar producida en Colombia y dar soluciones a las problemáticas de uso energético y de impacto ambiental, por el uso excesivo de los recursos. Durante el desarrollo se buscó describir un fenómeno natural y realizar el modelamiento práctico para distinguir los procesos de conversión energética, específicamente el efecto termoeléctrico y de esta manera acondicionar parámetros para realizar modelos investigativos y desarrollos futuros.

Analizando el comportamiento del motor de Stirling, lo que permitió generar un diferencial de potencial medible para a futuro realizar el almacenamiento energético.

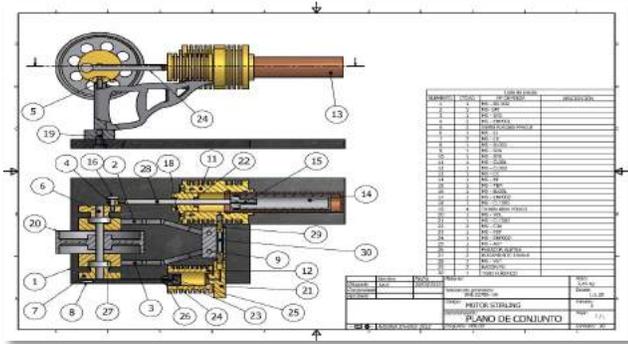


Figura 4. Plano Motor Stirling [14].

El plano con partes que componen del motor se muestra en la figura 4, en el plano se destacan las partes principales y de interés para el desarrollo de las mediciones requeridas. Por último, una vez se contaba con el motor Stirling dispuesto para el proceso de medición se verificó que las partes se encontraran en buen estado y funcionamiento, en la figura 5.

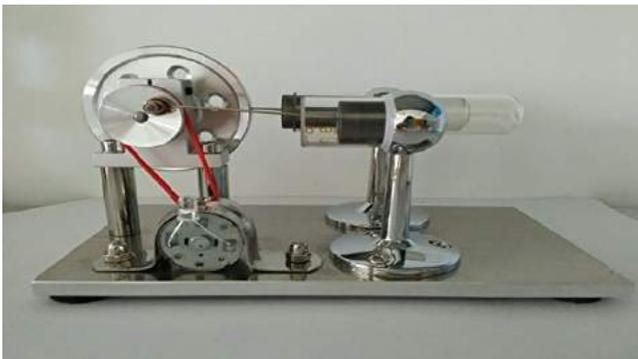


Figura 5. Motor Stirling SC001

Para realizar el proceso de medición con el motor Stirling se dispuso de dos escenarios, uno con variables controladas “prueba de laboratorio” y otro con parámetros no controlados “prueba en campo”; se usaron dispositivos de medición como lo es el multímetro y el termómetro para describir la temperatura alcanzada.

La segunda prueba en campo se realizó bajo exposición directa a la radiación solar en la que la antena parabólica reflejaba la energía térmica recibida hacia el foco del motor Stirling, el cual realizaba un proceso de transformación mecánico que culminaba con la producción de energía eléctrica con el dinamo que contaba el dispositivo y así encender el LED con el que se contaba como testigo de prueba.

3. Resultados

La verificación del funcionamiento del motor Stirling fue mediante la prueba de caracterización en el laboratorio con un mechero como fuente de ignición y así validar su funcionamiento, donde se midió las variaciones de voltaje. Los resultados obtenidos se presentan en la figura 6, una vez se tuvieron los datos tabulados se evidenció que llegaba a un punto de equilibrio pasados los 2 minutos de medición, entre 4,0V a 4,35V. Generando el interrogante de si, ¿Es posible obtener energía eléctrica para encender un LED y a futuro almacenarla para recargar dispositivos electrónicos?

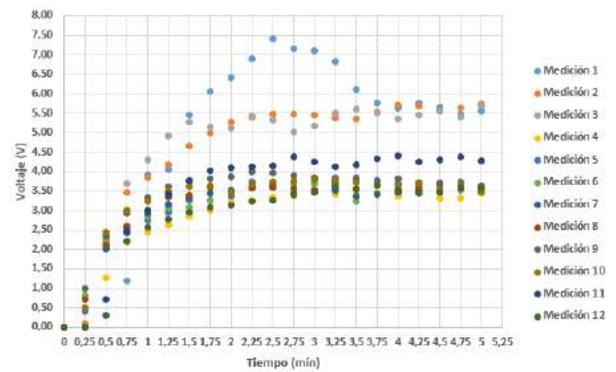


Figura 6. Caracterización del motor Stirling

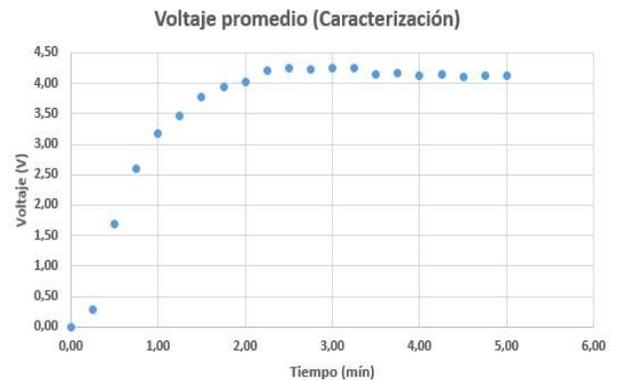


Figura 7. Voltaje promedio de la caracterización

Partiendo del cuestionamiento realizado, se acopló el motor Stirling a la antena termosolar parabólica, realizando el ajuste respectivo para implementar el Motor Stirling como se muestra en la figura 8.

Se sometió el motor de Stirling a radiación solar directa para tomar diferentes medidas que se muestran en la figura 9, se presentaron dificultades en la medición del voltaje, debido al cambio climático que tiene la ciudad de Bogotá, donde intervienen fuertes vientos y nubosidades

paulatinas que complicaban el proceso, estos parámetros son conocidos como “variables incontrolables” que afectan el proceso de medición. No obstante, se tomaron medidas en un rango horario de 11 de la mañana a 3 de la tarde, momento en el cual había una mejor percepción de la radiación solar y las variaciones por nubosidad y vientos fuertes eran mínimos, algo que en mediciones realizadas en horas de la mañana se presentaban con mayor intensidad.

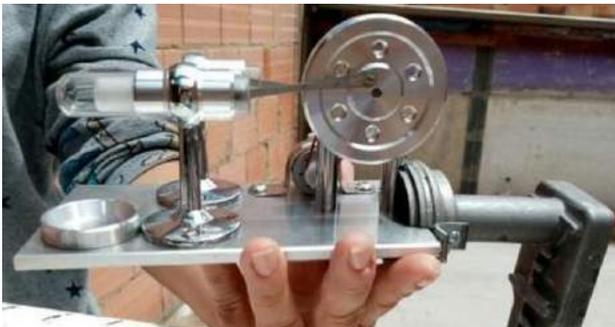


Figura 8. Acople del motor Stirling a la antena



Figura 9. Pruebas en campo

La recolección de datos se realizó durante cinco días, donde en promedio se tomaron tres medias por día cada una de 3 minutos respectivamente, los resultados obtenidos se representan en la figura 10. Se evidencia que la mayoría de los datos sufren un comportamiento de crecimiento similar pero, recalando un crecimiento lento en mediciones tomadas en horas de la mañana

debido los índices de nubosidad y la presencia de fuertes vientos que disminuyen el poder calorífico de absorción en el foco del motor.

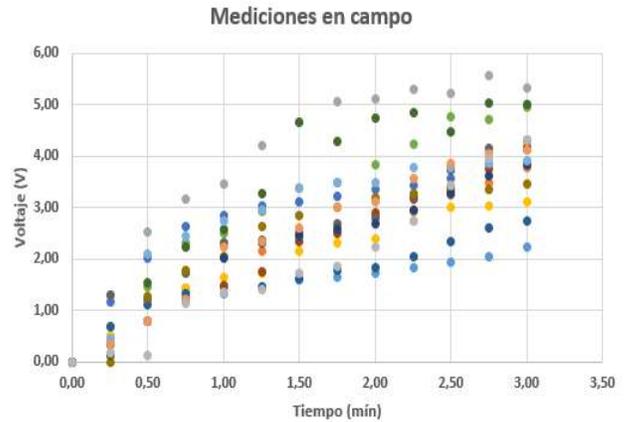


Figura 10. Mediciones en campo

Analizando el voltaje promedio que se obtuvo durante el proceso de medición, los cuales se representan en la figura 11, tiende a tener un comportamiento de crecimiento en contraste con los tomados en la caracterización debido a que el cilindro del motor no se calentaba de manera rápida por las variables incontrolables mencionadas con anterioridad, una vez se presente un proceso de radiación solar estable, con índices de nubosidad bajos y poco viento; la variación de voltaje tiende a ser más estable y estabilizarse alrededor de los 4-4,5 Voltios.

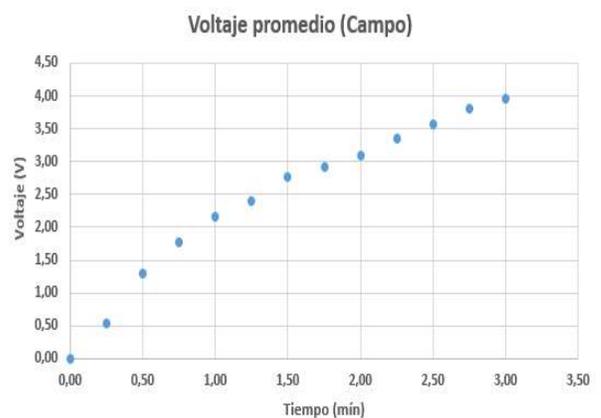


Figura 11. Voltaje promedio en campo

Es evidente que si se logran controlar los parámetros anteriormente mencionados el sistema puede generar una gran cantidad de energía y consecuentemente un

diferencial de potencial aprovechable para su almacenamiento. Comparando el voltaje promedio que se obtuvo en la caracterización con el voltaje promedio de la prueba en campo vimos que en la caracterización del motor al ser sometido a un proceso de ignición artificial alcanza el voltaje en menor tiempo debido a que el cilindro se calienta de forma rápida, fenómeno que no sucede en las mediciones en campo, que tiende a tomar más tiempo. En la figura 12 se visualiza este comportamiento.

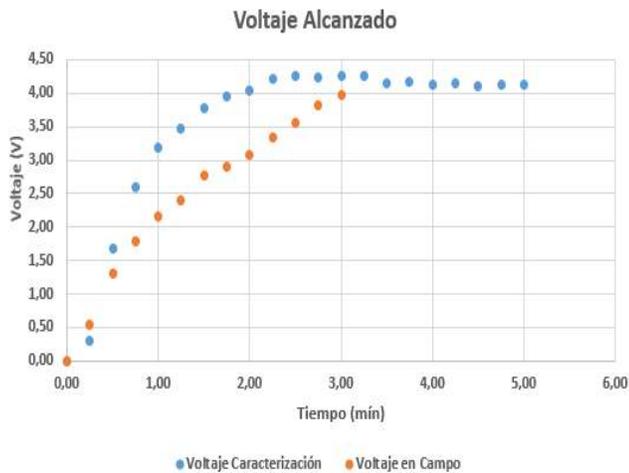


Figura 12. Comparación voltajes alcanzados.

Como valor representativo en el proceso de caracterización se obtuvo 7.4V capaz de encender un bombillo led, y durante la prueba en campo un valor de 5.56V, es fundamental poder contar con procesos de radiación mucho más estables, para que el motor Stirling tipo Gamma pueda llegar a generar la cantidad de energía necesaria para los procesos que serán desarrollados.

Se cumple con lo esperado para el proceso de caracterización y su comportamiento en contraste con los datos tomados en las pruebas de campo no son tan distantes, dando así validez al objetivo e interrogante planteado para proceder a realizar investigaciones futuras.

4. Conclusiones

El funcionamiento del motor Stirling es óptimo para cumplir el objetivo de este proyecto, ya que obtuvimos una diferencia de potencial suficiente para generar energía eléctrica y posteriormente ser utilizada en la carga de baterías para dispositivos electrónicos. En trabajo futuros es necesario la implementación de un motor Stirling tipo beta ya que no requiere el mismo potencial de energía solar para su óptimo funcionamiento y se acoplaría mejor

al clima de Bogotá, aunque el motor tipo gamma cumple con los requerimientos sería más aconsejable utilizarlo en climas más templados o cálidos donde la nubosidad y el aire frío no esté presentes.

Otra perspectiva es la implementación de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica para así utilizarla, también la implementación de un receptor térmico para que la antena se oriente y realice su proceso de captación energética que permita mover la antena en la dirección en la cual este la radiación, optimizando el proceso durante todo el día de manera continua y sin necesidad de estar revisando donde está el foco de radiación.

5. Agradecimiento

Es importante que desde la producción del conocimiento contenemos con orientadores que se apasionen de igual manera como un estudiante lo hace en su proceso investigativo, en este momento queremos agradecer al profesor Maicol Cárdenas Hernández quien, desde su rol de docente en la Fundación Universitaria Cafam, nos brindó su apoyo y conocimiento para el desarrollo de este trabajo, de igual manera extender un caluroso abrazo a Unicafam y a cada uno de sus miembros quienes día a día generan cambios importantes en la vida de muchas personas y sobre todo definen el camino para que un profesional sea exitoso en el campo en el que se desenvuelva.

6. Referencias

- [1] M. Ambiente, «Dinero,» 04 09 2018. [En línea]. Available: <https://www.dinero.com/pais/articulo/colombia-avanza-en-generacion-de-energias-renovables/257078>. [Último acceso: 15 05 2019].
- [2] A. O. Cardona, «LR La República,» Editorial La República S.A.S, 22 03 2018. [En línea]. Available: <https://www.larepublica.co/especiales/minas-y-energia/energia-solar-y-eolica-suman-002-del-total-de-generacion-actual-en-colombia-2613069>. [Último acceso: 10 05 2019].
- [3] N. Osseiran, «who.int,» Organización Mundial de la Salud, 06 03 2017. [En línea]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/detail/06-03-2017-the-cost-of-a-polluted-environment-1-7-million-child-deaths-a-year-says-who>. [Último acceso: 17 05 2019].

- [4] A. P. Masa, «Alpoma.net,» Obsolescencia, 19 08 2014. [En línea]. Available: <https://alpoma.net/tecob/?p=9996>. [Último acceso: 21 05 2019].
- [5] L. A. GENERATOR, «landartgenerator.org,» 29 02 2012. [En línea]. Available: <http://landartgenerator.org/blagi/archives/2004>. [Último acceso: 13 05 2019].
- [6] P. Collins, «Cabinetmagazine.org,» Cabinet, 2002. [En línea]. Available: <http://www.cabinetmagazine.org/issues/6/beautifulpossibility.php>. [Último acceso: 09 05 2019].
- [7] C. P. Velazco, «oa.upm.es,» UPM, 07 2012. [En línea]. Available: http://oa.upm.es/14011/1/PFC_CARMEN_PAREDES_VELASCO.pdf. [Último acceso: 13 05 2019].
- [8] A. F. Garcia, «sc.ehu.es,» Física, estadística y termodinámica, 2007. [En línea]. Available: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica_/estadistica/termodinamica/stirlingg/stirling.html. [Último acceso: 14 05 2019].
- [9] G. L. Cacho, «guzlop-editoras.com,» 07 2011. [En línea]. Available: https://guzlop-editoras.com/web_des/ing01/mecanica/pld0126.pdf. [Último acceso: 16 05 2019].
- [10] Á. d. M. y. M. Térmicos, «ubu.es,» 2001. [En línea]. Available: <http://www2.ubu.es/ingelec/maqmot/StirlingWeb/maquinas/maquinastermicas.htm>. [Último acceso: 19 05 2019].
- [11] G. Portillo, «Renovablesverdes.com,» Ahorro energético, 07 2016. [En línea]. Available: <https://www.renovablesverdes.com/motor-stirling/>. [Último acceso: 21 05 2019].
- [12] D. S. O. Revelo, «slideplayer.es,» Departamento de ciencias y energía mecánica, 2019. [En línea]. Available: <https://slideplayer.es/slide/1646375/>. [Último acceso: 12 05 2019].
- [13] A. Duato, «seas.es,» BlogSeas, 03 06 2016. [En línea]. Available: https://www.seas.es/blog/disenio_mecanico/tipos-de-motor-stirling/. [Último acceso: 01 05 2019].
- [14] M. Narisar, «http://aeongroup.asia,» 19 02 2017. [En línea]. Available: <http://aeongroup.asia/planos-motor-stirling-casero-76/#user>. [Último acceso: 18 05 2019].
- [15] «Energiasolar.mx,» 2014. [En línea]. Available: <http://www.energiasolar.mx/inventos/historia-energia-solar.html>. [Último acceso: 17 05 2019].