

Implementación de un sistema fotovoltaico On Grid sobre una estructura de dos ejes controlada, para la promoción de Fuentes no convencionales de Energía Renovables en el Colegio Gonzalo Jiménez Navas de Floridablanca – Santander, Colombia

The implementation of an On-Grid photovoltaic system on a controlled two-axes structure, for the promotion of non-conventional sources of energy at Gonzalo Jiménez Navas school in Floridablanca-Santander, Colombia

Jackson Alirio Pérez Parada

jacksonapp@hotmail.com

Carlos Arturo Vides Herrera

carlosarturvi@hotmail.com

Ivaldo Torres Chávez

ivaldo.torres@unipamplona.edu.co

**Universidad de Pamplona, Grupo de investigación LOGOS
Ciudadela Universitaria. Pamplona, Norte de Santander, Colombia**

Artículo recibido en Junio 2017 y publicado en septiembre 2017

RESUMEN

El cambio climático es un desafío para el mejoramiento de la calidad de vida de la humanidad, de allí la importancia de promover una Educación Energética orientada a desarrollar competencias éticas y cognitivas para el uso eficiente de las fuentes no convencionales de energías renovables (FNCER). El propósito de la investigación fue fomentar una conciencia ambiental favorable para el uso de un sistema fotovoltaico que contribuyera al ahorro energético y a la mitigación de los efectos del cambio climático. Investigación cuantitativa con nivel descriptivo y de campo. La muestra estuvo constituida por 10 estudiantes de undécimo grado del Colegio Gonzalo Jiménez Navas ubicado en Santander-Colombia. Se incrementó en más del 39% la energía eléctrica generada con el sistema de control desarrollado por los estudiantes de la institución con la mediación de docentes investigadores. Los participantes realizaron un proceso de transferencia de aprendizaje en el nivel de Educación Básica.

Palabras clave: Educación energética; sistemas On Grid; cambio climático; control

ABSTRACT

The Climate change is a challenge in order to improve the quality of life of humanity, hence the importance of promoting an Energy Education oriented at developing ethical and cognitive skills for the efficient use of non-conventional sources of renewable energy (NCES). The purpose of the research was to promote a favorable environmental awareness for the use of a photovoltaic system that contributed to energy saving and mitigation of the effects of climate change. It is a quantitative research with a descriptive and field level. The sample consisted of 10 eleventh grade students from the Gonzalo Jiménez Navas School located in Santander-Colombia. The electrical energy generated by the control system developed by the students of the institution was increased by more than 39% with the mediation of the researcher. Participants made a process of transfer of learning in the Basic Education level.

Key words: *Energy education; On-Grid systems; climate change; control*

INTRODUCCIÓN

Actualmente se evidencia una agudización de los daños e impactos que históricamente han venido afectando el ambiente y la calidad de vida planetaria, entre estos se destacan la contaminación atmosférica, las inequidades sociales, la desertización, la contaminación de los cuerpos hídricos y el cambio climático, entre otros. Tal como lo señala Muñoz (2010, p. 13) “la protección ambiental ha encontrado que el imperante modelo económico universal, propicia la destrucción paulatina del planeta y genera diariamente múltiples acciones nocivas para el ambiente”, lo que se constituye en una realidad que requiere de una intervención sistemática y puntual vinculada con la promoción de valores ambientales que deriven en cambios de comportamientos asertivos y en el logro de una ciudadanía concienciada y competente para gestionar los recursos naturales racional y eficientemente desde su saber y quehacer local (UPEL, 2006).

En este sentido, destaca la importancia de la educación ambiental en virtud de que contribuye a fomentar valores, formar actitudes y comportamientos para el logro de nuevas relaciones entre los seres humanos y el ambiente. La formación de ciudadanos informados, críticos,

participativos y comprometidos con el cuidado y la protección de los recursos naturales, es de primer orden ante las necesidades del presente siglo (Flores, 2013).

La crisis ambiental gestada fundamentalmente después de la primera Revolución Industrial con la intensificación y multiplicación de los procesos socioeconómicos y tecnológicos, se ha acelerado de forma acentuada a partir de la segunda mitad del siglo XX ocasionando innumerables consecuencias ambientales, dentro de las más preocupantes se ubican los efectos del cambio climático sobre el planeta, que trae consigo el ascenso del nivel del mar y un cambio en el clima que afectará en diversas formas y niveles los ecosistemas y los sistemas socioeconómicos de diferentes regiones del planeta (Ministerio del Ambiente, 2017). No obstante, también la tecnología ha evidenciado notables avances que bien pudieran contribuir a prevenir daños y mitigar impactos ambientales, dentro de los cuales se destaca la sustitución de la explotación de los combustibles fósiles por el uso de las Fuentes No Convencionales de Energías Renovables (FNCR).

Tal como lo señala García y Fermín (2006, p. 135): “sin energía no puede haber vida”, de allí la importancia de proteger los recursos naturales y utilizar racional y eficientemente las FNCR, en consideración del principio de finitud y agotabilidad de los recursos renovables, en caso de rebasar la capacidad de carga y los procesos naturales propios de la Tierra.

Dentro de los tipos de energía que aportan al desarrollo sostenible del planeta, destaca la energía solar, definida como: “ la que llega a la Tierra en forma de radiación electromagnética (luz, calor y rayos ultravioleta principalmente) procedente del Sol, donde ha sido generada por un proceso de fusión nuclear” (Proyecto Newton, 2017, p.1). Asimismo, el equipo que lleva adelante el Proyecto Newton en España, indica que dentro de sus ventajas destaca que no es contaminante y proporciona energía barata en países no industrializados, en tanto, es una fuente energética intermitente, ya que depende del clima y del número de horas de Sol al año, adicional a que, su rendimiento energético es bastante bajo.

Juez y Navarro (2012) señalan que las condiciones planetarias actuales demandan la necesidad de implementar diferentes medidas que provoquen un cambio en la forma en que se utilizan los distintos recursos energéticos así como promover el uso de nuevas formas de energía que contribuyan al mejoramiento ambiental, dentro de las cuales se ubica, la energía solar, dado que el Sol “constituye una ingente fuente de energía limpia y sostenible, sin emisiones tóxicas contaminantes o emisiones de gases invernadero” (Energías Renovables, 2015, p.1). Latinoamérica, cuenta con unas condiciones ideales para el desarrollo de este tipo de energía, en virtud de que casi todos los países de esta región “se sitúan entre 30°N y 30°S del Ecuador, donde la intensidad solar promedio es de 700 a 800 w/m²” (UPEL, 2006). Según señala Rodríguez (2009, p. párr.1) en Colombia, la utilización de la energía solar es muy limitada, sin embargo, los colectores solares en el Magdalena medio la han utilizado para calentar agua y su uso se expandió en los años setenta como consecuencia de la crisis mundial del petróleo. También diversas universidades como la Nacional, Los Andes, del Valle y La Industrial de Santander, han desarrollado sistemas basados en icopor, aluminio, poliuretano y fibra de vidrio, logrando obtener sistemas de calentamiento que han sido implementados en hoteles de Bogotá y Medellín. Actualmente, esta nación continúa realizando diversos estudios e investigaciones en el área, a fin de avanzar en el uso de esta tecnología.

De acuerdo con la importancia del planteamiento precedente, ya algunos países del mundo y de la región Suramericana han venido desarrollando diferentes experiencias vinculadas al uso de sistemas fotovoltaicos y al desempeño de sistemas de seguimiento solar de dos ejes, en comparación con sistemas de inclinación fija, los cuales poseen un ángulo óptimo para diferentes posiciones geográficas y épocas del año.

Al respecto Maatallah y otros (2011) investigaron el desempeño diario de un sistema de seguimiento de dos ejes para un panel fotovoltaico en la ciudad de Monastir, Túnez. El estudio concluyó que los beneficios obtenidos por el sistema de dos ejes en relación con un panel fijo tradicional alcanzan el 30% y el 44% en los días soleados de invierno y de verano respectivamente (Maatallah y otros, 2011).

En España Cruz-Peragón y otros (2011) analizaron el desempeño teórico con el objetivo de cuantificar el beneficio que se obtenía con el empleo de un seguidor solar de dos ejes, así como la viabilidad económica de tal sistema, estimando una generación de energía anual entre el 21% y 25%. Poco tiempo después, Bayod-Rújula y otros (2011) estimaron que un seguidor solar de dos ejes ofreció un beneficio de salida de energía del 31% con respecto a una posición de inclinación óptima fija. Analizando la producción de 26.46kW en una instalación de Zaragoza en España.

Finalmente Gómez-Gil y otros (2012), realizaron una comparación en la generación de energía en sistemas fotovoltaicos reales instalados en el sur de España, mediante cuatro configuraciones diferentes: sistema fijo, sistema con seguimiento de 1 y 2 ejes y sistema fotovoltaico de concentración (CPV). Su estudio concluyó que el beneficio anual del sistema de seguimiento de dos ejes en comparación con uno fijo es del 25.2%.

De manera similar, en América Latina se han realizado estudios en relación al mismo tema como por ejemplo el de Guardado y Rivera (2012) en el Salvador, quienes realizaron mediciones de irradiación solar diaria por un periodo de 6 semanas en los meses de abril y mayo, tanto del sistema fijo como del sistema con seguimiento, en el que se obtuvo un incremento promedio de aproximadamente el 20% en las mediciones de insolación por parte del sistema con seguimiento solar, con respecto al sistema fijo a 14° de inclinación orientado al sur. Ellos concluyeron que en los días con alta nubosidad se percibieron incrementos reducidos en la insolación, que es la que aprovechan mayormente los sistemas con seguimiento solar.

Otro estudio realizado en la ciudad de Tacna en Perú por Gonzales y otros (2008), se encontró que en un seguidor solar, a pequeña escala de un solo eje, la generación se incrementa entre un 15% y 20%. En contraste a un seguidor solar de dos ejes, con el cual se logra aproximadamente del 35% a 40% de eficiencia en sistemas de gran potencia.

En el caso particular del Colegio Gonzalo Jiménez Navas, ubicado en el municipio de Floridablanca departamento de Santander en Colombia, se consideró de relevancia creciente la propuesta realizada desde la Alcaldía de esta localidad, con relación a la dotación de paneles solares para que el colegio funcionara en su totalidad con energía solar y de esta manera contribuir al logro de una institución educativa energéticamente autosustentable. En consecuencia, el ofrecimiento político-administrativo, motivó la realización de este estudio por parte del equipo de los docentes investigadores, en virtud de sus implicaciones para el mejoramiento de la calidad ambiental del centro educativo y de la comunidad.

En este sentido y atendiendo las necesidades que plantea la política ambiental y energética colombiana, se desarrolló e implementó un Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA) On Grid, sobre una estructura electro-mecánica de dos ejes, que permite ser monitoreado y controlada, respectivamente, por medio del programa Labview, desde un acceso remoto a la instalación por los estudiantes adscritos a la institución. Los equipos de generación no convencional utilizados fueron sistemas On-Grid, que permiten conexión directa a la red eléctrica, reduciendo el costo del sistema al no usar baterías.

El objetivo de este trabajo fue comparar los niveles de generación de potencia de un sistema de dos paneles fotovoltaicos monocristalinos semi-flexibles de 120 W, en dos configuraciones diferentes:

- sobre una estructura mecánica de dos ejes de movimiento y controlada para realizar seguimiento solar durante siete días; y
- la misma estructura ubicada en posición estática, utilizando la aplicación PV Solar Power System para siete días continuos del mes de mayo de 2017. Se hace uso de sistemas embebidos compatibles con Arduino para la conexión con los motores DC.

Finalmente, también se constituye en interés a futuro para los docentes investigadores, observar el proceso de transferencia que realizan los estudiantes a partir de lo observado durante el desarrollo de actividades que promovieron la reflexión-acción y su aplicabilidad en su ámbito socio-cultural, tecnológico y ambiental, que se articulan en las relaciones familia, escuela y comunidad.

MÉTODO

Se realizó una investigación cuantitativa con nivel descriptivo y de campo. La muestra estuvo constituida por diez (10) estudiantes de undécimo grado del Colegio Gonzalo Jiménez Navas, que basados en la necesidad de realizar un estudio para determinar el sistema de ubicación y de paneles fotovoltaicos a gran escala recomendado para las características del colegio, implementaron un prototipo de 240 W On-Grid (ver figura 1), sobre una estructura con dos ejes de movimiento. Con el fin de determinar el incremento de generación de potencia del sistema de paneles controlado y estudiar a futuro el impacto de la promoción de educación energética (EE) en los estudiantes y en la comunidad, en cuanto al uso de sistemas de generación eléctrica no convencional.

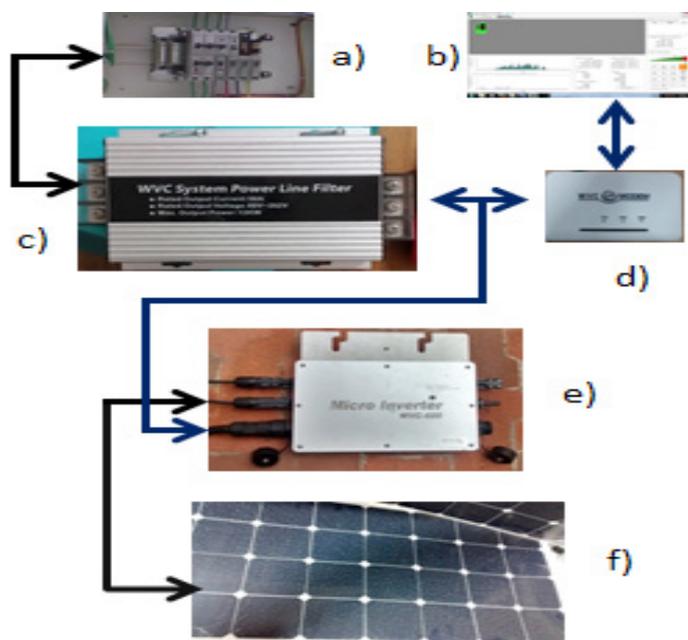


Figura 1. Sistema Fotovoltaico On Grid con monitoreo. (Fuente: Autores)

Según la figura anterior, el sistema fotovoltaico On-Grid está compuesto por los siguientes elementos: a) Caja de conexión a la red eléctrica;

b)Software KDM Sistema de Monitoreo de Energía Solar 3.0; c) WVC Filtro de Sistema de Potencia; d)WVC Modem; e)WVC 600 Micro Inversor; f)Paneles Semiflexibles Monocristalinos.

Los equipos considerados en este trabajo, fueron adquiridos a la compañía Mars Rock Solar. Esta empresa fue seleccionada en virtud de las facilidades de comercialización de los equipos. Por otra parte, la selección de la tecnología de construcción de los paneles, se realizó teniendo en cuenta las características de peso, eficiencia y flexibilidad, para la futura instalación a gran escala. Los paneles monocristalinos adquiridos cuyas dimensiones son 1350 mm x 550 mm, poseen un peso de 1,7 kg y una flexibilidad de 30°, que permitirían adaptarse fácilmente a la cubierta de la cancha de la institución (ver figura 2), la cual posee una forma curva con orientación norte-sur, lo que la hace apta para un sistema de seguimiento de radiación solar a gran escala. El poco peso de los paneles proporciona un menor consumo energético para el sistema de control de seguimiento.



Figura 2. Vista en Google maps de la cubierta de la institución para ampliación del proyecto (Fuente: Autores).

El control del sistema implementado se realizó mediante una interface de software desarrollada en el programa Labview, como se muestra en la siguiente figura 3. En el diagrama de bloques se establece una conexión

con una cámara de video a través del puerto USB encargada de capturar y monitorear el sistema de paneles.



Figura 3. Interface de control del sistema de seguimiento. (Fuente: Autores)

En el diagrama de bloques que se muestra en la siguiente figura, se implementó el toolkit LabVIEW Interface for Arduino v2.2.0.79 para realizar el enlace con el sistema embebido Arduino (ver figura 4).

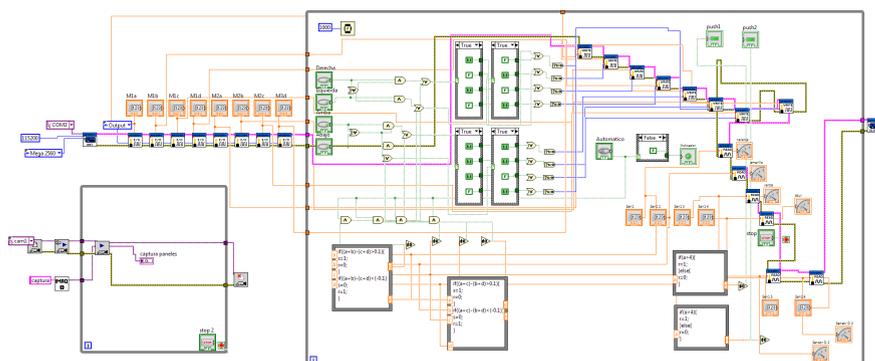


Figura 4. Diagrama de bloques control en Labview. (Fuente: Autores)

Se trabajó con la tarjeta Arduino Mega 2560 y los drivers compatibles lbt-2 y L298n para establecer la conexión entre la interface de Labview y

los motores DC encargados del movimiento de la estructura de dos ejes: el movimiento de rotación y el movimiento de inclinación, sus conexiones se presentan en la figura 5.

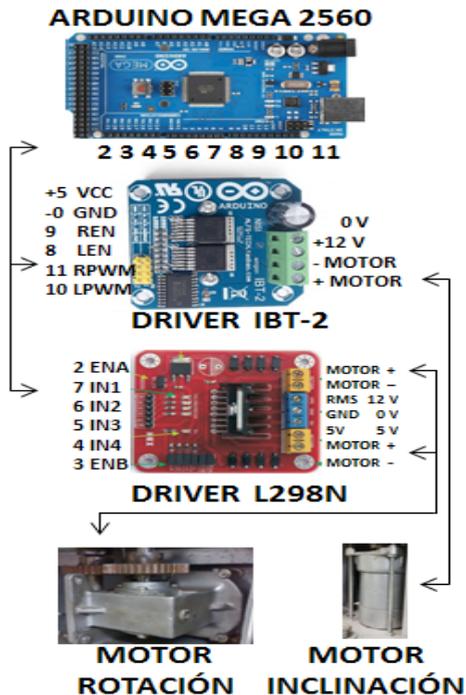


Figura 5. Diagrama de Conexión del sistema embebido y los motores DC. (Fuente: Autores)

El circuito embebido Ibt-2, es un driver que soporta corrientes de hasta 43A, según especificaciones del fabricante, por esta razón, se usa para el motor de inclinación porque es el que mayor esfuerzo y consumo presenta. Durante su ejecución consume una corriente de 3A con una duración de 1 minuto que cubrió todo el movimiento de inclinación durante el seguimiento solar diario, que se alimentó con 12V al igual que el L298n, donde su movimiento de rotación consumió una corriente de 2A, durante 15 segundos, en un solo movimiento durante el día.

La Potencia Absorbida por un Motor de Corriente Continua está dada por las siguientes expresiones (Unidad de Planeación Minero Energética, 2007):

$$P = V.I, P_1 = V \cdot \frac{I}{1000} \quad (1)$$

Donde:

P: Potencia en W.

V: Tensión de inducido en V.

I: Intensidad nominal en A.

P1: Potencia en kW

Se usó la aplicación PV Solar Power System para obtener la mejor posición y dirección de los paneles en los días monitoreados con posición fija durante los siete días del mes de mayo de 2017. Esta aplicación permitió seleccionar la latitud donde estuvo ubicado el sistema fotovoltaico y la época del año correspondiente al estudio, como se muestra en la siguiente figura 6.



Figura 6. Posicionamiento de paneles solares con aplicativo móvil PV Solar Power System en mayo de 2017. (Fuente: Autores).

RESULTADOS

Hoy en día existen un amplio número de aplicaciones móviles para el cálculo de posición de paneles fotovoltaicos estáticos. Estos programas parten de la ubicación geográfica del punto de instalación y de la época del año en que se posiciona el sistema de paneles solares. El ángulo óptimo para la latitud 7° en el mes de mayo, encontrado por el software descrito en la figura anterior y con ayuda del sistema GPS del dispositivo móvil, fue 9° con dirección norte. Por medio del circuito de control se ubicó el sistema en esta posición. A continuación se presentan los resultados obtenidos de generación de potencia durante siete días continuos del mes de mayo con el sistema estático (ver figura 7).

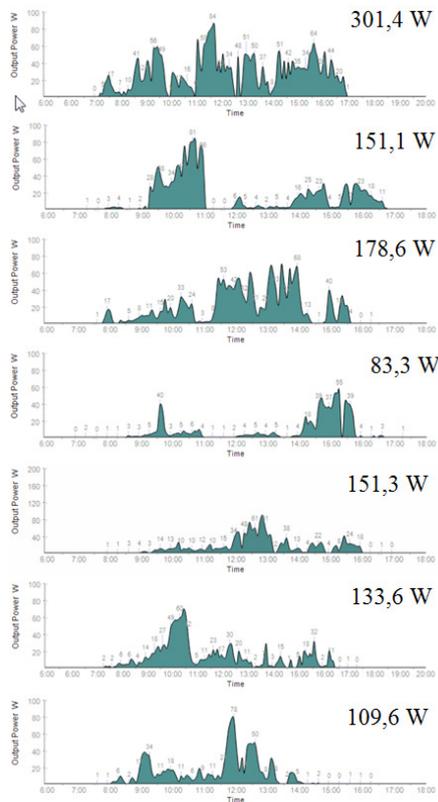


Figura 7. Generación de potencia en siete días continuos con sistema estático. (Fuente: Autores)

Con el fin de contrastar la importancia del seguidor solar, se realizó la segunda fase del estudio, durante otros siete días continuos del mes de mayo de 2017, donde los estudiantes por medio del sistema de control ubicaban la posición de los paneles de forma perpendicular a la radiación directa del sol cada determinado tiempo según las observaciones de sombra al sensor solar diseñado y construido por los estudiantes.

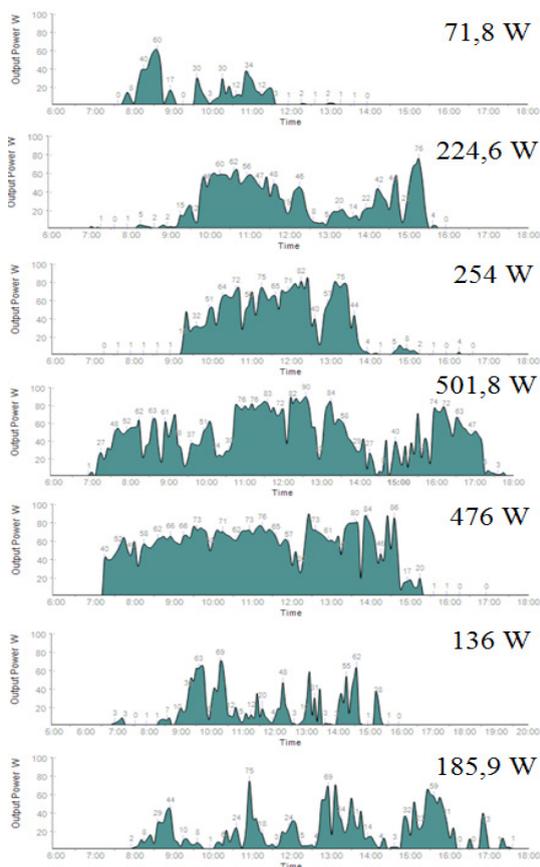


Figura 8. Generación de potencia en siete días continuos con seguimiento solar (Fuente: Autores)

El registro de generación de potencias para los dos sistemas durante el 8 y 21 de mayo de 2017 se encuentra en el cuadro 1.

Cuadro 1. Valores de potencia generada para diferentes días con y sin seguimiento solar

DÍA	P(W) sistema estático	P(W) sistema seguidor
8	301,4	
9	151,1	
10	178,6	
11	83,3	
12	151,3	
13	133,6	
14	109,6	
15		71,8
16		224,6
17		254
18		501,8
19		476
20		136
21		185,9
	1109,9	1850,1

Comparando los resultados presentados en el cuadro 1, se evidencia un aumento en el rendimiento de la instalación On Grid con el sistema de seguimiento. Sin embargo, durante la ejecución de los movimientos del sistema de seguimiento, el motor de inclinación consumió una corriente de 3A con duración de 1 minuto que cubrió todo el movimiento de altura solar diariamente. Este dispositivo se alimenta con 12V al igual que el motor de movimiento acimutal, que en su movimiento de rotación consume una corriente de 2A, por 15 segundos durante el día.

Las mediciones de consumo diarias de los elementos utilizados se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Consumo de potencia diario del sistema de control

Elemento	Corriente (A)	Voltaje (V)	Tiempo (H)	Potencia (Wh)
Arduino	0,1	5	24	12
Lbt-2	0,06	5	24	7,2
L298n	0,04	5	24	4,8
Motor l.	3	12	0,0166	0,5976
Motor R.	2	12	0,0055	0,132
TOTAL				24,7296

Para establecer el incremento de potencia entre los dos sistemas se restó el consumo de potencia del sistema de control a los 1850,1 W generados durante los siete días con la estructura de seguimiento solar, por lo cual, se aplicó la ecuación 2 para obtener el porcentaje de incremento.

$$\% \text{ incremento} = \frac{P_s - P_e}{P_e} * 100 \quad (2)$$

Dónde:

Ps: Potencia seguidor en W.

Pe: Potencia estático en W.

A partir de la aplicación de la formula precitada se obtuvo que el incremento de rendimiento entre los dos sistemas es de aproximadamente 51 %. La reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, registrados por el software KDM durante los días monitoreados desde enero hasta el mes mayo de 2017 se presenta a continuación.

System Output	Emission-Reduction
Today: 0.3641 kWh	Saving Coal: 3.8748 Ton
This Month: 4.9988 kWh	CO2 Emissions: 10.7309 Ton
This Year: 10.7632 kWh	SO2 Emissions: 0.3229 Ton
Output Power: 0 Watt	NOX Emissions: 0.1614 Ton

Registro de reducción de emisiones contaminantes por el software KDM System Power Solar Monitoring durante la generación de energía desde enero hasta mayo de 2017. (Fuente: Autores).

CONCLUSIONES

Se demostró que los sistemas de seguidores solares y sistemas On-Grid mejoran el rendimiento de generación eléctrica del colegio Gonzalo Jiménez Navas. De esta forma, se redujeron costos vinculados con el consumo energético mensual de la institución e, igualmente, se logró promover las tecnologías alternativas al tiempo de contribuir en la disminución de gases de efecto invernadero que generan los efectos del calentamiento global y el cambio climático local y planetario.

Por otra parte, se demostró que en un seguidor solar a pequeña escala (240 W), los paneles fotovoltaicos obtienen la máxima captación de energía durante todo el día, por lo cual, el sistema incrementa aproximadamente un 51% los Wh generados en comparación con el sistema fotovoltaico estático. El consumo de corriente del circuito de control es de aproximadamente 5%, que es relativamente bajo en comparación con la potencia generada por el sistema.

Asimismo, el proceso investigativo permitió que los estudiantes desarrollarán competencias éticas y cognitivas respecto al ahorro energético, fundamental para contribuir en el logro de la mitigación de los efectos del cambio climático desde la gestión local comunitaria. Igualmente, se destaca la evidencia de la práctica de valores ambientales que permitieron determinar el fortalecimiento de una conciencia y responsabilidad ambiental en el uso eficiente y racional de los recursos naturales renovables y no renovables.

De igual manera, la realización del estudio generó que los estudiantes involucrados en el proceso investigativo operacionalizarán un plan de formación para la Educación Básica, lo que permitió revelar la transferencia de conocimientos y valores ambientales en favor del mejoramiento de la calidad de vida desde la comunidad local hacia el ámbito planetario.

La realización de este tipo de investigaciones contribuye a consolidar los compromisos adquiridos por Colombia con relación a los acuerdos, pactos

y convenios suscritos por el Gobierno nacional, en especial, los vinculados con el uso de las tecnologías alternativas para el uso sustentable de los recursos naturales. Cabe destacar, que esta nación se comprometió durante la realización del Acuerdo de París en 2015, a continuar reduciendo las emisiones de CO₂ para el año 2030. Otro aspecto a considerar, hace referencia a la búsqueda de sistemas eficientes y competitivos respecto a los sistemas convencionales de generación eléctrica que impactan y dañan el ambiente.

Reconocimiento

Al rector del colegio, José de Jesús Lozano Cárdenas y al estudiante Cesar Eduardo Quintero de la promoción 2015, por su apoyo y afinidad durante la ejecución del proyecto.

REFERENCIAS

- Bayod-Rújula, Á. A., Lorente-Lafuente, A. M., y Cirez-Oto, F. (2011). Environmental assessment of grid connected photovoltaic plants with 2-axis tracking versus fixed modules systems. *Energy*, 36 (5), 3148–3158. Disponible en: goo.gl/4DMo43 [consultado: 2015, Mayo 27]
- Cruz-Peragón, F., Casanova-Peláez, P. J., Díaz, F. a., López-García, R., y Palomar, J. M. (2011). An approach to evaluate the energy advantage of two axes solar tracking systems in Spain. *Applied Energy*, 88(12), 5131–5142. Disponible en: goo.gl/q1z1oW [consultado: 2015, Mayo 27]
- Energías Renovables. (2015). Impacto medioambiental de la energía solar. [Documento en línea] Disponible: <http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/impacto-medioambiental-energia-solar/> [Consultado: 2017, Abril 17]
- Flores, R. (2013). Diálogos entre la pedagogía y la educación ambiental. *Revista Educación y Desarrollo Social*. 7 (1), pp.95-107
- García, M y Fermín, A. (2006). Dinámica energética. En UPEL, Educación Ambiental (p.p. 135-157), Caracas: FEDUPEL
- Gómez-Gil, F. J., Wang, X., y Barnett, A. (2012). Energy production of photovoltaic systems: Fixed, tracking, and concentrating. *Renewable*

- and Sustainable Energy Reviews, 16(1), 306–313. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.156> [consultado: 2015, Mayo 25]
- Gonzales, M., Cohaila, A., y Paredes, E. (2008). Para El Aprovechamiento De La Energia Solar En. Ciencia Y Desarrollo. Disponible en: goo.gl/pSDDiw [consultado: 2015, Junio 20]
- Guardado, D., y Rivera, V. (2012). Implementación de seguidor solar en dos ejes para el Sistema Fotovoltaico de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la UES. 138. Retrieved from goo.gl/qgjAiw [consultado: 2015, Mayo 11]
- Juez, J y Navarro, J. (2012). Módulo para la enseñanza de la energía solar como una propuesta interdisciplinaria para la enseñanza de las ciencias en niveles de educación básica y media colombiana [Documento en línea] Disponible: <http://comunidad.udistrital.edu.co/geaf/files/2012/09/2008Vol3No1-006.pdf> [Consultado: 2017, Abril 17]
- Maatallah, T., El Alimi, S., y Nassrallah, S. Ben. (2011). Performance modeling and investigation of fixed, single and dual-axis tracking photovoltaic panel in Monastir city, Tunisia. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15(8), 4053–4066. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.037> [consultado: 2015, Junio 21]
- Ministerio del Ambiente. (2017). Cambio Climático [Documento en línea] Disponible: <http://www.minambiente.gov.co/index.php/cambio-climatico> [Consultado: 2017, Abril 17]
- Muñoz, M. (2010). Modelo Económico Mundial y la Conservación del Medio Ambiente. Medellín: Universidad Cristóbal Colón
- Proyecto Newton. (2017). Energía Solar [Documento en línea] Disponible: http://newton.cnice.mec.es/materiales_didacticos/energia/solar.htm [Consultado: 2017, Abril 16]
- Rodríguez, H. (2009). Desarrollo de la energía solar en Colombia y sus perspectivas [Documento en línea] Disponible: <https://www.revistavirtualpro.com/biblioteca/desarrollo-de-la-energia-solar-en-colombia-y-sus-perspectivas> [Consultado: 2017, Julio 16]
- Unidad de Planeación Minero Energética. (2007). Eficiencia Energética en motores eléctricos, 1–33. Disponible en: goo.gl/GNQMUL [consultado: 2017, Abril 1]
- Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2006). Educación Ambiental. FEDUPEL: Caracas