Implementación preliminar de un **ÁRBOL SOLAR** a base de paneles monocristalinos en la Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova"*

Tutores

St. José Luis Sarmiento Escalante[a]

PhD. Juan Carlos Ruge[b]

Semilleros

Alf. Juan Tangua Corzo[c]

Alf. Laura Maurno Sarmiento[d]

Alf. Eddison Ruiz Vargas[e]

Cad. Kevin Quintero Álvarez[f]

* Artículo corto resultado de la ejecución de un prototipo de árbol solar y pruebas de campo dentro del proyecto de investigación "Propuesta para la implementación de energías renovables por el sistema de paneles solares" como proyecto piloto en la Escuela Militar de Cadetes "General José María Córdova". Vinculado al semillero INGEMIL, de la facultad de Ingeniería Civil de la ESMIC.

a. Oficial coordinador de investigación vinculado a la facultad de ingeniería civil. sarmi31090@gmail.com

b. Asesor de investigación, coordinador de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la ESMIC. jcruge@gmail.com

c. Estudiante alférez de séptimo nivel, vinculado al semillero INGEMIL de la Facultad de Ingeniería Civil de la ESMIC. tanguaco@hotmail.com

d. Estudiante alférez de séptimo nivel, vinculado al semillero INGEMIL de la Facultad de Ingeniería Civil de la ESMIC. lauraisar900@hotmail.com

e. Estudiante alférez de séptimo nivel, vinculado al semillero INGEMIL de la Facultad de Ingeniería Civil de la ESMIC. joselse31090@hotmail.com

f. Estudiante cadete de quinto nivel, vinculado al semillero INGEMIL de la Facultad de Ingeniería Civil de la ESMIC. kevin_quintero24@hotmail.com

RESUMEN. De acuerdo con lo consignado en el Protocolo de Kioto (PK) y el Acuerdo de París (AP) (2015), así como de los encuentros precedentes, las prerrogativas expuestas exhortan a los países con industria emisora de gases de efecto invernadero (GEI) a estabilizar los indicadores que para la fecha aún se encontraban en un nivel crítico. Estas últimas alianzas establecieron por primera vez una obligación tácita hacia un compromiso real de disminución de los GEI. En el AP quedó fijado este protocolo, donde se buscó alentadoramente no superar los dos grados de temperatura, intentando mitigar los efectos ya causados por las emisiones, en especial de los países industrializados. Según lo anterior, al tener un medio ambiente en posible peligro de extinción debido al consumo indiscriminado de combustibles fósiles para mantener una sociedad en aumento, se desarrolló un prototipo de árbol solar, a base de paneles solares monocristalinos. De esta manera se podrá reducir el impacto ambiental y, de la misma manera, obtener un ahorro económico, sin generar gases nocivos para el planeta y supliendo en la totalidad el consumo eléctrico cotidiano mediante una energía de base limpia.

PALABRAS CLAVE: Acuerdo de París; árbol solar; gases de efecto invernadero; paneles monocristalinos; Protocolo de Kioto.

ABSTRACT. According to the provisions of the Kyoto Protocol (KP) and the Paris Agreement (2015), as well as the predecessors, the prerogatives urge countries with a greenhouse gas (GHG) industry to stabilize Indicators that up to date still are at a critical level. These last alliances established for the first time, a tacit obligation towards a real commitment to reduce GHGs. In the Paris Agreement this protocol was established, where it was agreed not to exceed 2 degrees of temperature, trying to mitigate the effects already caused by emissions, especially the industrialized countries. According to the above, having an environment in possible danger of extinction due to the indiscriminate consumption of fossil fuels to maintain a growing society, a prototype of a solar tree was made, based on monocrystalline solar panels. This way it will be possible to reduce the environmental impact and in the same way an economic saving, without generating harmful gases to the planet; and supplying the total daily electricity consumption through a clean energy base.

KEYWORDS: Greenhouse Gas; Kyoto Protocol; Monocrystalline Panels; Paris Agreement; Solar Tree.

INTRODUCCIÓN

El Protocolo de Kioto (PK) reafirmó tajantemente que los países involucrados adquirieron la responsabilidad de conseguir las metas específicas para aminorar los niveles de los gases de efecto invernadero (GEI). Los indicadores muestran que hubo una reducción de los GEI de al menos 5% en referencia a los niveles estimados de 1990 en el periodo pactado de 2008 a 2012 (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 1998).

Desde el PK se decidió que los objetivos estaban encaminados a reducir la tasa de emisión de mínimo seis gases de efecto invernadero (ONU, 2015):

- Dióxido de carbono (CO_2).
- Metano (CH_4).
- Óxido nitroso (N_2O).
- Hidrofluorocarbonos (HFC).
- Perfluorocarbonos (PFC).
- Hexafluoruro de azufre (SF_6).

De la misma manera que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), el PK también considera las dificultades particulares de los países en vía de desarrollo, que son muy vulnerables debido a su dependencia de la industria agrícola, especialmente atacada por el cambio climático.

Por lo tanto, en estos últimos lustros el mundo científico ha concentrado sus esfuerzos en generar nuevas clases de energía y que tienen un común denominador en todas las investigaciones: la inagotabilidad o la renovabilidad por medio de un factor ambiental. A partir de estos conceptos, nace la energía renovable, que se presenta "principalmente como obtención de energía limpia mediante diferentes opciones como: biocarburante, biomasa, energía geotérmica, energía hidroeléctrica, energía mareomotriz, energía undimotriz, energía eólica y energía solar" (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente], 2017).

Teniendo en cuenta lo anterior, en esta investigación se implementó un sistema basado en la energía solar y fundamentado en el concepto de energía limpia. El sistema funciona con base en la intensidad lumínica que reciba el dispositivo en un momento determinado. De esta manera se genera conciencia sobre la protección ambiental del planeta, al tiempo que se consigue la misma efectividad respecto a la energía ya conocida comúnmente, pero con un método de obtención mucho más abundante, económico y autosostenible.

ANTECEDENTES

Atendiendo los problemas que causa la emisión de GEI generados principalmente por el consumo de combustibles fósiles, los países más desarrollados del mundo decidieron tomar medidas (algunos expertos mencionan que muy tarde) para mitigar las consecuencias, como el incremento de la temperatura en el planeta en general, el ascenso del nivel del mar, el descongelamiento del casquete polar, así como la extinción de especies animales y vegetales susceptibles a los cambios abruptos del hábitat. Sin embargo, en junio de 2017, el mandata-

Decimos que el sistema es eficiente por la manera como recoge la energía y es capaz de almacenarla en las baterías, pues este es el factor clave en los días en los cuales el sistema entra en stand-by por alguna razón que impida el uso continuo del árbol solar.

rio de los EE.UU., Donald Trump, anunció que su país se retirará del Acuerdo de París (AP), aprobado por 195 naciones en diciembre de 2015, con el fin de industrializar más su nación, como lo prometió durante su campaña (BBC, 2005).

El objetivo principal del AP, como lo reza el Artículo 2.°, es "reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático, en el contexto del desarrollo sostenible y de los esfuerzos por erradicar la pobreza" (ONU, 2015). Para cumplir este objetivo, los países involucrados se comprometen a *i)* conservar los niveles de temperatura media mundial por debajo de 2 °C en relación con los considerados niveles preindustriales, y *ii)* continuar con las medidas adoptadas para limitar ese aumento de la temperatura a 1,5 °C. También se menciona que es necesario acrecentar la capacidad de adaptación y resiliencia a los efectos adversos del cambio climático y promover un desarrollo industrial con bajas emisiones de GEI. Finalmente, se exhorta a los países a llevar sus corrientes financieras a un nivel compatible que conduzca a un desarrollo resiliente al clima.

PANELES MONOCRISTALINOS

En los paneles fotovoltaicos el silicio utilizado puede ser configurado de varias formas, entre ellas la más importante es la pureza del elemento. La eficiencia del panel se incrementa ostensiblemente si las moléculas del silicio están debidamente alineadas, ya que esto redunda en una transferencia de energía solar a electricidad más confiable.

Las celdas monocristalinas son elaboradas a partir de muestras de silicio originalmente de forma cilíndrica. Para optimizar el rendimiento y reducir los costos de cada celda solar, se recortan los cuatro lados de los bloques cilíndricos para hacer láminas de silicio, lo cual les da su apariencia característica (Swanson, 2009). El procedimiento usado para fabricar el silicio en paneles monocristalinos es denominado "proceso Czochralski".

El desempeño de los paneles está supeditado a diferentes aspectos, como la intensidad lumínica, la inclinación de los paneles, las coberturas, la limpieza, etc.

Debido a su alta pureza en el contenido de silicio, los paneles solares monocristalinos presentan una eficiencia considerable, incluso llegan a valores del 21 %. Asimismo, los fabricantes pueden proporcionar garantías superiores a 25 años en razón a que su vida útil es muy larga. En términos de confiabilidad, algunos tipos de paneles funcionan mejor que los policristalinos en bajas condiciones de luz. Aunque el rendimiento de todos los paneles se afecta a temperaturas altas, los monocristalinos mucho menos que otras clases (Energías Renovables, 2015).

El costo de los paneles monocristalinos es mucho más elevado, por lo tanto es más usado en soluciones industriales o investigativas; para uso en el hogar se recomiendan los paneles policristalinos. Una de las desventajas es que el circuito de los paneles es susceptible a coberturas por algún tipo de obstáculo o suciedad, por lo tanto es esencial emplear elementos que protejan el circuito completo y que en caso de una eventualidad solo se impacte parte del panel.

Respecto al contexto específico de esta investigación, Ovalle (2014) da a conocer el trabajo realizado a favor del medio ambiente y como gran opción propone la utilización de paneles solares fotosensibles, capaces de tomar la luminosidad producida por el sol y posteriormente convertirla en corriente eléctrica, con lo cual se suplen las necesidades eléctricas de una sociedad que cada vez consume "más energía que comida".

Por su parte, Izquierdo y Pacheco (2017) evaluaron la eficiencia de unos paneles con el fin de generar un sistema que capte energía para el Centro Histórico de Cuenca. Realizaron mediciones *in situ* en techos del Centro Histórico que poseen inclinaciones y orientaciones especiales, y evaluaron la reducción de eficiencia por coberturas de suciedad. Los autores encontraron resultados óptimos y estimaron las cantidades de emisiones de GEI que se evitaban potencialmente por la instalación de los paneles.

Es evidente que los efectos de los GEI son más latentes en ecosistemas frágiles. Actualmente, en lugares algo alejados del continente, como las Islas Galápagos, se continúa usando motores que expulsan a la atmósfera óxidos de nitrógeno. En este contexto, Parra (2015) instaló un sistema de paneles fotovoltaicos con rendimiento aceptable y evitó, según sus cálculos, emisiones con valores alrededor de 11.063 kg de CO_2 y 298 kg de NOx, es decir, una reducción de 10,4% en las emisiones.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ante la necesidad ambiental de reemplazar el uso de fuentes de energía sucias (carbón, gas, energía nuclear y petróleo), se utilizó la premisa de energía limpia para producir el 0% de emisiones de gases. De esta manera, se empleó la intensidad lumínica como principal fuente de energía, teniendo en cuenta las posibles variaciones de acuerdo con la posición del sol respecto a la hora.

Se emplearon paneles fotovoltaicos monocristalinos de una alta pureza para lograr la mayor eficiencia posible en la obtención de energía, aunque esto dependa directamente de la intensidad lumínica que le llegue al panel (figura 1).

En estos paneles se utilizaron cables con un diámetro de 3 mm, suficientes para conducir la energía eléctrica; fue necesario emplear dos tipos de instalaciones, una de 12 voltios para las luces ubicadas en la parte inferior del panel y que comprueban la utilización de energía eléctrica, y la otra con salida de 110 voltios, capaz de alimentar cualquier aparato electrónico que necesite dicha intensidad de corriente (figuras 2 y 3).

Figura 1. Panel monocristalino
Fuente: ESOL (2017).

Figura 2. Inversor de corriente de 12 V a 110 V
Fuente: ESOL (2017).

Figura 3. Batería de 12 V
Fuente: ESOL (2017).

Para las conexiones se configuró un circuito en serie, en el cual los bornes terminales de los dispositivos se conectan secuencialmente. A su vez, se usaron conexiones del tipo paralelo, con el fin de distribuir la misma cantidad de energía en la salida de 110 V; de la misma manera se hizo en la salida de 12 voltios para las cintas led que se encontraban en la parte anterior del panel.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al realizar el estudio de producción total se obtuvo como resultado que la producción de electricidad es directamente proporcional a la intensidad lumínica que se genere según el día. Asimismo, se encontró que aunque se cuente con el 100% de intensidad lumínica, la máxima capacidad de estos paneles es de aproximadamente 80%, pues los materiales que los conforman no permiten sobrepasar este límite para evitar picos de energía que puedan generar alguna especie de corto (figura 4).

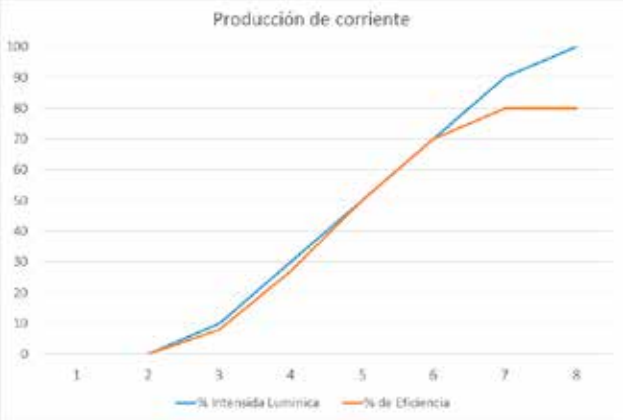


Figura 4. Batería de 12 V.
Fuente: elaborado por los autores.

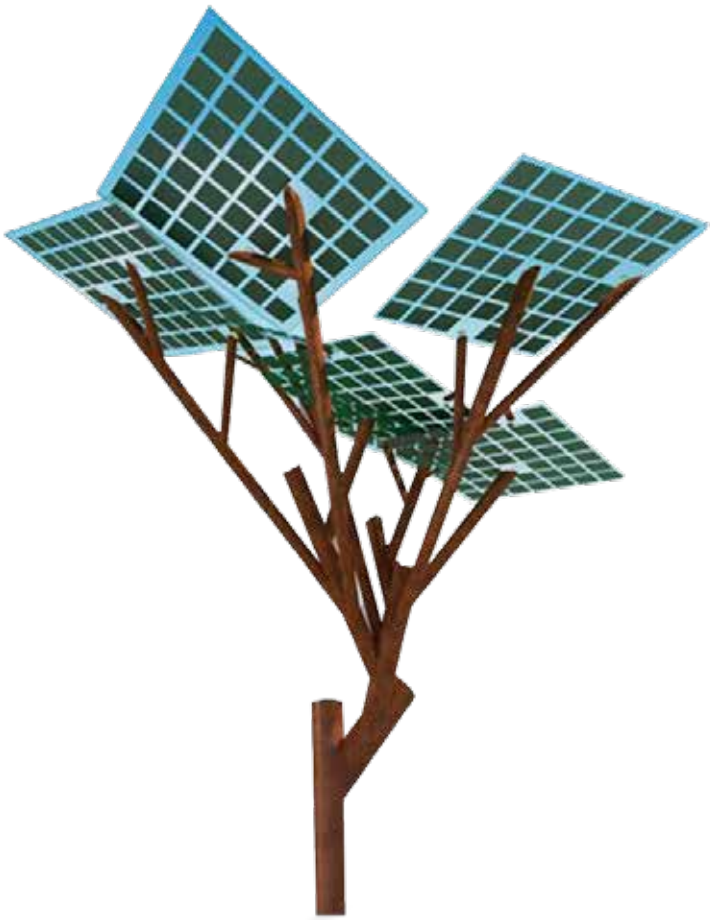
Se obtuvieron dos salidas de corriente de 110 voltios totalmente funcionales, por medio del inversor de energía. De la misma manera, se consiguió la producción óptima de electricidad de 12 voltios, como se esperaba, resultado que se probó con las cintas led de 12 voltios. La utilización de paneles fotovoltaicos monocristalinos generó un 0% de emisión de gases.

También se estableció que las baterías utilizadas para el almacenaje de energía son capaces de alimentar las salidas de 110 voltios durante seis horas seguidas, lo cual se comprobó exponiendo el prototipo a 0% de intensidad lumínica. Después de haber cargado totalmente el prototipo, el dispositivo pasa a generar energía eléctrica de forma directa (figura 5).

Figura 5. Árbol solar implementado
Fuente: elaborado por los autores.

Según García (2007), la eficiencia de los paneles solares puede mejorarse si se utilizan inversores y reguladores de manera continua, pero esto aumentaría los costos inmediatamente. Aun así, con una eficiencia menor al 90%, es posible que, si la superficie de la tierra se iluminara totalmente por radiación solar durante 30 minutos y se

reutilizara esta energía con paneles fotovoltaicos, se supliría el consumo mundial durante todo un año; es decir, aunque los paneles fotovoltaicos desperdicien una quinta parte de su eficiencia, es posible utilizarlos y suplir las necesidades de energía limpia sin problemas.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Efectivamente, se concluye que el sistema es eficiente por la manera como recoge la energía y es capaz de almacenarla en las baterías, pues este es el factor clave en los días en los cuales el sistema entra en *stand-by* por alguna razón que impida el uso continuo del árbol solar.

Es evidente que el desempeño de los paneles está supeditado a diferentes aspectos, como la intensidad lumínica, la inclinación de los paneles, las coberturas, la limpieza, etc. En el caso específico de este trabajo, cabe señalar que es importante continuar haciendo diferentes variaciones para observar detalladamente cuáles de estos aspectos realmente afectan la eficiencia de los paneles.

Dentro de las facilidades de la ESMIC, es importante hacerle seguimiento a la energía eléctrica que se consume, así como a los probables motores y equipos que despidan GEI al ambiente, con el fin de tener un inventario de emisiones y poder estimar cuántas de estas se podrían evitar implementando el árbol solar.

Finalmente, se debe señalar que es crucial hacer revisiones periódicas del árbol para garantizar su funcionamiento apropiado y de esta manera evitar alguna falla eléctrica o directamente en los paneles. Además, se requiere que la implementación del sistema esté lo más alejada posible de elementos que puedan interferir con la radiación solar, como árboles, estructuras civiles, infraestructura eléctrica, entre otras.

Atendiendo los problemas que causa la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) generados principalmente por el consumo de combustibles fósiles, los países más desarrollados del mundo decidieron tomar medidas para mitigar las consecuencias, como el incremento de la temperatura en el planeta, el ascenso del nivel del mar, el descongelamiento del casquete polar, así como la extinción de especies animales y vegetales susceptibles a los cambios abruptos del hábitat.

REFERENCIAS

BBC. (16 de noviembre de 2005). Las claves de Kioto. Recuperado de news.bbc.co.uk/hi/spanish/specials/2005/kioto/newsid_4443000/4443708.stm

Energías Renovables. (2015). Tipos de paneles fotovoltaicos. Recuperado de http://www.energiasrenovablesinfo.com/solar/tipos-paneles-fotovoltaicos/

ESOL (2017). Placa fotovoltaica [documento en línea]. Disponible en http://www.esol.cl/productos.php?subcat=15

García-Hernández, L. M. (2007). Energía, energía fotovoltaica y las celdas solares de alta eficiencia. *Revista Digital Universitaria*, 8 (12).

Izquierdo, I. F. & Pacheco, M. G. (2017). Evaluación de la eficiencia de paneles solares como sistema de captación de energía para edificaciones del área urbana de Cuenca (Tesis de pregrado). Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Químicas, Ingeniería Ambiental, Cuenca, Ecuador.

Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible [Minambiente]. (2017). *Protocolo de Kioto*. Recuperado de minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/458-plantilla-cambio-climatico-14.

Organización de Naciones Unidas [ONU]. (1998). Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [documento en línea].

Organización de Naciones Unidas [ONU]. (2015). Convención Marco sobre el Cambio Climático. Aprobación del Acuerdo de París [documento en línea].

Ovalle, R. (2014). Sociedad fotovoltaica. *Ingeniare. Rev. Chil. Ing.,* 22, (1).

Parra, R. (2015). Evaluación preliminar del rendimiento energético y de la reducción de emisiones atmosféricas por la generación eléctrica del Sistema de Paneles Solares del Campus de la Universidad San Francisco de Quito en San Cristóbal —Galápagos— Ecuador. *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 7 (1), C9-C13.

Swanson, R. M. (2009). Photovoltaics Power Up. *Science* 324 (5929), 891-2. PMID 19443773. doi:10.1126/science.1169616