



Rendimiento de sistema fotovoltaico autónomo de 500 Wp bajo las condiciones climáticas de Chachapoyas, Amazonas

Performance of a 500 Wp stand-alone photovoltaic system under the climatic conditions of Chachapoyas, Amazonas

Roicer Esmil Bautista Alcantara^{1*}, Fernando Espinoza Canaza², Miguel Angel Barrena Gurbillón², Wildor Gosgot, Angeles²

RESUMEN

Las energías renovables son fuentes de energías limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero causantes del cambio climático ni emisiones contaminantes. Una de ellas es la energía solar, y la luz del sol se convierte directamente en electricidad a través de las células solares fotovoltaicas. En la UNTRM de Amazonas se instaló un sistema fotovoltaico (SFV) de 500 Wp para abastecer con energía eléctrica en 220 V al Estar Estudiantil, a través del circuito eléctrico para iluminación con un foco LED de 8 W y tres tomacorrientes dobles para cargar las baterías de teléfonos celulares o de laptops de los estudiantes. El SFV está constituido por dos paneles fotovoltaicos de 260 Wp cada uno, regulador de carga, dos baterías de gel 100 Amph cada una, inversor de carga de 600 W. El rendimiento del SFV alcanzó una máxima potencia en día soleado de 386,24 Wp (77,25 % de la potencia máxima), en día combinado 350,43 Wp (70,10 % Potmáx) y en día nublado 250,89 Wp (50,18 % Potmáx); lo que superó en todo momento lo necesario para cargar la batería de cuatro teléfonos celulares, dos laptops y el funcionamiento de un foco LED.

Palabras clave: energías renovables, carga de baterías con energía solar, iluminación con energía solar.

ABSTRACT

Renewable energy sources are clean, inexhaustible and increasingly competitive energy. They differ from fossil fuels mainly in its diversity, abundance and potential use anywhere in the world, but especially in that do not produce greenhouse gases that cause climate change and emissions. One is solar energy, as sunlight is converted directly into electricity through photovoltaic solar cells. In UNTRM Amazonas a photovoltaic system (PVS) 500 Wp was installed to supply electrical energy at 220 V to Student Work Table through the electric circuit for lighting a LED bulb 8 W and three double outlets for charging cell phones or laptops for students. SFV consists of two photovoltaic panels 260 Wp each one, charge controller, two batteries 100 Amph gel, inverter load of 600 W. The PVS yield reached a maximum power in sunny day 386,24 Wp (77,25% of maximum power), on day combined Wp 350,43 (70,10% máxp) and cloudy day Wp 250,89 (50,18% máxp); which exceeded at any time the need to charge the battery of four cell phones, two laptops and operation of a LED bulb..

Keywords: renewable energy, battery charging with solar energy, solar-powered lighting.

¹Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Chachapoyas, Perú

²Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva, Chachapoyas, Perú

*Autor de correspondencia. E-mail: roicer.bautista@untrm.edu.pe

I. INTRODUCCIÓN

Los recursos energéticos son uno de los factores más importantes para el desarrollo tecnológico de un país; se utilizan para satisfacer las necesidades de las personas. Los combustibles fósiles utilizados para motores de vehículos u otros, o bien para generar energía eléctrica, al principio se consideraban recursos ilimitados y su impacto ambiental era menospreciable; sin embargo, debido al crecimiento de la población mundial, nacional y regional, se están agotando y ocasionan la “Crisis Energética”.

En dos décadas, la utilización de petróleo crudo aumentó en 32%, el gas natural en 63%, y el consumo de carbón en 78% (Elliot, 2015). La mayor parte de la utilización de energía (40%) está relacionada con los combustibles fósiles (Caliskan, 2017), lo cual ha contribuido a la escasez de esta fuente de energía y a un aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, contribuyendo al calentamiento global (Gonçalves y Simões, 2017). Para limitar los efectos del calentamiento global del actual sector de electricidad dependiente de fósiles y simultáneamente satisfacer la demanda de electricidad significativamente creciente, se están realizando varias opciones como el desarrollo de sistemas de energías renovables de gran capacidad (Singh *et al.*, 2012).

La energía renovable está en el centro de la transición hacia un sistema energético limpio, menos intensivo en carbono y más sostenible. Las energías renovables han crecido rápidamente en los últimos años, acompañadas de fuertes reducciones de costos para la energía solar fotovoltaica y la energía eólica en particular. El 30% de la electricidad mundial se puede producir a partir de energía eólica y solar fotovoltaica a largo plazo, sin aumentar el costo total de alcanzar un futuro con bajas emisiones de carbono (IEA, 2017). La producción de electricidad a partir de la energía solar se ha vuelto muy popular en los últimos años debido al aumento de la eficiencia de las tecnologías y se considera la solución probable para el futuro suministro de energía sostenible y el desarrollo del medio ambiente (Burhan *et al.*, 2017)

Los sistemas fotovoltaicos son una de las soluciones más eficientes a la creciente crisis energética de las últimas décadas. La implementación de estos sistemas será viable económicamente en la mayoría de los casos, debido a las ventajas que poseen (Herrera *et al.*, 2013). Los paneles fotovoltaicos convierten la energía de la radiación solar directamente en energía eléctrica con una buena eficiencia de conversión, no tienen piezas mecánicas o móviles y se consideran un candidato importante para obtener energía del sol (Bayrak *et al.*, 2017); pero dependen de los elementos que componen el sistema y de los parámetros medioambientales (sombra, polvo, humedad, radiación solar, velocidad del viento y temperatura ambiente) que influyen su funcionamiento (Bayrak *et al.*, 2017; Obando y Vargas, 2016).

Según Flores y Domínguez (2017), el voltaje no varía significativamente con el cambio de la irradiancia, es necesario oscurecer de forma considerable para que el voltaje baje a un valor de cero. La corriente sí varía significativamente con la irradiancia, de hecho, es el factor que determina la potencia generada, debido a que el voltaje permanece casi constante. En días nublados la eficiencia para un sistema móvil y un sistema fijo es muy similar, y es debido a que a ambos solo les llega radiación difusa y no directa. La generación en condiciones normales de irradiancia (no nublado) es aproximadamente un 20% más de energía para el sistema móvil.

La implementación con baterías genera una mayor ganancia económica, la rentabilidad del sistema en general se condiciona con la inversión realizada en las baterías, tanto en su magnitud como en el número de veces que sea necesario realizarla, tomando como referencia el tiempo de vida de los paneles. Independientemente del tipo específico de arreglo, solo paneles o paneles más sistema de almacenamiento, se comprueba mediante el estudio financiero, la viabilidad económica de la implementación de un sistema fotovoltaico, basado en que las ganancias netas superan ampliamente la inversión inicial, tomando 20 años que es la vida útil aproximada de los paneles (Herrera *et*

al., 2013).

Muñoz (2005), realizó el cálculo de paneles y baterías para una casa rural, instalando dos lámparas fluorescentes de 15 W, una radiograbadora de 10 W, un televisor de 60 W y una refrigeradora de 48 W de potencia. El uso total al día de cada equipo fue de: lámparas fluorescentes 4 horas/día, radiograbadora 4 horas/día, televisor 2 horas/día y para la refrigeradora 24 horas/día; la energía total consumida fue de 1552 Wh/día. Concluyó que se debe utilizar 4 paneles de 110 W que producen con 3,5 horas sol/día 385 Wh/día y 3,45 baterías estacionarias de 12 V 150 Amph con una reserva o respaldo de 3 días.

De la Cruz (2014), realizó una investigación en viviendas altoandinas de Yanacancha y San José de Quera, Perú; donde la radiación solar es casi continúa por unos 5,8 a 5,9 horas picos al día. Del dimensionado de los componentes en base a los requerimientos de iluminación, resultó: un panel fotovoltaico de 85 Wp, una batería de 60 Amph, un controlador de carga de 10 A y conductores eléctricos de calibre AWG 12 y 10; lo cual arrojó un resultado promedio de generación de energía eléctrica que oscila entre 40,37 Wh y 48,55 Wh.

Según Ramgolam y Soyjaudah (2017), la curva de producción mensual promedio de energía eléctrica siguió la misma tendencia que la radiación horizontal global incidente. Evaluaron la relación de rendimiento durante la estación seca de invierno, observaron que disminuye con la disminución de la insolación incidente y la acumulación de polvo en la superficie de los paneles fotovoltaicos.

Los estudiantes de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM) emplean teléfonos celulares y laptops, cuyas baterías generalmente son recargadas con la red eléctrica de la UNTRM ocasionando un incremento en la facturación mensual que paga la Universidad. Para reducir este costo y brindar a los estudiantes una alternativa ecológica para cargar la batería de sus equipos, en la presente investigación se evaluó el recurso solar disponible en la UNTRM con un sistema fotovoltaico de generación de energía eléctrica para el Estar Estudiantil ubi-

cado en el patio de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Sistema fotovoltaico de 500 Wp

Se empleó un sistema fotovoltaico de 500 Wp independiente de la red, constituido por:

- Dos paneles fotovoltaicos de 260 Wp cada uno, del tipo policristalino cuyas medidas son 1,65 m de largo x 0,99 m de ancho x 0,035 m de espesor (Yingli Solar YL260P-29b).
- Un regulador de carga de 25 Amperios (MORNINGSTAR, PS-MPPT-25M).
- Dos baterías de 12 V cada uno y 100 Amph con gelificante por lo que no requieren mantenimiento (Ritar, DG-12V100AH/20HR).
- Un inversor de 600 W. Convierte la energía eléctrica de 12 V continua a 220 V alterna (Victron energy Phoenix 24/800).

Para instalar el sistema fotovoltaico se ensambló el Estar Estudiantil (Figura 1). Tiene estructura de tubos y plancha de acero inoxidable, con una mesa de 2 m x 1 m y 0,80 m de altura, en cuyo tablero tiene tres tomacorrientes dobles; cuenta con tres sillas a ambos lados de la mesa, techo a dos aguas con inclinación de 25° y cobertura de onduline sobre el que se montaron los dos paneles fotovoltaicos; debajo del tablero de la mesa tiene un soporte para las baterías, inversor, regulador de carga y llaves termomagnéticas de seguridad para el sistema fotovoltaico.

Se instaló el circuito eléctrico en el Estar Estudiantil, para que tenga iluminación con un foco LED de 8W instalado debajo del techo y se conectó los tres tomacorrientes dobles del tablero de la mesa para cargar la batería de teléfonos celulares o laptops. Los paneles fotovoltaicos se fijaron sobre el techo del Estar Estudiantil, con el lado sur levantado 25° para compensar la curvatura terrestre y maximizar la captación de la radiación solar. Con cable 12 AWG se conectó los paneles fotovoltaicos con el regulador de carga. Para el ensamble del sistema fotovoltaico y la instalación del circuito eléctrico, se emplearon herramientas adecua-



Figura 1. Estand Estudiantil fotovoltaico.

das con aislante eléctrico apropiado para evitar un shock eléctrico al operador, además se contó con el apoyo de un Ingeniero Mecánico Eléctrico.

El sistema fotovoltaico se ensambló de la siguiente manera:

- a) Se conectó las dos baterías en serie para que reciban y almacenen la energía eléctrica continua en 24 V generada por los dos paneles fotovoltaicos, el cable rojo positivo y el cable negro negativo se conectaron al regulador de carga, insertando los cables 12 AWG al pie del símbolo de batería del regulador.
- b) Enseguida, se conectó los dos paneles fotovoltaicos en serie para que generen 24 V y los terminales positivo y negativo se conectaron al mismo regulador de carga, insertando los cables al pie del símbolo de

panel del regulador, de acuerdo a su polaridad.

- c) Finalmente se conectó el regulador de carga con el inversor, insertando los cables al pie del símbolo de carga (foco) del regulador, de acuerdo a su polaridad.
- d) El sistema fotovoltaico quedó listo para cargar la batería y suministrar energía eléctrica alterna de 220 V al Estar Estudiantil.

Evaluación del sistema fotovoltaico

La evaluación del sistema fotovoltaico se realizó en tres tipos de días establecidos previamente en Chachapoyas, Amazonas, por Vigo y Trigo (2012) y ratificados por Montenegro (2013), en base a la radiación solar:

Día soleado: Día con presencia visible del sol, por lo que predomina la radiación solar directa. En Chachapoyas, Amazonas, se pueden alcanzar picos de

radiación solar entre 800 a 1000 W/m².

Día nublado: Día con nula presencia visible del sol, por lo que únicamente se dispone de la radiación solar difusa. En Chachapoyas, en este tipo de día la radiación solar puede estar entre 300 y menos de 600 W/m².

Día combinado: Día con presencia visible del sol promedio entre soleado y nublado. En Chachapoyas, en este tipo de día la radiación solar puede estar entre 600 y menos de 800 W/m².

Se evaluó el rendimiento del sistema fotovoltaico del Estar Estudiantil, expresado en horas para el funcionamiento de un foco LED de 8 W junto con la carga de las baterías de teléfonos celulares y de laptops, en las siguientes combinaciones:

- Ø Foco y carga de batería de un teléfono celular.
- Ø Foco y carga de batería de una laptop.
- Ø Foco, carga de batería de un teléfono celular y carga de batería de una laptop.
- Ø Foco y carga de batería de cuatro teléfonos celulares.
- Ø Foco y carga de batería de dos laptops.
- Ø Foco, carga de batería de cuatro teléfonos celulares y carga de batería de dos laptops.

III. RESULTADOS

Las evaluaciones del sistema fotovoltaico (SFV) del Estar Estudiantil se realizaron de día por ser las horas de mayor demanda por los usuarios y para determinar la potencia generada por el sistema en función de la radiación solar. Los resultados obtenidos, muestran que la potencia energética del sistema es directamente proporcional con a la radiación solar, por lo que, a pesar de las condiciones climatológicas siempre se va tener energía disponible (Figura 2). Entonces, se puede asegurar que el sistema fotovoltaico de 500 Wp puede suministrar energía eléctrica suficiente para iluminación y para las cargas de las baterías de teléfonos celulares y laptops en el Estar Estudiantil, se pudo constatar que el sistema fotovoltaico funciona normalmente y en ningún día de las evaluaciones se descargó las baterías del SFV, quedando siempre con

carga para atender a otros usuarios, por lo cual el SFV del Estar Estudiantil se puede utilizar en los diferentes tipos de días: nublado, combinado o soleado. La iluminación permite que los estudiantes utilicen el Estar Estudiantil en las noches para cargar las baterías de los teléfonos celulares o de las laptops y para realizar sus trabajos y repasar sus clases.

IV. DISCUSIÓN

La utilización de la energía solar mediante sistemas fotovoltaicos, tiene un gran futuro como un tipo de energía alternativa. Además, con el avance de la tecnología ha disminuido el costo por panel y demás componentes, así como su instalación, dando así una mayor accesibilidad para familias de sectores rurales. Los sistemas fotovoltaicos son confiables y duraderos, no ocasionan ningún desequilibrio al ambiente y son competitivos cuando la cantidad de energía demandada es pequeña, los lugares son lejanos y es costoso brindarle acceso a la red de distribución de energía eléctrica. Según Cornejo (2013), el carácter modular de la tecnología fotovoltaica permite, al contrario de la mayoría de las fuentes convencionales, un costo unitario y una eficiencia independiente del tamaño de la instalación; por ello los pequeños sistemas presentan un gran interés para la producción de energía descentralizada o independencia del usuario o consumidor; además, no producen contaminación ni efecto nocivo alguno y los costos de operación y mantenimiento son muy bajos.

Estas características y beneficios de los sistemas fotovoltaicos han sido demostradas en la investigación, puesto que al ser modular, se puede ensamblar el sistema en función a la necesidad de los usuarios, evidenciándose que la potencia generada ha sido más que suficiente para atender la demanda de los usuarios y hace disponible una fuente de energía renovable, amigable con el medio ambiente y para mantener su operatividad solo requiere labores de limpieza de la superficie de los paneles fotovoltaicos así como de la mesa y sillas para comodidad de los usuarios. Esto concuerda con Chávez (2012), que manifiesta que el

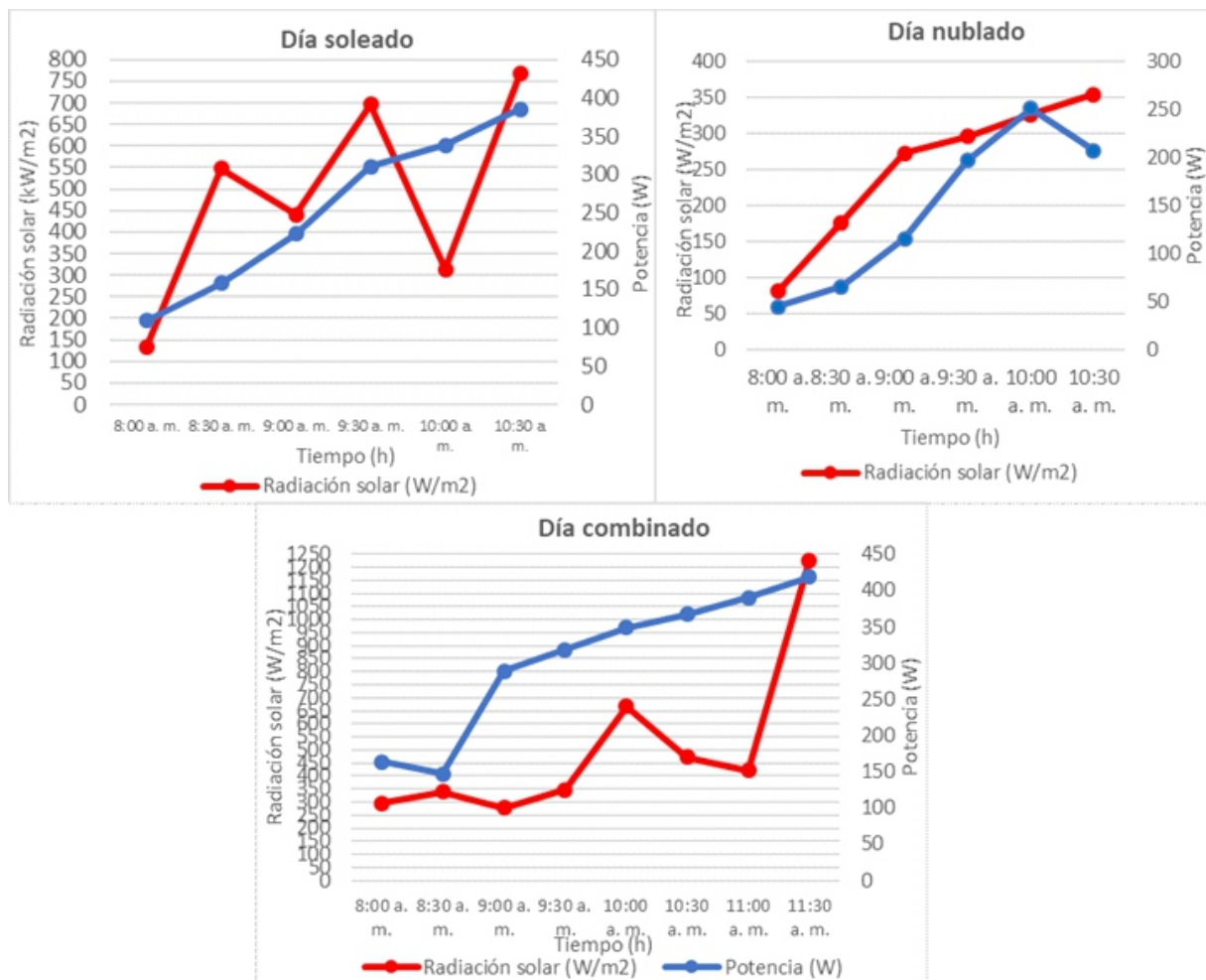


Figura 2. Potencia del sistema fotovoltaico autónomo respecto a la radiación solar

sol al ser una fuente de energía inagotable, hace que la implementación de paneles solares fotovoltaicos sea muy rentable ya que la captación de la energía emanada por el sol no es dificultosa, además que es una manera ecológica de generación de energía, aparte que en caso de estiajes o cortes imprevistos de la empresa eléctrica, no se verá afectado el usuario ya que el sol es una fuente inagotable de energía, no sufrirá cortes.

La energía solar fotovoltaica está más extensamente disponible comparada con los combustibles fósiles, no contribuye a la contaminación atmosférica local y, por lo tanto, reduce los daños y perjuicios a la salud humana, puede mejorar el desarrollo de economías locales, crear empleos y no da lugar al efecto invernadero (Cornejo, 2013). Los resultados obtenidos en la presente investigación demuestran que el sistema fotovoltaico evaluado en el Estar Estudiantil, puede ser empleado

en una vivienda en zona rural para abastecerla con energía eléctrica para iluminación y uso de equipos como televisión y radio; en vez de emplear un grupo electrógeno con motor de combustión interna que contamina el ambiente. Además, una persona que se capacite en tecnología fotovoltaica puede generar su propio negocio de venta, instalación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos.

Carrasco (2017), instaló un sistema fotovoltaico (SFV) para abastecer con energía eléctrica en 220 V, en dos viviendas que no tienen energía eléctrica en Chachapoyas, Amazonas, Perú. Cada SFV estuvo constituido por un panel fotovoltaico de 100 Wp, regulador de carga, batería de 100 Amph, inversor de carga de 300 W. Determinó que con el SFV funcionan tres focos LED de 8 W, en simultáneo con la carga de la batería de un teléfono celular o de una radio de 18 W durante 4

horas; asimismo, durante el mismo tiempo funcionan un foco LED de 8 W con un televisor de 70 W. Por lo cual el sistema fotovoltaico de 100 Wp puede suministrar energía eléctrica suficiente para iluminación y entretenimiento de la familia usuaria en horas de la noche, quedando un remanente de carga para aproximadamente dos horas más de funcionamiento de la misma combinación, o iluminación para atender alguna emergencia de los miembros de la familia.

El SFV del Estar Estudiantil tiene dos paneles fotovoltaicos de 260 Wp cada uno y dos baterías de gel de 100 Amph, por lo que en día soleado puede generar hasta 530 Wp; en consecuencia, este SFV puede abastecer con energía eléctrica a 5 viviendas cercanas para atender su demanda mínima, priorizando la iluminación con focos LED de 8W que iluminan como foco incandescente de 60 W. Lo mencionado concuerda con lo reportado por Muñoz (2005), quien instaló dos lámparas fluorescentes de 15 W, una radiograbadora de 10 W, un televisor de 60 W y una refrigeradora de 48 W de potencia, siendo el uso total al día de cada equipo: lámparas fluorescentes 4 h, radiograbadora 4 h, televisor 2 h y para la refrigeradora 24 h; concluyó que es necesario 4 paneles de 110 W que producen con 3,5 horas sol/día 385 Wh/día y 3,45 baterías estacionarias de 12 V 150 Amph con una reserva o respaldo de 3 días.

Muñoz (2005), manifiesta que los SFV son confiables y duraderos, no ocasionan ningún desequilibrio al ambiente y son competitivos cuando la cantidad de energía demanda es pequeña y los sitios son lejanos o es difícil llegar a ellos no teniendo acceso a la red eléctrica. En base a los resultados de la presente investigación, se puede decir que la sostenibilidad de los proyectos con SFV tendrá por un lado la participación del Estado en cuanto a los subsidios, y por otro la inteligencia de los propios inversionistas para hacer rentables los proyectos, lo que se refuerza con que según los diversos fabricantes, los paneles fotovoltaicos tiene una duración entre 25 a 30 años, las baterías de gel duran hasta 7 años, en consecuencia, la inversión en SFV es amortizable en menos de 5 años con lo que se

gastaría en otros sistemas convencionales de abastecimiento de energía y contribuye a mejorar la calidad de vida y la inclusión social de sus usuarios, como lo demostrado por Carrasco (2017).

El SFV de 500 Wp instalado en el Estar Estudiantil en la UNTRM, es adecuado para abastecer con energía eléctrica a los tres tomacorrientes empotrados en el tablero de la mesa, para atender la demanda de los diferentes usuarios que a diario lo emplean para cargar la batería de su teléfono celular o de su laptop, debido que en todos los días evaluados y con todas las combinaciones de equipos eléctricos realizadas, la potencia generada por el sistema ha sido más que suficiente para atender la demanda de carga de baterías de teléfonos celulares, de laptops y para la iluminación con un foco led.

V. CONCLUSIONES

El sistema fotovoltaico de 500 Wp (Potmáx) evaluado alcanzó una máxima potencia en día soleado de 386,24 Wp (77,25 % Potmáx), en día combinado 350,43 Wp (70,10 % Potmáx) y en día nublado 250,89 Wp (50,18 % Potmáx). El tiempo de carga promedio de la batería de los teléfonos fue de 2,5 horas y de las laptops de 2 horas para llegar al 100% de carga de las baterías de los equipos electrónicos mencionados. Entonces, el SFV de 500 Wp es adecuado, para abastecer con energía eléctrica al Estar Estudiantil debido que en todos los días evaluados y con todas las combinaciones, la potencia generada por el sistema ha sido más que suficiente para cargar las baterías de los teléfonos celulares, de las laptops y para la iluminación con un foco LED. Por otro lado, el uso de fuentes de energías renovables permite reducir el uso de las energías convencionales, logrando con esto alcanzar una cierta independencia, consiguiendo además, disminuir los niveles de contaminación al dejar de utilizar en parte combustibles fósiles para satisfacer la demanda energética.

VI. AGRADECIMIENTO

Al Proyecto "Creación del Centro de Investigación en Climatología y Energías Alternativas" (PROCICEA) del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sus-

tentable de Ceja de Selva (INDES-CES), de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), por el financiamiento para hacer e implementar el Estar Estudiantil y el apoyo logístico brindado en la investigación.

VII. CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Todos los autores participaron en la conceptualización, metodología, investigación, redacción del manuscrito inicial, revisión bibliográfica, y en la revisión y aprobación del manuscrito final.

XI. CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

X. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bayrak, F., G. Ertürk, and H. Oztop, H. 2017. "Effects of partial shading on energy and exergy efficiencies for photovoltaic panels. *Journal of Cleaner Production*" . *Cleaner Production Magazine* . 54 (1) : 58 - 69 . DOI : 10.1016/j.jclepro.2017.06.108
- Burhan, M., M. W., Shahzadand, and N. K. Choon. 2017." Long-term performance potential of concentrated photovoltaic (CPV) systems". *Energy Conversion and Management* . 148 (1) : 90 - 99 . DOI : 10.1016/j.enconman.2017.05.072
- Caliskan, H. 2017. "Environmental and enviroeconomic researches on diesel engines with diesel and biodiesel fuels" *Cleaner Production Magazine* . 154(1) : 1-26. DOI:10.1016/j.jclepro.2017.03.168
- Carrasco, H. 2017. *Rendimiento de Sistemas Fotovoltaicos de 100 Wp, Chachapoyas, Amazonas 2017*. Tesis de Grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas (Perú).
- Chávez, M. 2012. *Proyecto de factibilidad para uso de paneles solares en generación fotovoltaica de electricidad en el complejo habitacional San Antonio de Riobamba*. Tesis de Grado. Escue-
- la Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba (Colombia).
- Cornejo, H. A. 2013. *Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura*. Tesis de Grado. Universidad de Piura. Piura (Perú).
- De la Cruz, W. C. 2014. *Sistema solar fotovoltaico de conexión a red en el Centro Materno Infantil de la Universidad de Piura*. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo (Perú).
- Elliot, M. A. 2015. *Chemistry of Coal Utilization, 2nd Supplementary Volume*. Nueva York (EE.UU.): Wiley
- Flores, N, R. y A. Domínguez 2017. *Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio*. Tesis de Maestría. El Centro de Investigación en Materiales Avanzados. Chihuahua (México).
- Gonçalves, A., y M. Simões. 2017. "Metabolic engineering of *Escherichia coli* for higher alcohols production: An environmentally friendly alternative to fossil fuels". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 77 (3): 580-589. DOI: 10.1016/j.rser.2017.04.047
- Herrera, L., A. Miranda, E. Arango, C. Ramos y D. González. 2013. "Dimensionamiento de Sistemas de Generación Fotovoltaicos Localizados en la Ciudad de Medellín". *Tecno Lógicas*. 6(1): 1-14.
- IEA (International Energy Agency). 2017. *Tecnologías de energía limpia* . <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2027> (Consultada el 17 de abril 2022)
- Montenegro, N. 2013. *Determinación de la eficiencia y capacidad de una terma solar con dos colectores en serie de 1m² cada uno*. Tesis de Grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Chachapoyas (Perú).
- Muñoz, D. F. 2005. *Aplicación de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país*. Tesis de Grado. Universidad

- Nacional de Ingeniería. Lima (Perú).
- Obando, E.D., y R. Vargas. 2016. “Desempeño de un sistema fotovoltaico autónomo frente a condiciones medioambientales de una región en particular”. *Ciencias físicas* 40 (154): 27-33. DOI: 10.18257/raccefyfyn.301
- Ramgolam, Y. K., and, K. M. Soyjaudah. 2017. “Holistic performance appraisal of a photovoltaic system. Renewable Energy” *Renewable Energy* 109 (15): 440-448. DOI: 10.1016/j.renene.2017.03.038
- Singh, B., Strømman, A., and, E. Hertwich. 2012. “Scenarios for the environmental impact of fossil fuel power: Co-benefits and trade-offs of carbon capture and storage”. *Energy* 45(1): 762-770. DOI: 10.1016/j.energy.2012.07.014
- Vigo, L. y R. Trigos. 2012. *Eficiencia térmica de un calentador solar de agua de 80 litros con colector de 1 m²*. Tesis de Grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza. Chachapoyas (Perú).