

Mejoramiento de calidad de vida en zona rural con sistema fotovoltaico de 100 Wp, Chachapoyas, Amazonas, Perú

Improvement of quality of life in rural areas with 100 Wp photovoltaic system, Chachapoyas, Amazonas, Peru

Miguel Barrena¹, Carla Ordinola², Wildor Gosgot³, Perci Salazar⁴, Robert Cruzalegui⁵ y Henry Carrasco⁶

RESUMEN

La energía solar es la principal fuente natural de energía en el mundo. El objetivo del trabajo fue evaluar la instalación de un sistema fotovoltaico. Para ello, se seleccionaron dos familias en la ciudad de Chachapoyas, Amazonas, Perú, que no tengan instalado el servicio de energía eléctrica de la red de Electro Oriente y que tengan hijos en edad escolar o estudien en Instituto o Universidad. Se instalaron sistemas fotovoltaicos (SFV) que generan energía eléctrica en 220 V. El SFV tiene panel fotovoltaico de 100 Wp, regulador de carga de 10 Amp, batería de 100 Amph, inversor de carga de 300 W. Con el SFV funcionan tres focos LED de 8 W, en simultáneo con el cargado de batería de teléfono celular o radio de 18 W durante 4 horas; igual tiempo funciona un foco LED de 8 W y un televisor de 70 W. El SFV mejora la calidad de vida de la familia y su inclusión social, evita el uso de pilas para la radio y velas, pueden mantenerse comunicados con sus familiares y al día con el acontecer local y nacional por medio de radio y televisión.

Palabras clave: Energías renovables, iluminación con energía solar.

ABSTRACT

Solar energy is the main natural source of energy in the world. The objective of this work was to evaluate the installation of a photovoltaic system. For this purpose, two families were selected in the city of Chachapoyas, Amazonas, Peru, who do not have electricity service from the Electro Oriente network and who have children at school age or who are studying in high school or university. Photovoltaic systems (PVS) were installed to generate 220 V electrical energy. The SFV has a 100 Wp photovoltaic panel, a 10 Amp charge regulator, a 100 Amp battery, and a 300 W charge inverter. With the SFV, three 8 W LED spotlights work simultaneously with the battery charge of a cell phone or 18 W radio for 4 hours; the same time an 8 W LED spotlight and a 70 W TV set work simultaneously. The SFV improves the quality of life of the family and their social inclusion, avoids the use of batteries for the radio and candles, they can keep in touch with their families and keep up to date with local and national events through radio and television.

Keywords: Renewable energy, solar energy lighting.

DOI: <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i1.165>

Recibido: 19/01/2021. Aceptado: 02/02/2021

* Autor para correspondencia

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú. Email: miguel.barrena@untrm.edu.pe

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú. Email: carla.ordinola@untrm.edu.pe

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú. Email: wildor.gosgot@untrm.edu.pe

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú. Email: perci.salazar@untrm.edu.pe

Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Perú. Email: robert.cruzalegui@untrm.edu.pe

Profesional Independiente, Perú. Email: carrascoh19@gmail.com

INTRODUCCIÓN

En el año 2017 la población rural del Perú fue de 6 millones 69 mil 991 personas (20,7% de la población censada), y la Región Amazonas era la tercera con mayor población rural (58,5 %) (INEI, 2017); que por vivir en zonas alejadas de los centros urbanos no cuentan con los servicios básicos: agua potable, desagüe, centros de salud y electrificación rural; lo que se relaciona con educación y calidad de vida inadecuados. Ante la imposibilidad técnica y/o económica de conectarse a las redes eléctricas, la energía solar es la alternativa para electrificación rural en la sierra y selva del Perú, donde ya se han desarrollado proyectos fotovoltaicos en zonas aisladas, rurales y de frontera, para dotar de energía eléctrica a viviendas, locales comunales e instituciones públicas (MINEM, 2015). Hay mucho interés en la energía solar, por estar disponible en cualquier lugar del mundo y permitir el crecimiento económico sustentable (Beltrán-Telles et al., 2017). La luz solar es radiación electromagnética emitida por el Sol que puede convertirse en electricidad usando paneles fotovoltaicos; la radiación solar directa llega del Sol a un objeto o superficie terrestre, sin reflexiones o refracciones en su recorrido; la radiación solar difusa se genera por alteraciones de la radiación solar en su recorrido desde que ingresa a la atmósfera. La radiación solar directa y la difusa son usadas por los paneles fotovoltaicos.

La energía solar es la principal fuente natural de energía en el mundo, es renovable, genera fracciones de Watt (W) hasta cientos de Mega Watt (MW), es almacenable y amigable con el medio ambiente, tiene bajos costos de operación y mantenimiento (Castillo, Villada y Valencia, 2014). Un panel fotovoltaico produce electricidad en corriente continua cuya intensidad y voltaje varían con la radiación solar incidente sobre sus celdas; se evalúan en condiciones estándar: 1000 W/m² de radiación solar y temperatura constante de las celdas fotovoltaicas de 25 °C (Conde-Mendoza et al., 2020); la máxima potencia que generan en estas condiciones se mide en Wp (Watt pico), que es su potencia nominal.

Los sistemas fotovoltaicos aislados de la red de distribución eléctrica consisten (Jäger et al., 2014):

- Paneles fotovoltaicos, convierten la energía solar en energía eléctrica.
- Estructura de montaje, para fijar el o los paneles fotovoltaicos orientados al sol.
- Baterías, almacenan la energía para suministrar energía eléctrica principalmente en la noche.
- Regulador de carga, convierte el voltaje de salida del panel fotovoltaico, que varía en función de la radiación solar y condiciones climáticas, a un voltaje fijo para cargar baterías. Desconecta el suministro de energía de los paneles fotovoltaicos cuando las baterías están totalmente cargadas, y desconecta el consumo para evitar que las baterías se descarguen completamente.

- Inversor, convierte la corriente continua (CC) generada por el panel fotovoltaico, en corriente alterna (CA) con las mismas características de la red eléctrica para alimentar el circuito de uso.
- Cables, para conectar los componentes del sistema fotovoltaico y el circuito de uso. Deben tener el grosor suficiente para minimizar pérdidas por resistencia.

El Acceso Universal a la Energía es una condición mínima para el desarrollo humano y para la lucha contra la pobreza. Perú, en el marco de la Asamblea General de las Naciones Unidas, debe “garantizar el acceso a energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos”. Las energías renovables son una opción competitiva y confiable para el acceso a la energía. Al 2015, la tasa de electrificación nacional fue 93% y de electrificación rural 71,4% (Tamayo et al., 2016).

Los servicios energéticos como calor para cocinar, luz para uso doméstico o comercial, fuerza mecánica para bombear o moler, para comunicación, información, entretenimiento y refrigeración; producen bienes y servicios para el bienestar humano y su desarrollo socio económico (Hernández, Aguado y Duque, 2018). Ladino (2011), manifiesta que el sistema fotovoltaico (SFV) se emplea mayormente para iluminación, refrigeración, funcionamiento de televisor y comunicación vía teléfono celular; es de fácil conexión, no requiere personal altamente capacitado para su operación y mantenimiento lo que facilita su funcionamiento en zonas rurales; por lo que llevar energía eléctrica a una comunidad, mejora su calidad de vida al contar con luz día en la noche y el centro de salud atiende emergencias en la noche; los hogares tienen mayor integración familiar nocturna y colaboración académica de padres a hijos o entre hermanos y el uso de televisión y radio brinda acceso a la información en tiempo real.

Avendaño et al. (2014), el 71% de padres consideran que el SFV incrementa el tiempo de estudio, especialmente en la noche en el hogar; los usuarios de SFV informan de un ahorro (mensual por familia de 65 a 70 dólares) por la baja utilización de pilas en su trabajo y gasto diario; actualmente usan la radio con baterías recargables y las familias que tienen negocio han aumentado las ventas nocturnas.

En Chachapoyas, Amazonas, Perú; debido al déficit de energía eléctrica, la población que no cuenta con este servicio emplea lámparas a pilas, velas de parafina, linternas recargables, grupo electrógeno a combustible e instalaciones clandestinas de energía eléctrica. En la presente investigación se evaluó SFV de 100 Wp, y se demostró que suministran energía eléctrica que cubre la demanda mínima de una vivienda para iluminación y entretenimiento; constituyéndose en una propuesta amigable con el medio ambiente que además contribuye a mejorar la calidad de vida de sus usuarios.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se seleccionó dos familias para instalar en sus viviendas un SFV de 100 Wp, en la ciudad de Chachapoyas, que no tengan instalado el servicio de energía eléctrica de la red de Electro Oriente y que tengan hijos en edad escolar o estudien en Instituto o Universidad.

Sistema fotovoltaico de 100 Wp

Se emplearon dos SFV de 100 Wp aislados de la red, constituidos cada uno por:

- Un panel fotovoltaico de 100 Wp, de 1 m de largo x 0,67 m de ancho x 0,03 m de espesor.
- Un regulador de carga de 10 Amp.
- Una batería de 100 Amph con gelificante por lo que no requiere mantenimiento.
- Un inversor de 300 W.

Se instaló el circuito eléctrico en cada una de las viviendas, para que tengan iluminación con tres focos LED de 8W y un tomacorriente para cargar la batería de un teléfono celular o funcionar una radio de 18 W o un televisor a colores de 14" de 70 W. El panel fotovoltaico se instaló sobre una torre de 0,90 m x 0,70 m, de 3 m de altura, de listones de madera de 2" x 2", ubicado en la dirección Norte-Sur en el patio interior de la vivienda. El panel fotovoltaico se fijó con su lado sur levantado 30° para compensar la curvatura terrestre y maximizar la captación de la radiación solar. Con cable 10 AWG rojo y negro se conectó el panel fotovoltaico con el regulador de carga.

El sistema fotovoltaico se ensambló de la siguiente manera:

- a) Se conectó la batería al regulador de carga, insertando los cables 6 AWG al pie del símbolo de batería del regulador de carga, de acuerdo a su polaridad: rojo es positivo y negro negativo. En la pantalla del regulador se encendió el símbolo de la batería.
- b) Se conectó el panel fotovoltaico al mismo regulador de carga, insertando los cables al pie del símbolo de panel del regulador, de acuerdo a su polaridad. En la pantalla del regulador de carga se encendió el símbolo del panel solar.
- 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. En la pantalla del regulador se encendió el símbolo de un foco.
- d) El SFV quedó listo para cargar la batería y suministrar energía eléctrica alterna de 220 V a la vivienda. Se evaluó el rendimiento de la batería cargada por el SFV, en horas, para el funcionamiento de focos LED de 8 W, televisor a color de 70 W, radio de 18 W o para cargar la batería de un teléfono celular; así como se hizo las sugerencias para su uso:

- Tres focos LED de 8 W y carga de batería de teléfono celular.
- Dos focos LED de 8 W y carga de batería de teléfono celular.
- Dos focos LED de 8 W y radio de 18 W.
- Dos focos LED de 8 W y televisor de 70 W.
- Un foco LED de 8 W y televisor de 70 W.
- Un foco LED de 8 W, una radio de 18 W y un televisor de 70 W.

Evaluación de calidad de vida

Para los miembros de la familia mayores de 18 años se utilizó la Escala GENCAT, que es la evaluación objetiva de la calidad de vida (bienestar emocional, bienestar físico, bienestar material, relaciones interpersonales, inclusión social, desarrollo personal, autodeterminación y derechos), es un instrumento de evaluación diseñado de acuerdo con los avances realizados sobre el modelo multidimensional de calidad de vida (Verdugo *et al.*, 2009).

RESULTADOS

En Chachapoyas, la evaluación de los sistemas fotovoltaicos (SFV) se realizó en tres tipos de días en función de la radiación solar; soleado: entre 800 y 1000 W/m²; combinado: entre 600 y menos de 800 W/m² y nublado: entre 300 y menos de 600 W/m². De día (Figura 2 a la 4), se determinó el porcentaje de carga de la batería en función de la radiación solar, teniendo un consumo por equipos eléctricos; luego, de noche (Figura 5 y 6) para determinar las horas de funcionamiento con cada combinación de equipos eléctricos. La carga de la batería tuvo tendencia similar a la de la radiación solar, En día soleado, la carga de la batería está sobre el 80% sin afectarse por el consumo de dos focos y la radio (34 W), o un foco y un televisor (78 W).

En día nublado, el consumo de dos focos y un televisor (86 W), descargan la batería del SFV cuando la radiación solar es menor a 350 W/m²; sin embargo, con valores entre 350 y un promedio de 500 W/m², la carga de la batería se mantiene en 40% (Figura 1A). En día nublado con una carga de 96 W, que es casi toda la potencia generada por el SFV (100 Wp, con irradiancia de 1000 W/m²), la carga de la batería estará en promedio en 15% con tendencia a agotarse (Figura 1B).

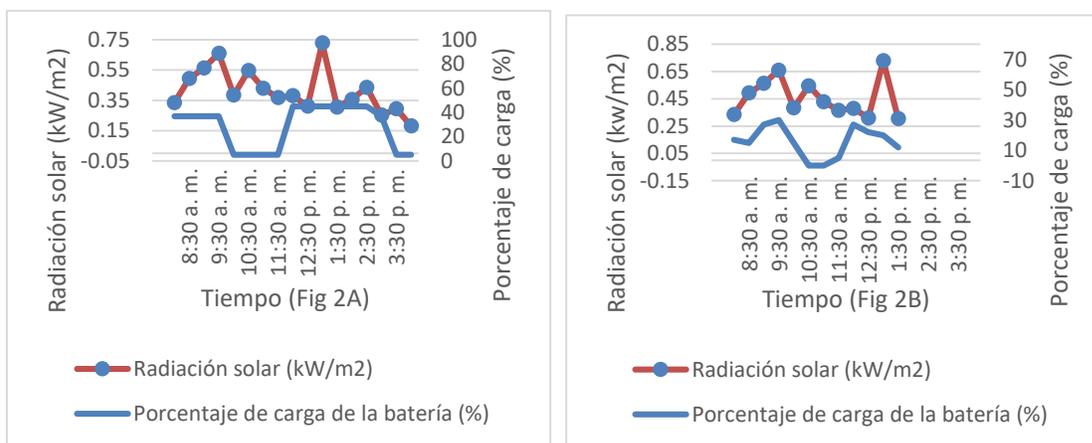


Figura 1. Radiación solar y porcentaje de carga de la batería versus tiempo, en día nublado, para A) dos focos y televisor (86 W). B) Combinación de un foco y televisor (96 W).

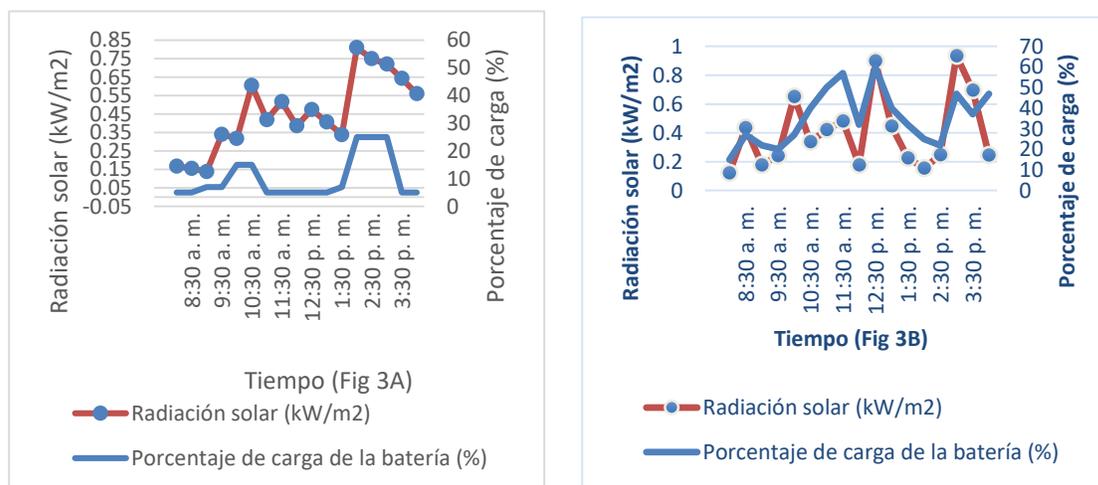


Figura 2. Radiación solar y porcentaje de carga de la batería versus tiempo, en día combinado, para A) tres focos y carga de batería de teléfono celular. B) Dos focos y carga de batería de teléfono celular.

En día combinado, el consumo de tres focos y la carga en simultáneo de la batería de un teléfono celular, descargan la batería del SFV cuando la radiación solar es menor a 600 W/m^2 (Figura 2A); sin embargo, con valores mayores a éste se puede recargar la batería del SFV, con 600 W/m^2 llega a 15% de carga y con 800 W/m^2 alcanza el 25%. En día combinado, el consumo de dos focos y la carga en simultáneo de la batería de un teléfono celular, descargan la batería del SFV cuando la radiación solar es menor a 500 W/m^2 ; sin embargo, con valores mayores a éste se puede recargar esta batería (Figura 2B), con 500 W/m^2 llega a 30% de carga y con 500 a 1000 W/m^2 puede llegar hasta el 60%.

En día soleado, el consumo de dos focos LED de 8 W cada uno y una radio de 18 W en simultáneo, descargan la batería del SFV cuando la radiación solar es menor a 500 W/m^2 ; sin embargo, con valores entre 500 a 900 W/m^2 , la carga de la batería se mantiene sobre el 80% (Figura 3A). En día soleado, se

puede usar un foco junto con el televisor sin que se descargue la batería significativamente, la radiación solar es suficiente para reponer la carga y a pesar que bajó hasta el 55% a las 4 pm, la batería podrá abastecer con energía eléctrica para iluminación en la noche (Figura 3B).

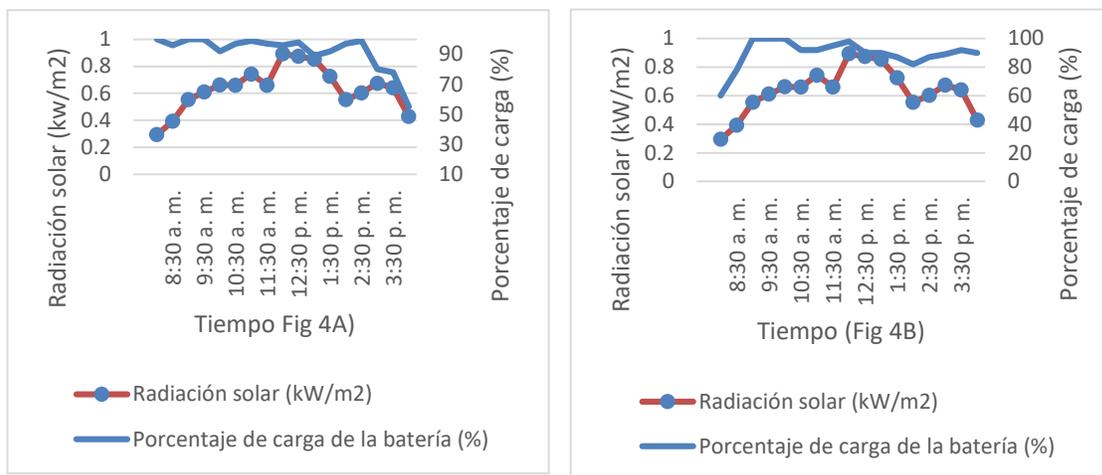


Figura 3. Radiación solar y porcentaje de carga de la batería versus tiempo, en día soleado para A) dos focos y radio (34 W). B) Combinación de un foco y televisor (78 W).

Las evaluaciones del rendimiento del SFV en la noche se realizaron desde las 6:00 hasta las 10:00 pm, registrándose los datos cada media hora. Con la batería cargada al 86%, el consumo de dos focos en simultáneo con la carga de la batería de un teléfono celular hizo que la carga de la batería del SFV baje hasta el 76% (Figura 4A), quedando aún carga suficiente para iluminación en caso lo requiera la familia. Con la batería cargada al 85%, el consumo de dos focos en simultáneo con el uso de una radio (34 W), hizo que la carga de la batería del SFV baje hasta el 75% (Figura 4B), quedando aún carga suficiente para que siga funcionando esta combinación.

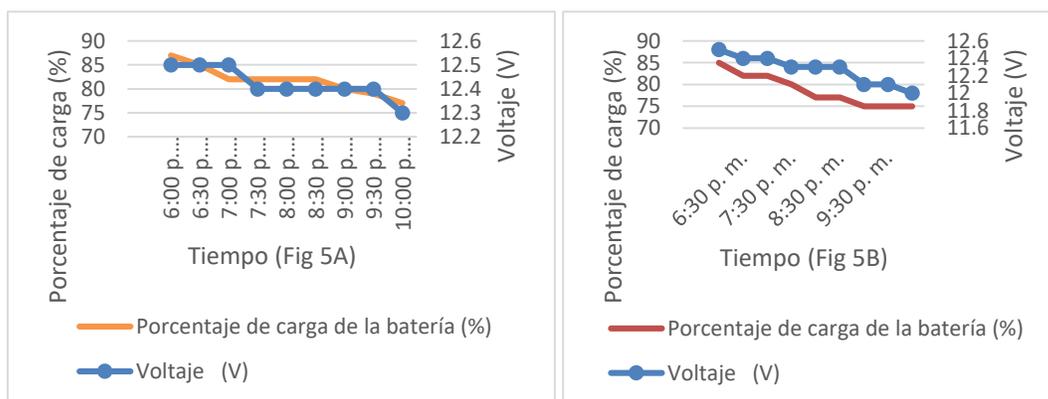


Figura 4. A) Combinación de dos focos y carga de batería de teléfono celular, en la noche. B) Combinación de dos focos y radio (34 W), en la noche.

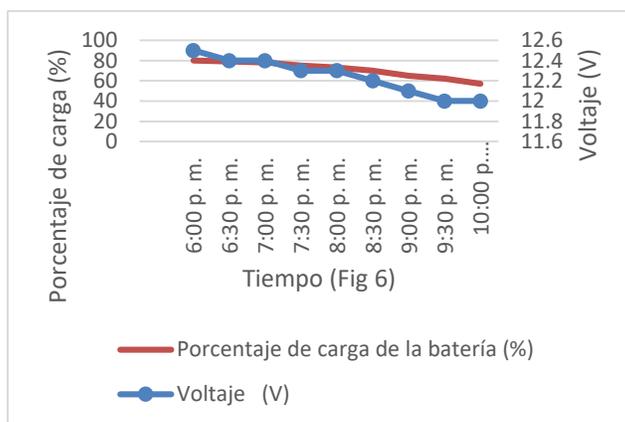


Figura 5. Combinación de dos focos y televisor (86 W), en la noche.

Con la batería cargada al 80%, el consumo de dos focos en simultáneo con el uso de un televisor (86 W), desde las 6:00 hasta las 10:00 pm, hizo que la carga de la batería del SFV baje hasta el 60% (Figura 5), quedando aún carga para más tiempo de funcionamiento de esta combinación evaluada.

Con los resultados mostrados en las Figuras 4 y 5, se puede asegurar que el SFV de 100 Wp suministra 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 la familia. La iluminación permite a los integrantes de la familia que estudian, realizar sus tareas y repasar sus clases, con lo que, según ellos mismos manifiestan, han mejorado su rendimiento académico.



Figura 6. Antes y después de encender el foco para iluminación de la cocina.

Mientras la vivienda no esté conectada a la red de abastecimiento de energía eléctrica, una alternativa económica, amigable con el medio ambiente, segura para los usuarios tanto en su uso como para su salud, es la energía solar, que un panel fotovoltaico la convierte en energía eléctrica para satisfacer la demanda mínima de una vivienda que contribuye a mejorar la calidad de vida e inclusión social de los usuarios.

En base a los resultados obtenidos, se establecieron las siguientes recomendaciones para el uso del SFV:

a) El panel fotovoltaico debe estar libre de cualquier sombra.

- b) Durante el día debe evitarse el consumo de energía de la batería para tener energía disponible en la noche principalmente para iluminación.
- c) Si el día es soleado, se puede cargar la batería del teléfono celular o usar la radio o el televisor, únicamente en la mañana, porque habrá suficiente radiación solar para cargar la batería del SFV el resto del día, para uso en la noche.
- d) En días nublados, debe priorizarse el uso de la energía de la batería únicamente para iluminación en horas de la noche.
- e) Una vez por semana debe limpiarse con trapo suave y húmedo la superficie del panel fotovoltaico para retirar el polvo que impide el paso de los rayos solares.
- f) Sólo personal calificado realizará el mantenimiento de los componentes del SFV. Una persona no capacitada puede poner en riesgo su vida por una mala maniobra y recibir una descarga eléctrica.
- g) Sólo se emplearán los equipos de iluminación o de otro tipo autorizados para no perjudicar el rendimiento del SFV.

Calidad de vida

Los integrantes de las familias beneficiarias coincidieron en mencionar que el SFV ha permitido mejorar su calidad de vida:

- a) No utilizan velas o lámparas para iluminación de los ambientes de su vivienda, con lo que también evitan estar expuestos a un incendio de su vivienda.
- b) En consecuencia, ya no están expuestos a los gases tóxicos emitidos por la combustión de las velas y no aportarán con pilas descargadas que son contaminantes ambientales.
- c) La iluminación con energía eléctrica es más eficiente que con velas o lámparas, por lo que no esforzarán sus ojos para leer.
- d) No compran velas, pilas o combustible para iluminación de los ambientes de su vivienda; dinero que ahora pueden ahorrar para financiar un SFV similar al instalado en su vivienda.
- e) Disponen de iluminación adecuada para estudiar y hacer las tareas escolares, o del Instituto o la Universidad; con lo cual, manifestaron, han mejorado su rendimiento académico.
- f) Pueden emplear equipos eléctricos para su entretenimiento como la radio o el televisor, que además les permite estar actualizados con el acontecer local, regional y nacional.
- g) Pueden cargar la batería de sus teléfonos celulares, evitando desplazarse para ello a un sector de la ciudad que cuenta con energía eléctrica como lo hacían antes.

- h) Pueden compartir más tiempo en la noche con sus hijos en actividades de entretenimiento, o ayudarles en sus tareas escolares y estudios para sus exámenes.
- i) Los niños manifestaron ya no tener miedo en la noche porque hay más luz en su casa y que pueden jugar más tiempo entre ellos.

A cinco miembros de las familias beneficiarias se les aplicó la Escala GENCAT de calidad de vida (Tabla 1). Dada la medición en escala ordinal de las dimensiones evaluadas y por tener dos vías de clasificación: sujeto encuestado e ítem de mayor incidencia en la dimensión; se aplicó la Prueba de Friedman, obteniéndose para la mayoría de las dimensiones en estudio, un valor de probabilidad superior al nivel de significancia de 0,05, que se traduce, en que no existen diferencias estadísticamente significativas entre los juicios u opiniones emitidas por los encuestados, es decir, hay uniformidad en las respuestas recopiladas, siendo la categoría o alternativa de respuesta que presenta una mayor frecuencia, la 4 (siempre o casi siempre), lo cual evidencia la existencia de una percepción de calidad de vida.

Tabla 1. Resultados de la Prueba de Friedman y Escala GENCAT.

Dimensión	Prueba de Friedman		Categoría con mayor frecuencia*	Ítem con mayor puntuación
	Valor de Chi-cuadrado (χ^2)	Valor de Probabilidad (P)		
Bienestar Emocional	2.6067	0.6256	4	8
Relaciones Interpersonales	4.9548	0.2920	4	7
Bienestar Material	8.1165	0.0874	2, 4	5
Desarrollo Personal	6.3802	0.1725	4	5
Bienestar Físico	4.2017	0.3794	4	5
Autodeterminación	4.6557	0.3245	4	1, 5, 6
Inclusión Social	9.4400	0.0510	4	4
Derechos	18.222	0.0010	4	7

P > 0.05 (no significativo) *4: siempre o casi siempre; P < 0.05 (significativo); *3: frecuentemente; P < 0.01 (altamente significativo); *2: algunas veces; *1: nunca o casi nunca.

DISCUSIÓN

Sánchez *et al.* (2009), recomiendan paneles fotovoltaicos de 50 a 60 Wp y la batería del sistema fotovoltaico (SFV) ofrece un número limitado de horas de consumo; si se emplea una lámpara: 12 horas de energía, con tres lámparas: 4 h de energía, con dos lámparas y una radio: 4 h de energía, dos lámparas y un televisor: 2,5 h de energía, una lámpara y una radio: 4 h de energía; o una lámpara, una radio y un televisor: 2 h de energía. En la presente investigación se han logrado mejores resultados por haber empleado un panel fotovoltaico de 100 Wp, que permitió el funcionamiento durante cuatro horas seguidas en la noche, de las siguientes combinaciones: dos focos de 8 W y carga de batería de teléfono

celular, con lo que la carga de la batería del SFV bajó de 86 a 76%; dos focos y radio (34 W), la carga de la batería bajó de 80 a 75%; y dos focos con televisor (86 W), la carga de la batería bajó de 80 a 60%. Chávez (2012), manifiesta que el sol es una fuente de energía inagotable y con paneles fotovoltaicos se convierte la luz solar en energía eléctrica, de manera rentable y ecológica; y que la inversión en un SFV se recupera con el ahorro por el no pago del consumo de energía eléctrica en la vivienda. En la presente investigación, se determinó que las familias beneficiarias en promedio gastaban S/ 25,00 mensual en velas y pilas, monto que les permitiría financiar un SFV para mejorar su calidad de vida.

En instalaciones aisladas de la red de distribución de energía eléctrica, los meses más críticos son los de invierno (menor radiación solar), por lo que para la máxima captación se inclina los paneles fotovoltaicos unos 10° a 15° más que la latitud del lugar donde se instalarán (ITC, 2008). El panel fotovoltaico debe ubicarse en la dirección Norte-Sur para que reciba luz solar todo el día; como en Chachapoyas predominan los días nublados y se ubica a 6° Latitud Sur, la inclinación del panel fotovoltaico sería de 16° a 21°; por facilidad de cálculo para hacer el soporte, se levantó el lado Sur 30°, comprobándose en la evaluación en días soleados que el panel fotovoltaico recibía radiación solar directa todo el día.

Las familias beneficiarias emplearon el SFV principalmente para iluminación y algunas horas para el funcionamiento de radio o televisor. Durante el desarrollo de la presente investigación, no se presentaron problemas de operación, el mantenimiento fue muy simple pues solo se limpiaba una vez por semana la superficie del panel fotovoltaico para eliminar obstáculos al paso de la luz solar hacia las celdas del panel. Las familias beneficiarias manifiestan que con la iluminación eléctrica pueden compartir con sus hijos un tiempo mayor al que cuando se alumbraban con velas; además, no están expuestos al humo de las velas o mecheros y la iluminación es mejor por lo que no se afectan sus ojos; lo que concuerda con lo mencionado por Ladino (2011), que el SFV es empleado en zonas rurales para iluminación, funcionamiento de televisor y para mantener comunicación vía teléfono celular. En consecuencia, el SFV contribuye a mejorar la calidad de vida y favorece la inclusión social de sus usuarios.

También Ladino (2011), menciona que instalar energía eléctrica en una comunidad mejora su calidad de vida porque puede contar con luz día en la noche, los hogares con SFV tienen mayor integración familiar nocturna y posibilita la colaboración académica de padres a hijos o entre hermanos; además el uso de televisor y radio les permite acceder a la información en tiempo real. Todo esto ha sido evidenciado en la presente investigación, los padres de familia manifestaron que comparten más tiempo en la noche con sus hijos en actividades de entretenimiento, los ayudan en sus tareas escolares y estudios para sus exámenes, lográndose un mejor ánimo en los integrantes de las familias beneficiarias frente a sus vecinos,

que manifestaron que desean contar con un SFV similar para el bienestar de su familia, en especial de sus hijos en edad escolar que no tienen iluminación adecuada para hacer sus tareas en la noche y estudiar un poco más para incrementar su rendimiento académico, pues la luz de las velas no es suficiente y perjudica sus ojos.

Los SFV de 100 Wp evaluados en horas del día, permiten comprobar que el panel fotovoltaico puede reponer la carga de la batería cuando están en uso equipos que consumen menos de 80 W. En día nublado, con el uso de dos focos LED de 8 W y el televisor de 70 W (consumo de 86 W), la carga de la batería se mantiene en promedio en 30%; pero si se exige más al SFV con el funcionamiento de un foco + radio + televisor, 96 W de consumo, que corresponde al 96% de la potencia máxima que puede generar el panel fotovoltaico con una irradiancia de 1000 W/m²; pero por ser día nublado la radiación está en promedio en 500 W/m² y la carga de la batería se mantiene en 15% pero tiende a agotarse después de la 1:30 pm porque no hay luz solar suficiente para que el panel reponga la carga.

En día combinado, el uso de dos focos junto con la carga de batería de teléfono celular, la carga de la batería del SFV se mantiene aproximadamente en 40%, mientras que con tres focos y cargando la batería del teléfono celular, la carga de la batería del SFV se mantiene en promedio en 15%. En día soleado, el SFV tiene el mejor rendimiento y el panel puede reponer la carga de la batería; con dos focos y radio funcionando en simultáneo (consumo de 34 W), la carga de la batería del SFV se mantiene en promedio en 90%; si se usa un foco y el televisor a la vez (consumo de 78 W), la carga de la batería estará en promedio en 95%; en ambos casos, empleando el SFV desde las 8 hasta las 16 horas, queda la batería con 90% de carga para atender la demanda de energía eléctrica en la noche.

En la evaluación del rendimiento del SFV de 100 Wp en días nublados, combinados y soleados, se fundamentan las recomendaciones para su uso adecuado priorizando la iluminación de los ambientes de la vivienda. Con el SFV de 100 Wp instalado en las viviendas de las familias beneficiarias, pueden disponer en promedio de cuatro horas de energía eléctrica en la noche preferentemente para iluminación con dos focos LED de 8 W, que emiten luz similar a la de un foco de filamento de 60 W. Asimismo, pueden tener entretenimiento y estar al tanto de la realidad nacional con la radio y el televisor. Como las evaluaciones se realizaron durante cuatro horas en la noche, se verificó que después de este tiempo, la batería aún tiene un porcentaje de carga en promedio sobre el 30%, suficiente para que dispongan de iluminación en caso de alguna emergencia en la noche, o sus hijos deban estudiar más para un examen. El aporte del SFV de 100 Wp al bienestar familiar evidenciado en la presente investigación, concuerda con lo manifestado por Verdugo *et al.* (2009), que la calidad de vida tiene las mismas dimensiones para

todas las personas, se mejora a través de la autodeterminación, los recursos, la inclusión y las metas en la vida; su medición hace referencia al grado en que las personas tienen experiencias vitales que valoran, refleja las dimensiones que contribuyen a una vida plena e interconectada, tiene en cuenta el contexto de los ambientes físico, social y cultural que son importantes para las personas.

Según Hernández, Aguado y Duque (2018), el acceso a servicios modernos de energía genera mayores ingresos, equidad de género; mejora los servicios de salud, al permitir la iluminación y funcionamiento de equipos en centros de salud y la refrigeración de medicamentos. En consecuencia, si los SFV se emplean en zonas rurales para suministrar energía eléctrica, contribuirán a incrementar los ingresos de sus usuarios y a fortalecer los servicios de salud y educación para las personas con lo que se mejorará su calidad de vida; en general, permiten la iluminación de escuelas y hogares, lo que incrementa el rendimiento escolar y las actividades productivas, con lo que mejoran los ingresos de la población.

CONCLUSIONES

Para Chachapoyas, Región Amazonas, Perú, se confirmó tres tipos de días en función de la radiación solar; soleado: entre 800 y 1000 kW/m²; combinado: entre 600 y menos de 800 kW/m² y nublado: entre 300 y menos de 600 kW/m². Para todos los tipos de días en que se hizo la evaluación, el porcentaje de carga de la batería tiene tendencia similar que la radiación solar, y a pesar que el sistema tiene un consumo, el panel fotovoltaico puede reponerla mejor en día soleado. Puesto que, la carga de la batería, en promedio a 80%, permite en horas de la noche el funcionamiento de focos LED de 8 W para iluminación y una radio o un televisor.

El sistema fotovoltaico de 100 Wp es adecuado y factible de financiar, para abastecer con energía eléctrica a una vivienda para iluminación de tres ambientes y entretenimiento con radio o televisor. Además, abastece con energía eléctrica, en promedio, para cuatro horas de iluminación con dos focos LED de 8 W y para el funcionamiento de un televisor de 70 W; quedando un remanente de energía para atender alguna emergencia o para más horas de estudio de los hijos.

En día nublado se debe priorizar para iluminación el uso de la energía eléctrica almacenada en la batería. Sin embargo, si el día es soleado, se puede cargar la batería del teléfono celular o usar la radio o el televisor durante el día, porque habrá suficiente radiación solar para que el panel fotovoltaico reponga la carga de la batería del sistema, para su uso en la noche.

Los integrantes de las familias beneficiarias de la presente investigación coincidieron en mencionar que los sistemas fotovoltaicos les han permitido mejorar su calidad de vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM) de Amazonas, por el financiamiento parcial.

Al Proyecto “Creación del Centro de Investigación en Climatología y Energías Alternativas” (PROCICEA), del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la UNTRM, por el apoyo logístico y los SFV de 100 Wp para evaluarlos en condiciones reales de uso. Adita Bacalla Salón y Agustín Velaysosa Ocampo, en cuyas viviendas se instalaron los SFV en el Barrio Santa Rosa y el Pueblo Joven 16 de Octubre de Chachapoyas, respectivamente; por las facilidades y su compromiso.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Avendaño Hurtado, Davor Francisco; López Toro, Alberto A.; Moral Toranzo, Felix. (2014). Percepción del impacto social, ambiental y económico del uso de la energía renovable en zonas rurales de Ecuador. Recuperado el 05 de marzo de 2017, desde www.uhu.es/IICIED/pdf/13_2_percep.pdf.
- Beltrán-Telles, A.; Morera-Hernández, M.; López-Monteagudo, F. E. & Villela-Varela, R. (2017). Prospectiva de la energía eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía. *Ciencia UAT*, ISSN 2007-7521, 11 (2), 105–117. Recuperado el 05 de diciembre de 2017, desde <http://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v11n2/2007-7858-cuat-11-02-00105.pdf>.
- Castillo, A., Villada, F. & Valencia, J. (2014). Diseño multiobjetivo de un sistema híbrido eólico-solar con baterías para zonas no interconectadas. *Tecnura*, 18(39), 77–93. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2014.1.a06>
- Chávez Guerrero, Mónica A. (2012). Proyecto de factibilidad para uso de paneles solares en generación fotovoltaica de electricidad en el complejo habitacional “San Antonio”. Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Mecánica. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Colombia.
- Conde-Mendoza, Luis, Montes-Romero, Jesús, Carhuavilca-Vela, Alejandro, Perich-Ibañez, Renzo, Guerra-Torres, Jorge, Sevillano-Bendezú, Miguel, Calsi-Silva, Brando, Angulo-Abanto, José, Casa-Higueras, Juan de la, & Palomino-Töfflinger, Jan. (2020). Puesta en marcha de un laboratorio para la caracterización de tecnologías fotovoltaicas a sol real bajo las condiciones climáticas de Lima. *Tecnia*, 30(1), 80-89. <https://dx.doi.org/10.21754/tecnica.v30i1.835>

- Hernández, María F., Aguado, Luis F., & Duque, Henry. (2018). Índice de pobreza energética multidimensional por regiones para Colombia, ipem_rc 2013. *Economía Coyuntural*, 3(3), 35-72. Recuperado en 18 de enero de 2021, de http://www.scielo.org/bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2415-06222018000300003&lng=es&tlng=es.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2017). Perú: Perfil sociodemográfico. https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1539/cap01.pdf
- Instituto Tecnológico de Canarias [ITC], S.A. (2008). *Energías renovables y eficiencia energética*. ISBN 978-84-69093-86-3. Disponible en formato digital en www.renovae.org.
- Jäger, Klaus; Isabella, Olindo; Smets, Arno H.M.; van Swaaij, René A.C.M.M. & Zeman, Miro. (2014). *Solar energy. Fundamentals, technology and systems*. Delft University of Technology. Netherland.
- Ladino Peralta, Rafael Eduardo. (2011). *La energía solar fotovoltaica como factor de desarrollo en zonas rurales de Colombia*. Tesis para optar la Maestría en Desarrollo Rural. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2015). *Plan Nacional de Electrificación Rural Periodo 2016 – 2025*. Dirección General de Electrificación Rural. Perú.
- Sánchez, Teodoro; Escobar, Rafael; Ramírez, Saúl; Canedo, Walter; Gamarra, Alva y Guzmán, Yandira. (2009). *Energía solar fotovoltaica. Una opción para la electrificación rural*. Lima: Soluciones Prácticas. 20 pp.
- Tamayo, Jesús; Salvador, Julio; Vásquez, Arturo y Vilches, Carlo (Editores). (2016). *La industria de la electricidad en el Perú: 25 años de aportes al crecimiento económico del país*. Osinergmin. Lima, Perú.
- Verdugo Alonso, Miguel Ángel; Arias Martínez, Benito; Gómez Sánchez, Laura E. y Schalock, Robert L. (2009). *Escala GENCAT: Manual de aplicación de la Escala GENCAT de Calidad de Vida*. Barcelona.