

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA
DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**RENDIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE 100 Wp,
CHACHAPOYAS, AMAZONAS 2017.**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

HENRY CARRASCO GUEVARA

ASESOR:

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

CHACHAPOYAS, AMAZONAS - 2017

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA
DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**RENDIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE 100 Wp,
CHACHAPOYAS, AMAZONAS 2017.**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

HENRY CARRASCO GUEVARA

ASESOR:

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

CHACHAPOYAS, AMAZONAS - 2017

DEDICATORIA

A Dios por su bendición y gracia otorgada para que este esfuerzo sea posible.

A dos seres que me llenan de orgullo, los amo y no hay manera de devolverles tanto que me han dado desde muy niño, ustedes padres, que me apoyaron para que esta meta sea su meta. Esta investigación es un logro para verlos orgullosos y felices, todo esto gracias a ustedes por enseñarme a ser emprendedor, responsable y perseverante; no sé dónde me encontraría de no ser por sus consejos, su compañía y su amor.

Henry

AGRADECIMIENTO

A Dios por guiar mis pasos en el camino correcto y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de esta etapa de mi vida.

Al Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón, por su valiosa orientación, conocimientos, disponibilidad de tiempo y profesionalismo para el asesoramiento de esta investigación.

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 Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (UNTRM), por el apoyo logístico y haber brindado los recursos económicos para la adquisición de parte de los materiales para la instalación del sistema fotovoltaico empleado en la presente investigación.

A la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNTRM, por poner a disposición de la presente investigación los sistemas fotovoltaicos de 100 Wp para ser evaluados en condiciones reales de uso.

A las familias donde fue instalado el sistema fotovoltaico en el Barrio de Santa Rosa y en el Pueblo Joven 16 de Octubre, señora Adita Bacalla Salón y al señor Agustín Velaysosa Ocampo, respectivamente; por el apoyo brindado para realizar la presente investigación y su compromiso para cuidar los equipos.

A los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNTRM-A, por los conocimientos brindados para lograr mi formación profesional.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

RECTOR

Dr. OSCAR ANDRES GAMARRA TORRES

VICERRECTOR ACADEMICO

Dra. MARÍA NELLY LUJAN ESPINOZA

VICERRECTORA DE INVESTIGACION

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS

El Docente de la UNTRM-A que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada “**RENDIMIENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE 100 Wp, CHACHAPOYAS, AMAZONAS 2017.**” Del Tesista de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNTRM-A:

- **HENRY CARRASCO GUEVARA**

El Docente de la UNTRM-A que suscribe, da el Visto Bueno al informe Final de la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones para su posterior sustentación.

Chachapoyas, 27 de noviembre de 2017

Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLON

Profesor Principal DE UNTRM-Amazonas

JURADO EVALUADOR

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Presidente

Dr. JUAN MANUEL GARAY ROMAN

Secretario

Lic. JOSE LUIS QUISPE OSORIO

Vocal

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|-------------------------------------|-------------|
| DEDICATORIA | i |
| AGRADECIMIENTO | ii |
| AUTORIDADES UNIVERSITARIAS | iii |
| VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS | iv |
| JURADO EVALUADOR | v |
| INDICE GENERAL | vi |
| INDICE DE TABLAS | vii |
| INDICE DE FIGURAS | viii |
| RESUMEN | xi |
| ABSTRACT | xii |
| I. INTRODUCCION | 1 |
| II. MATERIAL Y MÉTODOS | 8 |
| 2.1. Beneficiarios | 8 |
| 2.2. Sistema Fotovoltaico de 100 Wp | 9 |
| III. RESULTADOS | 15 |
| IV. DISCUSIÓN | 25 |
| V. CONCLUSIONES | 28 |
| VI. RECOMENDACIONES | 29 |
| VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 30 |
| ANEXOS | 33 |

INDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Tabla 1. Combinación de tres focos LED de 8 W y carga de batería de teléfono celular, durante el día nublado. | 34 |
| Tabla 2. Combinación de dos focos LED de 8 W y carga de batería de teléfono celular, durante día nublado | 35 |
| Tabla 3. Combinación de dos focos LED de 8 W y radio de 18 W, durante día combinado. | 36 |
| Tabla 4. Combinación de dos focos LED de 8 W y televisor de 70 W, durante día combinado | 37 |
| Tabla 5. Combinación de un foco LED de 8 W y televisor de 70 W, durante día soleado. | 38 |
| Tabla 6. Combinación de un foco LED de 8 W, radio de 18 W y televisor de 70 W, durante día soleado. | 39 |
| Tabla 7. Combinación de dos focos LED de 8 W y carga de batería de teléfono celular, en la noche. | 40 |
| Tabla 8. Combinación de dos focos LED de 8 W y radio de 18 W, en la noche. | 40 |
| Tabla 9. Combinación de dos focos LED de 8 W y televisor de 70 W, en la noche. | 41 |

INDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|-------------|
| Figura 1. Ficha técnica, superficie de captación y caja de conexión con cables (terminal rojo: positivo; terminal negro: negativo) del panel fotovoltaico de 100 Wp | 9 |
| Figura 2. Regulador de carga del sistema fotovoltaico | 10 |
| Figura 3. Batería e inversor para el sistema fotovoltaico | 10 |
| Figura 4. Construcción de la torre para el panel fotovoltaico | 11 |
| Figura 5. Montaje del panel fotovoltaico | 11 |
| Figura 6. Conexión de la batería al regulador de carga del sistema fotovoltaico, donde se lee que el voltaje de la batería es de 12,4 V | 12 |
| Figura 7: Conexión del panel fotovoltaico al regulador de carga del sistema fotovoltaico. | 12 |
| Figura 8: Conexión del inversor al regulador de carga del sistema fotovoltaico. | 13 |
| Figura 9. Batería, panel fotovoltaico e inversor conectados al regulador de carga del sistema fotovoltaico, que muestra en su pantalla que el voltaje de la batería está en 12,8 V y la carga de la batería está en 42% | 13 |
| Figura 10. Foco de LED de 8 W, televisor a colores de 14" y 70 W y radio grabadora de 18 W. | 14 |
| Figura 11. Día soleado, combinado y nublado en Chachapoyas. | 15 |

| | |
|--|----|
| Figura 12. Radiación solar y porcentaje de carga de la batería | 16 |
| versus tiempo, para tres focos LED de 8 W y carga de batería | |
| de teléfono celular, en día combinado. | |
| Figura 13. Radiación solar y porcentaje de carga de la batería | 16 |
| versus tiempo, para dos focos LED de 8 W y carga de batería | |
| de teléfono celular, en día soleado. | |
| Figura 14. Radiación solar y porcentaje de carga de la batería versus | 17 |
| tiempo, para dos focos LED de 8 W y radio de 18 W, en día soleado. | |
| Figura 15. Radiación solar y porcentaje de carga de la batería versus | 18 |
| tiempo, para dos focos LED de 8 W y televisor 70 W, en día nublado. | |
| de teléfono celular, en día combinado. | |
| Figura 16. Radiación solar y porcentaje de carga versus tiempo en | 18 |
| combinación de un foco LED de 8 W y televisor de 70 W, en día soleado. | |
| Figura 17. Radiación solar y porcentaje de carga versus tiempo, | 19 |
| para la combinación de un foco LED de 8 W, radio de 18 W | |
| y televisor de 70 W, (96 W), en día combinado. | |
| Figura 18. Combinación de dos focos LED de 8 W y carga de | 20 |
| batería de teléfono celular, en la noche. | |
| Figura 19. Combinación de dos focos LED de 8 W y radio | 20 |
| de 18 W, en la noche. | |

| | |
|--|----|
| Figura 20. Combinación de dos focos LED de 8 W y televisor de 70 W, en la noche. | 21 |
| Figura 21. Antes y después de encender el foco para iluminación de la cocina y de un dormitorio. | 22 |
| Figura 22. Carga de la batería de un teléfono celular y funcionamiento del televisor a color de 14" y 70 W. | 23 |

RESUMEN

Se instaló un sistema fotovoltaico (SFV) para abastecer con energía eléctrica en 220 V, para iluminación y equipos de entretenimiento a dos viviendas que no tienen energía eléctrica en Chachapoyas, Amazonas, Perú. Cada SFV está constituido por panel fotovoltaico de 100 W_p, regulador de carga, batería de 100 Amph, inversor de carga de 300 W. Con los datos de radiación solar y porcentaje de carga de la batería, se 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. Se propone que la energía eléctrica generada se emplee en iluminación para que los integrantes de la familia realicen sus tareas escolares y estudien. Se determinó que con el ahorro por no tener que comprar pilas para la radio ni velas para iluminar los ambientes de la vivienda, los usuarios pueden financiar en cinco años un sistema como el evaluado que contribuye a mejorar la calidad de vida de la familia.

Palabras claves: Energías renovables, iluminación con energía solar.

ABSTRACT

A photovoltaic system (PVS) was installed to supply them with electrical energy in 220 V, for lighting and entertainment equipment in two homes that do not have electricity in Chachapoyas, Amazonas, Peru. It consists of 100 Wp photovoltaic panel, load regulator, 100 Amph battery, 300 W load inverter. With the solar radiation data and battery charge percentage, it was determined that with the PVS three LEDs of 8 W, simultaneously with the charge of the battery of a cell phone or an 18 W radio for 4 hours; An 8W LED light bulb with a 70W television set is also used. It is proposed that the electric power generated be used in lighting so that the members of the family can perform their school tasks and study. It was determined that with the savings by not having to buy batteries for the radio or candles to illuminate the environments of the house, the users can finance in five years a system like the evaluated one that contributes to improve the quality of life of the family.

Keywords: Renewable energy, solar energy lighting.

I. INTRODUCCIÓN

Chachapoyas, uno de los veintidós distritos de la provincia de Chachapoyas, Región Amazonas, en el nor oriente del Perú; tiene una población estimada de 23 939 habitantes. La energía eléctrica es generada en la Central Hidroeléctrica Caclic y suministrada por la empresa Electro Oriente S.A. La demanda eléctrica de Chachapoyas se incrementó por tener que atender la electrificación rural, lo que ha superado la potencia máxima efectiva de la hidroeléctrica. El déficit es cubierto con la Central Térmica de Emergencia Chachapoyas. Según Electro Norte S.A. empresa que hizo transferencia del sistema eléctrico de la ciudad de Chachapoyas a Electro Oriente, en agosto del 2011 se contaba con 5 705 clientes. Considerando la proyección de la población de 26 219 habitantes y un promedio de 4 personas por vivienda (según la empresa EMUSAP), la cobertura de energía eléctrica solo alcanza el 87,04% de la población del distrito (MPCH, 2011).

Para el año 2015, con base en la población rural 2007, se estimó que la poblacional rural en el Perú sería de 7 257 989 habitantes, los cuales por vivir en zonas alejadas de las ciudades no cuentan con todos los servicios básicos como agua potable, desagüe, centros de salud y electrificación rural, existiendo además una inadecuada educación y calidad de vida para esta población por la falta de los servicios mencionados (Benavides, 2009); aproximadamente la población rural es de un tercio de la población del país (MINAGRI, 2012), siendo Amazonas una de las regiones con más población rural y tiene una densidad poblacional de 10,8 hab/km² (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2015).

En el año 2007, mediante el DS N° 026-2007-EM, se creó la Dirección General de Electrificación Rural del Ministerio de Energía y Minas (DGER-MEM), y mediante el DS N° 031-2007-EM, se estableció su función de ejecución del Plan Nacional de Electrificación Rural, dentro de los lineamientos de política del sector energía y minas. Para la ejecución del programa de electrificación rural, la DGER utiliza diversas tecnologías sobre la base de una selección de fuentes de energía. La primera alternativa es la extensión de redes del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN) y/o la de los sistemas aislados, luego los sistemas fotovoltaicos (SF) de uso doméstico o comunal, la energía hidráulica mediante la construcción de pequeñas centrales hidroeléctricas y, por último, la energía eólica, cuya aplicación se viene evaluando para fines de electrificación rural, en zonas que, de preferencia, se ubican en los valles intermedios y en las cercanías del litoral de la costa. La normativa promueve el uso intensivo de la

electricidad en áreas rurales del país, en actividades productivas, negocios rurales, difundiendo los beneficios de la energía eléctrica, para contribuir a incrementar la productividad y mejorar las condiciones de vida en las comunidades rurales, y no ser como hasta hace poco, una electrificación rural que sustituía solo a las velas (iluminación), mas no generaba reales oportunidades de mejora y progreso. Otro beneficio de incrementar la demanda eléctrica en la zona es que este aumento redundaría en la tarifa (a mayor demanda menor tarifa), generándose un círculo virtuoso (Tamayo *et al.*, 2016).

La imposibilidad técnica y/o económica de conectarse a los grandes sistemas eléctricos, prioriza el uso de energía solar como la segunda alternativa tecnológica para la electrificación rural implementando sistemas fotovoltaicos de uso doméstico o comunal, en áreas con potencial solar como la sierra y selva. En el Perú, en años recientes, se han desarrollado proyectos fotovoltaicos, para atender necesidades básicas de energía en zonas aisladas, rurales y de frontera, instalando paneles solares para dotar de energía eléctrica a viviendas, locales comunales e instituciones públicas (MINEM, 2015).

La deficiencia de energía eléctrica se ve por lo general en zonas rurales donde el coeficiente de electrificación rural alcanza el 70,2 % de la población en nuestro país (Dirección General de Energía, 2014). Por ello, el cubrir con la demanda de energía y de servicios conexos, con miras al desarrollo social y económico y a la mejora del bienestar y la salud de las personas aparece hoy en día como una solución para las viviendas que aún no cuentan con el servicio de energía eléctrica por falta de gestión de sus gobiernos o vivir en zonas rurales (IPCC, 2011).

Existe especial interés en la energía solar, por encontrarse disponible en mayor o menor medida en cualquier parte del mundo y porque su aprovechamiento permite un crecimiento económico sustentable que no se encuentra atado a la volatilidad del precio de los combustibles fósiles y a la contaminación ambiental que generan estos combustibles (Beltrán-Telles *et al.*, 2017). Siendo la energía solar la principal fuente natural de energía intermitente en el mundo, debido a que es renovable, genera desde fracciones de W hasta cientos de MW, es almacenable, participa en la generación de hidrógeno combustible, posee costos menores de operación y mantenimiento y es una energía amigable con el medio ambiente (Castillo, Villada y Valencia, 2014).

Los combustibles fósiles o nucleares no son renovables, porque sus fuentes no son “rellenadas” por la naturaleza en una cantidad de tiempo aprovechable dentro del tiempo de vida del hombre. A diferencia de ello, las fuentes de energía renovable son “rellenadas” por procesos naturales a una velocidad comparable o tan rápido como su velocidad de consumo por el hombre (Jäger *et al.*, 2014).

La energía renovable se produce de manera natural, repetitiva y persistente en cualquier lugar de la tierra. La energía solar persiste y se repite día a día, varía de un lugar a otro, de una estación a otra y en función al clima local y la presencia de nubes. Energía renovable es la radiación solar, el viento, la biomasa, agua de los ríos, las mareas y calor geotérmico (Twidell y Weir, 2015). El Perú tiene gran potencial de energías renovables, cuyo aprovechamiento reducirá el empleo de combustibles fósiles y la emisión de gases de efecto invernadero causantes del cambio climático. Las tecnologías para su aplicación están disponibles y mejorarán la calidad de vida de sus usuarios y la salud del planeta.

Dependiendo de su forma de aprovechamiento, las energías renovables generan impactos ambientales significativamente inferiores en comparación a las energías fósiles, debido a que comprenden tecnologías de baja emisión de carbono. Por ello, se les llama también energías limpias. Además de su potencial para mitigar las emisiones de carbono, las energías renovables favorecen el acceso a la energía y contribuyen al logro de los objetivos de seguridad de suministro y sostenibilidad ambiental. La magnitud de estos beneficios depende del potencial explotable de los recursos renovables que tenga cada país, su localización geográfica y de las características de los mercados energéticos en los cuales compitan. El costo de las instalaciones convencionales fósiles se encuentra en un intervalo de 0,045 US\$/kWh a 0,14 US\$/kWh, mientras que las energías renovables, como por ejemplo la eólica y solar, tienen un costo de 0,05 US\$/kWh y 0,08 US\$/kWh, respectivamente (Tamayo *et al.*, 2016).

La energía solar contenida en la luz solar, es radiación electromagnética emitida por el Sol que puede convertirse directamente en electricidad usando paneles fotovoltaicos. Esta radiación es de tres tipos: infrarroja (42%), visible (46%) y ultravioleta (12%). A la superficie terrestre llegan mayormente la radiación visible y la infrarroja, para aplicaciones fototérmicas, fotovoltaicas, etc. (Valera, 2007).

La radiación solar que llega a la tierra es directa o difusa. La directa llega desde el Sol hasta un objeto o superficie terrestre, sin reflexiones o refracciones en su recorrido; puede reflejarse y concentrarse para su utilización, los objetos que se interponen en su trayecto producen sombra. La radiación solar difusa, se genera por las alteraciones de la radiación solar en su recorrido desde que ingresa a la atmósfera, siendo reflejada por partículas de polvo atmosférico, montañas, árboles, edificios, etc., o absorbida por las nubes; los objetos que se interponen en su recorrido no proyectan sombra y producto de las constantes reflexiones va perdiendo energía (Valera, 2007).

Un panel fotovoltaico produce electricidad en corriente continua cuya intensidad y voltaje varían con la radiación solar incidente sobre sus células y con la temperatura ambiente. Un inversor transforma la corriente continua en corriente alterna, cuyas características son las mismas de la electricidad de la red eléctrica. Los paneles fotovoltaicos se evalúan en condiciones estándar: 1000 W/m² de radiación solar y 25 °C de temperatura de las células fotovoltaicas; la máxima potencia que generan en estas condiciones se mide en Wp (Watt pico) y se denomina potencia nominal del panel (ITC, 2008).

Los paneles fotovoltaicos son fiables y silenciosos, no tienen partes móviles y duran de 20 a 30 años con eficiencias entre 15 a 20%. Se debe limpiarlos una vez por semana para evitar que la suciedad bloquee el paso de los rayos solares. No producen CO₂, la contaminación del aire y del agua durante su funcionamiento es extremadamente baja, la contaminación del aire durante su fabricación es baja, no alteran el terreno si se instalan en techos y la producción de los materiales no requiere minería de superficie (Miller, 2002). Emplean la radiación solar directa y la difusa (Jäger *et al.*, 2014).

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

- *Paneles fotovoltaicos* que convierten la energía solar en energía eléctrica. Son el corazón del sistema fotovoltaico.
- *Estructura de montaje* para fijar el o los paneles fotovoltaicos orientados al sol.
- *Almacenamiento de energía*, se hace en *baterías* para asegurar que el sistema suministre energía eléctrica en la noche o en periodos de clima no favorables. Deben tener suficiente capacidad para almacenar la energía producida durante el día.

- *Regulador de carga*, convierte el voltaje de salida del panel fotovoltaico, que puede variar en función de la radiación solar y las condiciones climáticas, a un voltaje fijo de salida para cargar baterías. El regulador desconecta los paneles fotovoltaicos cuando las baterías están totalmente cargadas, y puede desconectar el consumo para evitar que las baterías se descarguen más abajo de cierto límite.
- *Inversor*, convierte la corriente continua (CC) generada por el panel fotovoltaico, en corriente alterna (CA) para alimentar el circuito de uso.
- *Cables*, usados para conectar los componentes del sistema fotovoltaico y el circuito de uso. Deben tener el grosor suficiente para minimizar pérdidas por resistencia.

Muñoz (2005), calculó paneles y baterías para una casa rural, instalando cuatro focos de 15 W, una radiograbadora de 10 W y un televisor de 60 W. El uso total al día de cada equipo fue: focos 4 horas/día, radiograbadora 2 horas/día, televisor 4 horas/día; la energía total consumida fue de 400 Wh/día. Concluyendo la utilización de 1,04 paneles de 110 W que producen con 3,5 horas sol/día 385 Wh/día y 1,33 baterías estacionarias de 12 V 100 Amph con una reserva o respaldo de 3 días. Mencionó que la vida útil de las baterías se da en número de ciclos de carga-descarga en vez de años; y el número de ciclos tiene una relación inversa a la profundidad de descarga a la cual es sometida, que en ningún caso puede ser mayor al 80%, porque inutilizaría la batería. Recomienda, en sistemas fotovoltaicos rurales, que la batería tenga como mínimo 75% de carga, es decir una profundidad de descarga máxima de 25%.

El Intermediate Technology Development Group (ITDG, 2010), instaló un sistema híbrido eólico-fotovoltaico en el caserío Campo Alegre, distrito de Namora, provincia y Región Cajamarca; sobre los 3700 msnm. El 100% de familias utilizaban velas y pilas, el 60% kerosene y el 10% baterías. El costo del litro de kerosene era de S/ 4,00, el paquete de velas costaba S/ 2,00 a S/ 2,5; las pilas para sus linternas de mano y radios duraban una semana y el costo era de S/ 2,00 a S/ 2,50 el par; sólo dos familias empleaban baterías y tenían que enviarlas a recargar a Cajamarca con el riesgo que se pierdan o rompan, el costo de recarga era de S/ 3,00 y el de transporte S/ 2,00. El gasto promedio mensual por familia en velas, pilas y baterías era de S/ 19,78.

Los principales artefactos que poseían las familias antes de la instalación del sistema híbrido eólico-fotovoltaico en Campo Alegre eran: radios a pilas, equipos de sonido y celulares. Todas las familias tenían al menos un radio receptor para entretenimiento e

información, con un promedio de 7 horas de uso diarias. Sólo tres familias tenían televisores antiguos, que no los utilizaban por falta de energía; 4 familias tenían equipos de sonido, pero su uso no era muy frecuente ya que funcionaban con batería, el promedio de uso era de 1 a 2 horas a la semana; había 7 familias que tenían celulares que los cargaban en Namora o Cajamarca. La instalación del sistema híbrido eólico-fotovoltaico en Campo Alegre, Cajamarca; ha beneficiado a 20 familias, las que ahora en promedio poseen TV, DVD, radio, celular y tres focos para iluminar su vivienda (ITDG, 2010).

Un comunicado del gobierno de la India menciona que hay cerca de 100 países tropicales con gran potencial para la adopción de la energía solar. "La energía solar es una forma práctica y eficiente para reducir gases de efecto invernadero", indicó el comunicado. La energía solar es el centro del plan de reducción de emisiones contaminantes presentado por la India ante la ONU, por haber incrementado significativamente su uso, especialmente en zonas más vulnerables (El Comercio, 2015).

La importancia de acceder a los servicios energéticos se asocia al mejoramiento de las condiciones de educación, salud, seguridad, comunicación y actividades productivas. Por ello, el Acceso Universal a la Energía se considera una condición mínima para el desarrollo humano y un pilar importante en la lucha contra la pobreza. Perú, en el marco de la Asamblea General de las Naciones Unidas, tiene el compromiso de "garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos". En ese sentido, la meta del país es favorecer el acceso energético al último 5% de la población. Los problemas de acceso a la energía en el país se concentran en las áreas rurales debido a que son de difícil acceso, lo cual a su vez genera problemas de sostenibilidad técnica y financiera. En este contexto, las energías renovables se presentan como una opción económicamente competitiva y técnicamente fiable para favorecer el acceso a la energía por las siguientes razones: reducen la dependencia energética, son fuente autóctona y promueven el desarrollo local. El Plan Nacional de Electrificación Rural (PNER) 2016-2025, en concordancia con el Plan de Acceso Universal a la Energía 2013-2022, establece una política para el sector con el fin de aumentar la tasa de electrificación rural. A 2015, la tasa de electrificación nacional fue 93%, mientras que la de electrificación rural fue 71,4%. El Poder Ejecutivo, en el Proyecto de Ley N° 173/2016-PE, tiene como meta lograr una cobertura de 93% de electrificación rural a 2017 vía sistemas fotovoltaicos (Tamayo *et al.*, 2016).

La energía solar convertida con sistemas fotovoltaicos en energía eléctrica, evita la emisión promedio a la atmósfera de más de 100 kg de dióxido de carbono (CO₂) y ahorra unos 400 litros de agua cada mes por cada instalación fotovoltaica de 1 kW, a diferencia del uso de combustibles fósiles que lamentablemente no tiene en cuenta los daños ambientales, entre ellos: el precio que tiene lo que la naturaleza acumuló con bajísima eficiencia durante millones de años; el costo de recuperación del ecosistema alterado y la atención a enfermos por la contaminación. La energía solar FV no produce emanaciones nocivas durante los años de funcionamiento, en tanto los residuos contaminantes durante su fabricación se someten a controles; pero, aun no teniendo en consideración los costos ambientales, actualmente la energía fotovoltaica compite económicamente en costos con los combustibles fósiles (Novygrad, 2014).

En Chachapoyas, 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 y otros han optado por piratear energía eléctrica con tendidos debajo del suelo. En la presente investigación se evaluó sistemas fotovoltaicos de 100 Wp, y se demostró que pueden suministrar energía eléctrica para atender la demanda mínima de una vivienda, priorizando la iluminación; constituyéndose en una propuesta amigable con el medio ambiente que además mejora la calidad de vida de sus usuarios.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

Beneficiarios

Se seleccionó dos familias para ser beneficiadas con la instalación de un sistema fotovoltaico de 100 Wp, en la ciudad de Chachapoyas, teniendo como prioridad de no tengan instalado el servicio de energía eléctrica de la red de abastecimiento de Electro Oriente y que tengan hijos en edad escolar o estudien en un Instituto o en la Universidad.

La primera familia tiene como responsable a la Sra. Aditha Bacalla Salón, identificada con DNI N° 33430897, con teléfono celular N° 941946894, domiciliada en el Jr. Las Orquídeas, Lote 61 del Barrio Santa Rosa del Asentamiento Humano Pedro Castro Alva, de la ciudad de Chachapoyas; manifestó que en todo su barrio no se cuenta con energía eléctrica de la red de abastecimiento de Electro Oriente, por lo que se alumbran con velas o lámparas a pilas lo cual, además de ser un riesgo, dificulta que sus menores hijos realicen sus tareas escolares y estudien. La vivienda es de adobe con techo de calamina, piso de tierra y consta de tres ambientes: dos dormitorios y una cocina. Viven con ella sus siete hijos:

- Dos menores de 3 años.
- Un menor en educación inicial.
- Un menor en educación secundaria.
- Dos menores en preuniversitario.
- Una hija que estudia Enfermería en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM).

La segunda familia tiene como responsable al Sr. Agustín Velaysosa Ocampo, identificado con DNI N° 33804450, con teléfono celular N° 971922486, domiciliado en el Jr. San Francisco de Asís, Manzana 86, Lote 09 del Pueblo Joven 16 de Octubre, de la ciudad de Chachapoyas; manifestó que en todo este Pueblo Joven no se cuenta con energía eléctrica de la red de abastecimiento de Electro Oriente, por lo que tienen que alumbrarse con velas o lámparas a pilas lo cual, además de ser un riesgo, dificulta que sus menores hijos realicen sus tareas escolares y estudien. Su vivienda es de adobe con techo de calamina, piso de tierra y consta de cuatro ambientes: tres dormitorios y una cocina. En su casa viven con él cinco personas:

- Esposa
- Dos hijos trabajadores independientes.
- Un hijo menor en educación inicial.
- Un hijo menor en preuniversitario.

Sistema fotovoltaico de 100 Wp

Se emplearon dos sistemas fotovoltaicos de 100 Wp independientes de la red, constituidos cada uno por:

- Un panel fotovoltaico de 100 Wp, cuyas medidas son: 1 m de largo x 0,67 m de ancho x 0,03 m de espesor.



Figura 1. Ficha técnica, superficie de captación y caja de conexión con cables (terminal rojo: positivo; terminal negro: negativo) del panel fotovoltaico de 100 Wp.

- Un regulador de carga de 10 Amp.



Figura 2. Regulador de carga del sistema fotovoltaico.

- Una batería de 100 Amph con gelificante por lo que no requiere mantenimiento.
- Un inversor de 300 W.



Figura 3. Batería e inversor para el sistema fotovoltaico.

Además, 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 hacer funcionar una radio de 18 W o un televisor a colores de 14" de 70 W. Para el ensamble del sistema fotovoltaico y la instalación del circuito eléctrico, se emplearon herramientas cuyos mangos tienen aislante eléctrico apropiado para evitar un shock eléctrico al operador.

Para instalar el panel fotovoltaico se construyó una torre de 0,90 m x 0,70 m y de 3 m de altura hecha con listones de madera de 3"x3", que se ubicó en la dirección norte-sur en el patio posterior de la vivienda. El panel fotovoltaico se fijó en el tope de la torre con el lado sur levantado 30° para compensar la curvatura terrestre y maximizar la captación de la radiación solar (Figura 4 y 5). Se empleó cable 10 AWG rojo y negro para conectar el panel fotovoltaico con el regulador de carga.



Figura 4. Construcción de la torre para el panel fotovoltaico.



Figura 5. Montaje del panel fotovoltaico.

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 acuerdo a su polaridad: rojo es positivo y negro negativo. En la pantalla del regulador se encendió el símbolo de la batería.



Figura 6. Conexión de la batería al regulador de carga del sistema fotovoltaico, donde se lee que el voltaje de la batería es de 12,4 V

- b) Enseguida 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: rojo es positivo y negro negativo. En la pantalla del regulador de carga se encendió el símbolo del panel solar.



Figura 7. Conexión del panel fotovoltaico al regulador de carga del sistema fotovoltaico.

- c) Luego 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: rojo es positivo y negro negativo. En la pantalla del regulador de carga apareció el símbolo de un foco.

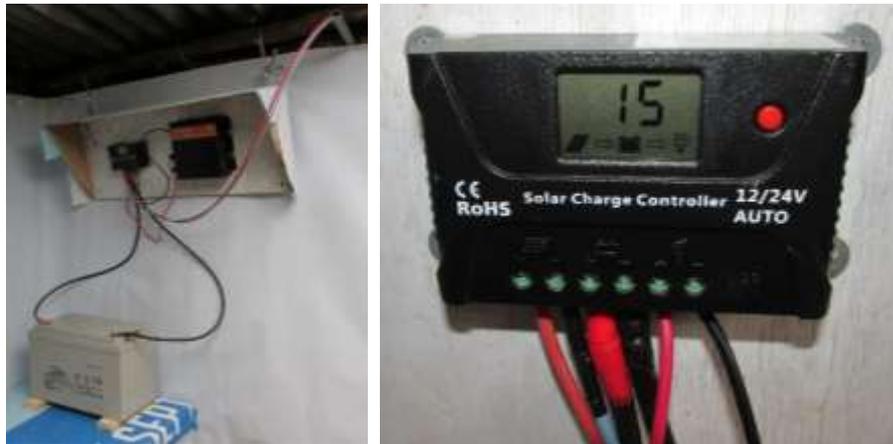


Figura 8. Conexión del inversor al regulador de carga del sistema fotovoltaico.

- d) El sistema fotovoltaico quedó listo para cargar la batería y suministrar energía eléctrica alterna de 220 V a la vivienda.



Figura 9. Batería, panel fotovoltaico e inversor conectados al regulador de carga del sistema fotovoltaico, que muestra en su pantalla que el voltaje de la batería está en 12,8 V y la carga de la batería está en 42%

Se evaluó el rendimiento de la batería en horas para el funcionamiento de focos LED de 8 W, televisor de 70 W, radio de 18 W o para cargar la batería de un teléfono celular; para hacer las sugerencias de uso en conjunto y en las siguientes combinaciones:

- 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 una radio de 18 W.
- Dos focos LED de 8 W y un televisor de 70 W.
- Un foco LED de 8 W y un televisor de 70 W.
- Un foco LED de 8 W, una radio de 18 W y un televisor de 70 W.



Figura 10. Foco LED de 8 W, televisor a colores de 14" y 70 W y radio grabadora de

18 W.

III. RESULTADOS

En Chachapoyas, para la presente investigación se estableció 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.



Figura 11. Día soleado, combinado y nublado en Chachapoyas.

Las evaluaciones de los sistemas fotovoltaicos se hicieron de día (Figura 12 a la 17), para determinar el porcentaje de carga de la batería en función de la radiación solar, teniendo una carga de consumo por equipos eléctricos; luego, de noche (Figura 18 a la 20) para determinar las horas de funcionamiento con cada combinación de equipos eléctricos.

En las Figuras 12 a la 17 se aprecia que el porcentaje de carga de la batería tiene una tendencia similar a la de la radiación solar. A pesar que el sistema tiene una carga de consumo, el panel fotovoltaico puede reponerla, más aún en día soleado (Figura 16 y 17), donde la carga de la batería está sobre el 80% sin ser afectada por el consumo de dos focos LED de 8 W y una radio de 18 W, o un foco de 8 W y un televisor de 70 W.

En día nublado, el consumo de dos focos LED de 8 W cada uno y un televisor de 70 W en simultáneo, descargan la batería del sistema fotovoltaico 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 12).

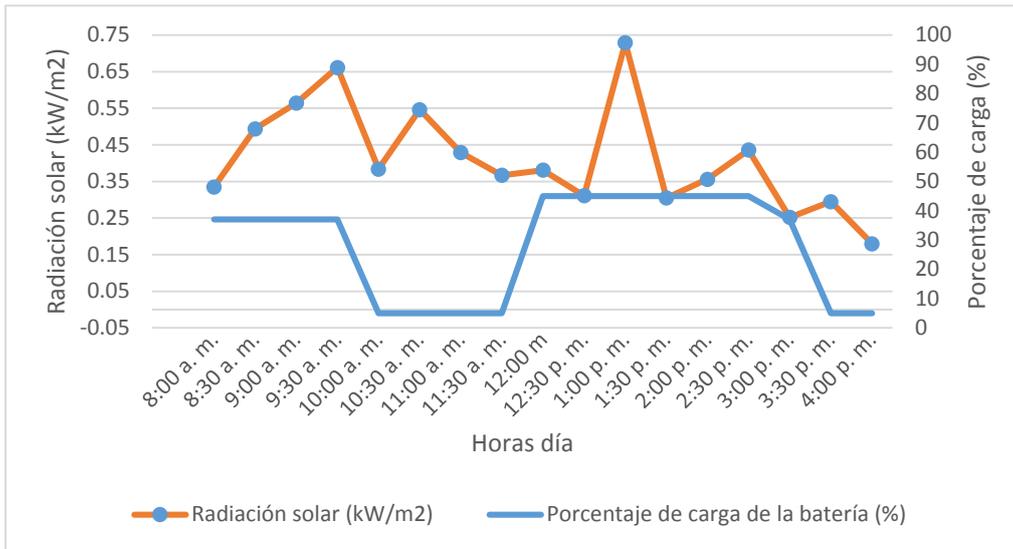


Figura 12. Radiación solar y porcentaje de carga de la batería versus horas día, para dos focos LED de 8 W y televisor 70 W, en día nublado (Anexo, Tabla 1).

En día nublado con una carga de 96 W, casi toda la potencia generada por el sistema de 100 Wp con una irradiancia de 1000 W/m², la carga de la batería estará en promedio en 15% con tendencia a agotarse (Figura 13).

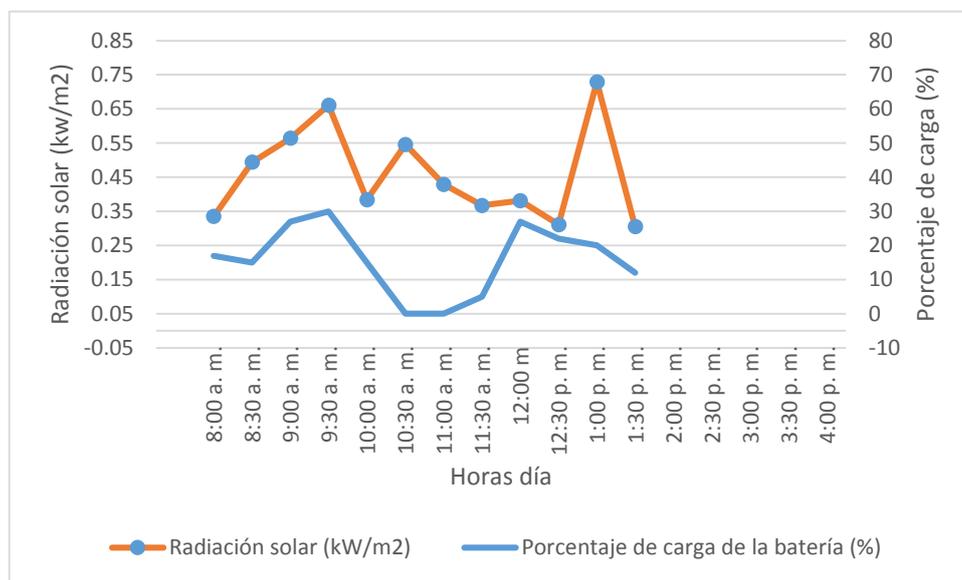


Figura 13. Radiación solar y porcentaje de carga versus horas día, para la combinación de un foco LED de 8 W, radio de 18 W y televisor de 70 W, (96 W), en día nublado (Anexo, Tabla 2).

En día combinado, el consumo de tres focos LED de 8 W cada uno y la carga en simultáneo de la batería de un teléfono celular, descargan la batería del sistema fotovoltaico cuando la radiación solar es menor a 600 W/m^2 (Figura 14); sin embargo, con valores mayores a éste se puede recargar la batería del sistema, con 600 W/m^2 llega a 15% de carga y con 800 W/m^2 alcanza el 25%.

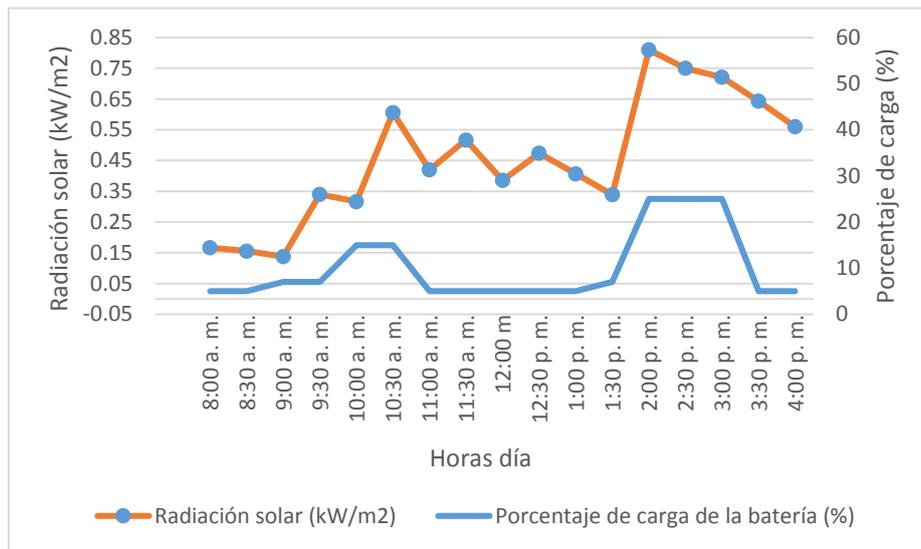


Figura 14. Radiación solar y porcentaje de carga de la batería versus horas día, para tres focos LED de 8 W y carga de batería de teléfono celular, en día combinado (Anexo, Tabla 3).

En día combinado, el consumo de dos focos LED de 8 W cada uno y la carga en simultáneo de la batería de un teléfono celular, descargan la batería del sistema fotovoltaico cuando la radiación solar es menor a 500 W/m^2 ; sin embargo, con valores mayores a éste se puede recargar esta batería (Figura 15), con 500 W/m^2 llega a 30% de carga y con 500 a 1000 W/m^2 puede llegar hasta el 60%.

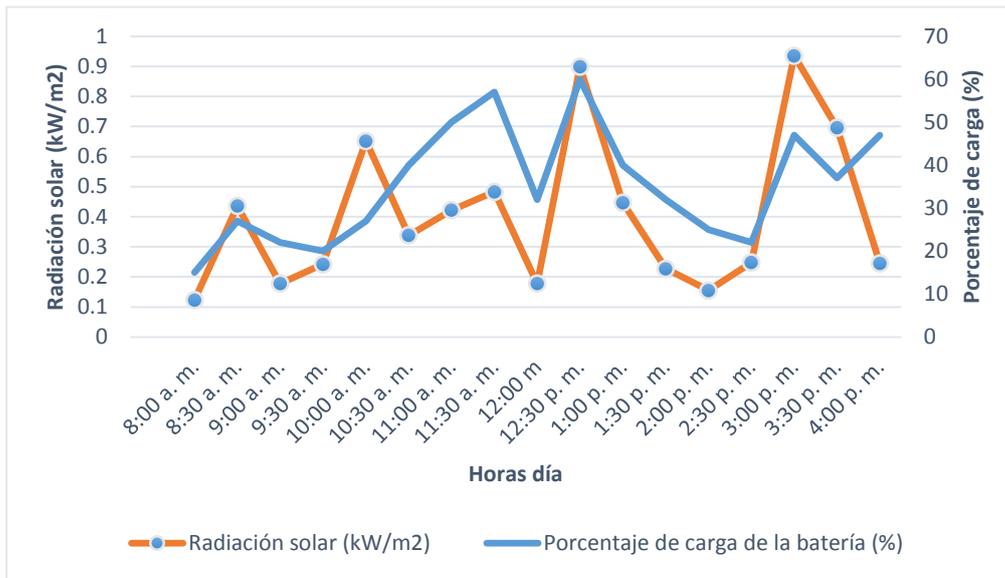


Figura 15. Radiación solar y porcentaje de carga de la batería versus horas día, para dos focos LED de 8 W y carga de batería de teléfono celular, en día combinado (Anexo, Tabla 4).

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 sistema fotovoltaico cuando la radiación solar es menor a 500 W/m²; sin embargo, con valores entre 500 a 900 W/m², la carga de la batería se mantiene sobre el 80% (Figura 16).

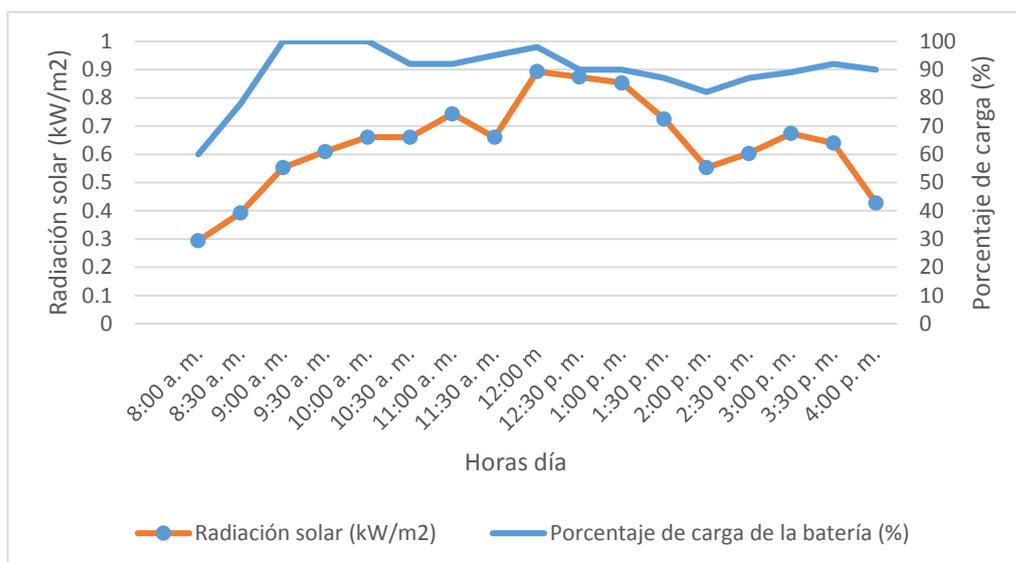


Figura 16. Radiación solar y porcentaje de carga de la batería versus horas día, para dos focos LED de 8 W y radio de 18 W, en día soleado (Anexo, Tabla 5).

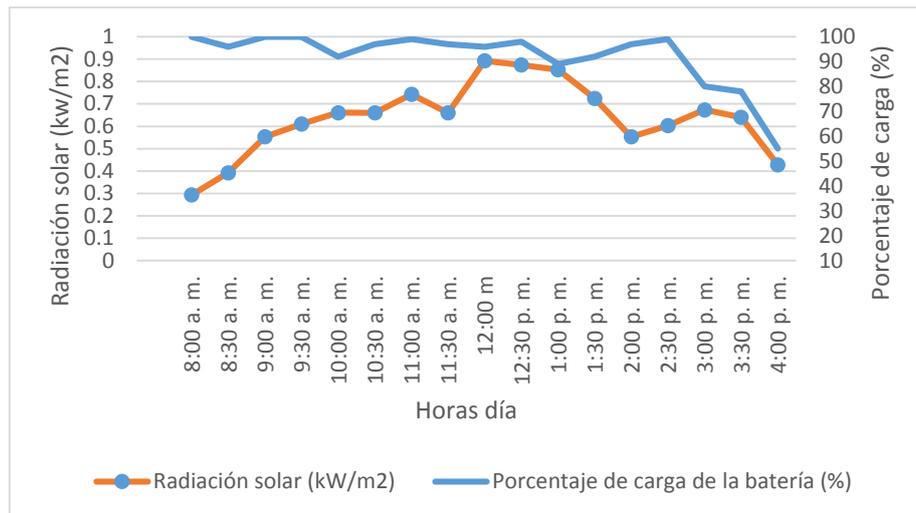


Figura 17. Radiación solar y porcentaje de carga versus horas día en combinación de un foco LED de 8 W y televisor de 70 W, en día soleado (Anexo, Tabla 6).

En día soleado, se puede usar un foco LED de 8 W junto con el televisor de 70 W sin que se descargue significativamente la batería, 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 horas de la noche (Figura 17).

Las evaluaciones del rendimiento del sistema fotovoltaico en la noche se realizaron durante cuatro horas, 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 LED de 8 W en simultáneo con la carga de la batería de un teléfono celular, desde las 6:00 hasta las 10:00 pm, se apreció que la carga de la batería del sistema fotovoltaico bajó hasta el 76% (Figura 18), quedando aún carga suficiente para iluminación en caso lo requiera la familia.

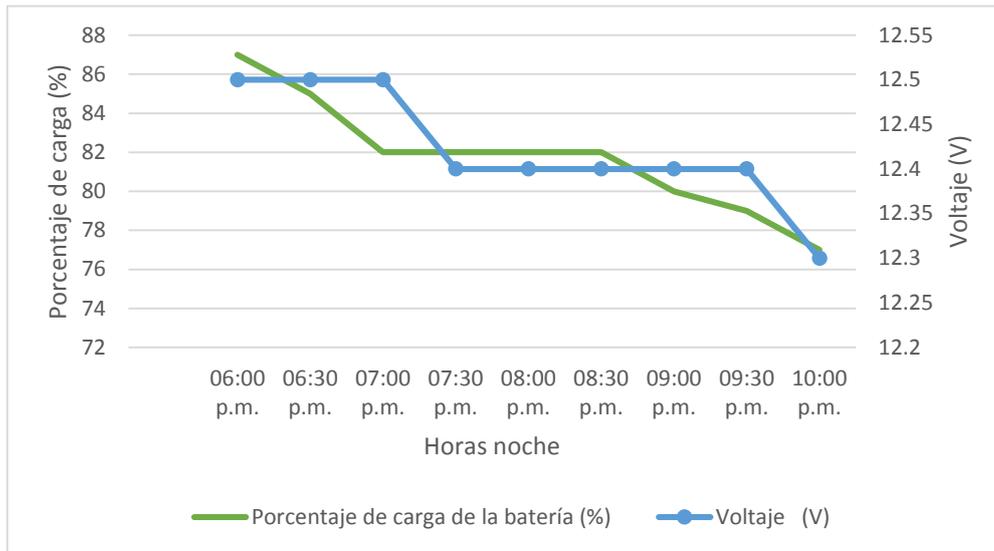


Figura 18. Combinación de dos focos LED de 8 W y carga de batería de teléfono celular, en la noche (Anexo, Tabla 7).

Con la batería cargada al 85%, el consumo de dos focos LED de 8 W en simultáneo con el uso de una radio de 18 W, desde las 6:00 hasta las 10:00 pm, la carga de la batería del sistema fotovoltaico bajó hasta el 75% (Figura 19), quedando aún carga suficiente para que siga funcionando esta combinación.

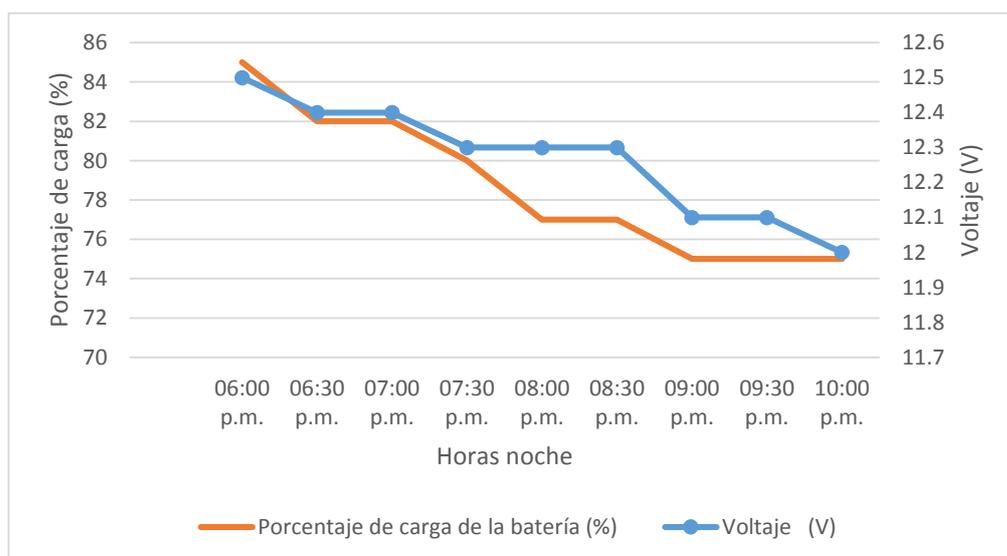


Figura 19. Combinación de dos focos LED de 8 W y radio de 18 W, en la noche (Anexo, Tabla 8).

Con la batería cargada al 80%, el consumo de dos focos LED de 8 W en simultáneo con el uso de un televisor de 70 W, un consumo en total de 86 W, desde las 6:00 hasta las 10:00 pm, se apreció que la carga de la batería del sistema fotovoltaico bajó hasta el 60% (Figura 20), quedando aún carga suficiente para más tiempo de funcionamiento de la combinación evaluada.

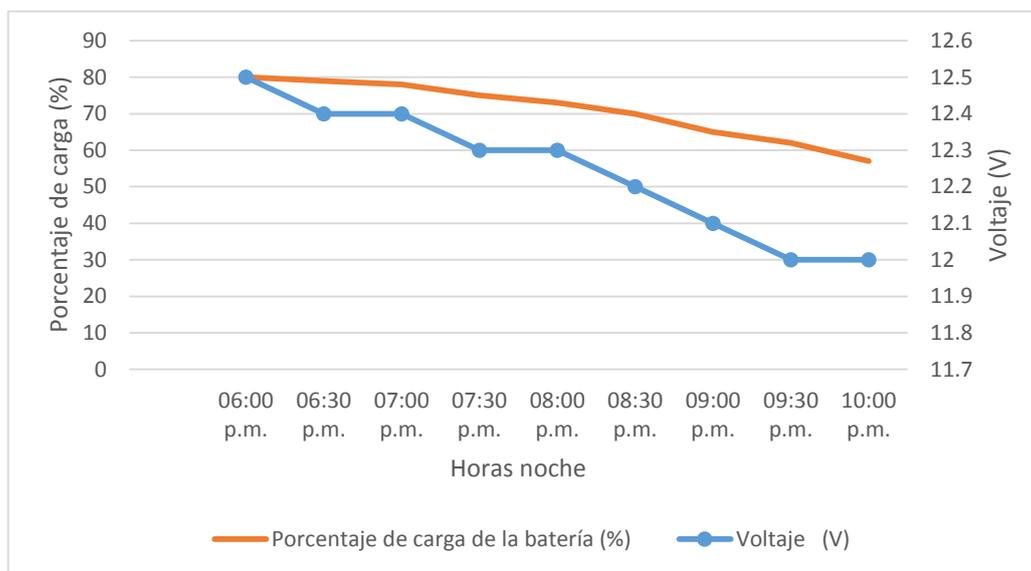


Figura 20. Combinación de dos focos LED de 8 W y televisor de 70 W, en la noche (Anexo, Tabla 9).

Con los resultados mostrados en las Figuras 18, 19 y 20, se puede asegurar que el sistema fotovoltaico de 100 Wp puede suministrar energía eléctrica suficiente para iluminación y entretenimiento de la familia usuaria, 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. 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.

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 mediante un panel fotovoltaico

es convertida en energía eléctrica, con lo que se puede satisfacer la demanda mínima de una vivienda, para contribuir a mejorar la calidad de vida e inclusión social de los usuarios.



Figura 21. Antes y después de encender el foco para iluminación de la cocina y de un dormitorio.



Figura 22. Carga de la batería de un teléfono celular y funcionamiento del televisor a color de 14" y 70 W.

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

- 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 sistema fotovoltaico el resto del día, para su 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 puede impedir el paso de los rayos solares.
- f) Sólo personal calificado realizará el mantenimiento de los componentes del sistema fotovoltaico. Otra persona no capacitada puede poner en riesgo su vida pues por una mala maniobra puede recibir una descarga eléctrica.
- g) Sólo se emplearán los equipos de iluminación o de otro tipo autorizados para no perjudicar el rendimiento del sistema fotovoltaico.

IV. DISCUSIÓN

Sánchez *et al.* (2009), recomiendan paneles fotovoltaicos de 50 a 60 Wp y manifiestan que la batería del sistema ofrece un número limitado de horas de consumo, por lo que se debe saber cuánta energía usar y por cuánto tiempo estará disponible. Determinaron que si se emplea una lámpara: 12 horas de energía. Usando tres lámparas: 4 horas de energía. Usando dos lámparas y una radio: 4 horas de energía. Usando dos lámparas y un televisor: 2,5 horas de energía. Usando una lámpara y un radio: 4 horas de energía, o una lámpara, un radio y un televisor: 2 horas de energía. En la presente investigación se han logrado mejores resultados por haber empleado un panel fotovoltaico de 100 Wp, lo que ha permitido que funcionen en la noche, durante cuatro horas seguidas, las siguientes combinaciones: dos focos de 8 W y carga de batería de teléfono celular, la carga de la batería del sistema fotovoltaico bajó de 86% a 76%; dos focos de 8 W y radio de 18 W, la carga de la batería bajó de 85% a 75%; y dos focos de 8 W con televisor de 70 W, la carga de la batería bajó de 80% a 60%.

Chávez (2012), manifiesta que el sol al ser una fuente de energía inagotable, hace posible el empleo de paneles fotovoltaicos que convierten la luz solar en energía eléctrica, lo cual es muy rentable y ecológico. Asimismo, establece que la inversión para implementar el sistema fotovoltaico se recupera en base al ahorro producido en la facturación del consumo de energía eléctrica en la vivienda. En la presente investigación, se ha determinado que la familia en promedio gastaba S/ 25,00 mensual en velas y pilas, monto que le permitiría financiar un sistema fotovoltaico para mejorar su calidad de vida.

En instalaciones aisladas de la red de distribución de energía eléctrica se debe garantizar este suministro durante todo el año. Los meses más críticos son los de invierno (menos radiación solar), por lo que se persigue la máxima captación en invierno inclinando 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 durante todo el día; y debido a que en Chachapoyas predominan los días nublados y se ubica a 6° Latitud Sur, la inclinación del panel fotovoltaico debe ser Latitud Sur (6°) + 15° = 21°; sin embargo, por facilidad de cálculo se levantó el lado sur en promedio 30°, comprobándose durante la toma de datos en días soleados que el panel fotovoltaico recibía radiación solar directa todo el día.

Las familias beneficiarias emplearon el sistema fotovoltaico preferentemente para iluminación y algunas horas para el funcionamiento de un televisor. Durante el tiempo de desarrollo de la presente investigación no se presentaron problemas de operación, siendo el mantenimiento muy simple pues solo se limpiaba la superficie del panel fotovoltaico para que no haya obstáculos para el paso de la luz solar hacia las celdas del panel. Las familias beneficiarias manifiestan que con la iluminación 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. Esto concuerda con lo mencionado por Ladino (2011), que el sistema de energía fotovoltaica es empleado en su mayoría para iluminación, refrigeración y funcionamiento de televisor; además, es de fácil conexión y no se necesita personal altamente capacitado para su operación y mantenimiento. Asimismo, destaca que este sistema de suministro eléctrico permite a los habitantes de zonas rurales mantener comunicación vía celular entre vecinos y con interlocutores a nivel nacional; en consecuencia, contribuye a mejorar la calidad de vida y favorece la inclusión social.

En ese sentido, Ladino (2011), menciona que llevar energía eléctrica a una comunidad que no cuenta con este servicio, mejora su calidad de vida porque puede contar con luz día en periodos nocturnos; los hogares con sistema fotovoltaico (SFV), tienen mayor integración familiar nocturna y posibilita la colaboración académica de padres a hijos o entre hermanos. El uso de televisión y radio son otras bondades del SFV, pues acceden a la información en tiempo real. Todo esto ha sido evidenciado también en la presente investigación, lográndose un mejor ánimo en los integrantes de las familias beneficiarias frente al de sus vecinos, que manifestaron que ellos también desean contar con un servicio similar para mejorar el bienestar de sus familiares, en especial de sus hijos en edad escolar que no tienen la 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 sistemas fotovoltaicos 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 a colores de 70 W, que hacen un consumo de 86 W, la carga de la batería se mantiene en promedio en 30%;

pero si exige más al sistema con el funcionamiento de un foco + radio + televisor, que totalizan 96 W de consumo que corresponden al 96% de la potencia máxima que puede generar el panel con una irradiancia de 1000 W/m^2 , pero por ser día nublado la radiación está en promedio en 500 W/m^2 (Figura 15 y 17) y 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 funcionamiento de dos focos junto con la carga de batería de teléfono celular, la carga de la batería del sistema se mantiene aproximadamente en 40%, mientras que si se hace funcionar tres focos y en simultáneo se carga la batería del teléfono celular, la carga de la batería del sistema fotovoltaico se mantiene en promedio en 15% (Figura 12 y 13).

En día soleado, el sistema fotovoltaico tiene el mejor rendimiento y el panel puede reponer la carga de la batería. Con dos focos y radio funcionando en simultáneo hacen un consumo de 34 W y la carga de la batería del sistema se mantiene en promedio en 90% (Figura 14). Si se usa un foco y el televisor a la vez, el consumo será de 78 W y la carga de la batería estará en promedio en 95% (Figura 16). En ambos casos desde las 8 hasta las 16 horas, quedando la batería con 90% de carga para atender la demanda de energía eléctrica en horas de la noche.

En la evaluación del rendimiento del sistema fotovoltaico 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 sistema fotovoltaico de 100 Wp instalado en las viviendas de las familias beneficiarias, pueden disponer en promedio de cuatro horas de energía eléctrica en horas de la noche preferentemente para iluminación con dos focos LED de 8 W, que emiten una luz similar a la de un foco de filamento de 60 W. Asimismo, pueden tener entretenimiento y ver el noticiero por televisión para estar al tanto de la realidad nacional. 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%, que es suficiente para que dispongan de iluminación en caso de alguna emergencia en la noche, o sus hijos deban estudiar para un examen.

V. CONCLUSIONES

- ✓ Para Chachapoyas, Región Amazonas, Perú, se ha establecido 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 una carga de consumo, el panel fotovoltaico puede reponerla, más aún en día soleado.
- ✓ En día nublado se debe priorizar para iluminación el uso de la energía eléctrica almacenada en la batería. 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 para entretenimiento de la familia.
- ✓ El sistema fotovoltaico de 100 Wp es adecuado y factible de financiar, para abastecer con energía eléctrica a una vivienda haciendo un uso racional para la iluminación de tres ambientes y entretenimiento con radio o televisor.
- ✓ El sistema fotovoltaico de 100 Wp 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 edad escolar.
- ✓ Si el día es soleado, se puede cargar la batería del teléfono celular o usar la radio o el televisor, porque habrá suficiente radiación solar para que el panel fotovoltaico reponga la carga de la batería del sistema, para su uso en la noche.

VI. RECOMENDACIONES

- Cuando se instale un sistema fotovoltaico se debe tener en cuenta que el panel fotovoltaico debe estar en la dirección norte-sur, con el lado sur levantado 30° para compensar la curvatura terrestre, con lo que se aprovechará la radiación solar durante todo el día.
- El sistema debe tener un mantenimiento semanal de sus componentes, que consiste en limpiar con un trapo suave la superficie del panel fotovoltaico para eliminar el polvo, hojas o suciedad; para que no limite el funcionamiento correcto del mismo.
- Si es un día con poca radiación solar se debe priorizar la carga de la batería y no usar la radio o el televisor en el día para que esta pueda almacenar energía y sirva para tener iluminación de la vivienda en la noche.
- En caso que de día o de noche ocurran tormentas eléctricas (rayos, relámpagos, truenos, etc.) se debe apagar el sistema para no correr el riesgo de quemar algún componente.
- Usar de manera racional la carga de la batería. Evitar el uso simultáneo de radio, televisor y carga de batería de teléfono celular; porque la batería se agotará en poco tiempo por exceso de consumo. Lo prioritario es disponer de energía eléctrica para iluminación en la noche.
- Difundir la tecnología fotovoltaica para mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en zona rural, teniendo en cuenta que un sistema fotovoltaico de 100 Wp es suficiente para abastecer con energía eléctrica a una vivienda para iluminación y entretenimiento.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Beltrán-Telles, A., Morera-Hernández, M., López-Montegudo, 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. Disponible en <http://www.scielo.org.mx/pdf/cuat/v11n2/2007-7858-cuat-11-02-00105.pdf>.

Benavides, H. (2009). Perú: Estimaciones y proyecciones de población urbana y rural por sexo y edades, 301.

Castillo, A., Villada, F. & Valencia, J. *Objetivo 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.

Dirección General de Energía. (2014). Área de Electrificación Rural. *Ministerio de Energía Y Minas*.

El Comercio. (2015). India y Francia fomentarán uso de energía solar en otros países. Miércoles 30 de noviembre de 2015. Lima.

Intermediate Technology Development Group [ITDG]. (2010). Consultoría Implementación de un (01) Sistema Híbrido Eólico-fotovoltaico, Informe Final.

Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2015). Día mundial de la población 2015. *Perú: INEI; 2015, 99, 1–56*. https://doi.org/https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1251/Libro.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.

IPCC. (2011). *Informe especial sobre fuentes de energía renovables y mitigación del cambio climático*. [https://doi.org/ISBN 978-92-9169-331-3](https://doi.org/ISBN%20978-92-9169-331-3)

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 el título de Maestría en Desarrollo Rural. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

MINAGRI. (2012). Multi-annual strategic plan of the Ministry of Agriculture 2012 - 2016. *Ministry of Agriculture and Irrigation (Ministerio de Agricultura Y Riego)*, 1–123. Retrieved from http://www.peru.gob.pe/docs/PLANES/14282/PLAN_14282_2015_PESEM.PDF

Miller, G. Tyler. (2002). *Ciencia ambiental ; preservemos la tierra*. (5ta. Edición). México: International Thomson Editores.

Ministerio de Energía y Minas [MINEM]. (2015). Plan Nacional de Electrificación Rural Periodo 2016 – 2025. Dirección General de Electrificación Rural. Perú.

Municipalidad Provincial de Chachapoyas [MPCh]. (2011). Diagnóstico Socioeconómico del Distrito de Chachapoyas. Perú.

Muñoz Anticona, Delfor F. (2005). *Aplicaciones de la energía solar para electrificación rural en zonas marginales del país*. Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico Electricista. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Novygrad, D. S. (2014). La energía FV: oportunidad y necesidad para Cuba. *PV Energy: Opportunity for Cuba and Some Related Economic Aspects.*, 151(2), 69–86. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=112731342&lang=es&site=ehost-live>

Sánchez, Teodoro; Escobar, Rafael; Ramírez, Saul; Canedo, Walter; Gamarra, Alva; Guzmán, Yandira. 2009. *Energía solar fotovoltaica. Una opción para la electrificación rural*. Lima: Soluciones Prácticas. 20 pp.

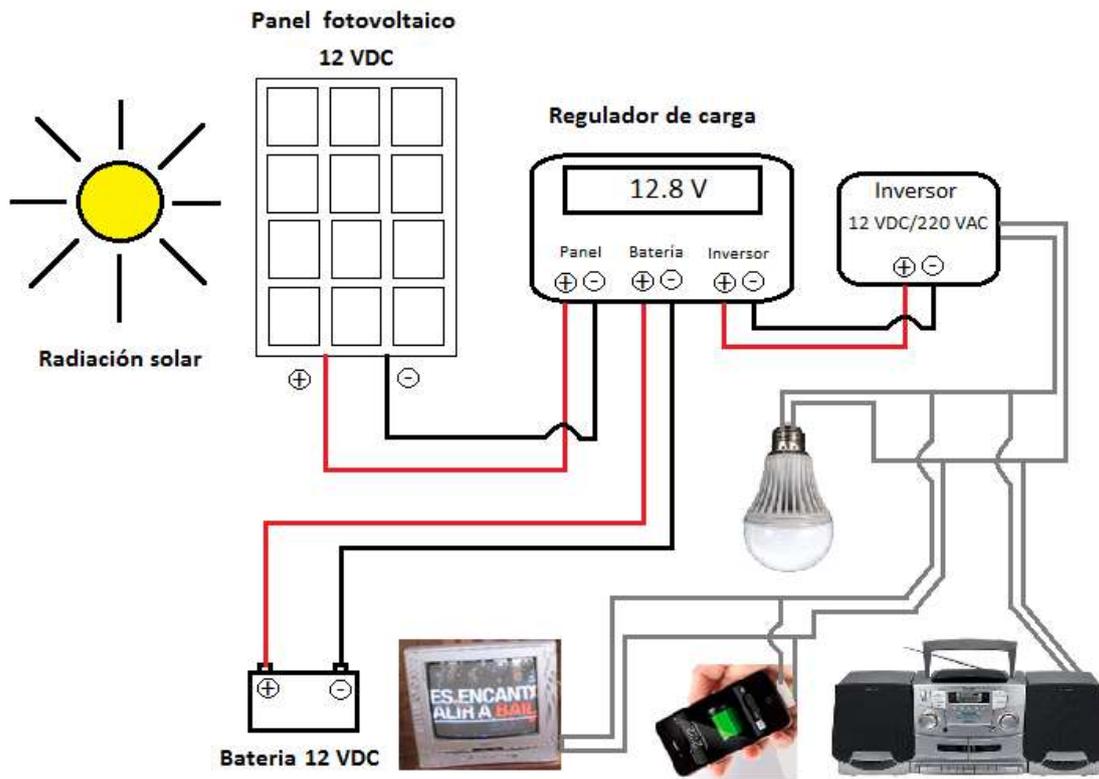
Twidell, John & Weir, Toni. (2015). *Renewable energy resources*. Third edition. Routledge, Taylor and Francis Group. London and New York.

Valera Palacios, A. (2007). *Energía solar II*. Edición a cargo de la Asamblea Nacional de Rectores. Lima – Perú.

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.

ANEXO 1

Esquema de instalación del sistema fotovoltaico de 100 Wp



ANEXO 2

Datos experimentales de la evaluación de los sistemas fotovoltaicos de 100 Wp

Tabla 1. Combinación de tres focos LED de 8 W y carga de batería de teléfono celular, durante el día nublado.

| Horas día (h) | Radiación solar (kW/m ²) | Voltaje (V) | Temperatura ambiente (°C) | Porcentaje de carga de la batería (%) |
|----------------|--------------------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 8:00 a. m. | 0.167 | 12 | 20 | 5 |
| 8:30 a. m. | 0.156 | 12 | 20 | 5 |
| 9:00 a. m. | 0.138 | 12.2 | 20 | 7 |
| 9:30 a. m. | 0.340 | 12.2 | 20 | 7 |
| 10:00 a. m. | 0.317 | 12.2 | 21 | 15 |
| 10:30 a. m. | 0.606 | 12.2 | 21 | 15 |
| 11:00 a. m. | 0.420 | 12.1 | 23 | 5 |
| 11:30 a. m. | 0.517 | 12 | 23 | 5 |
| 12:00 m | 0.386 | 12.1 | 23 | 5 |
| 12:30 p. m. | 0.474 | 12.1 | 23 | 5 |
| 1:00 p. m. | 0.407 | 12.1 | 23 | 5 |
| 1:30 p. m. | 0.339 | 12.2 | 23 | 7 |
| 2:00 p. m. | 0.810 | 12.5 | 25 | 25 |
| 2:30 p. m. | 0.750 | 12.5 | 25 | 25 |
| 3:00 p. m. | 0.721 | 12.5 | 26 | 25 |
| 3:30 p. m. | 0.643 | 12 | 26 | 5 |
| 4:00 p. m. | 0.560 | 12 | 26 | 5 |
| Fecha | | | | |
| Observaciones: | | | | |

Tabla 2. Combinación de dos focos LED de 8 W y carga de batería de teléfono celular, durante día nublado

| Horas día (h) | Radiación solar (kW/m ²) | Voltaje (V) | Temperatura ambiente (°C) | Porcentaje de carga de la batería (%) |
|----------------|--------------------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 8:00 a. m. | 0.123 | 12.3 | 22 | 15 |
| 8:30 a. m. | 0.436 | 12.5 | 22 | 27 |
| 9:00 a. m. | 0.178 | 12.5 | 22 | 22 |
| 9:30 a. m. | 0.242 | 12.5 | 23 | 20 |
| 10:00 a. m. | 0.652 | 12.5 | 24 | 27 |
| 10:30 a. m. | 0.338 | 12.7 | 26 | 40 |
| 11:00 a. m. | 0.422 | 13.1 | 26 | 50 |
| 11:30 a. m. | 0.483 | 13.1 | 27 | 57 |
| 12:00 m | 0.178 | 12.6 | 27 | 32 |
| 12:30 p. m. | 0.899 | 12.6 | 25 | 60 |
| 1:00 p. m. | 0.447 | 12.8 | 25 | 40 |
| 1:30 p. m. | 0.227 | 12.6 | 25 | 32 |
| 2:00 p. m. | 0.155 | 12.5 | 24 | 25 |
| 2:30 p. m. | 0.248 | 12.5 | 24 | 22 |
| 3:00 p. m. | 0.935 | 13.2 | 25 | 47 |
| 3:30 p. m. | 0.696 | 12.7 | 26 | 37 |
| 4:00 p. m. | 0.245 | 13.2 | 26 | 47 |
| Fecha | | | | |
| Observaciones: | | | | |

Tabla 3. Combinación de dos focos LED de 8 W y radio de 18 W,

durante día combinado

| Horas día (h) | Radiación solar (kW/m ²) | Voltaje (V) | Temperatura ambiente (°C) | Porcentaje de carga de la batería (%) |
|----------------|--------------------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 8:00 a. m. | 0.294 | 13.5 | 18 | 60 |
| 8:30 a. m. | 0.393 | 13.9 | 19 | 78 |
| 9:00 a. m. | 0.553 | 14.5 | 19 | 100 |
| 9:30 a. m. | 0.610 | 14.5 | 21 | 100 |
| 10:00 a. m. | 0.661 | 14.5 | 22 | 100 |
| 10:30 a. m. | 0.660 | 13.8 | 23 | 92 |
| 11:00 a. m. | 0.743 | 13.9 | 23 | 92 |
| 11:30 a. m. | 0.660 | 13.9 | 24 | 95 |
| 12:00 m | 0.893 | 13.8 | 25 | 98 |
| 12:30 p. m. | 0.874 | 13.8 | 26 | 90 |
| 1:00 p. m. | 0.853 | 13.8 | 26 | 90 |
| 1:30 p. m. | 0.725 | 13.8 | 27 | 87 |
| 2:00 p. m. | 0.553 | 13.8 | 27 | 82 |
| 2:30 p. m. | 0.603 | 13.8 | 27 | 87 |
| 3:00 p. m. | 0.674 | 13.7 | 27 | 89 |
| 3:30 p. m. | 0.640 | 13.9 | 27 | 92 |
| 4:00 p. m. | 0.428 | 13.8 | 26 | 90 |
| Fecha | | | | |
| Observaciones: | | | | |

Tabla 4. Combinación de dos focos LED de 8 W y televisor de 70 W,
durante día combinado

| Horas día (h) | Radiación solar (kW/m ²) | Voltaje (V) | Temperatura ambiente (°C) | Porcentaje de carga de la batería (%) |
|----------------|--------------------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 8:00 a. m. | 0.335 | 12.9 | 19 | 37 |
| 8:30 a. m. | 0.494 | 12.8 | 19 | 37 |
| 9:00 a. m. | 0.564 | 12.9 | 19 | 37 |
| 9:30 a. m. | 0.661 | 12.8 | 19 | 37 |
| 10:00 a. m. | 0.384 | 12.1 | 22 | 5 |
| 10:30 a. m. | 0.546 | 12.1 | 22 | 5 |
| 11:00 a. m. | 0.429 | 12.3 | 23 | 5 |
| 11:30 a. m. | 0.367 | 12.2 | 22 | 5 |
| 12:00 m | 0.381 | 12.8 | 24 | 45 |
| 12:30 p. m. | 0.311 | 12.8 | 24 | 45 |
| 1:00 p. m. | 0.729 | 12.9 | 25 | 45 |
| 1:30 p. m. | 0.305 | 12.9 | 24 | 45 |
| 2:00 p. m. | 0.356 | 12.8 | 24 | 45 |
| 2:30 p. m. | 0.436 | 12.8 | 24 | 45 |
| 3:00 p. m. | 0.252 | 12.2 | 23 | 37 |
| 3:30 p. m. | 0.295 | 12.1 | 22 | 5 |
| 4:00 p. m. | 0.180 | 12.1 | 22 | 5 |
| Fecha | | | | |
| Observaciones: | | | | |

Tabla 5. Combinación de un foco LED de 8 W y televisor de 70 W, durante día soleado.

| Horas día (h) | Radiación solar (kW/m ²) | Voltaje (V) | Temperatura ambiente (°C) | Porcentaje de carga de la batería (%) |
|----------------|--------------------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 8:00 a. m. | 0.335 | 12.5 | 22 | 100 |
| 8:30 a. m. | 0.393 | 12.7 | 23 | 96 |
| 9:00 a. m. | 0.410 | 13.2 | 24 | 100 |
| 9:30 a. m. | 0.411 | 13.7 | 24 | 100 |
| 10:00 a. m. | 0.410 | 13.5 | 24 | 92 |
| 10:30 a. m. | 0.610 | 14 | 25 | 97 |
| 11:00 a. m. | 0.615 | 14.3 | 25 | 99 |
| 11:30 a. m. | 0.660 | 14.7 | 26 | 97 |
| 12:00 m | 0.668 | 14.7 | 26 | 96 |
| 12:30 p. m. | 0.684 | 14.8 | 26 | 98 |
| 1:00 p. m. | 0.620 | 14.5 | 25 | 89 |
| 1:30 p. m. | 0.630 | 14.3 | 25 | 92 |
| 2:00 p. m. | 0.689 | 14.9 | 26 | 97 |
| 2:30 p. m. | 0.680 | 14.7 | 26 | 99 |
| 3:00 p. m. | 0.670 | 14.5 | 25 | 80 |
| 3:30 p. m. | 0.411 | 13.7 | 24 | 78 |
| 4:00 p. m. | 0.399 | 13.2 | 23 | 55 |
| Fecha | | | | |
| Observaciones: | | | | |

Tabla 6. Combinación de un foco LED de 8 W, radio de 18 W y televisor de 70 W, durante día soleado.

| Horas día (h) | Radiación solar (kW/m ²) | Voltaje (V) | Temperatura ambiente (°C) | Porcentaje de carga de la batería (%) |
|----------------|--------------------------------------|-------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 8:00 a. m. | 0.335 | 12.3 | 22 | 17 |
| 8:30 a. m. | 0.494 | 12.5 | 22 | 15 |
| 9:00 a. m. | 0.564 | 12.5 | 24 | 27 |
| 9:30 a. m. | 0.661 | 12.6 | 25 | 30 |
| 10:00 a. m. | 0.384 | 12.3 | 26 | 15 |
| 10:30 a. m. | 0.546 | 12 | 25 | 0 |
| 11:00 a. m. | 0.429 | 11.8 | 27 | 0 |
| 11:30 a. m. | 0.367 | 11.7 | 28 | 5 |
| 12:00 m | 0.381 | 12.7 | 27 | 27 |
| 12:30 p. m. | 0.311 | 12.5 | 27 | 22 |
| 1:00 p. m. | 0.729 | 12.4 | 25 | 20 |
| 1:30 p. m. | 0.305 | 12.3 | 26 | 12 |
| Fecha | | | | |
| Observaciones: | | | | |

Tabla 7. Combinación de dos focos LED de 8 W y carga de batería de teléfono celular, en la noche.

| Horas noche (h) | Voltaje (V) | Temperatura ambiente (°C) | Porcentaje de carga de la batería (%) |
|-----------------|-------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 6:00 p. m. | 12.5 | 24 | 87 |
| 6:30 p. m. | 12.5 | 24 | 85 |
| 7:00 p. m. | 12.5 | 23 | 82 |
| 7:30 p. m. | 12.4 | 25 | 82 |
| 8:00 p. m. | 12.4 | 22 | 82 |
| 8:30 p. m. | 12.4 | 22 | 82 |
| 9:00 p. m. | 12.4 | 22 | 80 |
| 9:30 p. m. | 12.4 | 22 | 79 |
| 10:00 p. m. | 12.3 | 22 | 77 |
| Fecha | | | |
| Observaciones: | | | |

Tabla 8. Combinación de dos focos LED de 8 W y radio de 18 W, en la noche.

| Horas noche (h) | Voltaje (V) | Temperatura ambiente (°C) | Porcentaje de carga de la batería (%) |
|-----------------|-------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 6:00 p. m. | 12.5 | 24 | 85 |
| 6:30 p. m. | 12.4 | 24 | 82 |
| 7:00 p. m. | 12.4 | 23 | 82 |
| 7:30 p. m. | 12.3 | 23 | 80 |
| 8:00 p. m. | 12.3 | 20 | 77 |
| 8:30 p. m. | 12.3 | 22 | 77 |
| 9:00 p. m. | 12.1 | 22 | 75 |
| 9:30 p. m. | 12.1 | 22 | 75 |
| 10:00 p. m. | 12 | 22 | 75 |
| Fecha | | | |
| Observaciones: | | | |

Tabla 9. Combinación de dos focos LED de 8 W y televisor de 70 W, en la noche.

| Horas noche (h) | Voltaje (V) | Temperatura ambiente (°C) | Porcentaje de carga de la batería (%) |
|-----------------|-------------|---------------------------|---------------------------------------|
| 6:00 p. m. | 12.5 | 22 | 80 |
| 6:30 p. m. | 12.4 | 19 | 79 |
| 7:00 p. m. | 12.4 | 22 | 78 |
| 7:30 p. m. | 12.3 | 23 | 75 |
| 8:00 p. m. | 12.3 | 21 | 73 |
| 8:30 p. m. | 12.2 | 20 | 70 |
| 9:00 p. m. | 12.1 | 22 | 65 |
| 9:30 p. m. | 12 | 23 | 62 |
| 10:00 p. m. | 12 | 23 | 57 |
| Fecha | | | |
| Observaciones: | | | |