



Diseño de un sistema móvil de suministro solar fotovoltaico para el abastecimiento de energía

Design of a mobile solar photovoltaic power supply system for energy supply

D'Angles, Boris E.¹; Cueva, Percy H.¹; Orellana, Wilar T.¹ y Quispe, Zully M.¹

¹Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica,
Universidad Nacional del Centro del Perú,
Huancayo, Perú.

Cómo referenciar:

D'Angles, B. E., Cueva, P. H., Orellana, W. T. y Quispe, Z. M. (2023). Diseño de un sistema móvil de suministro solar fotovoltaico para el abastecimiento de energía. *Prospectiva Universitaria*, 20(01), 9-16. <https://doi.org/10.26490/uncp>

Resumen

Se diseñó las especificaciones técnicas mínimas que debería contar un sistema fotovoltaico móvil para el abastecimiento de energía a suministros que requieran energía entre 10-15 kWh por día. Para ello se ha planteado el diseño de un sistema fotovoltaico montado sobre un coche tipo remolque, el cual puede ser fácilmente transportado por un vehículo. El diseño ha consistido en un sistema de 8 paneles monocristalinos de 455 Wp, con un inversor de 5000W con opción de carga de baterías, un banco de baterías formado por 4 baterías de 300 Ah y un sistema de protección contra corto circuito y sobretensiones instalado en un tablero con conexión a tierra a través de un sistema de tierra temporal. En el estudio se realizaron simulaciones de operación del sistema en 3 ciudades de la Región Junín, una ubicada en la Selva Central y 2 en el Valle del Mantaro. Los resultados mostraron que es posible abastecer de energía en forma continua con el uso del sistema incluso en los meses con mayor nubosidad y precipitaciones.

Palabras clave: energía solar, sistemas fotovoltaicos, móvil, modelamiento, huella de carbono.

Abstract

The minimum technical specifications that a mobile photovoltaic system should have in order to supply energy to supplies that require energy between 10-15 kWh per day were designed. For this purpose, the design of a photovoltaic system mounted on a trailer type car, which can be easily transported by a vehicle, has been proposed. The design consisted of a system of 8 monocrystalline panels of 455 Wp, with a 5000W inverter with battery charging option, a battery bank consisting of 4 batteries of 300 Ah and a short circuit and overvoltage protection system installed on a board with grounding through a temporary grounding system. In the study, system operation simulations were carried out in 3 cities of the Junin Region, one located in the Central Jungle and 2 in the Mantaro Valley. The results showed that it is possible to supply energy continuously with the use of the system even in the months with higher cloud cover and rainfall.

Keywords: solar energy, photovoltaic systems, mobile, modeling, carbon footprint.

1 Introducción

Con el paso de los años las necesidades energéticas en Perú y en diferentes países han ido en aumen-

to, es así que recientemente en la última pandemia surgió la necesidad de llevar servicios de salud prioritarios a diferentes puntos alejados del país. En el campo de la vacunación contra el COVID-19, se sabe

que la mayor parte de vacunas en estudio necesitan conservarse entre 2°C a 8°C y a -20°C. MINSA(2021). Para lo cual, según se hace referencia por la OMS, se requiere instalar una adecuada cadena de frío para la refrigeración de las vacunas. Así también, en otros contextos, las Municipalidades y otros organismos públicos tienen en su agenda muchas actividades y eventos con fines de concientización social, difusión de nuevas políticas asistenciales, servicios de atención al ciudadano, comedores populares, asistencia médica gratuita para personas en extrema pobreza, campañas de esterilización de animales ,etc. MPH (2020).

Por ello se hace necesario contar con equipos de laboratorio y computadoras para el análisis de muestras, los que en muchas ocasiones son alimentados con energía proveniente de generadores Diesel (grupos electrógenos), los cuales representan actualmente focos de emisión de gases contaminantes. Es así que en éste contexto nos hemos propuesto la siguiente pregunta de investigación: ¿Es posible diseñar un sistema móvil de suministro solar fotovoltaico que permita abastecer de energía eléctrica en forma temporal a usuarios en zonas con acceso restringido a la energía? Es así que motivados por lo propuesto por Zhou (2014) y su investigación relacionada a mejorar un sistema de utilización de energía solar fotovoltaica para un pequeño vehículo y su minimización de pérdidas. Así también Macias et al. (2021) presentaron una investigación sobre la integración de células fotovoltaicas en vehículos y nos brinda datos sobre su autonomía y rendimientos. Sin embargo, en esta investigación se ha pretendido aplicar la movilidad del sistema no para la propulsión del vehículo, sino para funcionar como fuente de energía móvil y satisfacer las necesidades energéticas de los usuarios.

Por lo mencionado, en esta investigación se ha tenido como principal objetivo diseñar un sistema móvil de suministro solar fotovoltaico que permita abastecer de energía eléctrica en forma temporal a usuarios en zonas con acceso restringido a la energía. Para ello el proyecto analizó determinar las especificaciones técnicas mínimas requeridas para un sistema fotovoltaico móvil de 3640 Wp de potencia instalada, el cual sea capaz de suministrar hasta 5000 VA a cargas monofásicas de diversos tipos compuestas por ejemplo por sistemas de iluminación, sistemas de refrigeración, computadoras, equipos de laboratorio y otros similares. El suministro de energía permitirá proveer de energía tanto en horas de sol como

durante la noche, debido al diseño de un banco de baterías que brindará una autonomía al sistema de hasta 24 horas de funcionamiento.

2 Materiales y métodos

2.1 Procedimiento

La investigación fué de tipo aplicada y califica como investigación de desarrollo tecnológico, ya que según manifiesta Casaño (2016). Este tipo de investigaciones proponen dar solución a problemas de ingeniería mediante la elaboración de prototipos o diseños tecnológicos que no solamente investigan la realidad, sino que también la modifican.

2.1.1 Criterios para el diseño del sistema fotovoltaico móvil

El sistema se compuso por los siguientes subsistemas:

1. Captación: Formado por 8 paneles solares de silicio monocristalino de 455 Wp, los cuales tendrán en forma conjunta una potencia instalada de 3640 Wp.
2. Acumulación: Formado por un banco de baterías de tipo AGM de 300 A-h cada una. Las cuales irán dispuestas en la base de la estructura móvil de transporte para darle mayor estabilidad al sistema.
3. Conversión y adecuación de energía: Compuesta por un inversor de DC/AC de 5000 VA con opción de cargador de baterías.
4. Protección: Formado por un sistema de puesta a tierra temporárea y un tablero con dispositivos de protección contra sobretensiones y sobrecorrientes.
5. Soporte: Formado por una estructura de soporte plegable para los 6 paneles solares, la cual permite dos posiciones para el modo de transporte y para el modo de utilización.
6. Transporte: Formado por una estructura tipo coche remolque que permitirá soportar hasta un peso de 2500 kg que podría ser ejercido por los paneles fotovoltaicos, las baterías y demás dispositivos del sistema.

El sistema es fácilmente transportable hasta su punto de utilización, por ello se ha optado por hacer su instalación sobre un coche tipo remolque.

El sistema permite el abastecimiento de una carga específica con hasta un consumo de 20 kWh por día, pudiendo autoabastecerse ya sea mediante sus paneles solares o via conexión a la red eléctrica mediante el sistema de carga de baterías de su inversor en horas diurnas o nocturnas..

El sistema permite el uso seguro de una fuente de generación de energía mediante el uso de dispositivos de protección como sistemas de puesta a tierra, protecciones contra sobretensiones, sobre corriente e interruptores diferenciales.

2.1.2 Especificaciones de los subsistemas

Tabla 1
Características de Panel JA SOLAR

Característica	Valor	Medida
Potencia Máxima (Pmax)	455	W
Corriente punto de máxima potencia (Imp)	10.88	A
tensión punto de máxima potencia (Vmp)	41.82	V
Corriente de corto circuito (Isc)	11.41	A
Tensión a circuito abierto (Voc)	49.85	V
Coefficiente de temperatura a PMAX	-0.35	%/°C
Coefficiente de temperatura de (Isc)	-0.044	%/°C
Coefficiente de temperatura (Voc)	-0.272	%/°C
Temperatura máx. de operación de la célula	45	°C
Dimensiones	2112 x 1052 x 35	mm
Peso	22.4	Kg
Rendimiento	20.5	%
Máxima Tensión de operación	1000	V
Tipo de panel	Monocrystalino	-

Nota. Ficha técnica de panel JA solar JAM72S20 455W.

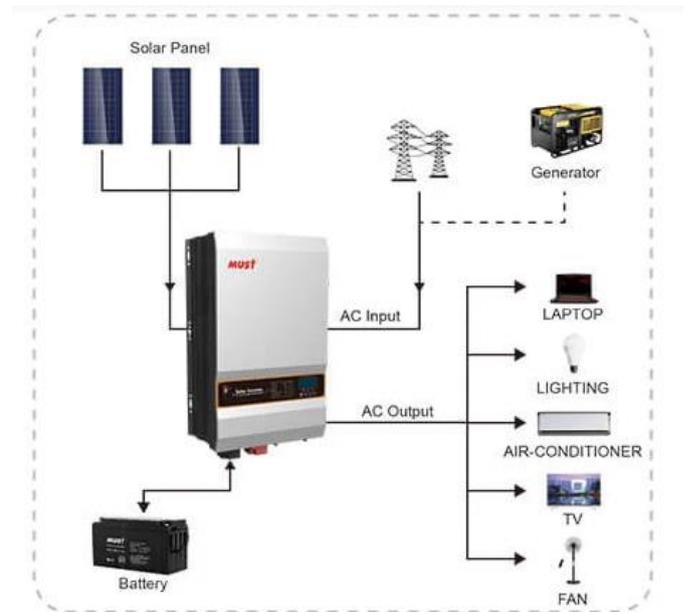
Para las necesidades energéticas de trabajo de una vivienda, oficina o pequeño laboratorio se requieren entre 5 - 15 kWh por día. Para el requerimiento de potencia de una carga en viviendas u oficinas se está tomando como referencia el uso de pequeños electrodomésticos, sistemas de refrigeración y sistemas de iluminación pueden requerir una potencia de hasta 5000 Watts.

Para el subsistema de captación se ha considerado el uso de 8 paneles solares de 455Wp de silicio monocrystalino, que permitirán tener una potencia instalada de 3640Wp y una generación diaria de igual o mayor a 15 kWh de energía eléctrica.

Para el subsistema de conversión y adecuación de energía se ha considerado el uso de un inversor off grid de la marca MUST, el cual entre sus prestaciones permite alimentar cargas domésticas como

televisores, ventiladores o equipos de refrigeración y posee una disponibilidad de potencia de hasta 5000 W y también permite contar con un banco de baterías de respaldo. Este inversor puede cargar su banco de baterías ya sea con energía solar o con energía proveniente de la red eléctrica convencional. Entre sus prestaciones más destacadas es su capacidad de arrancar un motor de hasta 2HP, lo suficiente para accionar pequeños sistemas de refrigeración.

Figura 1
Inversor MUST



2.2 Mediciones

Se ha realizado la recopilación de datos para las simulaciones tanto de fichas técnicas de fabricantes así como de los datos proporcionados por la base de datos meteorológicos de irradiación de PVGIS. Para ello se ha realizado la recopilación de datos de irradiación y temperaturas promedio de la ciudad de Huancayo, la ciudad de Jauja y la ciudad de Chanchamayo, de modo que con la simulación se pueda predecir el comportamiento del sistema móvil en lo que se refiere a su generación de energía.

2.2.1 Métodos de cálculo para el modelamiento

Se ha considerado el método propuesto por la Universidad de Cádiz, el cual toma en cuenta la irradiación media mensual por metro cuadrado de superficie [Gdm(0)], considera también un factor de pérdidas (Fp) el cual toma en cuenta los rendimientos del inversor, las pérdidas por reflexión de la luz,

pérdidas por acumulación de polvo, también se considera un factor de pérdidas por inclinación de la superficie captadora (F_c), la eficiencia de los paneles fotovoltaicos (η_p), los días del mes en curso, la superficie del panel (A_p) y el número total de paneles del sistema móvil ($PanelesPV_{total}$).

$$E = Gdm(0) \times F_c \times \eta_p \times das \times F_p \times A_p \times PanelesPV_{total} \times 10^{-3} \quad (1)$$

El Factor de Pérdidas (F_p) "se calculó tomando en cuenta el rendimiento del inversor (η_i), el rendimiento de la subestación de potencia (N_{SET}), el rendimiento del cableado ($N_{\Delta T}$), un factor de pérdidas por acumulación de polvo sobre la superficie del panel (F_{su}), un factor de pérdidas por sombras (F_s), un factor de pérdidas de potencia por temperatura (F_t) y un factor de pérdidas por reflexión (F_{ref})" (D'Angles, 2020).

$$F_p = \eta_i \times N_{SET} \times N_{\Delta T} \times F_{su} \times F_s \times F_t \times F_{ref} \times F_{dis} \quad (2)$$

El cálculo del coeficiente de pérdidas por temperatura F_t , según Perpiñán (2018). Consideran expresiones de cálculo basadas en: (T_c) que es la temperatura de la célula fotovoltaica en grados Celsius; (T_a) es la temperatura ambiente en grados Celsius; ($NOCT$) es la temperatura nominal de operación de las células en grados Celsius; DT es un valor que expresa una diferencia entre la temperatura de operación de la célula y la temperatura de 25°C; (C_{tPMAX}) es un coeficiente de pérdidas de potencia por temperatura a potencia máxima; %PtPMAX son las pérdidas porcentuales de potencia por incremento de temperatura; %PtIsc son las pérdidas porcentuales de corriente por incremento de temperatura; %PtVoc son las pérdidas porcentuales de tensión por incremento de temperatura

$$T_c = T_a + G \times \frac{NOCT - 20}{800} \quad (3)$$

$$\Delta T = T_c - 25 \quad (4)$$

$$\%P_{tPMAX} = C_{tPMAX} (T_c - 25) \quad (5)$$

$$F_t = \frac{100 - \%P_{tem}}{100} \quad (6)$$

$$\%P_{tIsc} = C_{tIsc} (T_c - 25) \quad (7)$$

$$\%P_{tVoc} = C_{tVoc} (T_c - 25) \quad (8)$$

$$(9)$$

3 Resultados

Para probar la efectividad del diseño del sistema móvil se han realizado tres simulaciones con los datos de irradiación y temperatura de las ciudades de Huancayo, Jauja y Chanchamayo. En cada prueba se puede apreciar la cantidad de energía máxima disponible en promedio para cada uno de los doce meses del año.

Para verificar la efectividad de la metodología de cálculo propuesta se ha contrastado los resultados con los datos provenientes de un sistema fotovoltaico compuesto por 24 paneles de silicio monocristalino de la empresa Electrocentro S.A., ubicado en la ciudad de Huancayo.

3.1 Simulaciones en la Ciudad de Huancayo

Como se puede ver en la tabla 2, con el uso de un sistema fotovoltaico móvil con 8 paneles solares fotovoltaicos de silicio monocristalino, es posible tener una cosecha mensual que va desde 459 kWh /mes en febrero hasta los 624.12 kWh/mes en julio, lo que significa una producción anual de 6643.68 kWh. Así también con estos resultados mensuales, es posible determinar que los promedios diarios para cosecha de energía estarían entre 16.39 kWh en el mes de febrero y 20.16 kWh en el mes de Julio, par a lo cual se cumpliría totalmente el objetivo de poder suministra energía eléctrica a una carga con un consumo de hasta 15 kWh por día.

Tabla 2

Simulaciones de producción de energía en la ciudad de Huancayo

Mes	Días	Gdm (0)	Fc	Fp	Np	Ap	Energía
Enero	31	6.148	0.924	0.820	0.2	2.22	513.32
Febrero	28	5.812	0.959	0.828	0.2	2.22	459.00
Marzo	31	5.436	1.010	0.826	0.2	2.22	499.74
Abril	30	5.725	1.067	0.829	0.2	2.22	540.46
Mayo	31	5.874	1.120	0.837	0.2	2.22	606.98
Junio	30	5.771	1.149	0.844	0.2	2.22	597.06
Julio	31	5.911	1.138	0.842	0.2	2.22	624.12
Agosto	31	6.314	1.095	0.831	0.2	2.22	632.61
Setiembre	30	6.085	1.037	0.822	0.2	2.22	553.40
Octubre	31	6.529	0.982	0.810	0.2	2.22	572.11
Noviembre	30	6.766	0.938	0.806	0.2	2.22	545.57
Diciembre	31	6.114	0.915	0.810	0.2	2.22	499.32

Nota. Simulaciones con ocho paneles.

Se evidencia que a pesar de la continuas lluvias que se dan en los meses de diciembre a marzo, la ge-

neración de energía no disminuye significativamente debido probablemente a los altos valores de irradiación que se dan en estos meses, los cuales corresponden al verano austral de hemisferio sur.

Tabla 3
Pérdidas por temperatura para la ciudad de Huancayo

Mes	Irradiancia	Irradiación	Ta	Tc	DT	Coef. T %	Pérdidas %	Ft %
Enero	6.92	905.66	16.61	44.91	-0.09	-0.37	-0.03	100.03
Febrero	6.35	831.64	16.46	42.45	-2.55	-0.37	-0.94	100.94
Marzo	6.45	843.88	16.56	42.93	-2.07	-0.37	-0.77	100.77
Abril	6.18	809.05	16.63	41.91	-3.09	-0.37	-1.14	101.14
Mayo	5.65	739.71	16.25	39.37	-5.63	-0.37	-2.08	102.08
Junio	5.13	671.26	15.99	36.97	-8.03	-0.37	-2.97	102.97
Julio	5.43	710.20	15.64	37.83	-7.17	-0.37	-2.65	102.65
Agosto	6.25	817.87	15.91	41.47	-3.53	-0.37	-1.31	101.31
Setiembre	6.83	893.74	16.37	44.30	-0.70	-0.37	-0.26	100.26
Octubre	7.83	1024.78	16.31	48.33	3.33	-0.37	1.23	98.77
Noviembre	8.09	1058.94	16.49	49.58	4.58	-0.37	1.70	98.30
Diciembre	7.77	1017.43	16.51	48.30	3.30	-0.37	1.22	98.78

Nota. DT: variación de temperatura (Δ); TONC = 45 y Tp = 20 por cada mes

Así también con respecto a las pérdidas por temperatura en producción de energía, los cálculos evidencian que debido a que las temperaturas promedio de esta ciudad no sobrepasan los 16.61°C, las pérdidas serían casi despreciables, ya que como se aprecia en la tabla 2 con resultados de cálculo, las pérdidas porcentuales de energía resultan negativas entre los meses de enero a setiembre y solo se considerarían las que poseen valores positivos en los meses de octubre, noviembre y diciembre con un valor máximo de 1.70%.

Para el cálculo se utilizaron las fórmulas del apartado 2.5 y datos de coeficientes de pérdidas por temperaturas para el panel de JA SOLAR JAM72S20 455W

3.2 Simulaciones en la ciudad de Jauja

Como se puede ver en la tabla 4, con el uso de un sistema fotovoltaico móvil con 8 paneles solares fotovoltaicos de silicio monocristalino, es posible tener una cosecha mensual que va desde 465 kWh /mes en febrero hasta los 631.61 kWh/mes en agosto, lo que significa una producción anual de 6614.92 kWh.

Así también con estos resultados mensuales, es posible determinar que los promedios diarios para cosecha de energía estarían entre 16.60 kWh en el mes de febrero y 20.37 kWh en el mes de julio, para lo cual se cumpliría totalmente el objetivo de poder suministrar energía eléctrica a una carga con un consumo de hasta 15 kWh por día y en comparación

a los valores de la ciudad de Huancayo, Jauja ofrecería valores similares a los registrados en Huancayo pero con una ligera variación de 0.45% atribuibles a condiciones climatológicas o errores de estimación.

Tabla 4
Simulaciones de producción de energía en la ciudad de Jauja

Mes	Días	Gdm (0)	Fc	Fp	Np	Ap	Energía
Enero	31	6.122	0.924	0.820	0.2	2.2218	511.16
Febrero	28	5.894	0.959	0.828	0.2	2.2218	465.51
Marzo	31	5.575	1.010	0.826	0.2	2.2218	512.52
Abril	30	5.735	1.067	0.829	0.2	2.2218	541.47
Mayo	31	5.843	1.120	0.837	0.2	2.2218	603.71
Junio	30	5.744	1.149	0.844	0.2	2.2218	594.27
Julio	31	5.950	1.138	0.842	0.2	2.2218	628.31
Agosto	31	6.304	1.095	0.831	0.2	2.2218	631.61
Setiembre	30	6.037	1.037	0.822	0.2	2.2218	549.03
Octubre	31	6.270	0.982	0.810	0.2	2.2218	549.44
Noviembre	30	6.611	0.938	0.806	0.2	2.2218	533.01
Diciembre	31	6.059	0.915	0.810	0.2	2.2218	494.87

Nota. Simulaciones con ocho paneles.

Al igual que en Huancayo, Jauja es una ciudad ubicada en el denominado Valle del Mantaro, que es un valle interandino en el cual las lluvias entre los meses de diciembre a marzo se manifiestan intensamente, pero a pesar de ello la generación de energía tampoco disminuye significativamente debido probablemente a los altos valores de irradiación que se dan en estos meses, los cuales corresponden al verano austral de hemisferio sur.

Tabla 5
Pérdidas por temperatura para la ciudad de Jauja

Mes	Irradiancia	Irradiación	Ta	TONC	Tp	Tc	DT	Coef. T %	Pérdidas %	Ft %
Enero	6.92	905.66	16.61	45	20	44.91	-0.09	-0.37	0.03	100.03
Febrero	6.35	831.64	16.46	45	20	42.45	-2.55	-0.37	0.94	100.94
Marzo	6.45	843.88	16.56	45	20	42.93	-2.07	-0.37	0.77	100.77
Abril	6.18	809.05	16.63	45	20	41.91	-3.09	-0.37	1.14	101.14
Mayo	5.65	739.71	16.25	45	20	39.37	-5.63	-0.37	2.08	102.08
Junio	5.13	671.26	15.99	45	20	36.97	-8.03	-0.37	2.97	102.97
Julio	5.43	710.20	15.64	45	20	37.83	-7.17	-0.37	2.65	102.65
Agosto	6.25	817.87	15.91	45	20	41.47	-3.53	-0.37	1.31	101.31
Setiembre	6.83	893.74	16.37	45	20	44.30	-0.70	-0.37	0.26	100.26
Octubre	7.83	1024.78	16.31	45	20	48.33	3.33	-0.37	-1.23	98.77
Noviembre	8.09	1058.94	16.49	45	20	49.58	4.58	-0.37	-1.70	98.30
Diciembre	7.77	1017.43	16.51	45	20	48.30	3.30	-0.37	-1.22	98.78

Nota. DT: variación de temperatura (Δ); TONC = 45 y Tp = 20 por cada mes

En lo referente a las pérdidas por temperatura registradas en las estimaciones de producción de energía, se aprecia algo muy similar que en el caso de la ciudad de Huancayo, valores negativos entre los meses de enero a setiembre y valores de pérdidas con un máximo de 1.70% en el mes de noviembre. Por tanto,

al estar ambas ciudades dentro del Valle del Mantaro las condiciones de operación del sistema fotovoltaico móvil serían bastante similares para las ciudades de Jauja y Huancayo, resultados que como se verá en el próximo apartado, diferirán con respecto a lo calculado para la ciudad de Chanchamayo que se encuentra en la zona denominada como Selva Central de Junín.

3.3 Simulaciones en la ciudad de La Merced

Como se evidencia en la tabla 6, con el uso de un sistema fotovoltaico móvil con 8 paneles solares fotovoltaicos de silicio monocristalino, es posible tener una cosecha mensual que va desde 379 kWh / mes en febrero hasta los 525.68 kWh/mes en agosto, lo que significa una producción anual de 5547.64 kWh. Así también con estos resultados mensuales, es posible determinar que los promedios diarios para cosecha de energía estarían entre 13.53 kWh en el mes de febrero y 16.95 kWh en el mes de julio. Para el caso de Chanchamayo y posiblemente para otras ciudades de la Selva Central de Junín la producción de energía del sistema fotovoltaico móvil cumpliría parcialmente el requerimiento máximo de energía de 15 kWh diarios. Sin embargo, se podría afirmar que el sistema sería capaz de satisfacer en un 90.20% las necesidades energéticas de centros poblados ubicados en zonas urbanas y rurales de Junín.

Tabla 6
Simulaciones de producción de energía en la ciudad de Jauja

Mes	Irradiancia	Irradiación	Ta	TONC	Tp	Tc	DT	Coef. T %	Pérdidas %	Pt %
Enero	5.14	673.12	23.90	45	20	44.94	-0.06	-0.37	0.02	100.02
Febrero	4.82	630.33	23.40	45	20	43.10	-1.90	-0.37	0.70	100.70
Marzo	4.74	620.51	23.40	45	20	42.79	-2.21	-0.37	0.82	100.82
Abril	4.93	645.51	23.50	45	20	43.67	-1.33	-0.37	0.49	100.49
Mayo	4.86	636.01	23.00	45	20	42.88	-2.12	-0.37	0.79	100.79
Junio	4.76	622.91	22.10	45	20	41.57	-3.43	-0.37	1.27	101.27
Julio	4.92	644.62	21.80	45	20	41.94	-3.06	-0.37	1.13	101.13
Agosto	5.31	694.99	22.70	45	20	44.42	-0.58	-0.37	0.22	100.22
Setiembre	5.23	684.96	23.40	45	20	44.80	-0.20	-0.37	0.07	100.07
Octubre	5.45	713.02	24.00	45	20	46.28	1.28	-0.37	-0.47	99.53
Noviembre	5.46	714.15	23.70	45	20	46.02	1.02	-0.37	-0.38	99.62
Diciembre	5.02	657.41	23.20	45	20	43.74	-1.26	-0.37	0.46	100.46

Nota. Simulaciones con ocho paneles.

En el análisis de pérdidas por temperatura se ha podido evidenciar según los resultados de la tabla 7 que las pérdidas porcentuales por temperatura alcanzan un -0.47% en el mes de octubre y -0.38% en el mes de noviembre, lo que indicaría que solamente en estos meses se presentarían pequeñas pérdidas por incrementos de temperatura. Los resultados ob-

tenidos para los otros meses, los cuales tienen valores positivos indicarían quizás una mejora en la eficiencia de las células o simplemente que las células trabajarían según sus condiciones óptimas de operación. Así también al igual que en las ciudades del Valle del Mantaro se registra alta nubosidad y lluvias permanentes entre los meses de verano austral entre diciembre y marzo, lo que disminuye su irradiación incidente sobre las superficies y también incide en su temperatura.

Tabla 7
Pérdidas por temperatura para la ciudad de La Merced

Mes	Días	Gdm (0)	Fc	Fp	Np	Ap	Energía
Enero	6.148	0.924	0.82	0.2	2.2218	6.148	1539.96
Febrero	5.812	0.959	0.828	0.2	2.2218	5.812	1376.99
Marzo	5.436	1.01	0.826	0.2	2.2218	5.436	1499.21
Abril	5.725	1.067	0.829	0.2	2.2218	5.725	1621.39
Mayo	5.874	1.12	0.837	0.2	2.2218	5.874	1820.94
Junio	5.771	1.149	0.844	0.2	2.2218	5.771	1791.19
Julio	5.911	1.138	0.842	0.2	2.2218	5.911	1346.89
Agosto	6.314	1.095	0.831	0.2	2.2218	6.314	1897.83
Setiembre	6.085	1.037	0.822	0.2	2.2218	6.085	1660.19
Octubre	6.529	0.982	0.81	0.2	2.2218	6.529	1716.33
Noviembre	6.766	0.938	0.806	0.2	2.2218	6.766	1636.7
Diciembre	6.114	0.915	0.81	0.2	2.2218	6.114	1497.96

Nota. DT: variación de temperatura (Δ); TONC = 45 y Tp = 20 por cada mes

3.4 Contrastación de resultados con un sistema fotovoltaico real

Para garantizar la efectividad de los cálculos se han contrastado los datos de las simulaciones de producción de energía en la ciudad de Huancayo con un sistema fotovoltaico que ha sido recientemente puesto en servicio por la empresa Electrocentro S.A. quienes han facilitado algunos datos de la cosecha de energía de su sistema fotovoltaico conectado a la red. El sistema fotovoltaico está constituido por 24 paneles de tipo monocristalino de 470 Wp montados sobre estructuras fijas en el tejado de su Centro de Control ubicado en la Subestación de Parque Industrial en el distrito del El Tambo en la ciudad de Huancayo.

La producción de energía del sistema conectado a la red durante los primeros 22 días del mes de julio de 2023 hasta las primeras horas de la mañana del día 23 de julio se habían cosechado 1.298 MWh, de los cuales 615.14 kWh fueron consumidos y 683.26 kWh fueron inyectados a la red.

Para poder hacer la contrastación de resultados

se ha modelado la producción de energía de un sistema constituido por 24 paneles utilizando el modelo de cálculo propuesto para las simulaciones así como los datos de irradiación y temperatura empleados en las simulaciones del sistema fotovoltaico móvil para la ciudad de Huancayo. Tal como se aprecia en la tabla 8, la energía proyectada en la simulación considerando 22.3 días para el cálculo ha dado como resultado 1.346 MWh, lo cual en comparación a los 1.298 MWh reportados por el sistema fotovoltaico de Electrocentro S.A. dan un margen de error de solamente 3.56%. Si bien es cierto hubiera sido más satisfactorio realizar una comparación con la producción de energía todos los meses del año, este sistema ha iniciado recientemente su operación en el mes de julio de 2023, por lo que aun no existen más datos disponibles.

Tabla 8
Simulación de producción de energía en el Parque Industrial

Mes	Días	Gdm (0)	Fc	Fp	Np	Ap	Energía
Enero	6.148	0.924	0.82	0.2	2.2218	6.148	1539.96
Febrero	5.812	0.959	0.828	0.2	2.2218	5.812	1376.99
Marzo	5.436	1.01	0.826	0.2	2.2218	5.436	1499.21
Abril	5.725	1.067	0.829	0.2	2.2218	5.725	1621.39
Mayo	5.874	1.12	0.837	0.2	2.2218	5.874	1820.94
Junio	5.771	1.149	0.844	0.2	2.2218	5.771	1791.19
Julio	5.911	1.138	0.842	0.2	2.2218	5.911	1346.89
Agosto	6.314	1.095	0.831	0.2	2.2218	6.314	1897.83
Setiembre	6.085	1.037	0.822	0.2	2.2218	6.085	1660.19
Octubre	6.529	0.982	0.81	0.2	2.2218	6.529	1716.33
Noviembre	6.766	0.938	0.806	0.2	2.2218	6.766	1636.7
Diciembre	6.114	0.915	0.81	0.2	2.2218	6.114	1497.96

Nota. Producción con 24 paneles

4 Discusión

El sistema propuesto concibe la idea de un sistema fotovoltaico montado sobre un coche remolque de 5m de longitud, el cual dispondría de dos columnas fabricadas con tubo cuadrado de acero galvanizado de 6" sobre las cuales estaría montada una estructura de soporte con capacidad para 8 paneles solares, distribuyendo cuatro en el lado izquierdo y cuatro en el lado derecho. La base del remolque podría albergar las baterías y un gabinete para el inversor y el cuadro de mando y protección. Adicionalmente, se pretende utilizar una puesta a tierra temporal, la cual sería desplegada cada vez que el sistema móvil se ubicará en un nuevo emplazamiento.

Dado que la investigación se centra más en los resultados de simulaciones sobre el comportamiento del sistema fotovoltaico móvil en tres diferentes emplazamientos temporales, los resultados obtenidos giran en torno a las producciones de energía que diariamente se podrían registrar en diferentes ciudades del departamento de Junín, estando dos de las ubicaciones seleccionadas en medio de los Andes Centrales de Perú a altitudes comprendidas entre los 3200 y 3400 msnm. Es así que los resultados han mostrado desempeños para las tres ubicaciones de sistema fotovoltaico móvil como se presenta en la tabla 9.

En la tabla 9, se puede apreciar con mayor claridad cuáles serían las producciones de energía de un día promedio por cada mes del año para las 3 diferentes ciudades. Solamente para el caso de La Merced, que es una ciudad ubicada en la Selva central, la producción de energía no llegaría a los 15 kWh del diseño propuesto solamente en los meses de lluvias, es decir, en noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo, pero como ya se mencionó se logra una cobertura de como mínimo un 90.20% en el peor mes.

Así también se ha analizado los resultados de producción de energía en una ciudad de la Selva Central de Perú, la cual depende de condiciones de irradiación y temperatura. Un punto clave a analizar es que las pérdidas por temperatura dependen en su cálculo tanto de la temperatura ambiente como de la irradiación por metro cuadrado a considerar, es por ello que aparentemente en la ciudad de Huancayo se podrían presentar mayores pérdidas por temperatura, pero es porque las irradiaciones son más elevadas que en las ciudades de Selva Central, sin embargo, el hecho de tener altas irradiaciones y temperaturas que llegan a los 40°C podría generar mayores pérdidas porcentuales en el sistema fotovoltaico. Ha sido importante la contrastación de los resultados de la simulación con los datos reales del Sistema Fotovoltaico de la Empresa Electrocentro S.A., el cual está compuesto por 24 paneles de 470 Wp el cual viene funcionando desde julio del 2023. La diferencia entre el modelo de cálculo y las simulaciones para la ciudad de Huancayo solo tuvieron una diferencia porcentual de 3.56% con respecto al valor calculado con el modelo utilizado en esta investigación. Si nos fijamos en la producción de energía de nuestro sistema fotovoltaico móvil, para el mes de julio se tiene proyectada una cosecha de energía que en promedio debería de ser de 20.13 kWh por día, y teniendo en cuenta que nuestro sistema cuenta con 8 paneles de 455 Wp cada uno y el sistema de Electrocentro

S.A cuenta con 24 paneles de 470Wp, multiplicando por 3, se obtendría una cosecha de energía de 60.39 KWh, lo cual es un resultado bastante cercano a lo mostrado en la gráfica siguiente, la cual registró un a producción de 63.24 kWh para el día 22 de julio de 2023.

Tabla 9

Comparación de generación de energía por ciudad

Mes	Huancayo		Jauja		La Merced	
	Mensual	Diario	Mensual	Diario	Mensual	Diario
Enero	513.32	16.56	511.16	16.49	430.73	13.89
Febrero	459	16.39	465.51	16.63	379.96	13.57
Marzo	499.74	16.12	512.52	16.53	436.64	14.09
Abril	540.46	18.02	541.47	18.05	463.42	15.45
Mayo	606.98	19.58	603.71	19.47	495.66	15.99
Junio	597.06	19.26	594.27	19.17	482.6	15.57
Julio	624.12	20.13	628.31	20.27	510.04	16.45
Agosto	632.61	20.41	631.61	20.37	525.68	16.96
Setiembre	553.4	17.85	549.03	17.71	475.7	15.35
Octubre	572.11	18.46	549.44	17.72	482.76	15.57
Noviembre	545.57	17.6	533.01	17.19	446.95	14.42
Diciembre	499.32	16.11	494.87	15.96	417.5	13.47
Total	6643.69	216.49	6614.91	215.56	5547.64	180.78

5 Conclusiones

Los resultados de las 3 simulaciones para diferentes ciudades de la Región Junín mostraron diferentes comportamientos que podría presentar el sistema móvil según los niveles de irradiación y temperatura de cada zona. La zona que presenta menores posibilidades de la generación con energía solar fotovoltaica es la zona de La Merced, la que en comparación a las zonas de Jauja y Huancayo presenta menor producción de energía y no alcanzaría los 15 kWh en los meses de alta nubosidad y lluvias. Sin embargo, también se puede apreciar que las irradiaciones en todas las zonas son las suficientes para producir la energía suficiente para poder satisfacer las necesidades energéticas de los usuarios del sistema móvil garantizando un 90.20% de cobertura de la demanda energética. Con base a las especificaciones del fabricante de los inversores, también se aprecia que sería posible cargar los bancos de baterías con energía proveniente de la red eléctrica en caso de no contar con la suficiente irradiación en meses de nubosidad prolongada y altas precipitaciones.

Referencias

- D'Angles, B. E. (2020). *Análisis de los factores que influyen en el diseño de una planta fotovoltaica de 40MW ubicada en el Valle del Mantaro* [Tesis de especialización]. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo. Consultado el 16 de diciembre de 2023, desde <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6031>
Accepted: 2020-10-26T16:47:56Z.
- Macias, J., Herrero, R., Nunez, R., & Anton, I. (2021). On the Effect of Cell Interconnection in Vehicle Integrated Photovoltaics: Modelling Energy under Different Scenarios. *2021 IEEE 48th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, 1336-1339. <https://doi.org/10.1109/PVSC43889.2021.9518935>
- Zhou, Q. (2014). Application of Electric Car PV Charging System. *2014 IEEE Workshop on Advanced Research and Technology in Industry Applications (WARTIA)*, 675-677. <https://doi.org/10.1109/WARTIA.2014.6976353>