

Aprovechamiento de energía solar fotovoltaica en autobuses

Guillermo R. González Martínez ^a, Waldy A. Riveros Saavedra ^b

^a Universidad Nacional de Itapúa. FaCyT. Encarnación. Paraguay, zero_alpha@hotmail.es

^b Universidad Nacional de Itapúa. FIUNI. Encarnación. Paraguay, waldy.saavedra@fiuni.edu.py

Resumen

En los viajes largos en autobuses, la corta duración de la carga de las baterías de los dispositivos electrónicos, puede ser un inconveniente para el ocio o las actividades laborales de los pasajeros. Considerando este problema, se dimensionó y analizó un sistema fotovoltaico para alimentar estos dispositivos. Para ello, se determinó la irradiación solar de las zonas involucradas en el trayecto de prueba con el uso del software RETScreen; se determinó la superficie útil para la captación solar de acuerdo a las dimensiones del autobús elegido; se seleccionó la tecnología compatible de acuerdo a los cálculos y productos disponibles en el mercado; se describió la instalación del sistema y se analizó la factibilidad económica. La producción energética utilizable se determinó a través de la irradiación solar disponible y el rendimiento global de la instalación, obteniéndose un valor neto de 2,75 MWh por año. Para el sistema de 2,3 kWp, se estimó una inversión inicial de 270 millones de guaraníes para una vida útil de 25 años, y 14 años como periodo de recuperación de dicha inversión, considerando, necesariamente, un sobre costo en el pasaje.

Palabras clave: autobuses, irradiación, solar, instalación, fotovoltaica.

Abstract

On long bus trips, the short battery life of electronic devices can be an inconvenience for passengers' leisure or work activities. Considering this problem, a photovoltaic system was sized and analyzed to power these devices. To do this, the solar irradiation of the areas involved in the test path was determined with the use of the RETScreen software; The useful surface for solar collection was determined according to the dimensions of the chosen bus; The compatible technology was selected according to the calculations and products available on the market; The installation of the system was described and the economic feasibility was analyzed. The usable energy production was determined through the available solar irradiation and the overall performance of the installation, obtaining a net value of 2.75 MWh per year. For the 2.3 kWp system, an initial investment of 270 million guaraníes was estimated for a useful life of 25 years, and 14 years as the recovery period for said investment, necessarily considering an extra cost in the passage.

Keywords: buses, irradiation, solar, installation, photovoltaic.



1. Introducción

Fomentar y desarrollar el uso de las energías renovables en el Paraguay como una alternativa técnica, económica, social y ecológica es una necesidad identificada plenamente [1]. Por tanto, los sistemas fotovoltaicos son una alternativa importante para la generación eléctrica.

El uso de la energía solar en el país es escaso, aunque se disponga de 1.725 kWh/m² año, de radiación global horizontal y con un promedio de 300 días claros al año [1]. Por dicha realidad, el trabajo propone una manera más de aprovechar esta energía.

El aprovechamiento está relacionado con la movilidad electrónica de teléfonos inteligentes y computadores portátiles, útiles para las actividades laborales, educativas y de ocio, de pasajeros de autobuses de larga distancia, que necesitan recargar sus baterías.

La radiación solar es energía proveniente del sol en forma de ondas electromagnéticas, compuesta por la radiación directa que llega sin cambio de dirección, la radiación difusa que sufre desviaciones a consecuencia de las reflexiones y absorciones; y la radiación reflejada por la superficie terrestre [2].

Dos conceptos fundamentales para comprender todo estudio térmico o fotovoltaico son la irradiancia y la irradiación. La primera es la potencia por unidad de área captable (W/m²) y la irradiación solar es la energía por unidad de área captable durante un cierto tiempo (kWh/m² día, kWh/m² mes, kWh/m² año) [3].

El tipo de instalación tomado como base para el trabajo fue la fotovoltaica aislada de la red eléctrica (Fig.1), que está compuesta por el generador fotovoltaico y sus soportes, un regulador de carga, un inversor de corriente, un sistema de almacenamiento de energía, los

equipos de protección y maniobra; además de los cables de conexión.

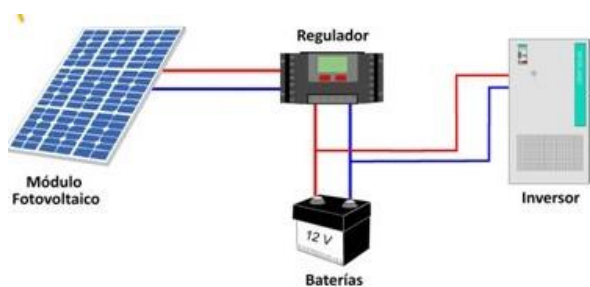


Fig. 1: Esquema de un sistema fotovoltaico autónomo con topología A2 [4].

2. Objetivos

El objetivo general fue analizar la factibilidad del aprovechamiento de la energía solar para la carga de dispositivos electrónicos en autobuses de larga distancia. Se puede desglosar en varios objetivos específicos:

- Determinar la radiación solar del trayecto de prueba seleccionado.
- Establecer el vehículo de prueba y la superficie de captación disponible.
- Diseñar el sistema de generación de energía eléctrica.
- Estimar la energía neta disponible para el vehículo.
- Analizar la factibilidad económica del proyecto.

3. Materiales y Métodos

Determinación de la radiación solar y selección del vehículo

Se utilizaron los Mapas de Google para determinar el trayecto, desde la terminal de ómnibus de Encarnación hasta la terminal de ómnibus de Asunción, con un total de 356 kilómetros. Se tomó este trayecto debido a su importancia y tráfico elevado.

Se determinó la radiación solar incidente en las ciudades ubicadas sobre el trayecto con el uso

del software RETScreen Expert, que incluye datos climáticos globales de los satélites de la NASA, y permite el análisis de viabilidad de proyectos de eficiencia energética, energías renovables y cogeneración, así como análisis de rendimiento energético continuo [5].

Debió seleccionarse un vehículo para establecer el montaje de los módulos fotovoltaicos, considerándose; autobús para viajes largos, techo horizontal con pocos desniveles; dimensiones de salidas de emergencia, amplias dimensiones superficiales mayores a 13 m de largo, la disponibilidad de puertos USB y tomacorrientes, entre otros. Se compararon 5 empresas que fabrican y/o venden autobuses. Se seleccionó un modelo Paradiso de Marcopolo [6], de 14 m de largo y 2,6 m de ancho, con salida de aire acondicionado, techo solar y compuerta de salida de emergencia. Con un software de diseño asistido se estableció un área de 12,8 m² disponible para la instalación de los módulos fotovoltaicos.

Generador fotovoltaico

Para determinar la energía captable se necesita del concepto de horas pico solar HPS, que indican las horas diarias que se dispone de luz solar referida a una irradiancia G de 1 kWh/m², valor de calibración de módulos fotovoltaicos. La irradiación H (kWh/m²) disponible es igual al producto de la irradiancia G y las HPS [7].

Los valores de la irradiación y las HPS serán iguales, y por tanto la cantidad de energía que pueden generar los módulos fotovoltaicos en el transcurso de un día, es equivalente a la energía que se generaría en las HPS si los módulos operan a su potencia máxima [7].

Para la determinación del generador se consideró la superficie disponible sobre el techo del vehículo y una potencia mayor que 400 Wp.

El módulo seleccionado fue el Tiger Pro 60HC de Jinko Solar de 440 - 460 W con dimensiones de 1,903 m x 1,134 m [8].

De acuerdo al área disponible sobre el techo del vehículo se estableció una cantidad de 5 módulos fotovoltaicos, y la energía captable se pudo calcular con la siguiente expresión [7].

$$E = f_p P_p N_p HPS \quad (1)$$

E: energía del generador fotovoltaico (kWh/día).

f_p: factor estimado de pérdidas.

P_p: potencia pico del módulo (kWp).

N_p: número de módulos disponibles.

HPS: horas pico solar (día promedio de un determinado mes) (h/día).

En las células fotovoltaicas, cuando la temperatura aumenta, disminuye la potencia; cerca del 15% cuando la temperatura de los módulos sube de 15°C a 60°C [4]. Para determinar el factor de pérdidas, se necesitan las temperaturas máximas y mínimas mensuales de los módulos, que se calcularon usando temperaturas del aire, tomadas de RETScreen.

La siguiente ecuación expresa una aproximación aceptable del comportamiento térmico de una célula integrada [9].

$$T = T_a + \frac{NOTC-20}{800} G \quad (2)$$

T: Temperatura de la célula del módulo (°C).

T_a: Temperatura del ambiente (°C).

NOTC: Temperatura de operación nominal de la célula fotovoltaica (°C).

G: Irradiancia efectiva en la célula. (W/m²)

Con los valores de temperaturas mínima y máxima se determinó el factor de pérdidas, con la expresión siguiente, ajustada al coeficiente de temperatura del módulo, que indica disminución porcentual en la producción por cada aumento de 1°C desde 25°C [10].

$$f_p = 1 - \frac{c(T - T_{STC})}{100} \quad (3)$$

f_p : factor de pérdidas.

c : coeficiente de temperatura (%/°C).

T : temperatura máxima o mínima (°C).

T_{STC} : temperatura, condición estándar (°C).

Para Asunción, se obtuvo una máxima promedio anual de 54°C y 413 Wp, con un rendimiento del 90%, y para una mínima de 49°C se calculó 467 Wp, con un 92% de rendimiento.

Con 0,9 como factor de pérdidas se calculó la energía captable para cada mes, con la menor captación en junio, de 5,6 kWh/día; mientras que la mayor, para diciembre con 13,3 kWh/día. El promedio anual obtenido fue 9,7 kWh/día con captación anual de 3,5 MWh.

Regulador de carga, baterías e inversor

El regulador de carga controla el flujo de energía entre los módulos fotovoltaicos y las baterías, desconectando las cargas para recargarse o desconectando los módulos fotovoltaicos cuando no es necesario la carga, evitando percances que afecten la integridad y vida útil [11]. La corriente máxima debe ser un 20% superior a la corriente máxima del arreglo fotovoltaico, y la tensión de las baterías, suele ser de 12 V, 24 V y 48 V [12].

Considerando un arreglo de cinco módulos en paralelo con 2300 Wp, 41,48 V (Vca) y 70,05 A (Icc), se eligió el regulador de carga MPPT SR-MC48100N15, 100 A y 150 V [13].

Los acumuladores transforman la energía química en energía eléctrica. Las descargas profundas minimizan la vida útil y las altas temperaturas aumentan la capacidad, pero reducen la vida útil. La profundidad de descarga es el porcentaje de energía que puede ser extraída de una batería plenamente cargada en una descarga; para instalaciones fotovoltaicas se limita la profundidad a 70% u 80% [14].

La irradiación solar incidente más baja de todo el trayecto se obtuvo en el mes de junio, de 2,72 kWh/m² día, que se utilizó como base para los cálculos del banco de baterías. Para determinar la energía acumulable, se utilizó la siguiente ecuación [7].

$$E_A = \frac{E \cdot A}{P_{d_{máx}}} \quad (4)$$

E_A : energía que se debe acumular (kWh).

E : energía del generador fotovoltaico (kWh/día).

A : número de días de autonomía (días).

$P_{d_{máx}}$: profundidad de descarga (20% a 80%).

La acumulación de energía fue calculada en base al peor de mes (junio) de irradiación con 5,6 kWh/m² para el arreglo de 5 módulos. Considerando baterías de tipo gel con un 80% de profundidad de descarga y 1 día de autonomía, se determinó 7 kWh de energía con una carga base de 293 Ah.

Se seleccionó una batería tipo Gel Ultracell, modelo UCG275-12 [15] de 275 Ah, 12 V a C₁₀ (descarga en 10 horas) con 550 ciclos a 80% de profundidad de descarga. El banco se conformaría con 4 baterías, 2 ramales en paralelo y 2 baterías en serie por ramal, con tensión nominal de 24 V.

El inversor transforma la corriente continua proveniente de los módulos fotovoltaicos y las baterías a una corriente alterna de determinada

frecuencia y tensión; de acuerdo a la aplicación del diseño del sistema fotovoltaico, los inversores se pueden clasificar en inversores para instalaciones aisladas, e inversores para sistemas conectados a la red eléctrica [16].

Se recomienda que la potencia nominal del inversor sea mayor que la potencia total de los receptores simultáneos, con factor de seguridad del 20%. Para los sistemas de corriente alterna, la selección de tensión se da por la potencia pico demandada. Para valores menores a 1,5 kW se utiliza 12 V, entre 1,5 kW y 5 kW se toma 24 V o 48 V, y para valores mayores a 5 kW se puede tener 48 V o 120 V [14].

La capacidad del banco debe ser 5 veces superior al cociente entre la potencia nominal del inversor y la tensión del sistema [17]. Al comprobar que se cumple el mencionado requisito, el banco de baterías será de 550 Ah a C₁₀ que podría entregar 44 A con una profundidad de descarga del 80%.

El inversor elegido fue de la marca Victron Energy [18]; 24 V (in), 1500 W, modelo Phoenix Smart 24/2000, 1600 - 3000 VA, 230 V (out).

Montaje y conductores eléctricos

El montaje de los módulos se realizaría sobre la superficie superior horizontal del autobús y se plantearon tres posibles tipos de estructura soporte y dos tecnologías, el Acrilonitrilo Butadieno Estireno o ABS [19] y la estructura en horizontal para cubierta metálica 03H de aluminio anodizado [20]. Se optó por el soporte ABS en un juego de 5 conjuntos de piezas para la instalación por su compatibilidad para cualquier tamaño de módulos y que se adhiere con pegamento a la superficie.

Para el cálculo de la sección de los conductores se consideraron las ecuaciones para corriente continua y alterna, respectivamente [21].

$$S = \frac{2 \times L \times I}{\Delta V \times C} \quad S = \frac{2 \times I \times L \times F_P}{\Delta V \times C} \quad (5)$$

S: sección del conductor (mm²).

L: longitud del conductor (m).

I: corriente circulante por el conductor (A).

ΔV : caída de tensión (V).

C: conductividad del conductor (m/ Ω mm²).

F_p: factor de potencia.

Se consideraron los porcentajes de caídas de tensión máximas en conductores, con valores de 3% entre los módulos y regulador de carga, 1% entre el regulador y el banco de baterías, 1% entre el banco y el inversor y 3% entre el inversor y las cargas de corriente alterna [21].

Para determinar las intensidades de corriente [21] se utilizaron las siguientes expresiones.

$$I_{GF} = I_{mp} N_{mp} \quad I_{RB} = \frac{P_m}{V_{cc}} \quad (6)$$

$$I_{RI} = \frac{P_{inv}}{V_{cc}} \quad I_{IT} = \frac{P_{inv}}{V_{ca}}$$

I_{GF}: corriente generador-regulador (A).

I_{RB}: corriente regulador-banco de baterías (A).

I_{RI}: corriente regulador-inversor (A).

I_{IT}: corriente inversor-tablero de cargas (A).

I_{mp}: corriente, punto de máxima potencia (A).

N_{mp}: número de módulos en paralelo.

P_m: potencia pico de los módulos (W).

P_{inv}: potencia nominal inversor (W).

V_{cc}: tensión nominal en corriente continua (V).

V_{ca}: tensión nominal en corriente alterna (V).

De acuerdo a los cálculos realizados, se necesitarán cables de aluminio de 25 mm² desde el generador fotovoltaico al regulador y desde el banco de baterías hasta el inversor, desde el regulador al banco de baterías se

estableció 50 mm² de sección de acuerdo a la corriente de circulación máxima posible. Para el tramo del inversor al tablero CA y a las cargas se usarán cables de cobre de 2,5 mm².

Rendimiento y consumo de equipos

Para calcular el rendimiento aproximado de la instalación, que no incluye las pérdidas en el generador fotovoltaico, se utilizó la siguiente ecuación [7].

$$\eta = \left(1 - \frac{K_a A}{P_d}\right) (1 - K_b - K_i - K_v) = 0,785 \quad (7)$$

η: rendimiento de la instalación.

A: días de autonomía (1).

P_d: profundidad descarga diaria, baterías (0,8).

K_a: coef. autodescarga diaria, baterías (0,005).

K_b: coef. pérdidas referidas a la batería (0,1).

K_i: coeficiente de pérdidas del inversor (0,01).

K_v: coeficiente de pérdidas varias (0,1).

Si el rendimiento del sistema fotovoltaico es la relación entre la energía que se dispone para la alimentación de las cargas y la energía teórica que se dispone del generador fotovoltaico. Con el rendimiento estimado de la instalación, se puede obtener la energía disponible para las cargas, con la ecuación (8). El rendimiento global sería el producto entre el factor de pérdidas y el rendimiento de la instalación.

$$\eta = \frac{E_c}{E} = \frac{E_c}{E_m f_p} \quad (8)$$

η: rendimiento de la instalación.

E_c: energía disponible para las cargas (W).

E: energía disponible del generador (W).

E_m: energía teórica de los módulos (W).

f_p: factor de pérdidas.

Para determinar el consumo de los dispositivos de pasajeros, se elaboraron 2 tablas, una para los computadores portátiles y otra para los teléfonos inteligentes, considerando valores de potencia. En promedio se obtuvo 97,5 W por computador y 6,8 W por teléfono.

Inversión económica

Se determinó el monto inicial de la inversión para ejecutar el proyecto, de acuerdo a los precios de mercado de los equipos, los egresos para su operación durante un tiempo fijado, y los beneficios que se podrían generar durante el tiempo de operación.

A continuación, se presenta una tabla en la cual se observa los costos de equipamiento y proyecto, por unidad de potencia.

Tabla 1: Inversión por unidad de potencia.

Costo por unidad de potencia instalada		
Descripción	G/Wp	\$/Wp
Módulos fotovoltaicos	3.588	0,52
Banco de baterías	6.583,3	0,96
Regulador de carga	1.969,2	0,29
Inversor de corriente	2.740	0,40
Estructura soporte	942,8	0,14
Conductores eléctricos	1.970,1	0,29
Protecciones eléctricas	1.160	0,17
Estructura, montaje.	133	0,02
Proyecto y diseño	4.347,9	0,63
Montaje de equipos	2.174	0,32
Otros componentes	1.036,1	0,15
Total	26.644	3,89

La determinación de una ganancia económica se obtuvo estableciendo un sobrecosto en el pasaje de 5.000 G debido al sistema fotovoltaico de carga de dispositivos. Considerando 2 viajes diarios y 10 pasajeros conectados, la ganancia anual máxima sería de 36.500.000 G.

Se determinaron el VAN, el TIR y el periodo de recuperación con el uso de planillas de cálculo y a una tasa del 10% anual.

El VAN es el valor actual neto, que actualiza a valor presente los flujos de caja futuros, para determinar la rentabilidad. Si el VAN es menor a cero, la inversión resulta en pérdidas, por lo que se rechaza el proyecto ya que no es viable [22]. El TIR es la tasa interna de retorno; un tipo de interés en el cual se descuentan flujos futuros de cobros y pagos que fueron previstos durante la inversión, para igualar al valor inicial de la misma, o sea, a un VAN igual a 0.

Resultados

La irradiación solar más baja se obtuvo en el mes de junio con un valor de 2,72 kWh/m² día, que se usó para el cálculo del banco de baterías. El vehículo seleccionado fue el Paradiso 1200 **G7** con un área de 12,8 m² disponible para la captación solar, y en la Fig. 2 se puede observar la instalación de los módulos.

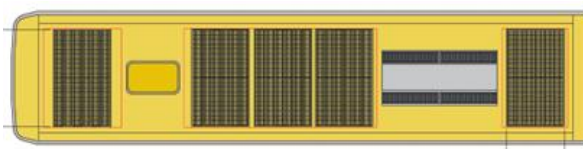


Fig. 2: módulos fotovoltaicos montados sobre el techo del autobús seleccionado.

Los equipos seleccionados para el sistema fotovoltaico fueron:

- 5 módulos Tiger Pro 60HC Jinko Solar, 440 W a 460 W (1,903 m x 1,134 m).
- Regulador de carga MPPT SR-MC48100N15 SRNE, 24 V, 100 A máx.
- 4 baterías tipo Gel Ultracell UCG275-12, 12 V, 275 Ah a C₁₀, 550 ciclos a 80% de profundidad de descarga.
- Inversor Phoenix Smart 24/2000, 1600 W de Victron Energy.

La estructura metálica para el montaje de los equipos se previó cerca del sanitario, de 60 cm de largo, 55 cm de ancho y 1 metro de alto. La estructura llevaría un total de 6,5 m de ángulos de hierro y 8 m de barras planas de hierro.

En la Fig. 3 se visualiza la ubicación de equipos; baterías en rojo, regulador en amarillo, inversor en naranja y la caja de distribución y protección eléctrica en verde.

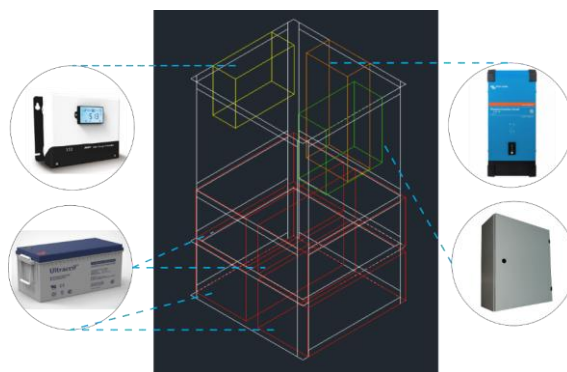


Fig. 3: estructura para montaje de equipos.

En la Fig. 4 se puede observar el conexionado de los equipos principales del sistema. El inversor permitiría la conexión de 13 dispositivos de 100 W nominales, de manera simultánea, considerando un 20% de pérdidas internas. Por ello, se estableció la instalación de 13 a 20 tomacorrientes, para conexión simultánea de teléfonos de bajo consumo y computadores.

La energía captable promedio del generador fotovoltaico sería de 9,7 kWh/día con una captación anual de 3,5 MWh, considerando las pérdidas por temperatura.

El rendimiento de la instalación, sin considerar las pérdidas en los módulos se estimó en 78,5%, y la energía neta disponible anual se calculó considerando los aportes mensuales. Se obtuvo **2,75 MWh/año** de energía disponible, con un rendimiento global estimado de 71%.

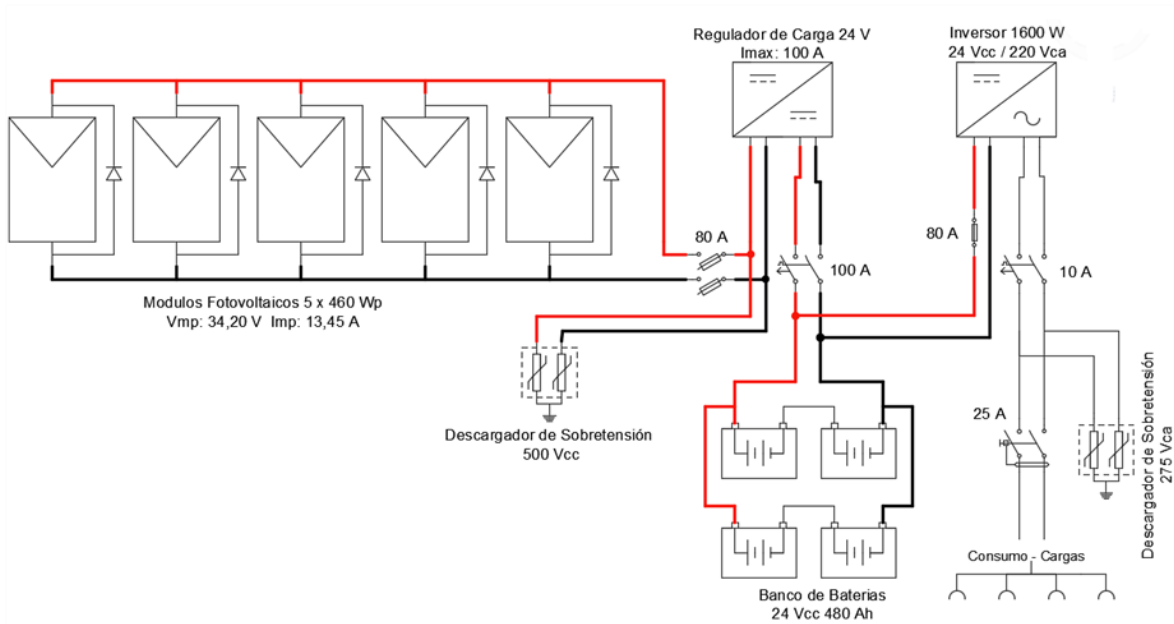


Fig. 4: Esquema del sistema fotovoltaico.

La inversión para este sistema fotovoltaico será de 26.700 G/Wp o 3,9 \$/Wp. Considerando una oferta financiera para cubrir costos de equipos, materiales, diseño, montaje, mantenimiento anual y cambio de baterías cada 2 años, se estimó una inversión cercana a 270.000.000 G, por 25 años de funcionamiento como tiempo mínimo. En la Fig. 5 puede observarse el porcentaje de inversión.

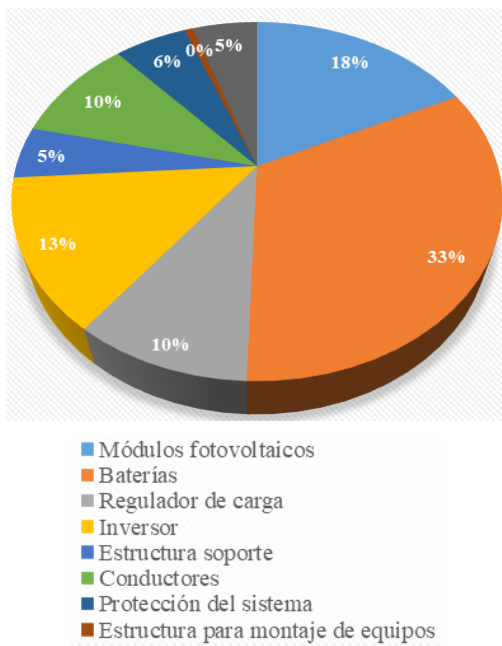


Fig. 5: Inversión en componentes principales del sistema fotovoltaico.

El VAN determinado fue de 63.331.257 G lo que significa que el proyecto recuperaría la inversión inicial, y la TIR calculada fue de 13%, mayor a la tasa del 10% utilizada para el proyecto, con un periodo de recuperación de 13,9 años.

Conclusiones

Se determinó la irradiación global horizontal, utilizando el software RETScreen, sobre el trayecto de Encarnación a Asunción, para determinar la energía captable.

Fue necesario seleccionar un autobús, y con la superficie superior se determinó el uso de 5 módulos fotovoltaicos de 460 Wp.

La instalación es técnicamente factible, con una vida útil mínima de 25 años, con equipamiento adecuado a especificaciones técnicas, métodos de cálculo y ecuaciones utilizadas en las instalaciones aisladas de la red eléctrica.

La captación neta de energía será de 2,75 MWh por año, que podrá utilizarse simultáneamente para 13 a 20 dispositivos de bajo consumo.

El proyecto es factible económicamente si se toma un leve sobrecosto en el pasaje, con el beneficio de atracción de nuevos clientes que considerarían la sostenibilidad energética.

Referencias

- [1] C. Belt, y otros. *Situación de Energías Renovables en el Paraguay*. Asunción, Paraguay: Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) y Viceministerio de Minas y Energías (VMME), 2011.
- [2] A. M. Vicente. *Energía Solar Térmica y de Concentración: Manual Práctico de Diseño, Instalación y Mantenimiento*. Madrid, España: AMV Ediciones, 2009.
- [3] M. C. Alonso, F. S. García, J. P. Silva. *Energía Solar Fotovoltaica*. ONUDI Observatorio de Energía Renovable para América Latina y el Caribe. 2013.
- [4] Censolar. *Errores frecuentes en sistemas fotovoltaicos: 1. Conexión del ondulator. 2023*. Disponible en <https://www.censolar.org/errores-frecuentes-1/#>
- [5] Gobierno de Canadá. *RETScreen Expert*. 2020. Disponible en: <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>
- [6] Catálogo. *Paradiso 1200 New G7*. Marcopolo. Caxias do Sul. Brasil.
- [7] C. R. Prado M. *Diseño de un sistema eléctrico fotovoltaico para una comunidad aislada*. Proyecto eléctrico. Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica, 2008.
- [8] Catálogo *Tiger Pro 60HC 440-460 W Monofacial module*. Jinko Solar Co. China.
- [9] O. Perpiñan L. *Energía solar fotovoltaica*. España: Creative Commons. 2023. Disponible en <https://github.com/oscarperpinan/es>
- [10] Ecogreenenergy. *Coeficiente de temperatura del módulo fotovoltaico solar*. 2021. <https://www.eco-greenenergy.com/es/>
- [11] J. Patiño, J. Tello, J. Hernández. "Desarrollo de un regulador de carga para sistemas fotovoltaicos aplicando instrumentación virtual". *Ingeniería*, vol. 14, no. 2, pp. 13-18, 2009.
- [12] A. Colmenar, D. Borges, E. Collado, M. Castro. *Generación distribuida, autoconsumo y redes inteligentes*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia UNED. 2015.
- [13] Catálogo. MPPT Solar Charge Controller MC48100N15. SRNE SOLAR CO., LTD. China.
- [14] V. Mascarós M. *Gestión del montaje de instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid, España: Paraninfo. 2016.
- [15] Catálogo. Ultracell UCG275-12. Ultracell Ltd. Liverpool. Reino Unido.
- [16] J. Trashorras M. *Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas*. Madrid: Paraninfo. 2021.
- [17] J. A. Piqueras. *Cálculo de una instalación solar fotovoltaica autónoma*. Técnica Industrial, Vol. 281. 2009.
- [18] Catálogo. Inversores Phoenix Smart 1600VA - 3000VA. Victron Energy - Blue Power. Países Bajos.
- [19] AutoSolar. Soporte Paneles Solares ABS para caravanas. 2021. Disponible en: <https://autosolar.es/estructuras-caravana-y-barco/soporte-paneles-solares-abs-para-caravanas>
- [20] TeknoSolar. Estructura soporte placas solares 03H. 2021. Disponible en: <https://www.teknosolar.com/estructura-soporte-placas-solares-en-horizontal-para-cubierta-metalica/>
- [21] "Solar Makers". Curso de energía solar. Instituto Técnico Superior de Electricidad (ITC). Asunción, 2020.
- [22] A. Lacueva L. "Instalación fotovoltaica destinada a autoconsumo conectada a red en: pabellón polideportivo - alumbrado público". Memoria para ayuntamiento de Tronchón, Teruel, España. 2019. –