



*Selección de un sistema solar fotovoltaico para una finca ubicada en el Cantón
Quinindé*

*Selection of a photovoltaic solar system for a farm located in the Quinindé
Canton*

*Seleção de um sistema solar fotovoltaico para uma fazenda localizada no cantão
de Quinindé*

José Ricardo Moreno-Cevallos^I
jr66mc@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-0040-8711>

Richard Hector León-Betancout^{II}
bachyleom1@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-6086-6872>

Titio Gimmy Jácome-Vélez^{III}
gimjac@hotmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-7216-5766>

Correspondencia: jr66mc@hotmail.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de agosto de 2022 * **Aceptado:** 28 de septiembre de 2022 * **Publicado:** 30 de octubre de 2022

- I. Escuela Superior Politécnica del Litoral, Universidad Técnica “Luis Vargas Torres”, Ecuador.
- II. Universidad Luis Vargas Torres, Esmeraldas, Ecuador.
- III. Universidad Luis Vargas Torres, Esmeraldas, Ecuador.

Resumen

Este artículo presenta el procedimiento y el análisis realizado para la selección de un sistema fotovoltaico, para generar energía eléctrica para el abastecimiento de una vivienda del sector rural, que se encuentra ubicado en la Provincia de Esmeraldas – Cantón Quinindé – Parroquia Rosa Zarate – Recinto San Ramón. El dato de la irradiación solar directa para el sitio de la finca donde se desea ubicar el sistema de generación eléctrica fotovoltaico, fue tomado del MAPA SOLAR del Ecuador 2019.

Palabras clave: Selección; Sistema; Solar; Fotovoltaico; Finca.

Abstract

This article presents the procedure and the analysis carried out for the selection of a photovoltaic system, to generate electricity for the supply of a house in the rural sector, which is located in the Province of Esmeraldas - Quinindé Canton - Rosa Zarate Parish - San Ramon. The data of direct solar irradiation for the farm site where you want to locate the photovoltaic power generation system, was taken from the SOLAR MAP of Ecuador 2019.

Keywords: Selection; System; Solar; photovoltaic; Estate.

Resumo

Este artigo apresenta o procedimento e a análise realizada para a seleção de um sistema fotovoltaico, para gerar eletricidade para o abastecimento de uma casa no setor rural, localizada na Província de Esmeraldas - Cantão Quinindé - Paróquia Rosa Zarate - San Ramon. Os dados de irradiação solar direta para o local da fazenda onde deseja localizar o sistema de geração de energia fotovoltaica foram retirados do MAPA SOLAR do Equador 2019.

Palavras-chave: Seleção; Sistema; Solar; fotovoltaica; Estado.

Introducción

El acceso a las personas para obtener electricidad se ha convertido en una preocupación importante en los últimos años. La ONU lanzó en 2011 el programa “Energía sostenible para todos”, que será 100% para 2030[1].

La producción de energía mediante fuentes convencionales ocasiona problemas ambientales, entre los que se encuentra la reducción de la capa de ozono, aumento del calentamiento global, el agotamiento de los recursos, acidificación, entre otros (Dorotić, Doračić, Dobravec, Pukšec, Krajačić & Duić, 2019). Esta realidad ha impulsado a la optimización de la eficiencia en la sustracción, transporte, utilización, preservación de recursos energéticos y exploración de otras formas de obtener energía de recursos y fuentes renovables (Badii, Guillen & Abreu, 2016; Nikoobakht, Aghaei, Khatami, Mahboubi-Moghaddam & Parvania, 2019) [2].

A nivel mundial se definen tres factores que impulsan la utilización de las energías renovables para mejorar la calidad de vida en zonas rurales, estas son: el permanente crecimiento del consumo energético mundial, el alto impacto de las fuentes de generación de energía que utilizan combustibles fósiles (más del 80% de la

generación de electricidad actual), y el fin de la era del petróleo para combustible estimado entre 2020 y 2050 [3].

La energía solar fotovoltaica actualmente es la segunda fuente de energía renovable más utilizada o implementada en el mundo, después de la Eólica [4]. Esto se debe a que brinda soluciones a un sin número de problemáticas en este sector. La energía solar, es una de las energías renovables más importantes que existen, debido a que esta constituye prácticamente toda la energía que llega a la tierra. Su uso puede dividirse en dos rubros: el primero puede ser como fuente de calor de calor para sistemas solares térmicos y el segundo como fuente de electricidad para sistemas fotovoltaicos.

En el Ecuador y en gran parte de nuestro planeta, una de las formas de proporcionar energía eléctrica a sectores rurales alejados de la red pública de distribución eléctrica, es a través de las energías renovables, usando sistemas solares fotovoltaicos.

El uso de la energía solar tiene en gran medida como objetivo el ahorrar energías no renovables sobre todo la energía fósil y la energía nuclear, además de amortiguar el impacto ambiental de estas. Alrededor del mundo se están implementando cada vez más este tipo de sistemas de generación de energía eléctrica (ver Fig. 1).



Fig. 1. Paneles solares [5]

La producción de energía eléctrica está basada en el fenómeno físico denominado “efecto fotovoltaico”, que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas. Estas células están elaboradas a base de silicio puro (uno de los elementos más abundantes, componente principal de la arena) con adición de impurezas de ciertos elementos químicos (boro y fósforo), y son capaces de generar cada una corriente de 2 a 4 amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa¹ (Ver Figura 2).

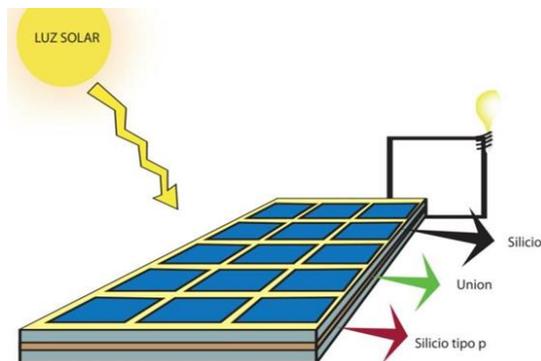


Fig. 2. Efecto Fotovoltaico [6]

Los sistemas solares fotovoltaicos se clasifican en dos grandes grupos [7]:

Sistemas solares fotovoltaicos aislados u off-grid, estos sistemas aislados no interactúan con la red pública de distribución eléctrica, gestionan la carga y descarga de baterías, algunos modelos permiten las conexiones de fuentes adicionales de respaldo (que pueden ser: generador eólicos, generadores eléctricos convencionales). La energía eléctrica se genera y se consume en el mismo punto

Sistemas solares fotovoltaicos con conexión a la red eléctrica (de autoconsumo), en este tipo de instalaciones el sistema fotovoltaico y la red eléctrica conviven para suministrar el consumo requerido. La energía producida por los kits solares de autoconsumo se prioriza para suministrar el consumo en la vivienda. En caso de ser insuficiente, la red eléctrica proporciona la energía necesaria. Mientras que, en caso de producirse excedentes en la instalación, la energía sobrante se inyecta a la red eléctrica para distribuirse al consumo más cercano.

En regiones rurales, los sistemas fotovoltaicos aislados o también llamados sistemas off-grid, constituyen una solución con la cual se puede proveer de energía eléctrica. El sistema fotovoltaico aislado (sin

conexión a la red eléctrica) consta de los siguientes elementos principales [6]:

- Un módulo fotovoltaico, compuesto por un conjunto de paneles fotovoltaicos, que captan la insolación luminosa procedente del sol y la transforman en corriente continua a baja tensión (12 ó 24 V).
- Un acumulador o baterías, almacenan la energía producida por el generador y permite disponer de corriente eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados.
- Un regulador de carga, cuya misión es evitar sobrecargas o descargas excesivas al acumulador, que le produciría daños irreversibles; y asegurar que el sistema trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia.
- Un inversor, que transforma la corriente continua de 12 ó 24 V almacenada en el acumulador, en corriente alterna de 110 V o 220 V.

Una instalación solar fotovoltaica sin inversor, utiliza una tensión de 12Vcc. Una instalación solar fotovoltaica con inversor, utiliza 110 Vca o 220 Vca de acuerdo a la necesidad del sistema.

Una vez almacenada la energía eléctrica en las baterías, hay dos opciones: sacar una línea directamente de éste para la instalación y utilizar lámparas y elementos de consumo

de 12 ó 24 Vcc o bien transformar la corriente continua en alterna de 110 V o 220 V a través de un inversor.

En la Figura 3, se muestra un esquema de un sistema fotovoltaico autónomo con topología A2 sin consumos en CC.

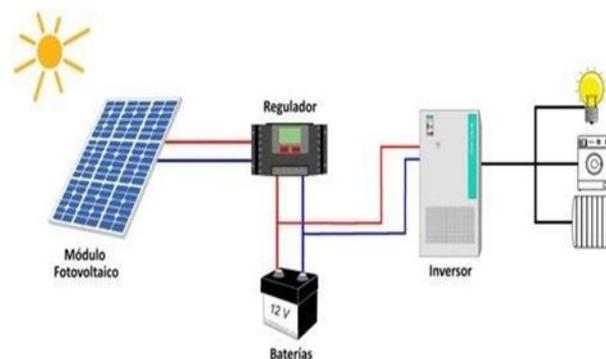


Fig. 3. Esquema de un sistema fotovoltaico aislado [8]

En la Figura 4, se muestra un esquema de un sistema fotovoltaico autónomo con consumos en CC.

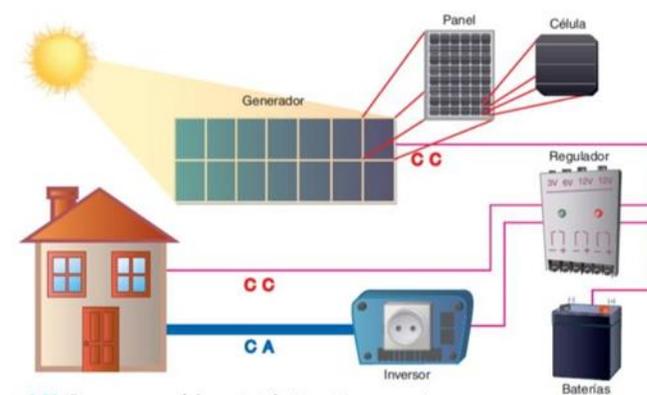


Fig. 4. Esquema de un sistema fotovoltaico aislado con aplicaciones de corriente continua [9]

Objetivos

General

Formular un procedimiento para seleccionar los componentes de un sistema de generación fotovoltaica aislado, para abastecer de energía eléctrica a una finca ubicada en la Provincia de Esmeraldas – Cantón Quinindé – Parroquia Rosa Zarate – Recinto San Ramón.

Específicos

1. Calcular los componentes requeridos del sistema de generación fotovoltaica aislado necesarios para suministrar la demanda eléctrica de una finca ubicada en la Provincia de Esmeraldas – Cantón Quinindé– Parroquia Rosa Zarate – Recinto San Ramón.
2. Seleccionar de entre una lista de fabricantes de componentes de sistemas de generación fotovoltaica, los requeridos para suministrar la demanda eléctrica la finca ubicada en la Provincia de Esmeraldas – Cantón Quinindé-Parroquia Rosa Zarate – Recinto San Ramón.

Metodología

La metodología planteada para seleccionar los componentes de un sistema de generación fotovoltaica, para abastecer de energía eléctrica de una finca que se encuentra alejada de la red de distribución eléctrica, es la siguiente:

1. Determinar el consumo de las cargas que se van a alimentar con la instalación solar fotovoltaica. Para determinar las cargas que van a alimentar con el sistema de generación fotovoltaico, se debe realizar una visita a la finca con el fin de recopilar información del tamaño de la vivienda, además de entrevistar a sus propietarios y obtener información de los equipos que serán usados en la vivienda.
2. Calcular la capacidad del banco para alimentar las cargas en condiciones de ausencia solar. La capacidad del banco de batería en Ah (amperios hora), se calculará usando las siguientes ecuaciones:

$$C_{bb} = \frac{E_r}{V_n * DoD} \quad Ec.1$$

$$C_{bb}(N) = C_{bb} * N \quad Ec.2$$

Además se debe tener en consideración la siguiente condición para la selección del voltaje de la batería:

$$N_{paralelo} = \frac{N_{ummod}}{N_{serie}} \quad Ec. 7$$

$$N_{ummod} = \frac{P_{FD}}{P_{mod}} \quad Ec. 5$$

$$Modulo Voc_{max} Serie = Voc * [1 + (Tmin - Tstc)]$$

Tabla No. 1 – Voltaje de Acumulación de las Baterías

Potencia del Generador Fotovoltaico (W)	Voltaje de Acumulación (V)
< 150	12
151-500	12 ó 24
501-750	24
750 - 1000	24 ó 48
1000 - 4000	48

3. Calcular el tamaño de la planta fotovoltaica para generar la cantidad de energía requerida para cargar las baterías y suplir las cargas durante el día. Para la selección de la planta fotovoltaica, se deberá determinar las horas solar pico (hsp) de irradiación directa siguiendo los siguientes pasos:

- Determinar la ubicación geográfica del sitio donde se va a instalar el sistema.
- Consultar información sobre el recurso solar en el lugar de instalación.
- Para los cálculos de selección de un sistema solar fotovoltaico aislado, se deberá tomar las horas solares pico del peor (las más baja) mes del año.

$$E_{fv} = Er + Fs \quad Ec. 3$$

$$P_{FD} = \frac{E_{fv}}{hsp} \quad Ec. 4$$

La selección del panel fotovoltaico se realiza con las siguientes ecuaciones:

4. Determinar los parámetros del controlador de carga. Esto se realizará con las siguientes ecuaciones:

$$I_{entrada} = 1,25 * I_{MOD,SC} * N_p \quad Ec. 8$$

5. Determinar los parámetros del inversor

$$P_{inv} = 1,2 * P_{AC} \quad Ec. 9$$

6. Selección de los componentes del sistema (baterías, regulador, inversor, cableado eléctrico, regulador de baterías, baterías – inversor).
7. Elaboración de Data Sheet del sistema solar fotovoltaico seleccionado. cada uno de los equipos seleccionados.

Selección de equipos y materiales

La selección de los equipos y materiales requeridos, se realizará en función de la metodología planteada en el numeral IV de este documento.

1. Determinar el consumo de las cargas. Después de haber realizado la visita a la finca y entrevistar a sus

propietarios, se determinó el siguiente consumo de cargas para la finca.

N = 3 días de autonomía

Equipos	Potencia (W)	Cantidad	Horas al día	Wh/día	Wh/mes
Foco en cocina	15	1	4	60,00	1.800,00
Foco en sala	15	1	3	45,00	1.350,00
Foco en cuartos	15	3	4	180,00	5.400,00
Foco para exteriores	15	1	3	45,00	1.350,00
Televisor	80	1	3	240,00	7.200,00
Cargador de celular	5	1	2	10,00	300,00
Radio	25	1	4	100,00	3.000,00
<i>Consumo</i>				680,00	20.400,00

Tabla No. 2 – Consumo de energía

Además de la información de las cargas eléctricas, la visita a la finca es necesaria para reconocer como está ubicada la vivienda respecto al norte geográfico y determinar el mejor sitio de instalación del sistema de generación fotovoltaica.

Cálculo de la capacidad del banco de baterías. Reemplazando los siguientes valores en la ecuación 1:

$$E_r = 680 \text{ Wh/día}$$

Se considera un factor de seguridad del 30%

V_n = De la tabla No. 1, con E_r se toma 24 V

DoD = 50 % (profundidad de descarga máxima para una batería plomo - ácido)

$$E_{rf} = 680 \frac{Wh}{d} * 1,30 = 884 \frac{Wh}{d}$$

$$C_{bb} = \frac{884 \frac{Wh}{d}}{24 V * 0,5} = 73,7 \frac{Ah}{d}$$

$$C_{bb}(N) = 73,7 \frac{Ah}{d} * 3d = 221 Ah$$

La selección de la batería, se realiza usando la referencia [11], de donde se obtiene la siguiente información:

La finca que requiere que se provea del suministro de energía eléctrica a través de paneles solares fotovoltaicos, se encuentra ubicada en la Provincia de Esmeraldas – Cantón Quinindé – Parroquia Rosa Zarate – Recinto San Ramón. San Ramón es un recinto que pertenece a la Parroquia Rosa Zarate del Cantón Quinindé en la Provincia de Esmeraldas, en Ecuador, se encuentra localizada a 13,5 Km de la ciudad de Quinindé [Latitud: 0° 17'58" - Longitud 79° 34'28"] [12]; su clima es tropical húmedo con temperatura promedio de 25 °C. Se ha decidido usar el sistema fotovoltaico aislado (off-grid), debido a que la finca no tiene acceso a la red de distribución eléctrica.

2. Technical data (Reference temperature 20 °C)

Type	C _{1h} Ah	C _{10h} Ah	C _{20h} Ah	C _{72h} Ah	C _{100h} Ah	C _{120h} Ah	C _{240h} Ah	R ₁ msΩ	I ₂ kA	Length (L) mm	Width (W) mm	
12 V 1 PVV	70	35	60	67	76	78	79	82	17.47	0.73	272	205
12 V 2 PVV	140	68	110	120	133	137	138	142	9.55	1.34	272	205
12 V 3 PVV	210	103	167	182	203	208	210	216	6.74	1.91	380	205
6 V 4 PVV	280	137	224	244	273	279	282	290	2.66	2.42	272	205
6 V 5 PVV	350	172	281	306	343	350	354	364	2.24	2.87	380	205
6 V 6 PVV	420	207	337	368	412	421	424	439	1.94	3.31	380	205

Fig. 8. Ubicación del Recinto San Ramón [12]

Los datos de radiación solar de las horas solares pico (hsp) mínimas anuales del sitio; se obtienen del MAPA SOLAR del Ecuador 2019 – SCINERGY [13], ver Figuras 7, 8, 9.

Fig. 8. Histograma de Frecuencia de la Irradiación Solar Global Horizontal (GHI) Anual [13]

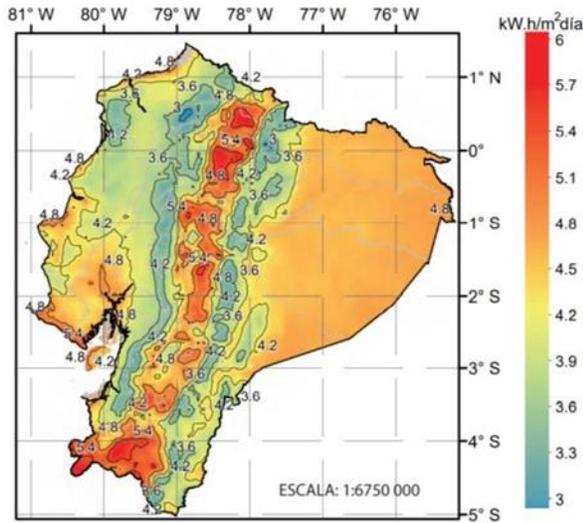


Fig. 7. Irradiación Solar Global Horizontal (GHI) Anual [13]

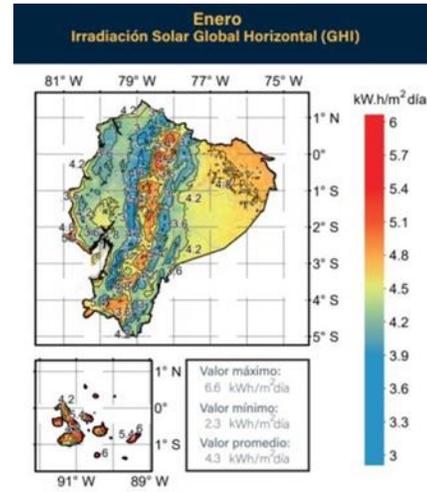


Fig. 8. Ubicación del Recinto San Ramón [12]

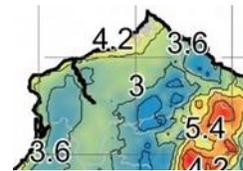
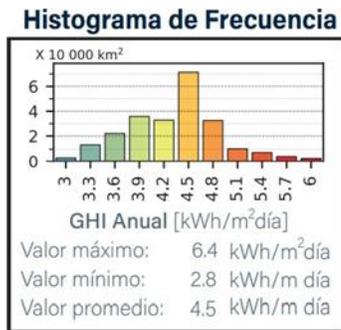


Fig. 9. Valores de Irradiación Solar Horizontal Mínima para la Provincia de Esmeraldas – Cantón Quinde [13]

Del mapa solar del Ecuador 2019, se toma el valor de 3 hsp (horas solares pico mínimas anuales) para la Provincia de Esmeraldas –

Cantón Quinindé – Parroquia Rosa Zarate – Recinto San Ramón. El cálculo del arreglo fotovoltaico es:

$$E_{fv} = 884 \text{ Wh/d hsp} = 3 \text{ h}$$

$$\text{Modelo JKM340PP-72} = 340 \text{ W}$$

$$P_{FD} = \frac{884 \frac{Wh}{d}}{3 \frac{h}{d}} = \frac{884 \frac{Wh}{d}}{3 \frac{h}{d}}$$

$$P_{FD} = 295 \text{ W}$$

$$N_{ummod} = \frac{295W}{340 W} = 0,87$$

Seleccionamos **1 módulo solar** **JKM340PP-72** de la marca **Jinko Solar** [10]

Voltaje y corriente del arreglo

1 Módulo => VOC = 47,5 V, este es el voltaje máximo entregado al controlador en STC

$$V_{mp} = 38,2 \text{ V} \quad I_{SC} = 9,22 \text{ A}$$

Engineering Drawings

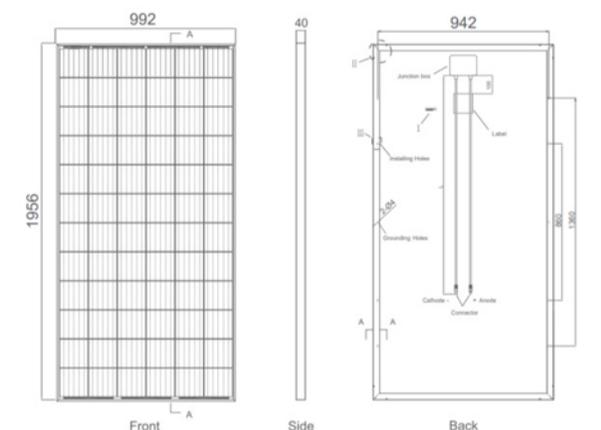


Fig. 10 – Modelo ICM-1024 150 [10]

4) Cálculo del controlador

Donde:

2288

$$I_{SC} = 9,22 \text{ A}$$

$$N = 1 \text{ (1 módulo solar)}$$

$$I_{entrada} = 1,25 * 9,25A * 1 = 11,56 \text{ A}$$

ICM-2024150	
Entradas MPPT	1 canal
Voltaje de entrada de la batería	12V/24V Automático
Especificación	12V 24V
Rango de voltaje fotovoltaico	18V-150V / 36V-150V
Potencia de entrada del panel solar	≤240W ≤480W ≤1000W
Corriente de carga (Max)	20A

Fig. 11 – Datos del Controlador de Carga MPPTV

[14]

El controlador seleccionado es el Modelo ICM- 1024150 de la Marca Inti – Photovoltaics, con una capacidad de corriente de carga de 20A, que es el modelo inmediato superior más cercano disponible a la corriente de carga de los 11,56 A resultante del cálculo de selección del controlador.



Fig. 12 – Modelo ICM-1024 150 [14]

5) Cálculo del inversor

Para este cálculo usamos la siguiente ecuación:

$$P_{inv} = 1,2 * P_{AC}$$

Donde:

PAC= 680 Wh/d

$$P_{inv} = 1,2 * 680 = 816 W \Rightarrow 900 W$$

Para la selección del controlador usamos la referencia [15], de la figura 13 tomamos:

	12 voltios	12/500
Inversor Phoenix	24 voltios	24/500
	48 voltios	48/500
Potencia cont a 25°C (1)		500VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C		400 / 350V
Pico de potencia		900W

Fig. 13 – Datos del Inversor [15]

El inversor seleccionado es el Modelo Phoenix 24/375 , con una capacidad de pico de potencia de 900 W



Fig. 14 – Datos del Inversor [15]

6) Data Sheet del sistema de solar fotovoltaico aislado (off-grid) seleccionado inversor

Tabla 3 – Data Sheet del Sistema de Generación Asilado (off-grid)

PANEL SOLAR	MARCA	JINKO Solar
	Modelo	JKM340PP-72*
	Tipo de Celda	Poli cristalina (156*156mm)
	Dimensiones	1956*992*40 mm
	Peso	26,5 kg
	Potencia Maxima (Pmax)	340Wp
	Máximo Voltaje Vmp	38,2 V
	Máximo Corriente Imp	8,91 A
	Voltaje Voc	47,5 V
	Corriente Isc	9,22A
Eficiencia del módulo	17,52%	
Número de paneles	1	
BATERÍA	MARCA	BAE Secura PVV BLOCK Solar
	Modelo	6 V 4 PVV – C20s
	Tipo	Plomo - acido
	Longitud	272 mm
	Ancho	205 mm
	Alto	385 mm
	Peso	50,5 kg
Número de baterías	4 – conectadas en serie	
CONTROLADOR	MARCA	inti- Photovoltaics
	Modelo	ICM-2024150
	Tipo	MMPT
	Corriente de carga	20 A
	Voltaje de entrada de la batería	12V/24V Automático
	Potencia de entrada del panel solar	240W ≤ 480W ≤ 1000W
	Sobrecarga	±9V
Número de controladores	1	
INVERSOR	MARCA	Phoenix
	Modelo	12/375 V.E. Direct
	Pico de potencia	900 W
	Rango de tensión de entrada	9,2 – 17/18,4 – 34,0 / 36,8 – 62,0V
	Tensión / Frecuencia CA	230VCA o 120VCA +/- 3%; 50Hz o 60Hz +/- 0,1%
	Eficiencia máxima	90%

*Los datos del panel solar son tomados a STC (Irradiance 1000W/m2 – Temperatura de la celda 25 °C)

Seleccionar un sistema fotovoltaico aislado (off- grid) para proveer de energía eléctrica a una vivienda ubicada en la Provincia de Esmeraldas – Cantón Quinindé – Parroquia Rosa Zarate – Recinto San Ramón, que tiene un consumo diario de 680 Wh/d.

2) Con los valores calculados, fueron obtenidos los equipos seleccionando de los manuales de fabricantes.

3) La irradiación solar para los cálculos, fueron tomados del MAPA SOLAR del Ecuador 2019, que se tiene para la Provincia de Esmeraldas – Cantón Quinindé – Parroquia Rosa Zarate – Recinto San Ramón.

4) En el Data Sheet elaborado con los componentes del sistema de generación fotovoltaica aislado (off-grid), se incluyó las características técnicas del panel fotovoltaico y de sus principales equipos.

Recomendación

1) Se recomienda, que en los sectores alegados de nuestra provincia que no tienen acceso a la red pública (Sistema Nacional Interconectado), se fomente el suministro de energía eléctrica a través de la tecnología de sistemas fotovoltaicos asilados (off-grid), ya que de esta forma estamos abasteciendo de energía eléctrica a estos sectores rurales y a la vez estamos dejando de emitir gases de CO₂ a la atmosfera.

Referencias

1. <http://enerlac.olade.org/index.php/ENERLAC/article/view/123/144>

2. <http://revistas.curnvirtual.edu.co/index.php/aglala/article/view/1783/1214>
[3]<https://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/visele/article/download/14260/14386/>
[4]<https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/10312/G%c3%b3mez2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. <https://americancentersolar.com/>
4. CONELEC – “Atlas Solar del Ecuador con Fines de Generación Eléctrica”
5. <https://www.monsolar.com/blog/tipos-sistemas-solares-fotovoltaicos/>
6. <https://www.censolar.org/errores-frecuentes-1/>
[9]<https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
7. https://drive.google.com/file/d/1vI3jM_K5jXI-j3hX4QsqhGnmU3lD3plF/view
8. https://www.energiaymovilidad.com/blog/wp-content/uploads/2018/05/3BAE_PV_V_Block_en_LQ_2016.06.pdf
9. .pdf
10. Gonzáles Tenorio Jalisco – “Historia de Quinindé”

11. https://www.ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf
12. <https://www.energiaymovilidad.com/blog/wp-content/uploads/2018/05/Ficha-Tecnica-Acacia.pdf>
13. <https://www.renova-energia.com/wp-content/uploads/2019/07/IN075.pdf>

© 2022 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).