



Implementación de un sistema fotovoltaico para abastecer de energía a un sector rural del Golfo de Guayaquil mediante el análisis de carga y simulación por software

Implementation of a photovoltaic system to supply energy to a rural sector of the Gulf of Guayaquil through load analysis and software simulation

Implementação de um sistema fotovoltaico para fornecer energia a um setor rural do Golfo de Guayaquil por meio de análise de carga e simulação de software

Víctor Hugo Chiluzza Briones ^I
ingenieria1@inproconfi.com
<https://orcid.org/0000-0002-7366-636X>

Jesús Alberto Bravo Contreras ^{II}
jbravoc2@est.ups.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-5200-3719>

Correspondencia: ingenieria1@inproconfi.com

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 23 de diciembre de 2022 * **Aceptado:** 12 de enero de 2023 * **Publicado:** 24 de febrero de 2023

- I. Ingeniero Eléctrico, Investigador Independiente, Ingeniero constructor en INPROCONFI, S.A. Ecuador.
- II. Ingeniero Eléctrico, Investigador Independiente, Fiscalizador de Proyectos Eléctricos, Ecuador.

Resumen

El estudio en cuestión tiene como finalidad la implementación de sistemas fotovoltaicos en la comuna Masa 2 ubicada en el Golfo de Guayaquil, con la finalidad de abastecer del suministro eléctrico limpio y económico a los habitantes del sector, ya que no cuentan con suministro eléctrico convencional, lo que implica utilizar generadores eléctricos a base de motores de combustión interna, los mismos que dan lugar a gastos económicos considerables, pero colateralmente el daño medio ambiental que producen. En torno al antecedente antes indicado se tiene previsto aprovechar la energía solar como recurso natural con los que cuenta el sector, además de ser amigable con el medio ambiente nos permitirá reducir tanto los costos debido al consumo de combustible, el mantenimiento del grupo, pero sobre todo mitigar el impacto ambiental del $[\text{CO}]_2$ sobre el entorno. En base a ello, se efectuó el análisis de carga para garantizar un sistema estable a futuro y capaz de cubrir las necesidades eléctricas básicas y comunes de los moradores, tomando como referencia el consumo eléctrico promedio que cada vivienda, todo esto mediante el estudio del lugar y de los elementos eléctricos que utilizan, lo cual permitió realizar el diseño y dimensionamiento adecuado de los equipos en los que se pueda aprovechar la mayor captación de la radiación solar.

Finalmente se realizaron las pruebas de estabilidad del sistema propuesto con la finalidad de verificar su correcto funcionamiento.

Palabras Clave: Energía Renovable; Sistema Fotovoltaico; Energía Solar; Software Pvsyst.

Abstract

The purpose of the study in question is the implementation of photovoltaic systems in the Masa 2 commune located in the Gulf of Guayaquil, in order to supply the inhabitants of the sector with a clean and economical electricity supply, since they do not have a conventional electricity supply. which implies using electric generators based on internal combustion engines, the same ones that give rise to considerable economic expenses, but collaterally the environmental damage they produce. Regarding the aforementioned background, it is planned to take advantage of solar energy as a natural resource available to the sector, in addition to being friendly to the environment, it will allow us to reduce both costs due to fuel consumption, group maintenance, but above all mitigate the environmental impact of $[\text{CO}]_2$ on the environment. Based on this, the load analysis was

carried out to guarantee a stable system in the future and capable of covering the basic and common electrical needs of the residents, taking as a reference the average electrical consumption of each home, all this through the study of the place. and of the electrical elements that they use, which allowed the design and adequate sizing of the equipment to be carried out in which the greater capture of solar radiation can be used.

Finally, the stability tests of the proposed system were carried out in order to verify its correct functioning..

Keywords: Renewable energy; Photovoltaic System; Solar energy; Pvsyst-Software.

Resumo

O objetivo do estudo em questão é a implementação de sistemas fotovoltaicos na comuna Masa 2 localizada no Golfo de Guayaquil, a fim de fornecer aos habitantes do setor um fornecimento de eletricidade limpa e econômica, uma vez que não possuem eletricidade convencional abastecimento, o que implica a utilização de geradores elétricos baseados em motores de combustão interna, os mesmos que acarretam consideráveis gastos econômicos, mas colateralmente os danos ambientais que produzem. Relativamente ao referido enquadramento, prevê-se o aproveitamento da energia solar como recurso natural ao dispor do sector, para além de ser amigo do ambiente, permitirá reduzir quer os custos com consumo de combustível, quer a manutenção do grupo, mas sobretudo todos atenuam o impacto ambiental de CO_2 no meio ambiente. Com base nisso, foi realizada a análise de carga para garantir um sistema estável no futuro e capaz de cobrir as necessidades elétricas básicas e comuns dos moradores, tomando como referência o consumo elétrico médio de cada residência, tudo isso através do estudo de do local e dos elementos elétricos que utilizam, o que permitiu a realização do projeto e dimensionamento adequado dos equipamentos nos quais se pode aproveitar a maior captação de radiação solar.

Por fim, foram realizados os testes de estabilidade do sistema proposto a fim de verificar o seu correto funcionamento.

Palavras-chave: Energia renovável; Sistema Fotovoltaico; Energia solar; Pvsyst-Software.

Introducción

Debido al crecimiento poblacional e industrial de manera acelerada se generó una gran demanda de energía en el mundo, lo que ha generado un aumento en las emisiones de los gases de efecto invernadero y demás contaminantes a nivel mundial, lo que está generando graves daños al ambiente y contribuyen al calentamiento global (Abad, 2017).

La importancia que hoy en día tienen las energías renovables como la principal fuente energética en el país o en el mundo son para obtener sus grandes beneficios. Al inicio del nuevo milenio, el hombre tiene la necesidad de aminorar la contaminación ambiental para así reducir las lluvias acidas y efecto de invernadero (Chiquin, y Marquez, 2011)

De acuerdo con Mallaguari & Shicay (2015), se considera que si se aprovechara toda la energía fotovoltaica en un estimado de 20 días es capaz de generar la misma o una mayor cantidad de energía que los sectores del petróleo, gas y carbón en un año. En el 2019, mediante las energías renovables, se generó el 8,5% de la energía eléctrica mundial, logrando integrarse a la red sin la necesidad de infraestructura complementaria (Santana, y Catagua, 2021)

Así que la humanidad con su intento de mitigar los daños debido a la contaminación ambiental por la quema de combustibles fósiles y proveyendo el conocimiento para poseer las herramientas necesarias para la aplicación de sistemas que sean amigables con el medio ambiente (Vélez et al 2020)

Este tipo consecuencias motivó a los investigadores a desarrollar alternativas de energías las cuales han ayudado a mitigar el impacto ambiental que el ser humano ha producido. En esta línea, con las visitas realizadas, y con el trabajo de (Carrión, y Mendoza, 2021) se pudo constatar que el recinto Masa 2, está conformado por aproximadamente 69 integrantes y se encuentran divididas en 23 familias de 3 a 5 habitantes por casa a las cuales se suministra energía por medio de generadores a gasolina, a un hogar de la comunidad de Masa 2.

Debido a que la comunidad Masa 2 se encuentra en una ubicación de difícil acceso, los moradores optaron por el uso de generadores a combustión de 2.2 KW, para abastecerse de energía eléctrica para iluminación de la vivienda, uso y carga de dispositivos electrónicos, empezando desde las 17:00 y finalizan a las 23:00h, aproximadamente 6 horas diarias. Debido a estas actividades de generan gastos en combustible de aproximadamente \$20 a \$35 semanales, además de aceites y demás elementos para el mantenimiento del generador. Este análisis corresponde a una sola vivienda, es decir que todos estos gastos se deben multiplicar por aproximadamente los 20 generadores con los que cuenta la comunidad (Santana, y Catagua, 2021).

Es por ello, que se pretende aprovechar uno de los recursos más abundantes en el Ecuador, el Sol, ya que debido a la ubicación geográfica contamos con una gran incidencia de los rayos solares cada año, los cuales serán aprovechados para convertirlos en energía eléctrica y lograr contar con una fuente de energía limpia, esto a su vez permitirá reducir de manera considerable el uso de generadores a base de combustibles, dichos generadores por su principio de funcionamiento son emisores de CO_2 , lo que representa contaminación ambiental y auditiva. Otro de los principales beneficios del uso de este recurso renovable es que se podrá contar con más horas de iluminación en horas de la noche y con un costo de energía más reducido.

Basado en lo descrito anteriormente, se desarrolla un estudio de investigación con el objetivo de proponer la implementación de un sistema fotovoltaico aislado, el cual mediante el análisis de carga y simulación por software permita reducir las horas de uso de los generadores y sea capaz de cubrir la demanda eléctrica básica de la vivienda.

Aspectos teóricos que sustentan el desarrollo del estudio

Debido al desarrollo acelerado tanto del sector industrial como el residencial, se tuvo la necesidad de obtener energía eléctrica y como primera opción se utilizaron recursos como el petróleo, uranio, gas natural y el carbón. Estas fuentes de energía no renovables tienen un gran impacto negativo en el medio ambiente, por lo que se ha optado por buscar fuentes de energía alternativas por medio de recursos o fuentes de energía limpias y renovables (Armijos, y Encarnación, 2018)

Candial (2015) nos indica que a los sistemas que combinan diferentes métodos de generación de energía se los denomina híbridos. En estos sistemas se llega a una configuración óptima basándose en las condiciones ambientales del entorno para poder obtener el máximo rendimiento de los recursos renovables de la naturaleza.

Otro de los escenarios donde es recomendable el uso de fuentes de energía alternativa es para lugares los cuales se encuentren muy alejados del suministro de las redes eléctricas, y dependiendo de las condiciones ambientales del lugar se puede optar por generación por sistemas eólico, solar, hidráulica, biomasa, entre otras (Carrión y Mendoza, 2021).

Energía solar fotovoltaica

La energía solar proviene de la radiación del sol, la cual se propaga mediante ondas electromagnéticas, y la energía solar fotovoltaica se fundamenta en el uso de células fotovoltaicas,

las cuales se fabrican a base de materiales cristalinos semiconductores que por efecto fotovoltaico generan un movimiento de electrones lo cual produce una corriente eléctrica al recibir incidencia de la radiación solar sobre los mismos (Toalongo, y Sancho, 2021).

Radiación solar

Podemos definir a la radiación solar como el flujo de energía que llega a la tierra como ondas electromagnéticas, esta radiación se mide en W/m^2 (Armijos, y Encarnación, 2018)

De acuerdo con el estudio de Vélez (2010), la radiación solar que penetra la atmósfera de la tierra, se distinguen varios tipos como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

- Radiación Directa (IB)
- Radiación Difusa (ID)
- Radiación Reflejada (IR)
- Radiación Global (IG).

Según Alonso (2011), la radiación solar se utiliza para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, el cual se puede realizar utilizando sus unidades de medida las cuales son:

- Hora solar pico (HSP): Se la define como la cantidad de horas sol en la que en una superficie logra absorber una radiación solar 1000 watts por metro cuadrado.
- Watio pico (Wp): Es la potencia máxima que puede suministrar un sistema de generación fotovoltaico con una radiación constante de 1000 watts por metro cuadrado.

Los sistemas fotovoltaicos

Según Macancela (2018), los sistemas fotovoltaicos se dividen principalmente en:

- ❖ Sistemas fotovoltaicos conector a la red (Ongrid)
- ❖ Sistemas fotovoltaicos aislados o desconector a la red (Off grid)

Sistemas fotovoltaicos conector a la red (ON GRID), como su nombre lo indica son aquellos los cuales su principal característica es que se encuentran conectados a la red eléctrica de la empresa distribuidora. En este tipo de sistemas se plantea cumplir con la demanda establecida en el proyecto, optimizando los recursos para reducir el costo de la energía al máximo (Jiménez y García, 2020)

Sistemas fotovoltaicos aislados (off grid), son aquellos los cuales se encuentran totalmente aislados al sistema eléctrico convencional de las empresas distribuidoras. Normalmente este tipo de sistemas son viables en áreas de difícil acceso, tanto en el ámbito económico como geográfico (Byron, 2020).

Según Carrión y Mendoza (2021), los sistemas fotovoltaicos aislados, por su ubicación se pueden clasificar en:

- ✓ Centralizados. _ Se trata de ubicar todos los equipos generadores de energía en un solo lugar.
- ✓ Descentralizado. _ En este sistema, se ubican de forma individual en cada uno de los lugares donde se pretende brindar de energía eléctrica.

Regulaciones para sistemas fotovoltaicos

El incluir sistemas de micro generación a la red eléctrica, desde hace varios años atrás es uno de los temas en lo que se ha estado desarrollando normativas ya que muchos países basan sus regulaciones solo en generación distribuida, para así poder facultar la micro generación, sin embargo, debido a la falta de precisión de la normativa, deja muchas incertidumbres al momento de aplicarla (Romero, y Flores, 2013).

El establecimiento de normativas y regulaciones exclusivamente para la implementación de sistemas de micro generación es de vital relevancia, debido a la disparidad que existe entre las naturalezas de las redes de alta, media y baja tensión (Rivera, 2020).

Regulaciones para SFV en Ecuador

Ecuador es uno de los países que promueve emplear fuentes de energía limpia y amigable con el medio ambiente, con la finalidad de reducir la emisión de gases que contaminen al medio ambiente por la quema de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica (Romero y Flores, 2013).

En la constitución de la república del Ecuador (2008), en su artículo 15 y artículo 413, indica que el estado debe promover el uso de tecnologías que sean amigables con el medio ambiente o de bajo impacto y energías renovables.

Debido a esto, la ARCONEL, (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2018), ha dispuesto la regulación Nro. 003/18 titulada “Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”, a la cual nos vamos a referir en esta sección.

Materiales y métodos

Para el desarrollo de este estudio nos basamos en la investigación científica, según lo recitado por Behaer (2008), esta constituye el procedimiento consecuente por el cual los investigadores y científicos logran adquirir respuesta a las hipótesis planteadas.

El método científico involucra la observación, luego de la cual se generan hipótesis y experimentos en base a lo observado, esto de acuerdo con Vélez et al (2020). En la medida en que se pretende verificar tanto la hipótesis bien establecida como los objetivos específicos, este trabajo ha sido elaborado con un enfoque cuantitativo, ya que según Arias (2016), debido a que la naturaleza del objeto es cuantificable, observable y medible.

Primeramente, se planificó la visita a la vivienda en el recinto Masa 2, con el cual se procedió a realizar el levantamiento de información de datos y del área de trabajo, con los cuales se procedió a realizar el dimensionamiento del SFV y utilizando el software de AutoCAD, se procedió a realizar el diseño estructural en 2D de la vivienda y en base a este se procede a realizar el diseño del sistema eléctrico cumpliendo con los estándares de las normativas Ecuatorianas de Construcción (NEC) (Unamuno, 2018).

De acuerdo con los datos obtenidos en el levantamiento de información se dio inicio al análisis de las cargas existentes en la vivienda y las horas que se necesita el funcionamiento de estas. Para ello se utilizar el software de PVSystel cual nos permite simular un sistema fotovoltaico aislado que pueda suplir las necesidades básicas de la vivienda.

En la vivienda residen 3 familias actualmente, las cuales mediante 1 generador de combustión de 2.2 kW, se abastecen del servicio eléctrico para suplir la demanda eléctrica de la vivienda. El generador que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, suministra energía eléctrica de forma limitada en horas de la noche, aproximadamente desde las 6 pm hasta las 10 pm, los cuales dependiendo del estado eléctrico y mecánico en el que se encuentren, pueden aumentar los gastos de operatividad del servicio, sin mencionar las molestias generadas por el ruido y la contaminación del equipo.

Ilustración 1. *Generador utilizado por la vivienda.*



Fuente: Autor

Mediante el levantamiento de información realizado a través de las visitas a la vivienda en la comuna Masa 2, en la tabla 1 se muestra un resumen de los datos del consumo obtenidos de la familia Rodríguez Zúñiga:

Tabla 1. *Consumo estimado actual de la vivienda*

<i>Dispositivo</i>	<i>Cantidad</i>	<i>Tiempo de uso (h)</i>	<i>Potencia U.(W)</i>	<i>Potencia U.(W)</i>	<i>Energía Diaria (Wh/día)</i>
<i>Televisión 32' TCL</i>	1	6	45	45	270
<i>Directvdecod.</i>	1	6	15	15	90
<i>Parlante</i>	1	1	150	150	150
<i>Lavadora</i>	1	0,33	500	500	165
<i>Focos</i>	6	4	65	390	1560
<i>Celulares</i>	2	2	20	40	80
<i>Total</i>				1170	W
				2315	Wh/día

Fuente: Autor

De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) (Unamuno, 2018), las instalaciones eléctricas en la vivienda deben asegurar salvaguardar la integridad de las personas y lo bienes contra los riesgos y peligros que se puedan generar por la utilización de la electricidad,

además de cumplir los estándares de calidad y la continuidad del servicio, por esto el cálculo de la demanda del sistema es uno de los procedimientos importantes que se deben considerar.

En el circuito de iluminación se proyecta implementar focos led de 9W para 5 puntos de iluminación con los que cuenta la vivienda y 1 foco de 45W para el área externa de la vivienda, realizando el cálculo de la demanda para el circuito de iluminación de la siguiente forma:

$$De = P_d * N_d * t \quad \text{Demanda Esperada} \quad (1)$$

Donde:

De= Demanda esperada.

P_d = Potencia del dispositivo.

N_d = Cantidad de dispositivos.

t = Tiempo de uso.

Obtenemos los siguientes valores

$$De = 9(W) * 5(Focos) * 4(h) + 45(W) * 1(Foco) * 2(h)$$
$$De = 270(Wh/día)$$

Para el cálculo de la demanda del circuito de toma corrientes se plantearon las siguientes cargas:

- Teléfono Celular, con intervalos de carga de 2 horas diarias.
- Televisor, con un uso aproximado de 6 horas diarias.
- Decodificador DIRECTV, con un uso aproximado de 6 horas diarias.

Para el cálculo de la demanda del circuito de tomacorrientes se usa los valores de potencia en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y se utiliza la ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

$$De = 45(W) * 1(Tv) * 6(h) + 20(W) * 2(telf cell) * 2(h) + 15(W) * 1(Deco.) * 6(h)$$
$$De = 440 (Wh/día)$$

La demanda máxima diaria del sistema se calcula mediante la suma de la demanda del circuito de iluminación y el circuito de tomacorrientes:

$$D_{te} = 440 + 270 (Wh/día)$$
$$D_{Act} = 710(Wh/día)$$

A continuación, se presenta un resumen en la

Tabla un resumen de las cargas que el sistema fotovoltaico se proyecta a abastecer y en la Tabla 3 se muestran los valores de potencia y energía total del sistema eléctrico con la optimización del consumo.

Tabla 2. *Planilla de consumo de la vivienda para el sistema fotovoltaico*

Resumen de Análisis de Cargas para cubrir con el SFV								
Circuitos (120 Vac)						Demanda Diaria		
Ítem	N.º Circuito	Descripción	Cant.	P. Unid (W)	P. Total (W)	Tiempo (h)	Energía (Wh/día)	Servicio
1	1	Iluminación interior	3	9	27	4	108	Servicio de alumbrado interno y externo de la vivienda
2	1	Iluminación exterior	2	9	18	4	72	
3	1	Iluminación baño	1	45	45	2	90	
4	2	Televisión	1	45	45	6	270	Entretenimiento
5	2	Directv	1	15	15	6	90	
6	2	Teléf. Celular	2	20	40	2	80	Comunicación y educación
Potencia Total de la vivienda						190		W
Demanda Máxima de Energía Diaria						710,000		Wh/día

Fuente: Autor

Tabla 3. *Planilla general de consumo de la vivienda*

Resumen de Análisis de Cargas General del Sistema Eléctrico de la vivienda		
Circuitos (120 Vac)		Servicio
	Demanda Diaria	

Ítem	N.º Circuito	Descripción	Cant	P. Unid (W)	P. Total (W)	Tiempo (h)	Energía (Wh/día)	
1	1	Iluminación interior	3	9	27	4	108	Servicio de alumbrado interno y externo de la vivienda
2	1	Iluminación exterior	2	9	18	4	72	
3	1	Iluminación baño	1	45	45	2	90	
4	2	Televisión	1	45	45	6	270	Entretenimiento
5	2	Directv	1	15	15	6	90	
6	2	Teléf. Celular	2	20	40	2	80	Comunicación y educación
7	2	Lavadora	1	500	500	0,33	165	Limpieza
8	2	Licuada	1	400	400	0,166	66,4	Cocina
9	2	Parlante	1	150	150	1	150	Comunicación y educación
Potencia Total de la vivienda						1240	W	
Demanda Máxima de Energía Diaria						1091,400	Wh/día	

Fuente: Autor

Con el fin de desarrollar un sistema fotovoltaico que sea capaz que abastecer la demanda de la vivienda, y en base a los estudios de la asociación municipal de Colonos del Pato (AMCOP, 2017), se deben realizar los siguientes cálculos:

1. Ángulo óptimo de inclinación para los paneles fotovoltaicos.

$$\beta = |\phi| + 10$$

Donde:

β = Ángulo Óptimo

ϕ = Latitud del lugar

Donde:

$$\beta = |2,38| + 10$$

$$\beta = 12,38^\circ$$

Por lo que se recomienda trabajar a un ángulo de $\beta = 15^\circ$

2. Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos

2.1. Demanda Total del Sistema

Para determinar la energía diaria que el sistema fotovoltaico debe suplir para abastecer el consumo establecido en la Tabla 2, hay que tomar en cuenta los valores de eficiencia de los dispositivos que interactúan en este proceso, a través de la ecuación:

$$D_r = \frac{D_{Dct}}{n_{bat}} + \frac{D_{Act}}{n_{bat} * n_{inv}}$$

Siendo:

$D_r =$ Demanda de energía diaria total requerida por el sistema (Wh).

$D_{Dct} =$ Energía diaria requerida en Dc (Wh).

$D_{Act} =$ Energía diaria requerida en Ac (Wh).

$n_{bat} =$ Rendimiento del sistema de acumulación de energía (Batería).

$n_{inv} =$ Rendimiento del equipo inversor.

Si se tiene una referencia de una eficiencia del 90% para el inversor y para las baterías, reemplazando valores obtenemos:

$$D = \frac{0}{0,90} + \frac{710(\text{Wh/día})}{0,90 * 0,90}$$

$$D_r = 876,54 (\text{Wh/día})$$

2.2. HORA SOLAR PICO (HSP)

Para efectuar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, es fundamental obtener los datos meteorológicos de la zona de estudio, para poder efectuar el cálculo de las horas solar pico (HSP), como se proyecta cumplir con la demanda del sistema en todo el año, se toma el valor del mes con menor HSP. Para nuestro caso se considera HSP=3,14.

Mes	HSP
Ene	4,38
Feb	4,39
Mar	4,79
Abr	5,02
May	4,68
Jun	3,92
Jul	3,95
Agos	4
Sep	4,23
Oct	3,18
Nov	3,14
Dic	4,34

Tabla 1. Hora solar Pico.

Fuente: Meteonorm 8

2.3. CALCULO DE LA POTENCIA DEL GENERADOR FOTOVOLTAICO

Para calcular la potencia que debe generar el panel fotovoltaico se hace uso de la ecuación de

$$P_{Gf} = \frac{D_r * 1,30}{HSP * PR}$$

Siendo:

P_{Gf} =Potencia generada por paneles fotovoltaicos.

D_r = Demanda energética media diaria.

PR=Factor de funcionamiento global=0,9

Se define un factor de sobredimensionamiento del 30% de la potencia nominal

Resolviendo tenemos:

$$P_{Gf} = \frac{876,54 * 1,30}{3,14 * 0,9}$$

$$P_{Gf} = 403,22 \text{ (Wp)}$$

Se necesita un generador fotovoltaico que genere como mínimo 405 Wp, este generador puede constar de un solo o varios módulos fotovoltaicos, esto depende de la capacidad del panel que se adquiera

2.4. SELECCIÓN DEL ÓPTIMO PANEL FOTOVOLTAICO

A continuación, se muestra una tabla de resumen de los paneles fotovoltaicos y la cantidad necesaria para cubrir la potencia requerida, de los modelos se encontraron actualmente en el mercado (Anexo 3):

CARACTERISTICA DE PANELES FOTOVOLTAICOS DISPONIBLES					
Ítem	Modulo FV	Wp	Cant.	Precio Unit	Precio Total
1	GI POWER GP-150P-36	150	3	\$ 141,75	\$ 425,25
2	Jinko Solar JKM280PP-60	280	2	\$ 148,34	\$ 296,68
3	Panel solar Monocristalino	330	2	\$ 153,00	\$ 306,00
4	Jinko Solar JKM405M-72H-V	405	1	\$ 187,64	\$ 187,64

Tabla 2. Paneles solares en el disponibles en el mercado local.

Fuente: Autor

Como se muestra en la **Tabla 2**, el panel fotovoltaico escogido es el ítem 4, el Jinko Solar de 405 Wp, debido a que es el que cumple con los requisitos de potencia de generación, a un menor costo económico.

3. Dimensionamiento del banco de baterías.

Para calcular la capacidad que necesita el banco de baterías para cumplir los requisitos planteados, se utiliza la siguiente ecuación:

$$C_{Bat}(Ah) = \frac{D_r * N}{V_{bat} * P_{dm} * F_{ct}}$$

Donde:

C_{Bat} = Capacidad el bando de batería (Ah).

D_r = Demanda energética media diaria.

N = Días de autonomía.

P_{dm} = Profundidad máxima de descarga. (Para baterías de plomo acido se recomienda un 60%)

F_{ct} = Factor de compensación térmica.

Reemplazando:

$$C_{Bat}(Ah) = \frac{876,54 * 2}{24 * 0,6 * 1}$$

$$C_{Bat}(Ah) = 121,7 (Ah)$$

Se muestra la Tabla 3. Baterías de plomo-ácido disponibles en el mercado local, a modo de resumen de las cotizaciones realizadas para las baterías (Anexo 3):

CARACTERISTICA DE BATERIAS DISPONIBLES									
Ítem	Bateria	Vsist	VBat	Ah	N° Bat Parale	N° Bat Serie	Cant	Precio Unit	Precio Total
1	Ritar Power DC12-1150	24	12	150	1	2	2	\$ 439,90	\$ 879,80
2	Bateria DC12-200Ah	24	12	200	1	2	2	\$ 459,51	\$ 919,02
3	Ritar Power DC12-100	24	12	100	2	2	4	\$ 233,82	\$ 935,28
4	Ritar Power DC12-100	24	12	100	1	2	2	\$ 233,82	\$ 467,64

Tabla 3. Baterías de plomo-ácido disponibles en el mercado local

Fuente: Autor

Como se puede observar en la Tabla 3. Baterías de plomo-ácido disponibles en el mercado local , en ítem 3 y 4 son las mismas baterías, pero lo que cambia es la cantidad de baterías y la forma de conexión, por lo que se da prioridad a cumplir con el voltaje del sistema por las ventajas mencionadas previamente, la configuración óptima en base a nuestro criterio es la del ítem 4

4. Dimensionamiento del Controlador de carga e Inversor.

Para el correcto dimensionamiento de un regulador de carga se recomienda que el controlador soporte entre el 20% y 25% de la corriente máxima de operación.[15]

Para determinar la magnitud de la corriente del regulador de carga se utilizará la ecuación:

$$I_{in} = F_s * I_{modsc} * N_p$$

Donde

I_{in} = Corriente de entrada del regulador.

I_{modsc} =Corriente de cortocircuito de un panel fotovoltaico.

N_p =Número de ramales en paralelo.

F_s = Factor de seguridad del regulador en este caso será de 1,25.

Para calcular la corriente de salida que debe soportar el controlador se hará uso de la ecuación

$$I_{Sal} = \frac{F_s * \left(P_{DC} + \frac{P_{AC}}{n_{inv}} \right)}{V_{bat}}$$

Donde

I_{Sal} = Corriente de salida del regulador de carga.

P_{DC} = Potencia de carga en DC

P_{AC} =Potencia de carga en AC

Realizando los cálculos correspondientes con la ecuación la corriente de entrada del regulador, obtenemos un valor de:

$$I_{in} = 1,25 * 10,69 * 1$$

$$I_{in} = 13,36 A$$

Con la ecuación de corriente de salida del regulador, obtenemos un valor de:

$$I_{sal} = \frac{1,25 * (0 + \frac{190(W)}{0,9})}{24V}$$

$$I_{sal} = 11 A$$

4.1. SELECCIÓN DEL CONTROLADOR DE CARGA

En la Tabla 11 se muestran los controladores de carga cotizados en el mercado local (Anexo 3)

Tabla 4. Controladores de carga disponibles en el mercado local

Fuente: Autor

CARACTERISTICA DE CONTROLADORES DE CARGA DISPONIBLES					
Ítem	Controlador de Carga	I (A)	Cant.	Precio Unit	Precio Total
1	Blue Solar PWM 12/24V-30A	30	1	\$ 82,68	\$ 82,68
2	Blue Solar MPPT 100/30	30	1	\$ 370,96	\$ 370,96
3	Smart Solar MPPT 75/15	15	1	\$ 150,17	\$ 150,17

Con los

resultados obtenidos y debido a que se busca en controlador de carga que pueda aprovechar de mejor manera la generación fotovoltaica se va a seleccionar el regulador del ítem 3 Smart Solar MPPT 75/15.

4.2. DIMENSIONAMIENTO DEL INVERSOR

En los sistemas eléctricos que poseen cargas en corriente alterna es necesario adquirir un inversor DC/AC, las características principales de estos dispositivos son:

- Potencia Nominal
- Voltaje Nominal en la entrada
- Voltaje Nominal en la salida
- Frecuencia de trabajo
- Rendimiento

Para dimensionar la potencia del inversor utilizamos la ecuación:

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

Reemplazando obtenemos

$$P_{inv} = 1,2 * 190$$

$$P_{inv} = 228(W)$$

4.3. SELECCIÓN DEL INVERSOR DC/AC

CARACTERÍSTICA DE INVERSORES DISPONIBLES					
Ítem	Inversor	VA	Cant.	Precio Unit	Precio Total
1	Phoenix Inverter 12/250 120V	250	1	\$ 181,91	\$ 181,91
2	Phoenix Inverter 12/250 120V	250	1	\$ 160,75	\$ 160,75
3	Phoenix Inverter 24/250 120V	250	1	\$ 205,79	\$ 205,79

Tabla 5. Característica de Inversores en el mercado local

Fuente: Autor

Como se muestra en la Tabla 5, el inversor seleccionado es el del ítem 3 ya que este cumple con los requisitos de voltaje y potencia del sistema

Análisis y discusión de Resultados

Los resultados de la simulación muestran que el sistema propuesto es capaz que cubrir la demanda planteada hasta en el mes con menor presencia de la radiación solar, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los resultados mediante diagrama de barra donde de forma gráfica se presenta la energía que el sistema ofrece al usuario y las diferentes perdidas del sistema, baterías, paneles.

En la

Ilustración se muestran los valores de generación de energía, consumo y perdidas del sistema y demás componentes, en el cual se puede apreciar de forma más acertada que el sistema fotovoltaico cumple con la demanda de energía planteada y en todos los meses muestra un excedente de energía, esto varía dependiendo de la cantidad de radiación solar que recibe el panel.

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	EArray kWh	E_Load kWh	EffArrR %
Enero	135.7	115.3	40.33	6.89	0.000	22.01	22.01	35.07	22.01	14.17
Febrero	122.7	109.2	38.13	6.55	0.000	19.88	19.88	33.06	19.88	14.20
Marzo	148.5	138.0	48.41	10.79	0.000	22.01	22.01	39.15	22.01	13.33
Abril	150.7	146.7	51.54	16.69	0.000	21.30	21.30	36.24	21.30	11.65
Mayo	145.1	147.5	51.95	17.14	0.000	22.01	22.01	36.24	22.01	11.60
Junio	117.7	120.1	42.49	11.60	0.000	21.30	21.30	32.29	21.30	12.67
Julio	122.4	123.0	43.62	10.53	0.000	22.01	22.01	34.58	22.01	13.24
Agosto	123.9	120.6	42.71	9.37	0.000	22.01	22.01	34.87	22.01	13.60
Septiembre	126.8	119.8	42.01	12.54	0.349	20.95	21.30	31.01	21.30	12.18
Octubre	98.5	88.8	30.75	1.99	0.000	22.01	22.01	30.57	22.01	16.08
Noviembre	94.2	82.2	28.37	1.56	0.000	21.30	21.30	28.57	21.30	16.18
Diciembre	134.5	114.6	40.10	2.17	0.000	22.01	22.01	39.66	22.01	16.13
Año	1520.7	1426.0	500.41	107.81	0.349	258.80	259.15	411.30	259.15	13.54

Leyendas

- GlobHor Irradiación horizontal global
- GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados
- E_Avail Energía solar disponible
- EUnused Energía no utilizada (batería llena)
- E_Miss Energía faltante
- E_User Energía suministrada al usuario
- E_Load Necesidad energética del usuario (Carga)
- EArray Energía efectiva a la salida del conjunto
- E_Load Necesidad energética del usuario (Carga)
- EffArrR Eficien. Eout conjunto / área rugosa

Ilustración 2. Resumen de resultados

Fuente: PVSyst, Autor

Los resultados de la implementación del sistema fotovoltaico se obtuvieron del controlador de carga SmartSolar 75/15 de Victron Energy el cual mediante una conexión bluetooth se puede

acceder a un histórico de generación, consumo, tiempos de carga de la batería y fallos de los últimos 30 días, esto se muestra en **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

En base a estos datos se va a analizar la respuesta del sistema fotovoltaico ante el comportamiento real de las cargas a través del tiempo.

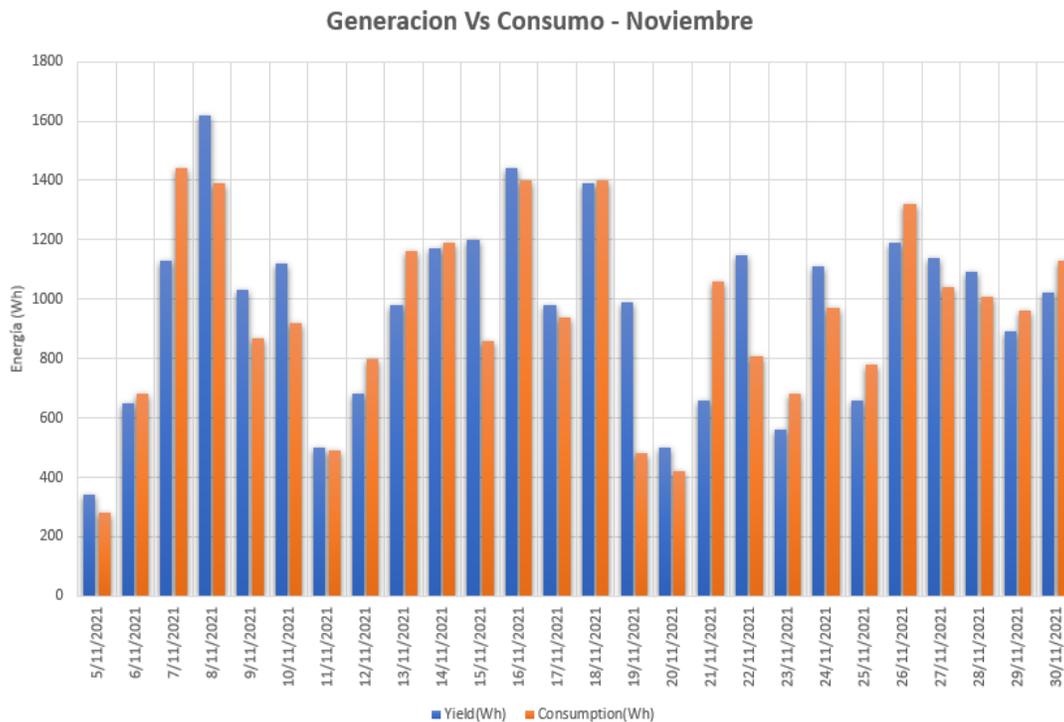
Ilustración 3. *Histórico de generación y consumo de la vivienda desde la aplicación de VictronConnect*



Fuente: VictronConnet, Autor

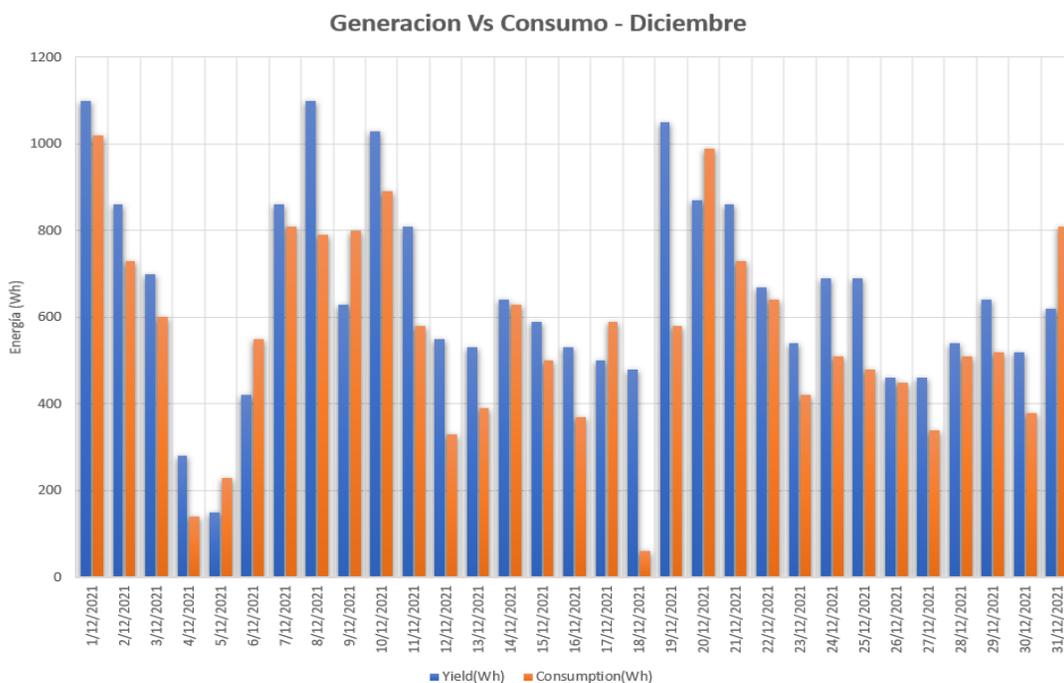
A continuación, se presentan diagrama de barras donde se muestra el consumo y la generación de energía el cual se mide en Wh, además de tiempos de carga de las baterías de forma diaria, el mismo que inicio el 5 de noviembre del 2021 cuando el sistema quedó operativo, hasta el 31 de diciembre del 2021, que se realizó la adquisición de los datos para el respectivo análisis.

Ilustración 1. *Generación y consumo del sistema fotovoltaico en noviembre.*



Fuente: Autor

Ilustración 5. *Generación y consumo del sistema fotovoltaico en diciembre.*



Fuente: Autor

Tabla 4. *Resumen del Comportamiento Energético del sistema Fotovoltaico.*

Resumen del Comportamiento Energético del sistema Fotovoltaico							
Mes	Gen. (kWh)	Cons. (kWh)	Exced. (kWh)	Máx. Gen (kWh/día)	Máx. Cons(kWh/día)	Promedio Gen (kWh/día)	Promedio Cons(kWh/día)
Noviembre	25,19	24,48	0,71	1,62	1,44	0,97	0,94
Diciembre	20,37	17,37	3,00	1,10	1,02	0,66	0,56
Total	45,56	41,85	3,71	1,62	1,44	0,81	0,75

Fuente: Autor

De acuerdo con la Tabla y con la Ilustración 4 e Ilustración 5, en la mayoría de los días el sistema de generación fotovoltaica produce mayor energía de la que se consume diariamente, sin embargo, existen días donde se ha consumido mucha más energía de la considerada, lo cual se ha logrado sustentar con el sistema de almacenamiento de energía.

Hasta la fecha que se realizó la adquisición de datos el sistema ha generado 45,56 kWh de los cuales la vivienda ha aprovechado 41,85 kWh, el promedio de generación de energía es mayor que el de consumo en todo momento en el rango de tiempo de los 2 meses, por lo cual se comprueba que el sistema cubre en su totalidad la demanda que se planteó

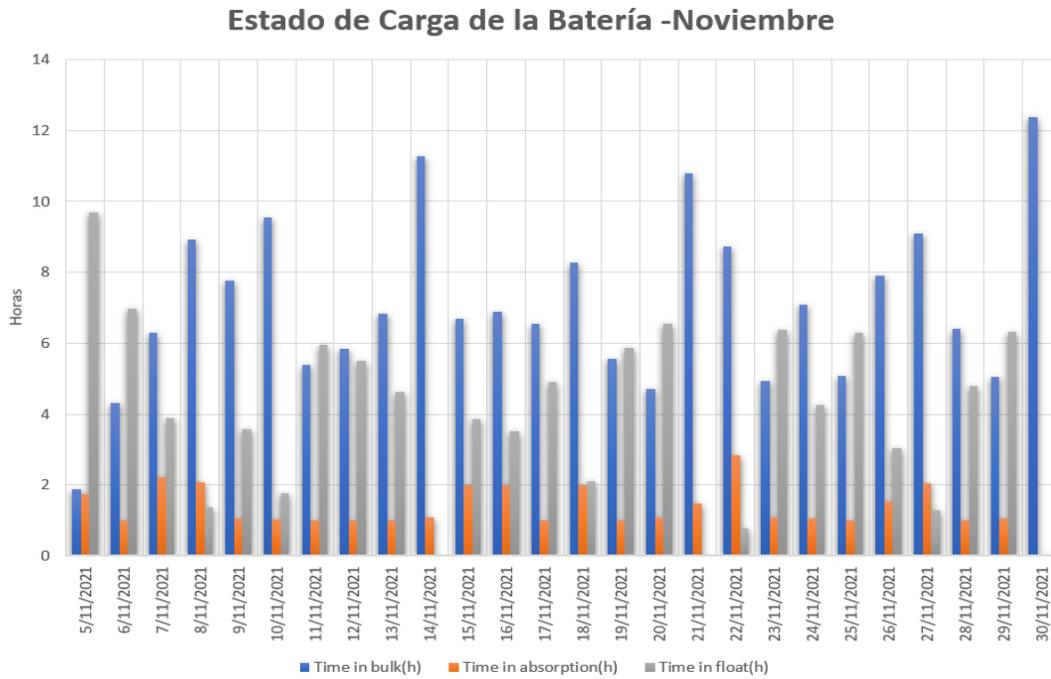


Ilustración 6. *Tiempos de estados de carga de las Baterías en noviembre.*

Fuente: Autor

Estado de Carga de la Batería -Diciembre

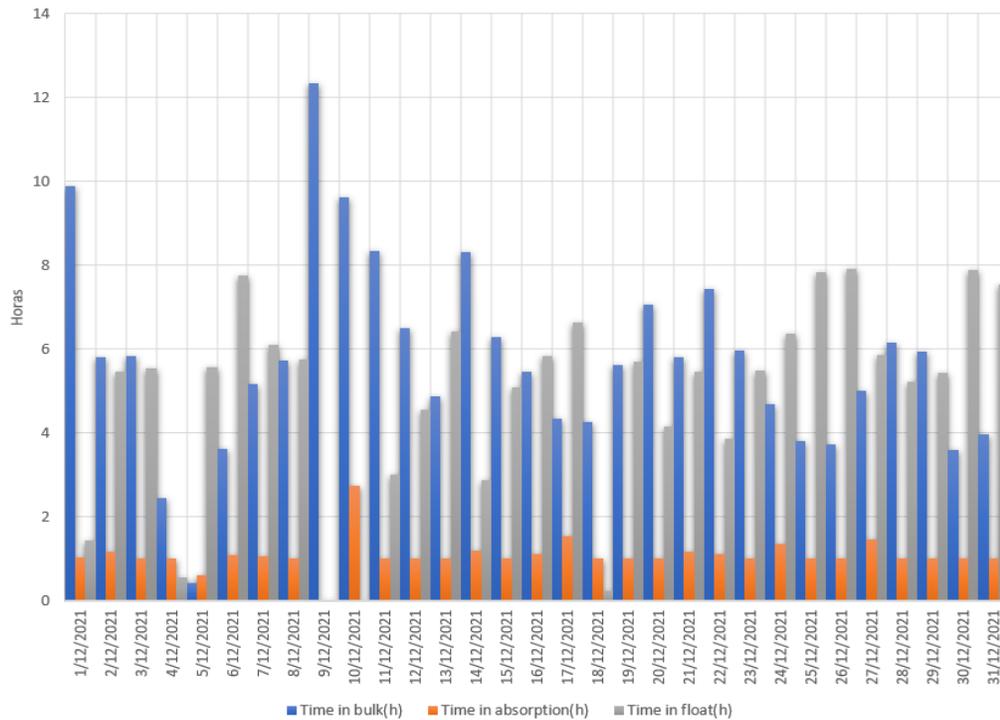


Ilustración 7. Tiempos de estados de carga de las Baterías en diciembre.

Fuente: Autor

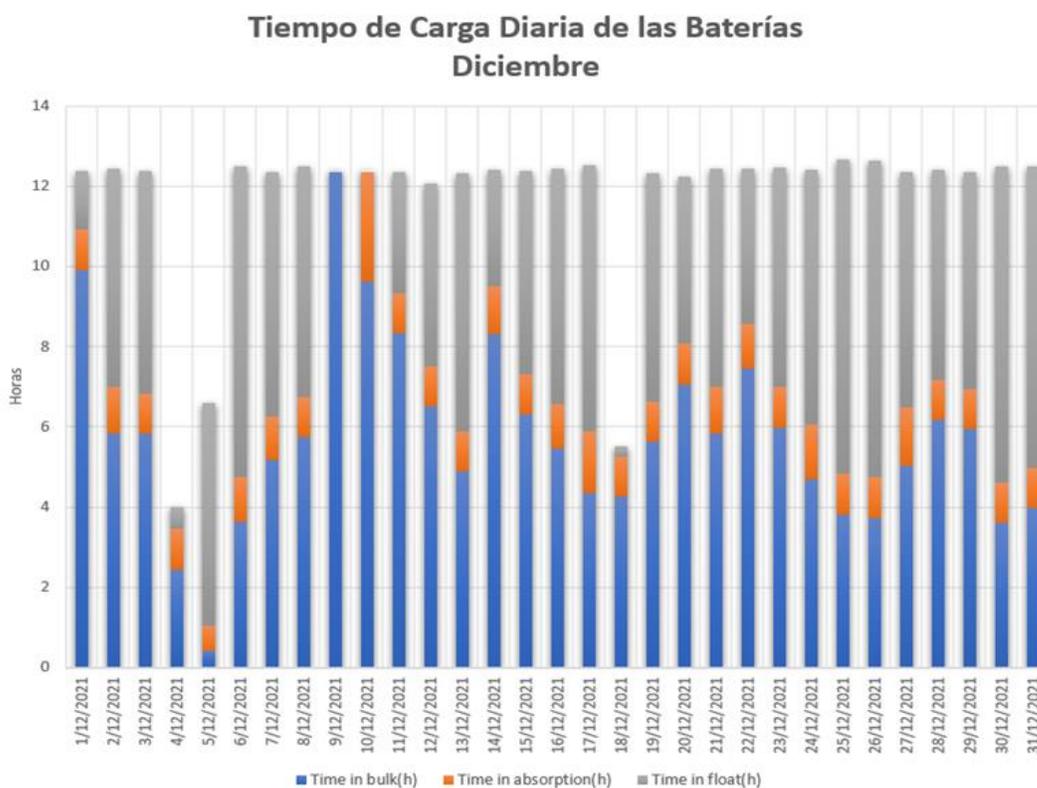
Tabla 5. Resumen de Tiempos y de Carga del sistema de baterías.

Resumen de Tiempos y Estados de Carga						
Mes	Tiempo promedio en estado de carga inicial (h)	Tiempo promedio en estado de absorción (h)	Tiempo promedio en estado de flotación (h)	Tiempo de carga Promedio (h)	No alcanza estado de absorción (Días)	No alcanza estado de flotación (Días)
Noviembre	7,08	1,36	3,97	12,42	1	3
Diciembre	5,75	1,09	4,89	11,73	1	2
Total	6,42	1,23	4,43	12,07	2	5

Fuente: *Autor*

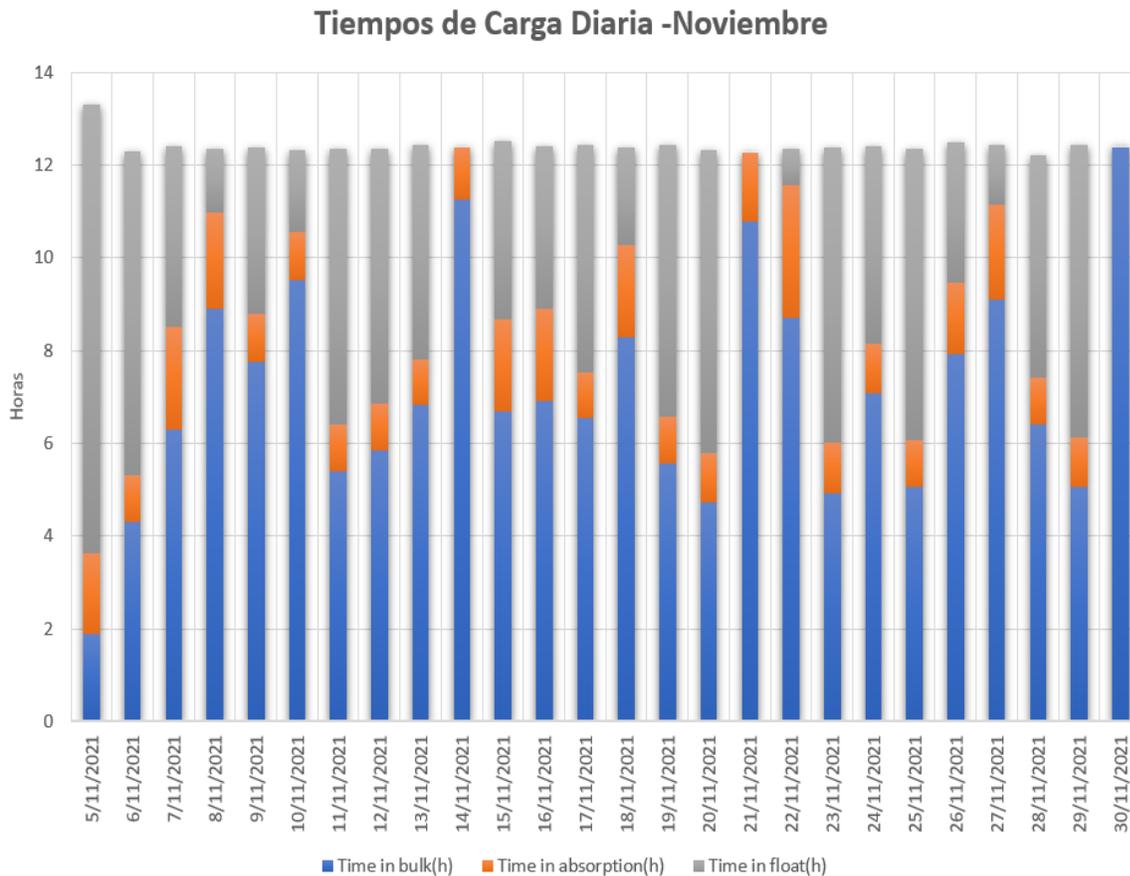
Como se evidencia en las ilustraciones y en la Tabla 5, los tiempos de estados de carga de la batería se confirma de 3 etapas: Time in Bulk o tiempo en carga inicial, time in absorption o tiempo de absorción y time float o tiempo de flotación, como se observa en la ilustración 6 e ilustración 7, en la mayoría de los casos las baterías cumplen con su ciclo de carga lo cual es lo óptimo para preservar el tiempo de vida útil, ya que se recomienda que la batería en días con abundante radiación solar permanezca mínimo una hora en estado de flotación (Fernández, 2021).

Ilustración 8. Tiempo de Carga Diaria de la Batería - diciembre.



Fuente: *Autor*

Ilustración 9. *Tiempo de Carga Diaria de la Batería - noviembre.*

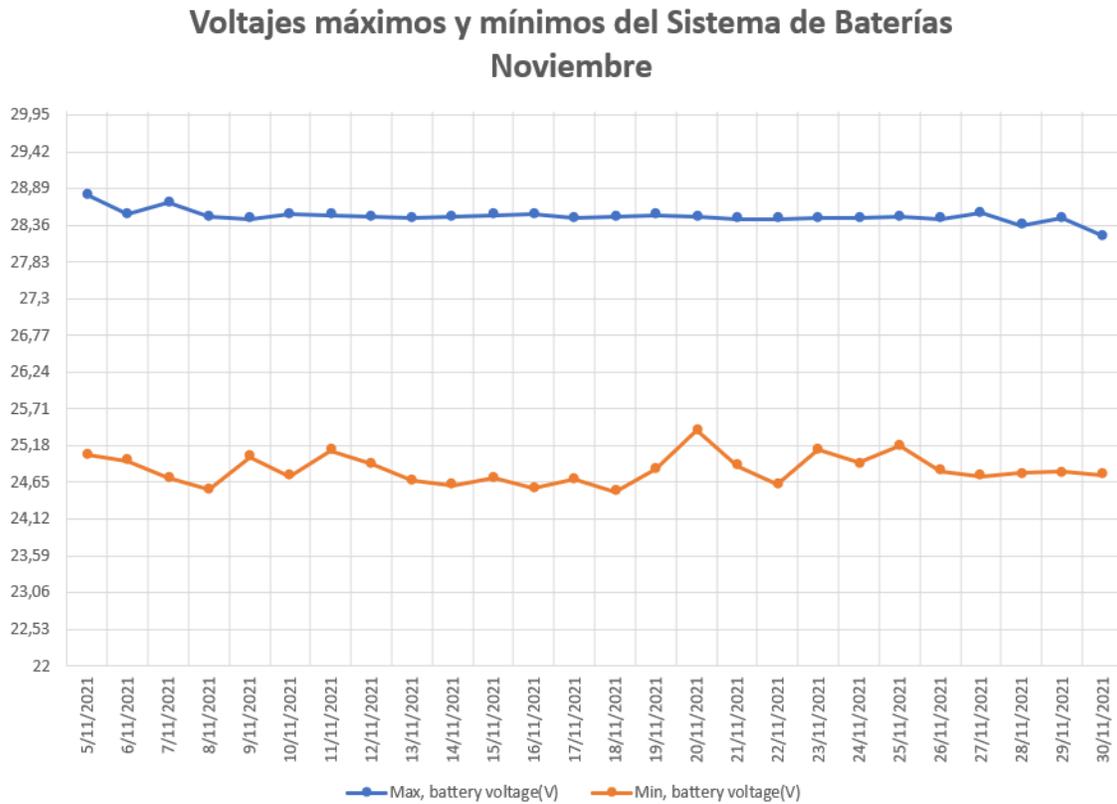


Fuente: Autor

En la Ilustración 8 e Ilustración 9 se presentan los diferentes tiempos de cargas diarios, en el cual se puede apreciar que solo en el mes de diciembre existen dos días en los cuales al parecer por situaciones climatológicas no existió una constante incidencia de radiación solar en el lugar, por lo cual no los tiempos de carga son mucho menores en comparación con los otros días, no obstante, aun en esos días el sistema logra cargar las baterías al 100%.

A continuación, se presenta la Ilustración 10, Ilustración 11 y Tabla 6 donde se muestran un historial de los valores máximos y mínimos de voltaje de la batería forma diaria, con estos datos se puede estimar una idea del nivel de carga que tiene las baterías ya que el controlador de carga instalado cuenta con varios tipos de algoritmos de carga y descarga de la batería para mantener el tiempo de vida útil con las que están diseñadas, estos algoritmos de descarga tiene los siguientes voltajes para desconexión de carga por baja tensión: 22,2 V / 23,6 V / BatteryLife.

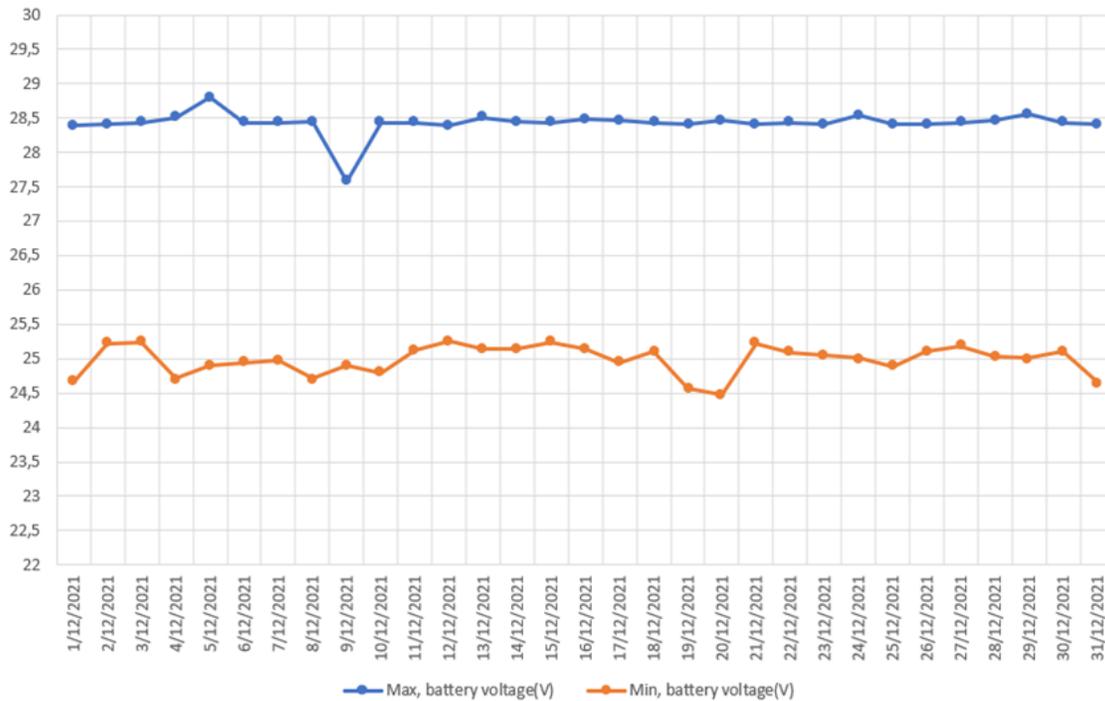
Ilustración 10. Voltajes máximos y mínimos registrados en el mes de noviembre.



Fuente: Autor

Ilustración 11. Voltajes máximos y mínimos registrados en el mes de diciembre.

Voltajes máximos y mínimos del Sistema de Baterías Diciembre



Fuente: Autor

Tabla 6. Resumen del Generador Fotovoltaico y Sistema de Baterías.

Fuente: Autor

Resumen del comportamiento del Generador Fotovoltaico y Sistema de Baterías				
Mes	PmaxProm FV (Wh)	Vmaxprom FV (V)	Vbat min prom (V)	Vbatmaxprom (V)
Noviembre	303,31	44,75	24,84	28,49
Diciembre	238,55	45,00	24,99	28,43
Máximo Registrado	421	46,24	24,48	28,8

El

algoritmo de carga y descarga de la batería BatteryLifeyes el que se encuentra configurado por defecto, ya que este algoritmo es capaz de analizar los tiempos y niveles de carga y descarga de la batería, y de acuerdo con eso aumentar o mantener el valor de voltaje para la desconexión de carga

por baja tensión, es decir que si las baterías no alcanzan el 100% de su carga, el controlador de carga SmartSolar va ir aumentando el valor del voltaje límite para que la desconexión por bajo voltaje suceda antes, y se va a enfocar en capturar la mayor energía del generador fotovoltaico, hasta lograr que la batería se cargue completamente, una vez ya se haya alcanzada la máxima carga, el voltaje para la desconexión de la carga se modulará de forma que la batería alcance su carga completa al menos una vez a la semana.

Tabla 76. *Resumen de la Autonomía del Sistema.*

Resumen de la Autonomía del Sistema							
Mes	Tensión Banco de Baterías (V)	Capacidad Banco de Baterías (Ah)	Promedio Consumo (Wh/día)	Promedio Consumo (Ah/día)	Profundidad máx. descarga (%)	Promedio Autonomía (Días)	% de consumo teórico
Noviembre	24	100	941,54	39,23	60%	1,5	131%
Diciembre	24	100	560,32	23,35	60%	2,6	78%
Escenario ideal	24	100	720,00	30,00	60%	2,00	100%
Máx. Consumo permitido	24	100	1440,00	60,00	60%	1,00	200%

Fuente: Autor

En la

Tabla 76 se presenta un promedio diario de días de autonomía del sistema con la carga real consumida, en la cual para el mes de diciembre ya que existió un mayor consumo promedio de energía se obtuvo una media de un día y medio de autonomía, mientras que en diciembre disminuyó el consumo promedio de energía lo que significaba un poco más de dos días y medio de autonomía,

adicionalmente se presentan 2 ítems más, en los cuales se indica el escenario ideal que sería el consumo promedio que debería tener el sistema para que cumpla con los 2 días de autonomía que se habían establecido inicialmente y el segundo escenario corresponde al máximo consumo que se recomienda debería existir para mantener como mínimo un día de autonomía por cualquier deficiencia de radiación solar por cuestiones climatológicas, sin embargo no se recomienda ese nivel consumo sea constante ya que si al siguiente día la baterías no se logra cargar al 100% y si el consumo es elevado se puede generar una desconexión de la carga por bajo voltaje del banco de baterías, cabe indicar que en estos dos escenarios planteados se asume que las baterías se encuentran cargadas al 100%.

Conclusiones

Mediante el desarrollo del estudio, se pudo realizar un correcto levantamiento de información y de las cargas en la vivienda, logrando con esto un diseño óptimo del sistema eléctrico para suplir las necesidades eléctricas de la vivienda. Este diseño propuesto, es un sistema fotovoltaico el cual es efectivo para cumplir con el consumo diario de la vivienda, situación que se corrobora mediante la aplicación del software PVsyst, permitiendo conocer que la implementación del sistema fotovoltaico propuesto en la vivienda puede resultar exitosa, ya que con este se logra reducir la necesidad del uso del generador a gasolina, debido a que este sistema le permite a la familia ahorrar un 64% de gastos de operación del generador y una reducción del 75% de emisión de CO_2 al ambiente.

Referencias

1. Abad, M. (2017). “Elección de tecnologías de energía renovable para uso en ciudades intermedias, utilizando criterios de sostenibilidad, caso de estudio, Cuenca-Ecuador,” p. 88, 2017, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14762>.
2. Alonso, M. (2011). “Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos autónomos - Master en Energías Renovables y Mercado Energético Escuela de Organización Industrial,” p. 15, 2011, [Online]. Available: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45340/componente45338.pdf.

3. ARCONEL, “Regulación Nro. ARCONEL-003/18,” Arconel. p. 42, 2018, [Online]. Available: <https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/042-18.pdf%0Awww.regulacioneolica.gob.ec>.
4. Arias, F. (2016). El Proyecto de Investigación. Introducción a la Metodología Científica. Editorial Episteme.
5. Armijos, D. Encarnación, C. (2018) Análisis de un sistema fotovoltaico residencial acoplado a la red utilizando un convertidor Q-Z con acumuladores de energía.
6. Asamblea Nacional del Ecuador, “Constitución de la República del Ecuador,” Iusrectusecart, no. 449, pp. 1–219, 2008, [Online]. Available: <https://bde.fin.ec/wp-content/uploads/2021/02/Constitucionultimodif25enero2021.pdf>.
7. Asociación Municipal de Colonos del Pato – AMCOP. (2017). “Informe de calculos para sistema solar fotovoltaico,” Abb.
8. Behar, D. (2008). Metodología de a Investigación.
9. Byron, P. (2020). “Análisis Técnico - Económico De Una Instalación Fotovoltaica En Consumidores Residenciales En Áreas Rurales Aisladas,” p. 118, 2020, [Online]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19154>.
10. Candial, I. (2015). “Análisis de un sistema fotovoltaico híbrido doméstico,” Univ. Carlos Iii Madrid Esc. Politécnica Super., p. 102, 2015, [Online]. Available: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/23575/TFG_Ismael_Candial_Benavente_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
11. Carrión, L., and Mendoza, K. (2021) Diseño Optimo de Sistemas Aislados fotovoltaicos para la Iluminación de la Vía Principal de la Comuna Masa 2 - Golfo de Guayaquil. 2021.
12. Chuquín, N., and, Marquez, F. (2011) “Diseño, construcción y pruebas de un sistema publicitario alimentado con energía solar, y controlado con un relé inteligente (ZELIO).
13. Fernández, A. (2021) “Etapas de carga de una batería de ciclo profundo acido-plomo,” FESAT, 2021. <https://www.fesatsolar.com/post/etapas-de-carga-de-una-batería-de-ciclo-profundo-acido-plomo>.
14. Jimenez, E. García, E. (2020) “Asignación de recursos en una micro-red social con sistemas fotovoltaicos basado en el control de carga,”.
15. Macancela, J. (2018) “Dimensionamiento Optimo para Pequeños Sistemas Híbridos Aislados Aplicado en las Islas Galapagos,”.

16. Mallaguari A., and Shicay, R. (2015). “Determinación de parámetros para obtener valores de eficiencia representativos para la enseñanza de las energías renovables (solar, eólica, hidrógeno-electrólisis y pilas de combustible) utilizando el equipo de laboratorio ‘Clean Energy Trainer,’” Univ. Politec. Sales.
17. Rivera, J. (2020). “Viabilidad Técnica Y Económica De Instalar Sistemas Fotovoltaicos Conectados a La Red Eléctrica En Entornos Residenciales De La Ciudad De Loja,” Univ. Nac. Loja, p. 151, 2020, [Online]. Available: [http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS WILSON FERNANDO.pdf](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/17025/1/TESIS_WILSON_FERNANDO.pdf).
18. Romero, J. Flores, I. (2013). “Estudio e implementación de un sistema de micro generación solar fotovoltaico para autoconsumo (caso de estudio considerando la regulación Nro. ARCONEL- 003/18),” 2013.
19. Santana, G., and Catagua, K. (2021) “Sistema de alumbrado público aplicado mediante energía renovable para la Comuna Masa 2, Golfo de Guayaquil,”.
20. Toalongo, P. Sancho, J. (2021) “Análisis de la producción de energía fotovoltaica mediante el uso de espejos en configuración dinámica,”..
21. Unamuno, D. (2018) “Norma Ecuatoriana de la Construcción,” Opt.Med S.a., p. 25, 2018, [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>.
22. Veléz, A. (2010) “Estudio de la confiabilidad de sistemas fotovoltaicos en el Ecuador y construcción de un generador sola a escala de energía eléctrica a 200 W,” p. 102, [Online]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/8579/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-102.pdf>.
23. Vélez, D Mosquera, E and C. Grijalva, X. (2020) “Estudio e implementación de un sistema fotovoltaico aplicado a luminarias: caso de estudio Unidad educativa Dr. Francisco Falquéz Ampuero,” Repos. Inst. la Univ. Politécnica Sales., vol. 0, no. 0, 2020.

© 2023 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/>).