UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTOSUSTENTABLE PARA VIVIENDA EN LA COMUNIDAD MASA II, GOLFO DE GUAYAQUIL

Proyecto de titulación previo la obtención del

Título de Ingeniero Eléctrico.

AUTORES: FERNEY RODRIGO SALAZAR PICO

NICK HAROL SANCHEZ ORTEGA

TUTOR: ING. CHRISTOPHER REYES LÓPEZ, M.E.

GUAYAQUIL – ECUADOR

2023

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

Nosotros, Nick Harol Sánchez Ortega con documento de identificación N° 0927170373 y Ferney Rodrigo Salazar Pico con documento de identificación N° 0930547997; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 18 de febrero del año 2023

Atentamente,

Nick Harol Sánchez Ortega	Ferney Rodrigo Salazar Pico
0927170373	0930547997

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, Nick Harol Sánchez Ortega con documento de identificación No. 0927170373 y Ferney Rodrigo Salazar Pico con documento de identificación No.0930547997 expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto Técnico: "Implementación De Un Sistema Fotovoltaico Autosustentable Para Vivienda En La Comunidad Masa II, Golfo De Guayaquil", el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 18 de febrero del año 2023

Atentamente,

Nick Harol Sánchez Ortega 0927170373	Ferney Rodrigo Salazar Pico 0930547997

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Christopher Ruben Reyes Lopez MSc. con documento de identificación N° 09xxx, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTOSUSTENTABLE PARA VIVIENDA EN LA COMUNIDAD MASA II, GOLFO DE GUAYAQUIL, realizado por Nick Harol Sánchez Ortega y con documento de identificación N° 0927170373 y por Ferney Rodrigo Salazar Pico con documento de identificación N° 0930547997, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto de Técnico que cumple con todos los requisitos determinadospor la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 18 de febrero del año 2023

Atentamente,

Ing. Christopher Ruben Reyes Lopez, M.E.

0923848691

Dedicatoria

Este proyecto de titulación se lo dedico a mi padre Rodrigo Salazar que desde el cielo está guiando pasos y fue la persona que me dio la motivación para poder culminar, a mi madre Narcisa Pico que es un pilar fundamental en mi vida y que lucho para poder hoy ver culminar esta etapa universitaria, a mi segunda madre Kerly Muñoz que desde lejos me daba ánimos para continuar, la fortaleza y que siempre estuvo para mí en mi carrera universitaria. También quiero dedicar este proyecto a mis hermanos Luis Salazar, Karen Pico y Kethrin Pico que son esa fortaleza por las cuales cada día doy el esfuerzo de continuar, a mis amigos Omar Vera, Jefferson Chuqui, Pamela Peralta, son hermanos de otra sangre que me han venido acompañando a lo largo de mi vida.

Quisiera incluir a muchas personas en esta dedicatoria, pero no me queda mas que agradecer a aquellas que saben que aportaron con su granito para que hoy en día pueda gozar de esta felicidad y compartir con ellos este gran logro.

SALAZAR PICO FERNEY.

Agradecimiento

En primer lugar, quiero darle gracias a Dios, por brindarme salud, paciencia y fortaleza para poder culminar, a mis maestros que nos brindaron el apoyo desde el inicio de la carrera, gracias a aquellos maestros que salieron de su papel de docente y se convirtieron en amigos sabiendo guiar por el camino correcto, agradecerle a mi familia que son el motor por el cuál daba el mejor esfuerzo.

Agradezco a los colaboradores de bienestar estudiantil de la UPS, a la Lcda. Yolanda Santillán, en su momento brindó apoyo para continuar en una etapa muy difícil.

A los compañeros que me dio la universidad, gracias a ellos por formar un grupo y juntar los conocimientos hoy gozamos de poder culminar la carrera universitaria.

SALAZAR PICO FERNEY.

Dedicatoria

Este proyecto de titulación se lo dedico a mis padres Freddy Sánchez Arévalo y Ericka Ortega Alava por haber sido mi apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria, a mi esposa Michelle García Aguilera y a mis hijos April Sánchez García y Dante Sánchez García quienes fueron pilar fundamental para poder culminar esta meta.

SANCHEZ ORTEGA NICK.

Agradecimiento

Agradezco a Dios por permitirme concluir de manera satisfactoria este objetivo en mi vida, a mis padres por brindarme la confianza y guiarme en cada paso de esta meta, a mis hermanos por ser una ayuda incondicional, a mis compañeros con los cuales compartimos conocimientos para culminar este proyecto y a los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana quienes me orientaron hasta el final de esta carrera.

SANCHEZ ORTEGA NICK.

Resumen

El suministro de energía renovable en zonas aisladas y de escasos recursos económicos cumplen dos funciones, el desarrollo de la comunidad al tener uno de los principales servicios básicos para realiza con normalidad ciertas actividades y la segunda función es la sustitución de combustibles fósiles para producir energía con fuentes renovables, es crucial para limitar los efectos del cambio climático. Sin embargo, la naturaleza impredecible de la irradiancia solar complica su integración dentro de los sistemas de energía.

El trabajo de titulación para obtener el grado de Ingeniero Eléctrico se centra en el diseño e implementación de un sistema fotovoltaico para brindar energía eléctrica a una vivienda de la comunidad de MASA II en el golfo de Guayaquil, las viviendas de esta comunidad no cuenta con este servicio eléctrico de una manera continua debido a que se encuentra aislados y no tienen servicio de la red convencional, la única forma de electrificación es mediante generadores a combustibles fósiles y lo enciende de 6 a 9 de la noche debido al coste del combustible y la dificultad del transporte.

Conociendo la situación real de la vivienda y las fuentes de generación renovable se implementa un sistema fotovoltaico donde se transforma la energía solar en energía eléctrica, abasteciendo de forma eficiente y confiable a la vivienda beneficiada.

Palabras claves: Golfo de Guayaquil, sistema solar, sistema aislado, electrificación, dimensionamiento.

Abstract

The supply of renewable energy in isolated areas with limited economic resources fulfills two functions, the development of the community by having one of the main basic services to carry out certain activities normally and the second function is the substitution of fossil fuels to produce energy with renewable sources, is crucial to limit the effects of climate change. However, the unpredictable nature of solar irradiance complicates its integration into power systems.

The titling work to obtain the degree of Electrical Engineer focuses on the design and implementation of a photovoltaic system to provide electrical energy to a house in the MASA II community in the Gulf of Guayaquil, the houses in this community do not have this electrical service in a continuous way because it is isolated and does not have service from the conventional network, the only form of electrification is through fossil fuel generators and it is turned on from 6 to 9 at night due to the cost of fuel and the difficulty of transportation.

Knowing the real situation of the house and the sources of renewable generation, a photovoltaic system is implemented where solar energy is transformed into electrical energy, efficiently and reliably supplying the beneficiary house.

Keywords: Gulf of Guayaquil, solar system, isolated system, electrification, sizing

INDICE GENERAL

Resumen 9
Abstract 10
INDICE DE FIGURAS 14
ANTECEDENTES 15
OBJETIVOS 17
Objetivo general 17
Objetivos específicos 17
Organización de tesis 17
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN 18
1.1 Visión general sobre la necesidad de generación de energía solar 18
1.2 Justificación 19
1.3 Proyectos de Energía Fotovoltaica en el litoral del Ecuador. 20
1.3.1 Isla Santay 20
1.3.2. Electrificación en Mindo 21
1.3.3. Soluciones de electrificación con paneles solares en la amazonia 21
1.4 Legislación del Ecuador 22
CAPÍTULO 2 24
2.1 Descripción general de las células solares 24
2.1.1 Teoría básica de la célula solar 24
2.1.2 Conexiones de células solares 25
2.1.3 Tecnologías de células solares 26
2.2 Panel solar fotovoltaico 27
2.2.1 Modelado Solar Cell 28
2.2.2 Curva característica I-V de un panel solar 29
2.2.3 Impacto de la irradiación solar en I-V Característica de un panel solar 30
2.3 Controlador de carga. 32
2.3.1 Controlador de carga PWM 32
2.3.2 Controlador de carga MPPT 33
2.4 Baterías 34
2.5 Inversor 35
2.6 Accesorios 36

2.6.1 Soportes Paneles Solares 37
CAPÍTULO 3 39
3.1 Metodología y medios. 39
3.2 Situación actual de la vivienda 39
3.2.1 Demanda de la vivienda 40
3.3 Cálculo de la demanda del sistema 40
3.3.1 Demanda de las luminarias 40
3.3.2 Demanda de consumo de los tomacorrientes 41
3.3.3 Consumo máximo diario de la vivienda 41
3.4 Plano arquitectónico de la vivienda 42
3.5 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico 43
3.5.1 Estimación del consumo. 43
3.5.2 Datos del lugar de la instalación 44
3.5.3 Dimensionamiento del generador fotovoltaico 45
3.5.4 Selección del banco de baterías 46
3.5.4 Dimensionamiento del controlador de carga 47
3.5.5 Dimensionamiento del inversor 48
3.6 Configuración del sistema propuesto 48
CAPÍTULO 4 50
4.1 Simulación mediante PVSyst 50
4.2 Implementación del SF en Masa II 57
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Electrodomésticos y equipos de la vivienda 40

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Paneles solares instalados en la isla Santay 20
Figura 2. Instalación de un panel solar fotovoltaico 22
Figura 3. Célula solar policristalina 24
Figura 4. Unión PN de la célula solar 25
Figura 5. Conexión en serie de células solares 26
Figura 6. Conexión paralela de la célula solar 26
Figura 7. Célula solar parte del panel fotovoltaico 27
Figura 8. Matriz fotovoltaica para generación de electricidad 28
Figura 9. Circuito eléctrico que representa a la célula solar 28
Figura 10. Circuitos equivalentes con diodo dual de célula solar 29
Figura 11. Curva característica I-V del panel solar 30
Figura 12. Curva de I-V a diferentes valores de irradiancia 31
Figura 13. Afectación de la temperatura a la curva I-V de la célula solar 31
Figura 14. Controlador de carga PWM del fabricante MUST SOLAR **¡Error! Marcador no definido.**
Figura 15. Controlador de carga tipo MPPT 33
Figura 16. Batería de gel Ultracell de 12V 115 Ah 34
Figura 17. Curva de numero de ciclos vs la capacidad de extracción 35
Figura 18. Inversor híbrido Huawei sun 2000W 36
Figura 19. Estructura con soporte para 2 paneles 38
Figura 20. Plano arquitectónico de la vivienda 42
Figura 21. Lugar de la implementación 44
Figura 22. Datos de variables meteorológicas en Masa II. 45
Figura 23. Baterías conectadas en serie 47
Figura 24. Esquema del sistema fotovoltaico 49
Figura 25. Interfaz de selección del tipo de sistema fotovoltaico 50
Figura 26. Variables meteorológicas en Masa II. 51
Figura 27. Orientación e inclinación del panel solar 52
Figura 28. Definición de las cargas y horas de consumo 52
Figura 29. Selección de elementos del SF 53
Figura 30. Características técnicas del panel solar 54
Figura 31. Detalles técnicos del inversor Victron 55
Figura 32. Parámetros técnicos generales del SF 56
Figura 33. Resultados energéticos del SF 57
Figura 34. Montaje del panel solar de 405 W. 58
Figura 35. Conexión eléctrica de los componentes del SF 59
Figura 36. Apriete de terminales en la batería 60
Figura 37. Sistema fotovoltaico concluido para las pruebas de funcionamiento 61
Figura 38. Prueba de funcionamiento de las luminarias 61
Figura 39. Luminaria encendida y vista del SF 62
Figura 40. Implementación concluida del sistema fotovoltaico 62
Figura 41. Estado del sistema solar 63
Figura 42. Registro de valores energéticos del sistema solar 64
Figura 43. Prueba de funcionamiento de los equipos de la vivienda. 64

ANTECEDENTES

En la actualidad, la energía eléctrica es considerada un servicio básico e indispensable para el desarrollo de la sociedad, no obstante, existen sectores que hoy en día carecen de este servicio básico ya que se encuentran en lugares remotos y de difícil acceso impidiendo así la implementación de la red eléctrica convencional. Dentro de los sectores rurales de difícil acceso se encuentra la comuna Masa II ubicado en el golfo de Guayaquil, donde carecen del servicio eléctrico, la única forma ser abastecidos de energía eléctrica es por medio del uso de generadores eléctricos a base de combustibles fósiles.

Sin embargo la dificultad del transporte fluvial, el costo del combustible, hacen que el funcionamiento del generador a diésel sea por ciertas horas durante la noche, siendo una opción no rentable para la escasa economía de los pobladores, quienes se dedican a la captura de peces y cangrejos.

Una de las alternativas más viables y eficientes para suministrar energía eléctrica a la comunidad de forma constante y confiable es por medio de la energía solar fotovoltaica, la energía producida es limpia al no producir gases de efecto invernadero, se puede integrar a las viviendas y contribuye al desarrollo de la comunidad.

El principal objetivo de la planificación energética es satisfacer la demanda de esta ciudad, región o país a corto, mediano o largo plazo, en forma continua. Es por lo cual el objetivo de la planificación energética ayudará de gran manera al sector de la Masa II produciendo energía limpia, contribuyendo de sobremanera al desarrollo de las actividades de la comunidad.

Otros proyectos de electrificación rural se han realizados en el Ecuador, la EEQ (Empresa eléctrica Quito) implementan el proyecto ***¨Cero viviendas sin luz¨*** en parroquias rurales de los cantones Mejía y Quijos en la provincia amazónica de Napo suministrando energía eléctrica por medio de paneles solares de forma aislada, en época de la pandemia por el covid-19 los técnicos de la empresa eléctrica de Quito monitorea vía telefónica el buen funcionamiento de los 480 sistemas instalados [1].

PROBLEMA DE ESTUDIO

Actualmente, en el Ecuador existen diferentes lugares en los que por su ubicación geográfica aún no ha sido posible hacer llegar el servicio de energía eléctrica. Existen locaciones que no están conectadas con otras a su alrededor y por su difícil acceso no ha sido posible implementar el servicio eléctrico principalmente en islas y la región amazónica.

Los problemas de iluminación y falta de energía eléctrica se pueden evidenciar en la comunidad. Los habitantes de Masa II han optado por alquilar generadores en ciertos horarios y dar una solución momentánea a sus necesidades, pero el costo de mantener este sistema es muy elevado y la dificultad del acceso al suministro del combustible es notorio

En la localidad se ha identificado varios problemas que no son solo individuales, más bien abarcan a toda la comunidad y afectan a propios y extraños. Algunos de estos problemas a tomar en cuenta son: falta de iluminación externa e interna de las viviendas, falta de iluminación en muelle y de la única calle que tiene el poblado.

Hay varios limitantes para los pobladores de la comunidad, entre ellos se pueden destacar los recursos económicos, ya que los habitantes de Masa II son de bajos recursos, no poseen conocimiento sobre las fuentes de energía renovable y autofinanciarse un proyecto de red de repartición eléctrica representaría una inversión económica imposible de implementar. Debido a ello, el proyecto de la energía solar es la mejor opción para mejorar la situación de los pobladores sin tener que invertir grandes cantidades de dinero, solo el compromiso de recibir las capacitaciones técnicas para el manejo de los equipos solares y el cuidado de los mismos.

OBJETIVOS

Objetivo general

Implementación un sistema fotovoltaico basado en paneles solares designado para sectores rurales aislados de alumbrado público en la comunidad masa II situada en el Golfo de Guayaquil.

Objetivos específicos

- Revisar el estado del arte de los proyectos de energías renovables
- Visitar el lugar, revisar en cada vivienda los electrodomésticos con los que cuenta y hacer un cálculo de demanda de carga que ésta requiere.
- Diseñar e implementar el sistema fotovoltaico de acuerdo con la demanda requerida por cada hogar.

Organización de tesis

Esta tesis está organizada en capítulos de la siguiente manera:

Capítulo 1. Una visión general de por qué tenemos que aumentar la generación de energía a partir de fuentes de energía renovables. Tomando en cuenta las ventajas del sistema de generación de energía solar fotovoltaica y los proyectos desarrollados en el Ecuador para comunidades aisladas

Capítulo 2. Una visión general de los componentes, el funcionamiento y ecuaciones que les gobierna.

Capítulo 3. Se explica la metodología y dimensionamiento de los componentes del sistema solar fotovoltaico en la comunidad de masa II

Capítulo 4. Se realiza la simulación del sistema en un software especializado y se analiza el funcionamiento del mismo.

Capítulo 5. Se presenta la conclusión y el alcance de la implementación.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Visión general sobre la necesidad de generación de energía solar

En el campo del sector eléctrico en estos días, una de las principales preocupaciones es el aumento diario de una mayor demanda de energía, pero la cantidad y disponibilidad de fuentes de energía convencionales no son recursos suficientes para satisfacer la demanda de energía actual. Al pensar en la disponibilidad futura de fuentes convencionales de generación de energía, se vuelve muy importante que las fuentes de energía renovables se utilicen junto con la fuente de los sistemas de generación de energía convencionales para satisfacer plenamente el requisito de la demanda de energía.

Con el fin de manipular la crisis energética actual, la generación de energía solar es el método en el que la energía se extrae de la radiación incidente hacia la tierra, la energía es gratuita y renovable. La radiación solar ha sido aprovechada por el hombre desde la antigüedad por medio de diferentes tecnologías y medios.

La energía solar está profusamente disponible en la superficie de la tierra, así como en el espacio, para que podamos cosechar su energía y convertir esa energía en nuestra forma adecuada de energía y utilizarla adecuadamente de manera eficiente. La generación de energía a partir de energía solar puede estar conectada o puede ser un sistema degeneración de energía aislado o independiente que depende de la utilidad, la ubicación del área de carga, la disponibilidad de la red eléctrica cercana. Por lo tanto, cuando la disponibilidad de conexión a las redes es muy difícil o costosa, la energía solar se puede utilizar para suministrar energía a esas áreas. Las dos ventajas más importantes de la energía solar son que su costo de combustible es absolutamente cero y la generación de energía solar durante su operación no emana ningún gas de efecto invernadero. Adicional que no necesita un espacio adicional para el montaje de los equipos.

En los últimos años, la tecnología de conversión de energía para la energía solar ha sido significativamente mejorada con una tecnología madura y los costos con tendencia a la baja. La investigación avanzada en el campo de la electrónica de potencia y la ciencia de los materiales ha sido de gran ayuda para que los ingenieros desarrollen un sistema de este tipo que sea muy pequeño pero eficaz y potente que tenga la capacidad de soportar para abastecer la alta demanda de energía eléctrica.

Para cada país, día a día, la demanda de densidad de energía está aumentando. La generación de energía solar también tiene la capacidad de manejar el voltaje fluctuación muy de manera efectiva configurando el sistema para el uso de múltiples unidades convertidoras de entrada. Pero en el sistema de generación de energía solar debido a su alto costo de instalación y la baja eficiencia de las células solares, estos sistemas de generación de energía difícilmente pueden participar en los mercados de energía competitivos como una fuente renovable principal de generación de energía, sin embargo, en los últimos años está mejorando los costes debido a la masificación de los componentes

Los científicos están constantemente tratando de mejorar en el campo del desarrollo de la tecnología de fabricación de células solares para aumentar la eficiencia. Esto definitivamente ayudará a que la generación solar fotovoltaica sea un hábito para su uso en la vida diaria como la principal fuente renovable de energía eléctrica en un rango más amplio que las condiciones actuales. En el sistema de generación solar, los últimos mecanismos de control de energía que se utilizan ahora en estos días, llamados el Seguimiento del Punto de Máxima Potencia frecuentemente conocido como MPPT, tiene una guía para el aumento de la eficiencia de operación de la generación de energía a partir de las células solares. Por lo tanto, MPPT es más importante en el campo del consumo de fuentes de energía renovables [1].

1.2 Justificación

La comunidad de Masa II sufre de varios problemas, la falta de servicios básicos, no aporta al desarrollo de sus habitantes, la ausencia de la energía eléctrica de forma continua en esta comunidad sirve como base para poder desarrollar un proyecto fotovoltaico en la cual se puede abastecer de energía eléctrica a los habitantes de una manera constante y eficiente, reduciendo los niveles de contaminación ambiental y aportando a un desarrollo socioeconómico de todos, entre las ventajas de electrificación se puede nombrar la iluminación durante las noches para reforzar las actividades de educación de los niños, ya que durante el día, en la mayoría de los casos ayudan a los progenitores, cargar los celulares para tener comunicación con los demás pueblos y la preservación de los alimentos.

La implementación y funcionamiento del sistema fotovoltaico necesita una sencilla estructura y está libre de contaminación acústica debido a que no contiene ninguna parte móvil, no se requiere costo de combustible al consumir energía renovable y necesita poco mantenimiento.

1.3 Proyectos de Energía Fotovoltaica en el litoral del Ecuador.

1.3.1 Isla Santay

Uno de los proyectos emblemáticos de energía solar aislada se ha implementado en la que ha isla Santay, la isla se encuentra entre Guayaquil y Duran, rodeada por las aguas del rio Guayas, la isla esta intervenida por el ministerio del ambiente donde se proyectó como una isla sustentable, se colocaron sistemas fotovoltaicos para las viviendas sin embargo cuenta con un número limitado de baterías para almacenar la energía proporcionada por el sol por lo que no tiene una alta confiabilidad y seguridad del suministro, la comunidad académica ha planteado propuestas para brindar un mayor almacenamiento de energía que permita el suministro eléctrico durante las 24 horas al día, con ello se mejora el nivel de calidad de vida de los pobladores [2].

La isla Santay se encuentra conformado por 56 casas donde 235 las habitan, las viviendas fueron reconstruidas como parte del proyecto Guayaquil Ecológico, las casas están construidas con madera de pino y la energía es por medio de paneles solares, en la figura 1 se muestra una foto panorámica de las viviendas [3].

Figura 1. Paneles solares instalados en la isla Santay

1.3.2. Electrificación en Mindo

La Empresa Eléctrica Quito en representación del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR) presento y socializó el proyecto de Electrificación con energía renovable en zonas remotas y aisladas, el proyecto se implementa en el complejo deportivo de la parroquia de Mindo, en San Miguel de Los Bancos.

La Empresa Eléctrica Quito, a través del programa de Electrificación Rural de Zonas Aisladas, ha invertido alrededor de USD 227000 dólares con la instalación de 94 sistemas fotovoltaicos, beneficiando a más de 470 habitantes con energía renovable e inagotable, dichos habitantes se encuentran alejados de las redes de distribución.

La EEQ tiene claro que la energía eléctrica es el principal motor para el desarrollo económico y social de una comunidad, por lo cual reitera el compromiso de continuar aportando al desarrollo de la comunidad. El personal técnico, operativo y administrativo de la empresa busca garantizar la energía especialmente en un año difícil debido a la emergencia sanitaria por el COVID 19.

La instalación y los equipos del sistema fotovoltaico no tienen costo para el usuario, quienes solo paga el consumo de la energía suministrada por los paneles solares de aproximadamente de USD 4,00 al mes, el sistema cuenta con un equipo de control y gestión al que se lo llama prepago, con lo cual el usuario se puede acercar agencia de la Empresa Eléctrica a la que permite al usuario acudir a la agencia de la Empresa Eléctrica para recargar créditos o días de uso. El sistema fotovoltaico provee de energía para cargas básicas de la vivienda como una licuadora, iluminación, un televisor, el cargador de celular, una laptop, y equipos para internet [4].

1.3.3. Soluciones de electrificación con paneles solares en la amazonia

Comunidades aisladas ubicadas en las provincias de Sucumbíos y Orellana serán electrificadas con energía solar fotovoltaica, el proyecto es desarrollado por CELEC EP Termopichincha, el objetivo es dotar de electricidad a las viviendas aisladas situadas en comunidades de la amazonia del Ecuador, que no tienen acceso a las redes de distribución, el proyecto tiene el respaldo del Ministerio de Electricidad y del BID, el Fondo Multilateral de Inversiones (FOMIN) y de las empresas eléctricas del país, para llevar a cabo el proyecto “Electrificación Rural”, con ello se cumple el Plan Nacional para el Buen Vivir .

Personal de CELEC EP participa de forma constante de las últimas reuniones de este ambicioso proyecto siendo un actor estratégico, entre las funciones otorgadas esta la operación y mantenimiento de los sistemas solares fotovoltaicos. Con la implementación del proyecto se brinda el suministro de energía a las viviendas de sectores remotos, que debido a la ubicación geográfica no es viable electrificar con redes de distribución [5].

Figura 2. Instalación de un panel solar fotovoltaico

1.4 Legislación del Ecuador

El ente encargado es la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL), entre las funciones esta ser la encargada de Regular y controlar las actividades de los Servicios Públicos de Energía Eléctrica y Alumbrado, en búsqueda del desarrollo sostenible y sustentable tomando siempre en cuenta los intereses de la ciudadanía menos favorecida y que viven en zonas aisladas.

En el 2018 se emite la regulación 003/18 (Nro. ARCONEL 042/18) llamada “Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”, dicha resolución está amparado bajo el articulo #15 de la constitución donde indica. - El estado

promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.

El 16 de enero de 2019 la regulación 003/18 es modificada y se emite la regulación 057/18, donde el nuevo objetivo es: Establecer las condiciones para el desarrollo, implementación y participación de consumidores que cuenten con sistemas de micro generación fotovoltaica hasta los 100 kW.

CAPÍTULO 2

2.1 Descripción general de las células solares

Figura 3. Célula solar policristalina

Una célula solar fotovoltaica es un dispositivo electrónico que convierte la energía de la luz (radiación solar) directamente en energía eléctrica, por medio del efecto fotoeléctrico sin utilizar ninguna parte móvil ni consumo de combustibles, entre las características del uso de paneles solares son los siguientes:

- Una célula solar también se llama célula fotovoltaica (FV).
- Es un dispositivo estático, sin parte móvil.
- "Foto" significa Luz y "voltaico" significa producir electricidad.
- Es un dispositivo electrónico de estado sólido hecho de materiales semiconductores como el silicio.
- La célula solar convierte la energía de la luz directamente en corriente continua (CC).
- La célula solar no utiliza el calor de la luz para producir energía eléctrica.
- En 1839 se descubrió el efecto fotovoltaico, en 1883 se fabricaron las primeras células solares de película delgada y se desarrolló la primera célula fotovoltaica práctica en 1954.
- La eficiencia de la célula solar depende de muchos factores como el sombreado de las células, la radiación, la temperatura, etc.

2.1.1 Teoría básica de la célula solar

Las células solares están hechas a base de silicio puro, con dos tipos de materiales semiconductores, el uno es un semiconductor tipo N y otro es semiconductor de tipo P para la generación de electricidad en corriente directa. El funcionamiento de la célula inicia cuando la

luz emitida por el sol golpea el semiconductor, por medio de la rotura de enlaces se genera pares de electrones (-) y huecos (+). Cuando el par de electrones y huecos alcanza entre dos tipos diferentes de superficie de unión del semiconductor, luego el electrón y el hueco se separan, el electrón se une por un semiconductor de tipo N y el agujero se une por un semiconductor de tipo P, el par generador produce la corriente continua al ser conectador a una carga.

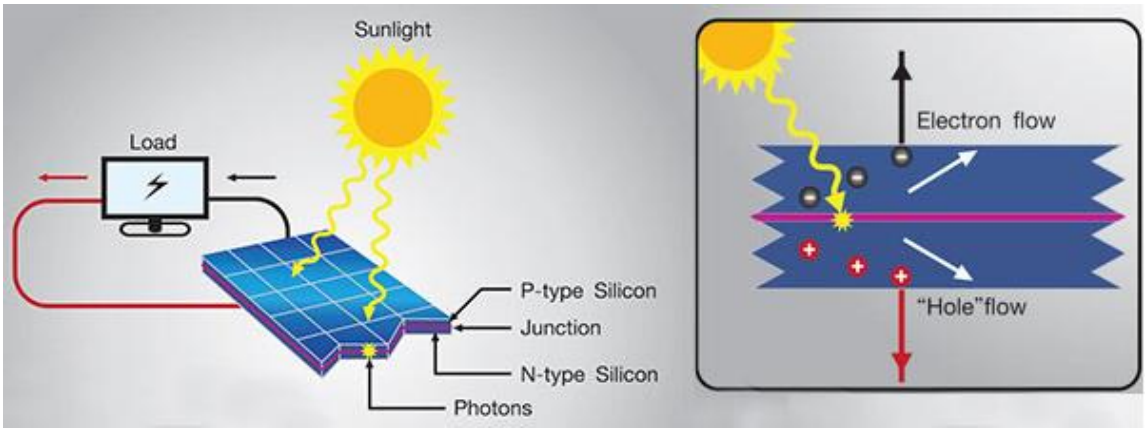


Figura 4. Unión PN de la célula solar

Las obleas fotovoltaicas a base de silicio se fabrican de dos tipos monocristalinas y policristalinas siendo la parte central del panel solar, el semiconductor tipo N es dopado de fosforo teniendo 5 electrones de valencia, mientras que el semiconductor tipo P es dopado por boro [6].

2.1.2 Conexiones de células solares

La conexión de la célula solar depende de la corriente y voltaje que se quiera diseñar el panel solar, la conexión es similar a la de la batería, cuando el terminal positivo de una célula solar se conecta al terminal negativo de otra célula solar, entonces forman una conexión en serie, teniendo la misma corriente pero el voltaje se suma de cada una de las células. En la figura 3 se muestra la conexión de las células en serie.

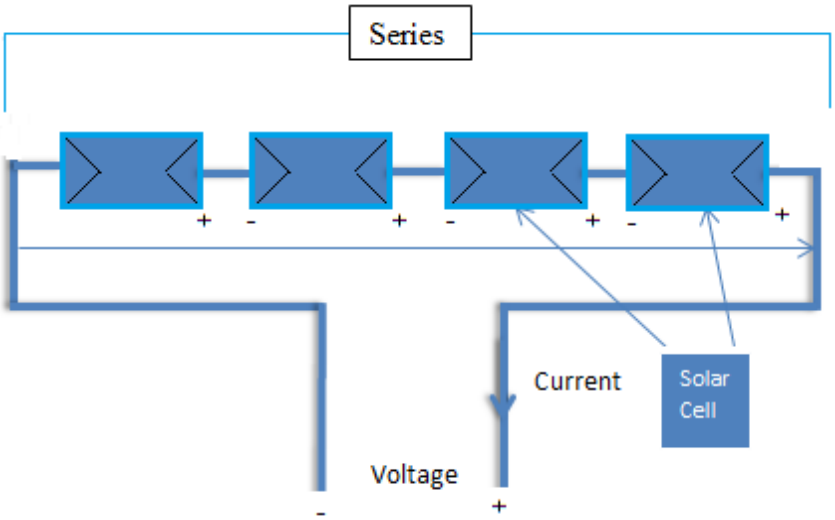


Figura 5. Conexión en serie de células solares

Cuando las terminales de las células, positivo con positivo y negativo con negativo están conectados la conexión es en paralelo, en la figura 4 se muestra la conexión, en este circuito el voltaje total es el mismo de la célula, pero la corriente es la sumatoria de todas las corrientes generadas por las células.

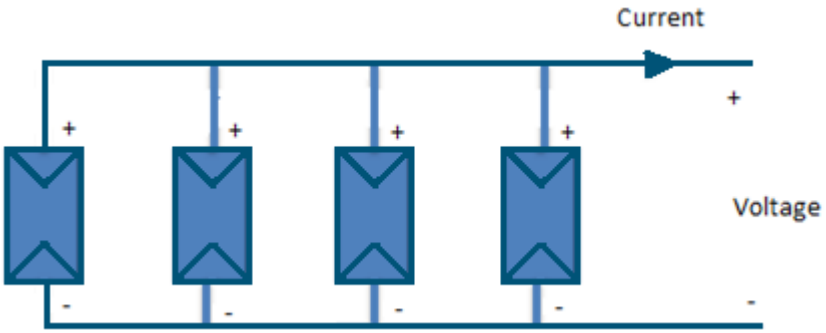


Figura 6. Conexión paralela de la célula solar

2.1.3 Tecnologías de células solares

La célula solar se fabrica con diferentes materiales, las principales tecnologías o materiales de fabricación son el silicio y la película delgada. La célula solar de silicio cristalino es más eficiente que la célula solar de película delgada, pero es más costosa producir. Se utilizan más comúnmente en aplicaciones fotovoltaicas grandes a medianas, como la generación de energía fotovoltaica conectada a la red.

La célula solar monocristalina está fabricada con materiales semiconductores puros, por lo que

tiene una mayor eficiencia (por encima del 17% en la producción industrial y del 24% en los laboratorios de investigación [7]. La célula solar policristalino es ligeramente menos eficiente que la monocristalina, pero el costo es menor, por lo que tiene una mayor penetración en el mercado de las renovables.

En las células solares de película delgada se utilizan capas muy finas de material semiconductor para que puedan producirse en gran cantidad a un costo menor, pero su eficiencia es menor. Esta tecnología se utiliza en calculadoras, relojes y juguetes, etc. Existen otras tecnologías fotovoltaicas disponibles en el mercado como son las células orgánicas, células de concentración, células híbridas fotovoltaicas combinación de silicio monocristalino y de película delgada, etc.

2.2 Panel solar fotovoltaico

El panel solar fotovoltaico aprovecha la luz del sol para generar electricidad, requiere un número importante de células solares para producir alta potencia conectadas en serie y paralelo, comercialmente se puede encontrar módulos solares de 36, 60 y 72 células, la energía producida es debido al efecto fotoeléctrico los materiales usados son el silicio y el arseniuro de galio, en la figura 5 se muestra la conformación del panel solar [8].

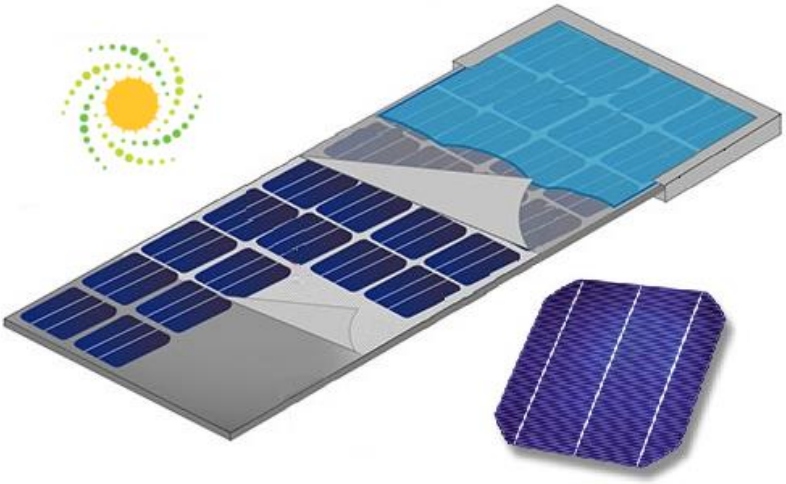


Figura 7. Célula solar parte del panel fotovoltaico

Una matriz fotovoltaica se refiere a un grupo de paneles o módulos solares fotovoltaicos conectados eléctricamente entre sí y montados en una estructura fija o con seguimiento a un

eje, se utiliza para producir una mayor cantidad de energía. En la figura 6 se muestra un campo fotovoltaico, también conocido como huerta solar

Figura 8. Matriz fotovoltaica para generación de electricidad

2.2.1 Modelado Solar Cell

La célula solar se representa por el circuito eléctrico equivalente de la figura 7, en la literatura se aceptan dos circuitos diferentes como circuito eléctrico equivalente de una célula solar, el primero es un modelo simplificado de una sola célula solar que exhibe una característica aproximada de una célula solar y el segundo tiene dos diodos combinados uno para reflejar la difusión y otro para el portador como se muestra en la figura 8.

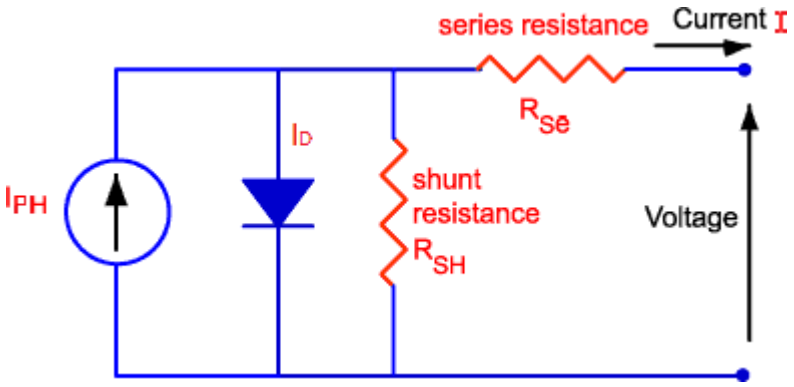


Figura 9. Circuito eléctrico que representa a la célula solar

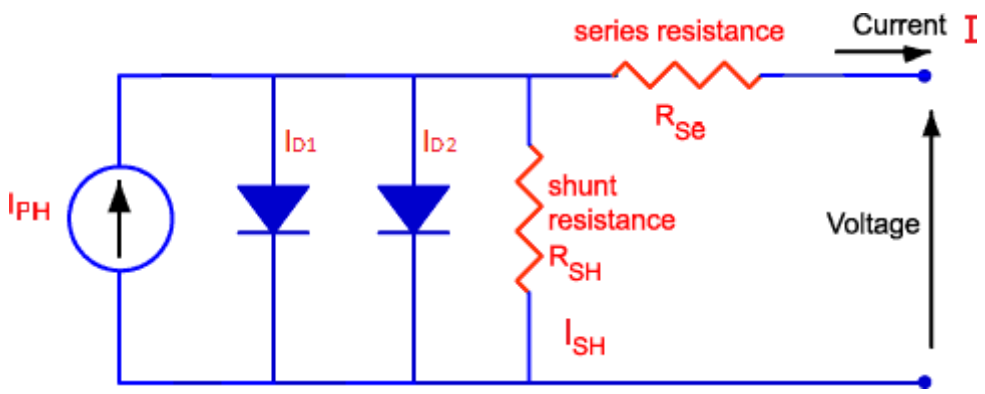


Figura 10. Circuitos equivalentes con diodo dual de célula solar

2.2.2 Curva característica I-V de un panel solar

El panel fotovoltaico tiene 5 parámetros principales, la máxima corriente se produce cuando su terminal positivo y negativo está cortocircuitado, esta corriente máxima se denomina corriente de corto circuito del panel solar (ISC). Cuando el panel se cortocircuita el voltaje a través del terminal es cero.

Cuando el terminal del panel se mantiene abierto sin conectar la carga, entonces el voltaje a través de su terminal es el máximo llamado voltaje de circuito abierto, en esta acción el panel cae en una resistencia infinita ya que la corriente es cero, entre estos dos extremos se encuentran bajo diferentes condiciones de resistencia a la carga, se logran diferentes pares de puntos de corriente y voltaje, al conectar puntos se encuentra una curva llamada curva I-V. Se considera la principal grafica para identificar la eficiencia del panel solar

En la figura 9 se muestra cuando se produce la corriente es cero y el voltaje es cero entonces la potencia del panel también es 0W se comprueba multiplicando tanto la corriente como el voltaje de ese punto. El voltaje promedio de una célula solar es de 0.6 V.

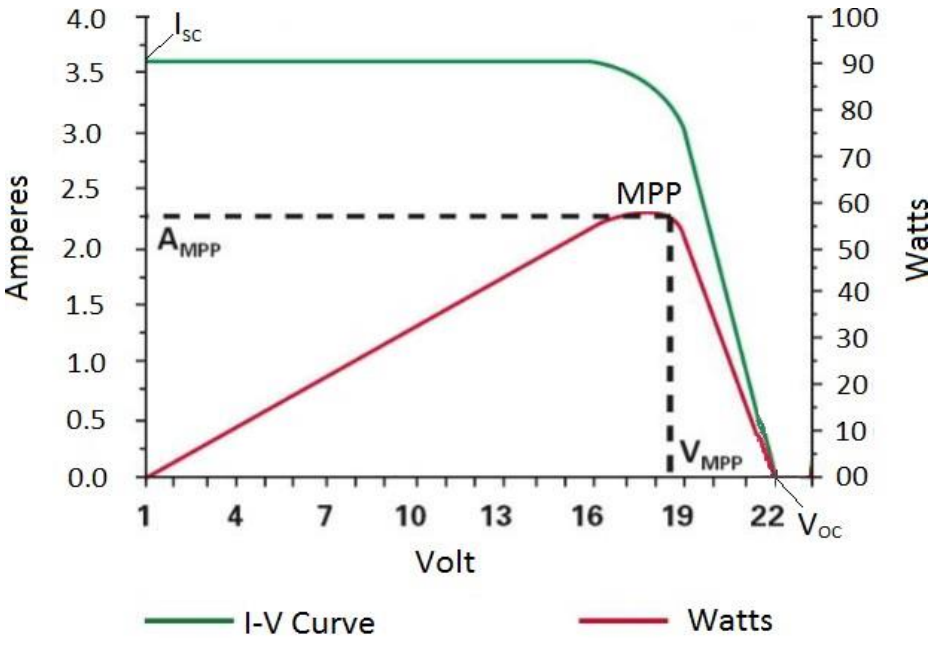


Figura 11. Curva característica I-V del panel solar

2.2.3 Impacto de la irradiación solar en I-V Característica de un panel solar

La irradiancia solar más alta en el nivel del suelo terrestre es de 1000 W/m^2 que se la considera para los cálculos de dimensionamiento como 1 Sol, la radiación extraterrestre es de 1367 W/m^2. Si la irradiancia solar disminuye debido a la nube, el movimiento de tierra o cualquier otra razón reducirá la corriente de salida del panel solar debido a que es directamente proporcional a la irradiancia solar, mientras que la variación del voltaje es mínima como se muestra en la figura 12.

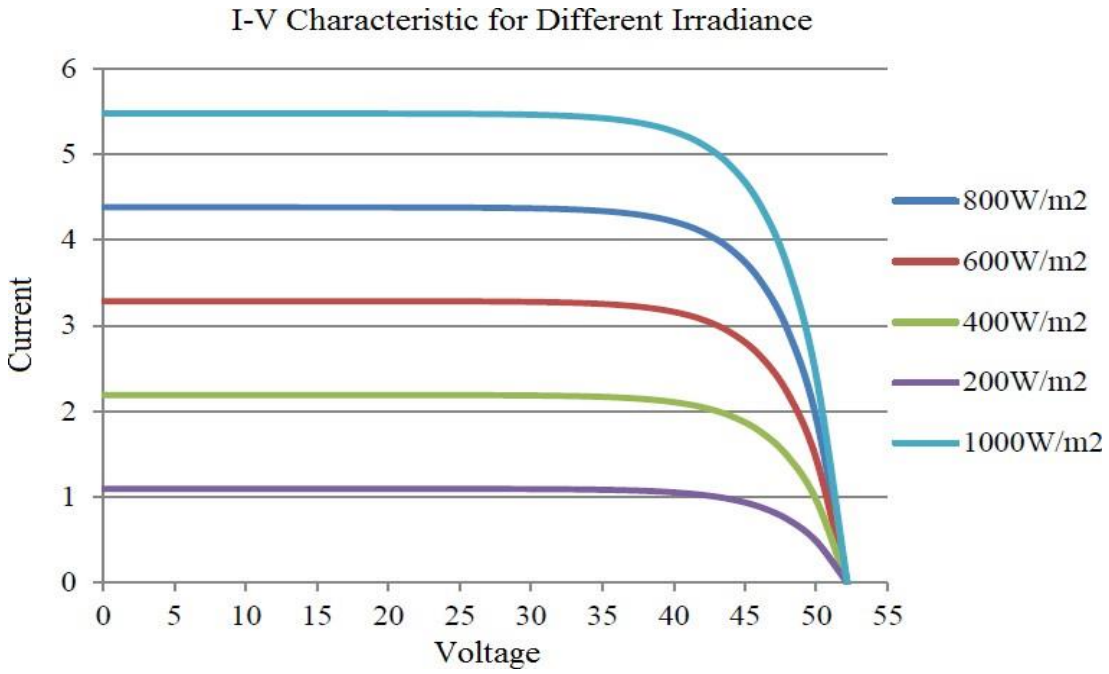


Figura 12. Curva de I-V a diferentes valores de irradiancia

En el caso del efecto de la temperatura (t) en el rendimiento del panel solar se muestra en la figura 10, la temperatura afecta la saturación de la corriente en la célula debido al coeficiente de t que para el caso del silicio es de –2.3mV/°C, en este caso la corriente no varía drásticamente el valor, pero si se afecta el voltaje

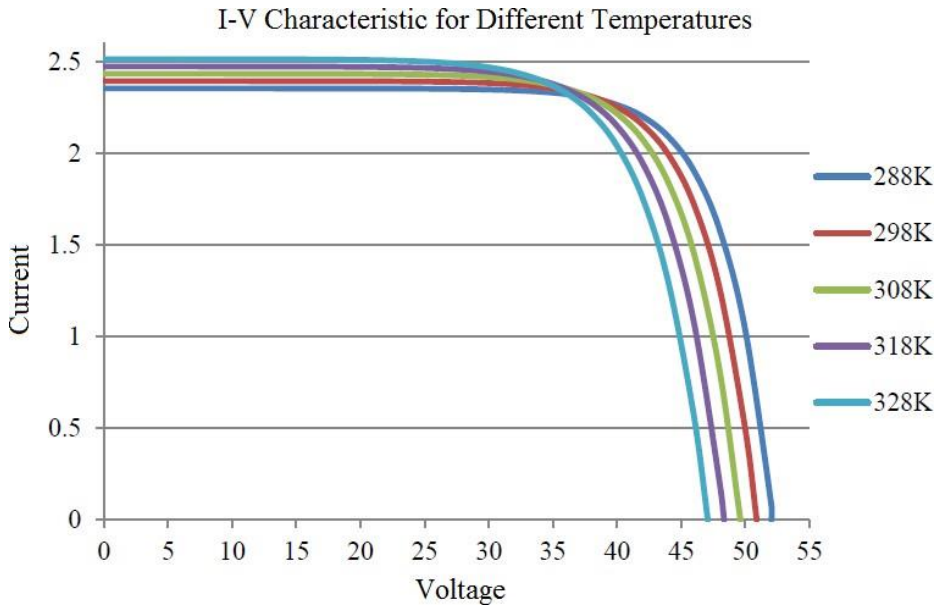


Figura 13. Afectación de la temperatura a la curva I-V de la célula solar

2.3 Controlador de carga.

El controlador de carga o conocido como regulador de carga cumple la función de regular el voltaje y corriente del generador fotovoltaico para evitar que las baterías se sobrecarguen. La mayoría de los paneles de "12 voltios" emiten entre 16 y 20 voltios, por lo que si no hay regulación, las baterías se dañarán por sobrecarga. La mayoría de las baterías necesitan alrededor de 14 a 14,5 voltios para cargarse por completo. En el mercado se puede conseguir tres tipos de controladores siendo los PWM y MPPT los más utilizados en diferentes tamaños, características y rangos de precios.

2.3.1 Controlador de carga PWM

El controlador de carga tipo PWM significa modulación de ancho de pulso, su uso más habitual es mediante el método de carga flotante. En lugar de una salida constante del controlador, envía una serie de pulsos de carga cortos a la batería, un interruptor de "encendido y apagado" muy rápido.

El controlador verifica constantemente el estado de la batería para determinar qué tan rápido enviar pulsos y qué tan largos (anchos) serán los pulsos. En una batería completamente cargada sin carga, puede que simplemente haga un "tictac" cada segundo y envíe un pulso corto a la batería. En una batería descargada, los pulsos serían muy largos y casi continuos, o el controlador podría pasar al modo de "encendido total". El controlador verifica el estado de carga de la batería entre pulsos y se ajusta cada vez.

Entre las ventajas está el precio bajo en referencia con los MPPT, fácil montaje, etc. Mientras que las desventajas son que puede crear interferencias en radios debido a los pulsos agudos que genera, se tiene una menor eficiencia del sistema y puede soportar máximo 60 A. En la figura 12 se muestra un controlador de carga del fabricante Must Solar [9]

2.3.2 Controlador de carga MPPT

El controlador de carga con seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT), tiene una alta eficiencia en el rango del 94 % al 98 %, pueden ahorrar una cantidad considerable de dinero en sistemas más grandes, ya que proporcionan entre un 10 % y un 30 % más de energía a la batería. Pueden soportar voltaje de la matriz fotovoltaica hasta 150 V **e**n el lado de entrada del panel solar, a menudo puede conectar en serie dos o más paneles de alto voltaje para reducir la pérdida de cables o usar cables más pequeños.

El controlador MPPT es básicamente un convertidor de CC a CC esta tecnología ahora se usa en prácticamente todos los inversores solares conectados a la red y muchos controladores de carga solar. El principio de funcionamiento de un controlador o regulador de carga solar fotovoltaico MPPT es bastante sencillo: a consecuencia al grado de emisión de luz solar (irradiación) que cae sobre un panel fotovoltaico durante todo el día, las variables de voltaje y la corriente del panel cambian de forma constante. Para generar la mayor cantidad de energía, la tecnología del rastreador del punto de máxima potencia del dispositivo barre el voltaje del panel de forma continua para encontrar el punto óptimo o el mejor balance de voltaje y corriente para la generación de máxima potencia. El MPPT está diseñado para rastrear y ajustar de forma constante el voltaje para generar energía sin importar la hora del día o las variables meteorológicas y climáticas. Tenga en cuenta que, por lo general, solo los controladores MPPT de gama alta pueden detectar sombras [10].

En la figura 13 se muestra un controlador de carga del fabricante Victron, soporta 75V y 10A.

Figura 14. Controlador de carga tipo MPPT

2.4 Baterías

Una batería o acumulador de energía eléctrica es un dispositivo que almacena energía en forma de energía química para luego convertirla en energía eléctrica y pueda ser utilizada en otro momento, esto es debido a los procedimientos internos electroquímicos. Este procedimiento se repite varias veces en función de la naturaleza de la batería, al uso que tenga y las condiciones externas.

Las baterías cumplen dos funciones principales, almacenar el exceso de energía generado por los paneles solares y entregar a la carga en caso de ser necesario, la segunda función es suavizar la red por picos de consumo. Las baterías permiten la autonomía energética a las viviendas con paneles fotovoltaicos aquellos días en los que hay baja irradiancia o durante la noche. De forma comercial existe una amplia variedad de baterías de almacenamiento solar que se adaptan a las necesidades más variadas con o sin mantenimiento, las ultimas son conocidas como baterías solares monoblock; otro tipo de baterías soportan descargas profundas o con una larga vida útil, aunque la inversión inicial es superior a la de cualquier otro tipo de batería de almacenamiento solar. En la figura 14 se muestra las baterías de gel, que debido a sus prestaciones y disminución en el precio está ganando introducción en el mercado

Figura 15. Batería de gel Ultracell de 12V 115 Ah

El principio de funcionamiento de la batería es por el fenómeno químico de reducción-oxidación (redox), donde un componente pierde electrones (oxida), mientras el otro se reduce o gana electrones. Los parámetros característicos de una batería son el número de ciclos de

funcionamiento, el voltaje, la capacidad de carga, la corriente, la capacidad eléctrica, la energía, la resistencia, el rendimiento y en algunas tecnologías el efecto de la memoria.

De acuerdo al número de ciclos de funcionamiento la capacidad de extracción va a disminuir, como se muestra en la figura 15, cuando llega al límite de numero de ciclos, el porcentaje de energía que se puede obtener la batería es de alrededor del 20%.

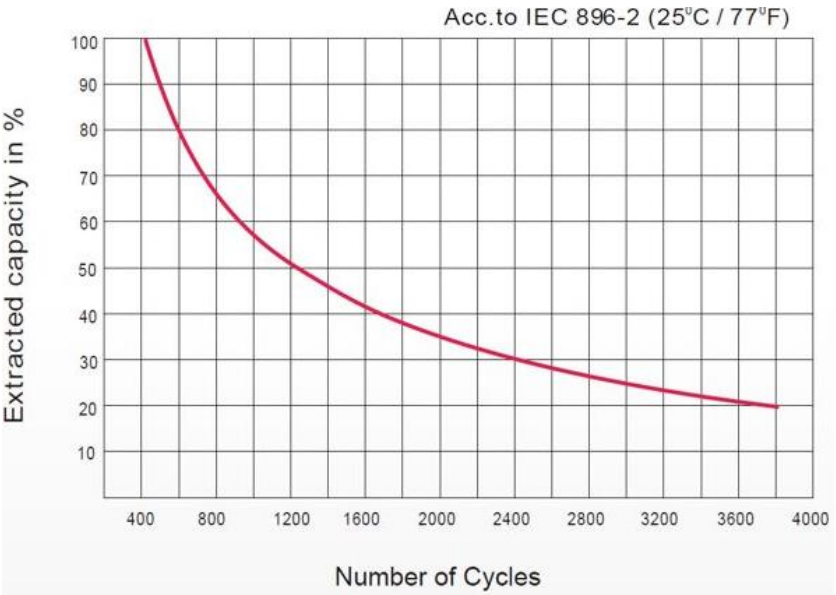


Figura 16. Curva de numero de ciclos vs la capacidad de extracción

En el mercado se pueden encontrar batería de 6V, 12V, 24V y 48V en tecnología de plomo acido, de gel, AGM. Siendo las más utilizadas las de plomo acido por el menor coste y un considerable número de ciclos de funcionamiento.

2.5 Inversor

Los inversores para sistemas fotovoltaicos también conocido como inversor solar se utiliza para convertir la energía de corriente continua obtenida por los paneles solares y/o almacenado en el banco de baterías en corriente alterna que es utilizada por la mayoría de los electrodomésticos que se posee en una vivienda.

Se dividen en dos tipos principales, en de onda senoidal pura que se caracterizan por generar energía eléctrica de forma sinusoidal constante, de la misma calidad y características que la energía eléctrica y el de onda senoidal modificada que se pueden utilizar en ciertos aparatos eléctricos, siendo los del primer tipo que tiene una mayor penetración en el mercado debido a

la versatilidad, vida útil y la calidad. Adicional al tipo de conexión a utilizar con conexión a red o en forma autónoma.

En los últimos años se han fabricado inversores híbridos, los cuales pueden trabajar con conexión a la red convencional y baterías, es decir pueden trabajar tanto para sistemas aislados como con conexión a la red. En la figura 16 se muestra un inversor hibrido del fabricante Victron Energy [9].

Figura 17. Inversor híbrido Victron Energy Phoenix 24v 250VA

2.6 Accesorios

Para la implementación del sistema fotovoltaico se necesita varios elementos entre material eléctrico y estructura del montaje, los elementos básicos para el montaje del sistema se requiere los siguientes elementos:

- Para la conexión de los diferentes dispositivos se utiliza cableado de cobre, el inversor y las baterías se conectan con un máximo de un metro de distancia en caso de ser una distancia superior se debe tener en cuenta la resistencia del conductor y de la batería.
- La canaleta para el cableado: mejora la correcta ubicación del cableado del sistema dando una apariencia estética del sistema PF, facilitando la revisión del cable o alguna conexión en concreto.
- La base de instalación del controlador, inversor y baterías, con la cual se permite una correcta fijación de los componentes a una superficie estable, plana y elevada respecto al piso. Agregando protección frente a agentes contra la humedad o agua.
- El desconectador de baterías: se utiliza para la conexión y desconexión del banco de las

baterías siempre que lo desee sin necesidad de manipular a plena carga.

- El portafusibles, almacena la fusible y protege al mismo contra impactos.
- Los fusibles para PF: asegura la durabilidad de los paneles solares ya que lo desconectan en caso de alguna sobre corriente. La selección del fusible depende del diseño del sistema tomando en cuenta las exigencias del panel solar.
- El termomagnético: desconecta el SF en el momento en el que se sobrepasen los valores calculados, con la implementación de este dispositivo se protege al sistema de sobrecargas y cortocircuitos.

2.6.1 Soportes Paneles Solares

La correcta ubicación e inclinación de los paneles solares es importante para obtener el máximo rendimiento del sistema solar, para lo cual es importante tener en cuenta el tipo de soporte a implementar, los soportes tienen que ser de alta calidad y capaces de soportar el peso de los paneles, los fuertes cambios de temperatura, velocidad del viento y una vida no menor a 25 años [11].

Diferentes tipos de soportes para paneles han sido fabricados en función del lugar donde vayan a situarse, comercialmente se pueden adquirir los siguientes:

Soportes tipo “B” y tipo “H”. Van situados en una columna con lo cual el panel queda suspendido en el aire.

Soportes de tipo “V”. Conocidos como fijos, se ancla en el suelo o en una terraza plana.

Soportes tipo “A”. Se utilizan en paneles de gran potencia, abarcan potencias entre 280 y 315W y van sobre suelo.

Soportes tipo “S”. Van apoyados sobre la estructura y ésta tiene una orientación en el suelo.

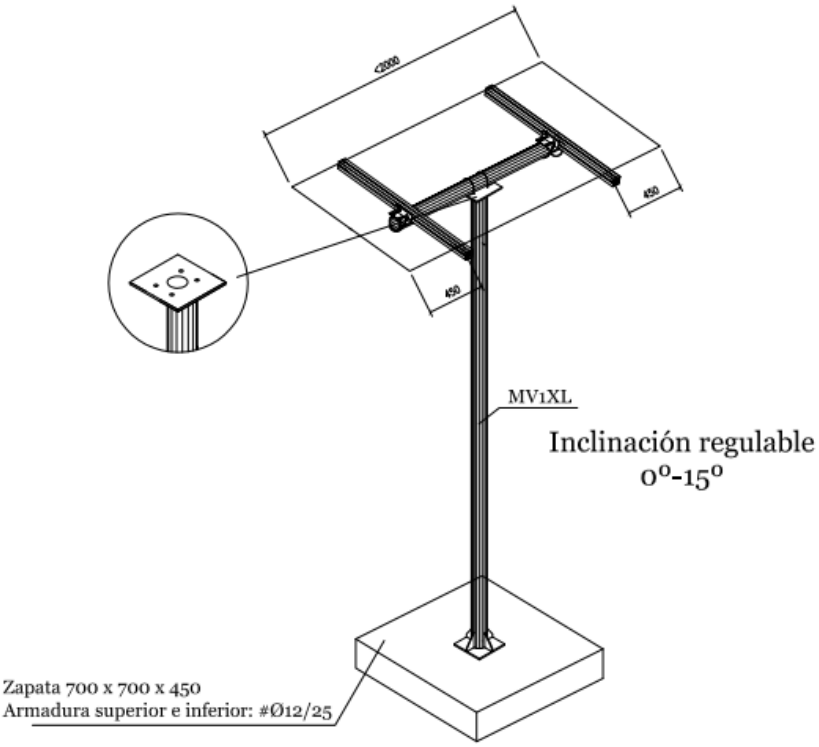


Figura 18. Estructura con soporte para 2 paneles

CAPÍTULO 3

3.1 Metodología y medios.

Para la implementación del proyecto técnico de titulación se utilizó la metodología cuantitativa debido a que por medio de visitas técnicas se examina los datos de consumo eléctrico de forma experimental de cada una de las viviendas cuando son electrificadas por medio del generador a diésel, a pesar de la dificultad de acceso al terreno se logra obtener información real gracias a la entrevista que se obtuvo con los habitantes de la vivienda asignada, la investigación aplicada se orienta a un estudio de campo. La visita, entrevista y estudio permite conocer la realidad diaria que viven los habitantes al no contar con el servicio de energía eléctrica de forma constante, debido a que no es viable encender el generador diésel las 24 horas del día por el costo y dificultad de acceder al combustible.

La implementación se caracteriza por ser factible con un alto grado de confiabilidad según trabajos anteriores y revisados en la literatura, el beneficio para la comunidad intervenida es alta, mejora la calidad de vida, mejor desenvolvimiento de los estudiantes al contar con luz artificial para la realización de las tareas sobre todo en las horas de la noche.

De acuerdo con los datos obtenidos en la inspección y levantamiento de información se inició al análisis de las cargas y las horas de consumo. El software comercial para el dimensionamiento técnico del sistema solar es PVsyst, con la información entregada por el software se realiza el análisis energético del sistema a corto plazo.

3.2 Situación actual de la vivienda

La vivienda es unifamiliar donde residen 6 habitantes, no posee grupo electrógeno por lo cual alquila a un vecino durante 3 horas desde las 18:00 hasta las 21:00 con lo cual no se satisface todas las necesidades energéticas de la vivienda, incluso no se puede conservar los alimentos. Los gastos por combustible diésel son altos y depende del transporte y del estado del equipo, sin mencionar el ruido propio del equipo, que durante la noche se vuelve molestoso y más aún en lo aislado del sector.

Las instalaciones eléctricas dentro de la vivienda fueron realizadas por personal no calificado incumpliendo con las normas técnicas básicas, conductores mal empalmados y sin cinta aislante, extensiones en mal estado, tomacorrientes sin conexión de tierra etc. La iluminación, tenía una conexión directa al generador de diésel, sin el paso por un interruptor ni división de

circuitos, por lo que se observa el uso no adecuado de la iluminación, se alumbra habitaciones donde no se la utiliza teniendo un mayor consumo el generador diésel.

3.2.1 Demanda de la vivienda

Mediante la inspección de la vivienda y el levantamiento de información se obtuvo el consumo de la vivienda asignada en el caserío Masa 2, en la tabla 1 se puede observar la carga conectada y utilizado por el usuario.

Aparato	Cantidad	Tiempo de uso (h)	Potencia Unitaria
Televisor	1	4	75
Direct Tv	1	4	15
Iluminación	5	4	9
Parlante	1	2	250
Celular	2	2	20
Licuadora	1	0.04	500

Tabla 1. Electrodomésticos y equipos de la vivienda

Con los datos del consumo se dimensiona el sistema para satisfacer la demanda de la vivienda y dar un alto grado de confiabilidad.

3.3 Cálculo de la demanda del sistema

3.3.1 Demanda de las luminarias

El circuito de iluminación tiene la prioridad en el dimensionamiento debido a que es la única forma artificial de alumbrado y las actividades a realizar son varias, se propone utilizar 5 puntos de luz tipo led de 9 W, con lo que se cubre las áreas de la vivienda y la parte externa, mediante la ecuación 1 se puede calcular la demanda por iluminación.

$$Di = P_f * N_f * t \tag{1}$$

$$De = 9(W) * 5(Focos) * 4(h)$$

$$De = 180(Wh/día)$$

Donde: Di es la demanda esperada por iluminación, P_f es la potencia del foco, N_f es la cantidad de focos tipo led a utilizar y t es el tiempo de uso.

3.3.2 Demanda de consumo de los tomacorrientes

Para el circuito de tomacorrientes se consideran cargas prioritarias para evitar un alto costo inicial de la instalación y que no sea factible la implementación debido a los escasos recursos de los actores del proyecto, las cargas planteadas son según su orden de prioridad

1. Carga del teléfono celular con un uso de 2 horas diarias.
2. Televisor con un uso de 4 horas diarias
3. Decodificador DIRECTV con un uso de 4 horas diarias
4. Licuadora con un uso de 0.04 horas diarias
5. Parlante con un uso de 3 horas diarias

Para el cálculo de la demanda de los tomacorrientes se utiliza la ecuación 1, el consumo se calcula a continuación:

$$Dt = 75(W) * 1(Tv) * 4(h) + 20(W) * 2(telf\ cell) * 2(h) + 15(W) * 1(Deco.) * 4(h) + 500(W) * 1(Licuadora) * 0.04(h)$$

$$Dt = 960\ (Wh/día)$$

Es necesario tomar en cuenta que el parlante tiene la prioridad 5, sin embargo es el equipo que más consume, se tiene que concientizar a los habitantes para reducir el tiempo de uso o utilizar otro tipo de equipo de menor consumo.

3.3.3 Consumo máximo diario de la vivienda

El consumo máximo diario de la vivienda se calcula con la sumatoria del consumo por iluminación más el consumo por los tomacorrientes, en resultado se presenta a continuación

$$D_{tv} = 180 + 960\ \ (Wh/día)$$

$$D_{tv} = 1140(Wh/día)$$

3.4 Plano arquitectónico de la vivienda

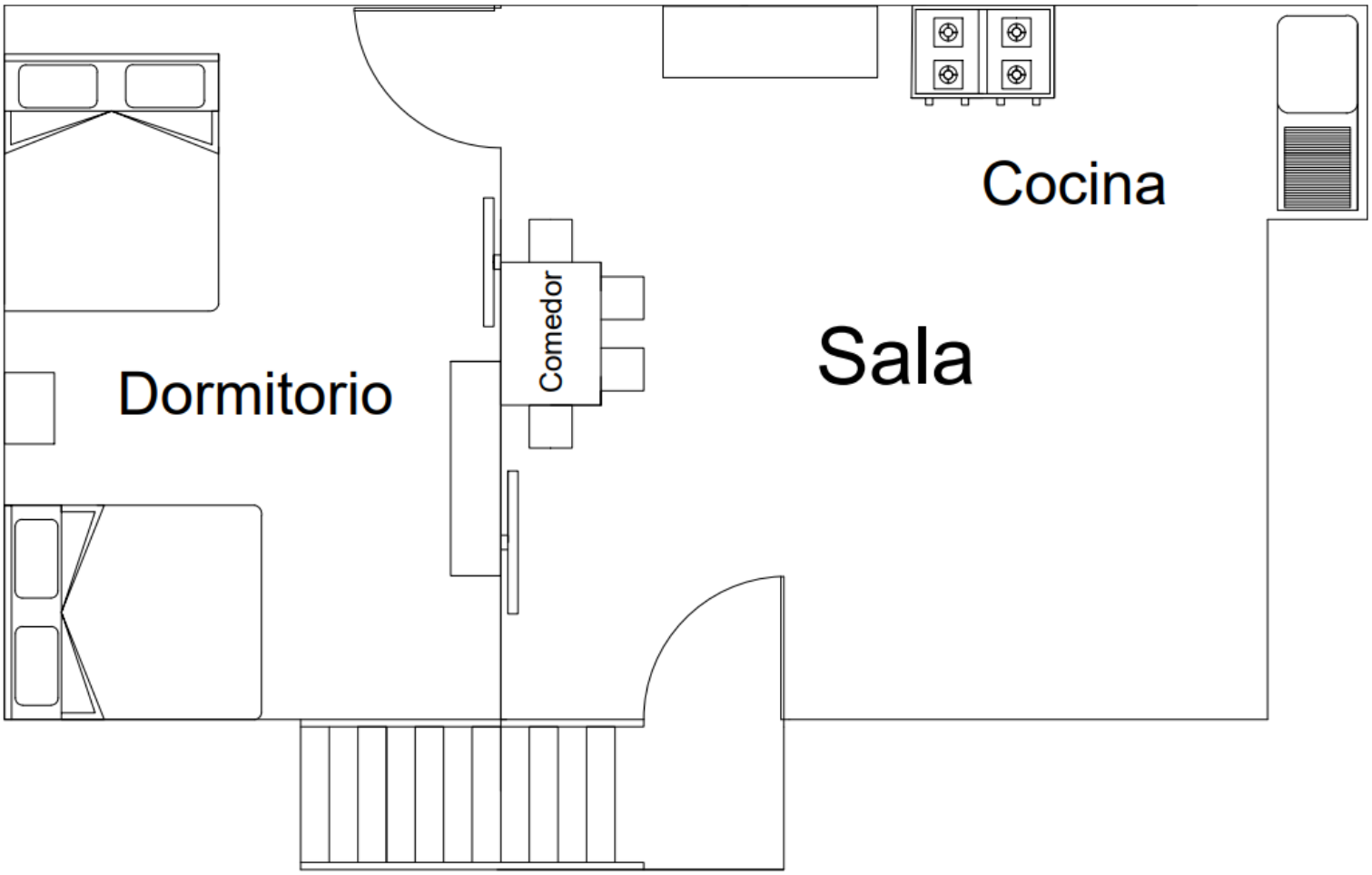


Figura 19. Plano arquitectónico de la vivienda

3.5 Dimensionamiento del sistema fotovoltaico

El fin de dimensionar el sistema fotovoltaico es suministrar de forma confiable y segura energía a la vivienda, la demanda tiene que ser cubierta y en búsqueda del balance entre la máxima confiabilidad y el menor coste, , para lograr el objetivo es necesario seguir el siguiente procedimiento [14].

1. Estimación del consumo.
2. Datos del lugar donde se realizará la instalación.
3. Dimensionado del generador fotovoltaico
4. Dimensionado del sistema de baterías
5. Dimensionado del controlador de carga.
6. Dimensionado del inversor

3.5.1 Estimación del consumo.

El consumo diario de la vivienda se calcula en la sección 3.3.1, sin embargo allí no se toman en cuenta las perdidas por rendimiento de las baterías e inversor, mediante la ecuación 3 se calcula toda la energía necesaria que tiene que suministrar el generador fotovoltaico.

$$D_t = \frac{E_{Dc}}{n_{bat}} + \frac{E_{Ac}}{n_{bat} * n_{inv}} \qquad (2)$$

Donde, D_t es la demanda total del sistema, E_{Dc} es la energía diaria en DC, E_{Ac} es la energía diaria en AC y n_{bat}, n_{inv} es el rendimiento de la batería y el inversor respectivamente

La tecnología del inversor y baterías es bastante madura por lo que alcanzan altas eficiencias del 98% para el inversor y 95% para las baterías, se reemplaza los valores y se obtiene:

$$D = \frac{0}{0{,}9} + \frac{1140(\text{Wh/día})}{0{,}95 * 0{,}98}$$

$$D_r = 1225\ (\text{Wh/día})$$

3.5.2 Datos del lugar de la instalación

La comunidad de Masa II se encuentra en el golfo de Guayaquil, tiene dos formas de acceso, la primera es vía terrestre, solicitando permiso a las empresas camaroneras a una distancia de 13 Km, la segunda opción es vía fluvial, tomando una lancha en el muelle del mercado Caraguay, el tiempo en llegar es de 40 min.

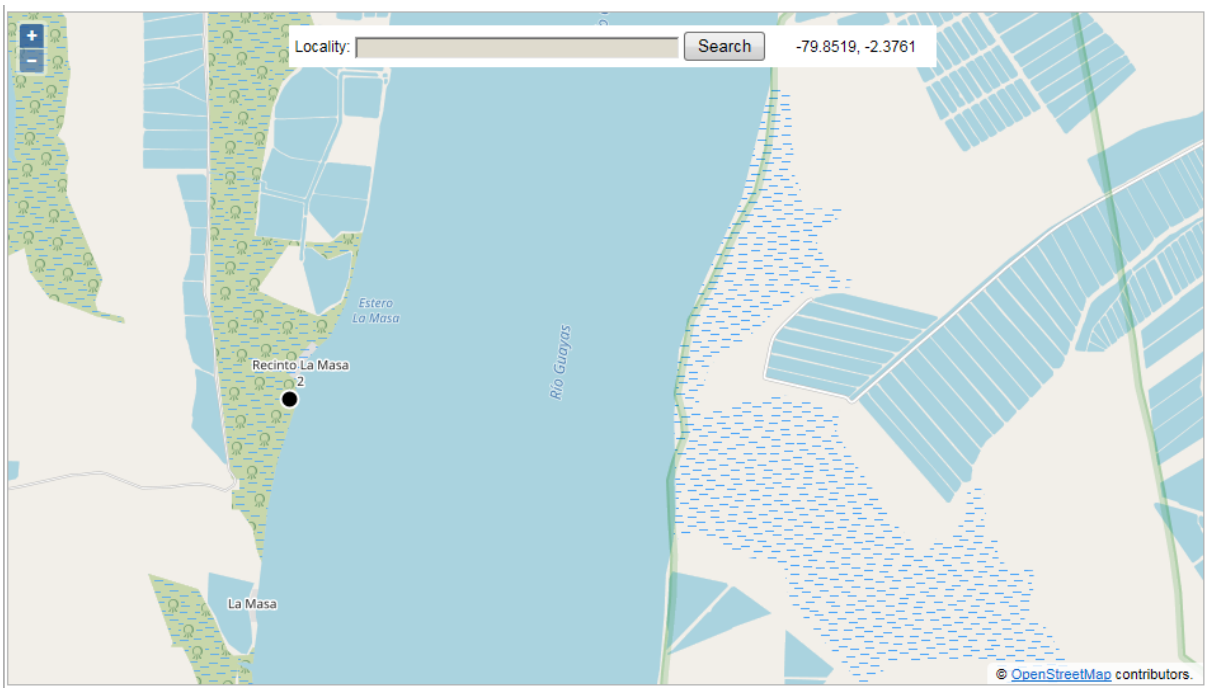


Figura 20. Lugar de la implementación

Los valores de radiación solar son tomados del software Pvsyst por medio de la base de datos Meteonorm 8.0, las coordenadas son una latitud de -79.85 y la longitud de -2.37, en la siguiente imagen se presenta los valores obtenidos.

	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	Turbidez Linke	Humedad relativa
	kWh/m²/día	kWh/m²/día	°C	m/s	[-]	%
Enero	4.38	2.60	26.5	1.30	4.366	71.1
Febrero	4.38	2.80	26.3	1.00	4.190	77.2
Marzo	4.80	2.96	26.9	1.10	4.246	75.1
Abril	5.03	2.64	26.6	1.18	4.703	75.1
Mayo	4.69	2.27	26.3	1.49	4.631	72.5
Junio	3.93	2.38	24.7	2.09	4.159	74.1
Julio	3.95	2.41	24.4	2.40	3.939	72.0
Agosto	4.00	2.51	24.0	2.79	4.162	71.5
Septiembre	4.24	2.56	24.0	2.90	4.692	70.9
Octubre	3.19	2.48	24.4	2.79	4.872	70.0
Noviembre	3.15	2.25	24.6	2.70	5.007	69.6
Diciembre	4.35	2.67	26.4	2.19	5.277	65.0
Año	**4.17**	**2.54**	**25.4**	**2.0**	**4.520**	**72.0**

Irradiación horizontal global variabilidad año a año 6.8%

Figura 21. Datos de variables meteorológicas en Masa II.

3.5.3 Dimensionamiento del generador fotovoltaico

Para efectuar el dimensionamiento técnico del generador fotovoltaico, es necesario conocer la hora solar pico (HSP) del peor mes, al revisar la figura 22 se puede notar que noviembre tiene el peor mes con una irradiación de 3150 Wh/m^2/día, para calcular la HSP es necesario dividir la irradiancia para un SOL (1000 W/m^2/día). Para el caso de estudio se obtiene una HSP=3,15 h.

Para calcular la potencia y numero de paneles solares fotovoltaicos se utiliza la ecuación 4 que debe generar el panel fotovoltaico se hace uso de la ecuación (5) :

$$N_{Pf} = \frac{D_T}{Pmp * HSP * PR} \tag{3}$$

$$N_{Pf} = \frac{1225}{350\,W * \ 3{,}15 * 0{,}9}$$

$$N_{Pf} = 1{,}06\ paneles\ solares$$

Donde, N_{Pf} es el número de los paneles fotovoltaicos, D_T es la demanda total del sistema, PR es el factor de funcionamiento.

Debido a que el número de paneles es menor a 1,5 se selecciona un solo panel de 350Wp

3.5.4 Selección del banco de baterías

Para el dimensionamiento del banco de baterías se tiene en cuenta características propias de la tecnología para tener un aceptable tiempo de vida según indicaciones del fabricante. La tensión de trabajo es la primera característica, los voltajes comunes son de 12, 24 y 48VDC, el voltaje se selecciona de acuerdo a la carga a satisfacer, para cargas menores a 1000 W se utiliza 12 V, para cargas entre 1000 y 3000 W se utiliza 24 V y para potencias superiores de 3000W, se tiene que verificar el voltaje de salida del regulador en caso de instalar un PWM y la entrada del inversor [15].

Para el presente trabajo se selecciona 24 V en caso de ampliar la potencia instalada en una segunda fase del proyecto, otra de las características es la profundidad máxima de descarga, el parámetro indica el porcentaje de la energía almacenada que se puede consumir, sin tener inconvenientes por disminución de ciclos de funcionamiento.

La profundidad máxima de descarga se programa en el controlador de carga y depende de la tecnología de batería a utilizar, los acumuladores que tiene mayor implementación son de tipo plomo acido, AGM y de gel, según el fabricante las baterías monoblock a utilizar en la implementación soportan un máximo del 60% de profundidad de descarga [14].

Los días de autonomía del banco de baterías es un parámetro necesario para asegurar la confiabilidad del sistema y que pueda trabajar sin necesidad de recibir radiación solar suficiente durante días nublados de baja irradiación, en la mayoría de los dimensionamientos se coloca tres días de autonomía.

Para calcular la capacidad del banco de baterías se utiliza las ecuaciones 5 y 6, en la primera se calcula la capacidad en Wh, mientras en la segunda se calcula la capacidad en Ah, que es el parámetro para adquirir los componentes.

$$C_{ne}(Wh) = \frac{D_T * N}{P_{dm}} \tag{4}$$

$$C_{ne}(Wh) = \frac{1225 * 2}{0.6} = 4083\ Ah$$

$$C_{ne}(Ah) = \frac{C_{ne}}{V_{bat}} \tag{6}$$

$$C_{ne}(Ah) = \frac{4083}{24} = 170\ Ah$$

Donde, C_{ne} es la capacidad nominal del banco en (Wh) y en (Ah), D_T es la demanda energética de la carga, N son los días de autonomía, P_{dm} es la profundidad máxima de descarga, V_{bat} es el voltaje del banco de baterías.

Si, comercialmente se adquiere baterías de 12V, es necesario conectarlas en serie para que alcance el voltaje de 24 V, tal como se muestra en la figura 23.

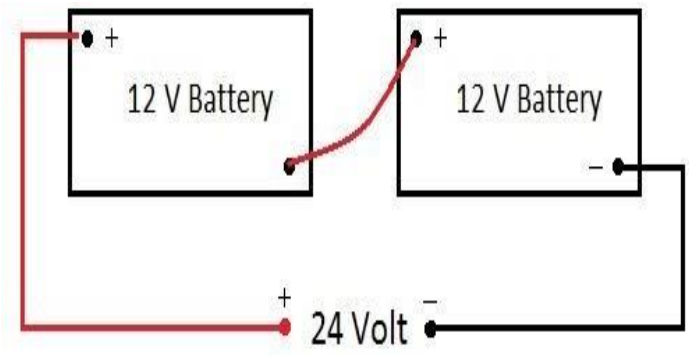


Figura 22. Baterías conectadas en serie

3.5.4 Dimensionamiento del controlador de carga

El controlador de carga cumple varias funciones entre las más importantes es regular el voltaje que se suministra a las baterías (12, 24, 36, 48V), también controla la sobrecarga y sobre descarga del banco, con ello se evita el daño prematuro de las mismas, el regulador es seleccionado por la corriente que va a soportar, el voltaje que generan los paneles y la potencia del generador fotovoltaicos, los dispositivos se pueden conectar en paralelo para alcanzar mayores potencias, se recomienda que el regulador soporte entre el 20% y 25% de la corriente generada por los paneles solares.

Para calcular la corriente de entrada del regulador se utiliza la ecuación 7(**5**).

$$I_c = Fs * I_{mx} * N_p \tag{7}$$

$$I_c = 1{,}2 * 10{,}7 * 1$$

$$I_c = 12{,}84\ A$$

Donde, I_c es la corriente de entrada del controlador de carga, I_{mx} es la corriente de máxima del panel fotovoltaico, N_p es el número de ramales en paralelo, Fs es el factor de seguridad.

3.5.5 Dimensionamiento del inversor

La mayoría de los electrodomésticos que se poseen las viviendas funcionan a corriente alterna, por tal razón es importante acondicionar la señal de DC a AC, el equipo encargado es el inversor, las características principales son la potencia nominal, el voltaje nominal de entrada, el voltaje nominal de la salida, la frecuencia de trabajo y el rendimiento, para calcular la potencia nominal del inversor se utiliza la ecuación 8.

$$P_{inv} = 1{,}2 * P_{AC} \tag{5}$$

$$P_{inv} = 1{,}2 * 869$$

$$P_{inv} = 1042$$

3.6 Configuración del sistema propuesto

Luego de dimensionar cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico se muestra en la figura 24 la conexión de los elementos.

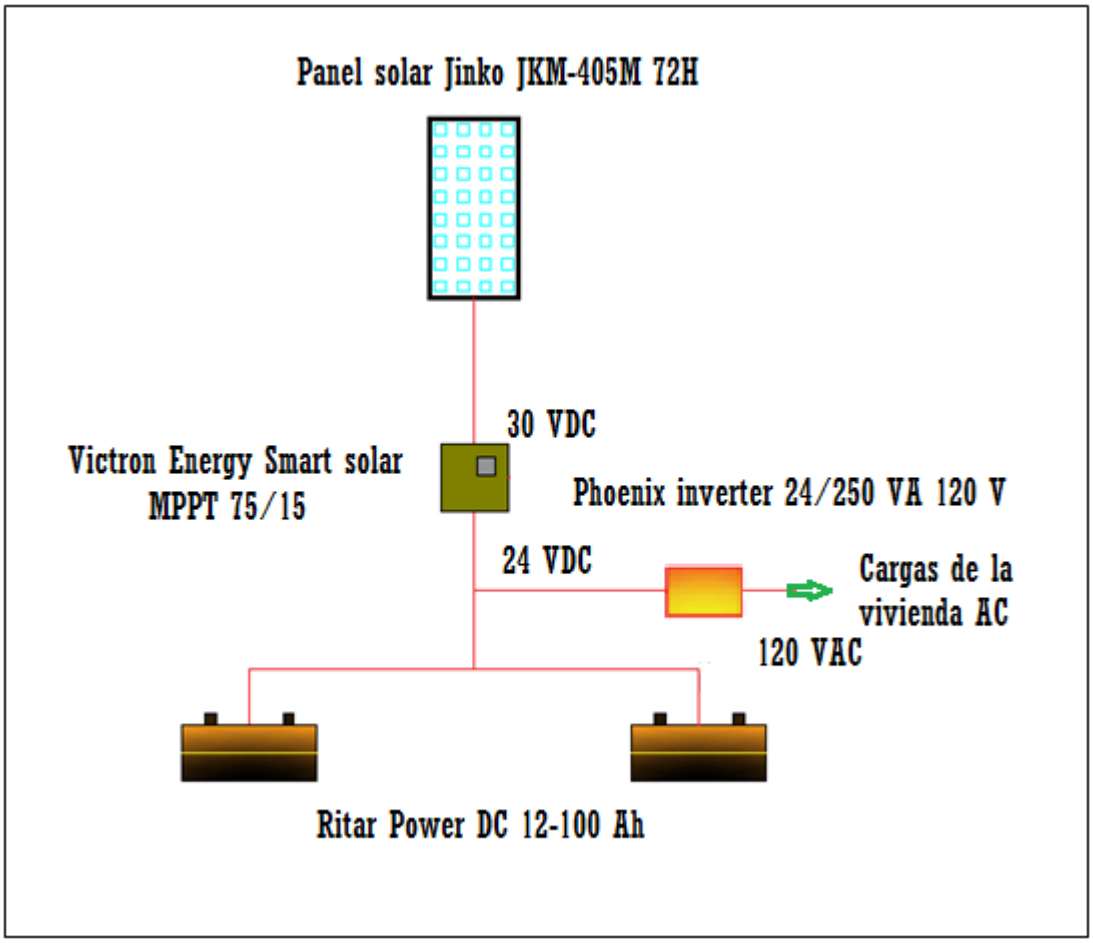


Figura 23. Esquema del sistema fotovoltaico

CAPÍTULO 4

4.1 Simulación mediante PVSyst

El software seleccionado para comprobar y analizar el dimensionamiento del sistema fotovoltaico a implementar en la comunidad de masa II es PVSyst debido a su rapidez y sencillo procedimiento para el dimensionamiento técnico y simulación del sistema fotovoltaico, en una sola simulación se puede plantear diferentes escenarios para analizar los diferentes comportamientos del sistema a corto plazo, el rendimiento energético es muy cercano a la realidad.

Según el requerimiento del diseñador el software presenta un pre dimensionamiento de guía, con lo cual se puede seleccionar los paneles solares desde una amplia librería de componentes comerciales, el mismo procedimiento es para la selección de baterías, controlador de carga, el inversor se selecciona de forma independiente, debido a que el dimensionamiento para sistemas aislado lo considera en DC.

Una vez realizado la configuración preliminar y los componentes están dentro de un rango de implementación se puede realizar la simulación, el programa por medio de un código de colores envía mensajes de advertencia o error en la configuración, los colores son rojo para indicar que no puede correr la simulación, amarillo para mensajes de advertencia y verde para correr la simulación [16]. En la figura 25 se muestra los diferentes tipos de sistema a dimensionar.

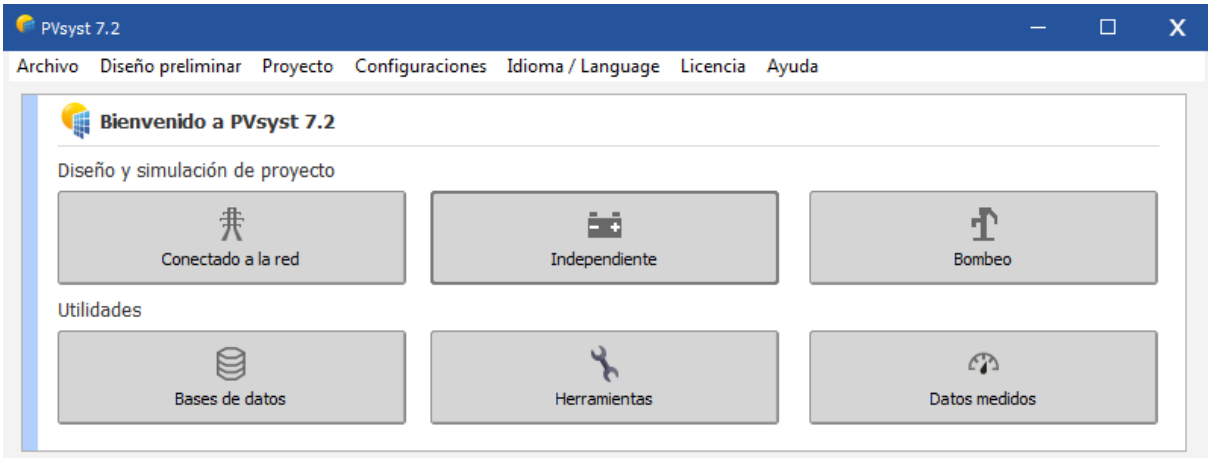
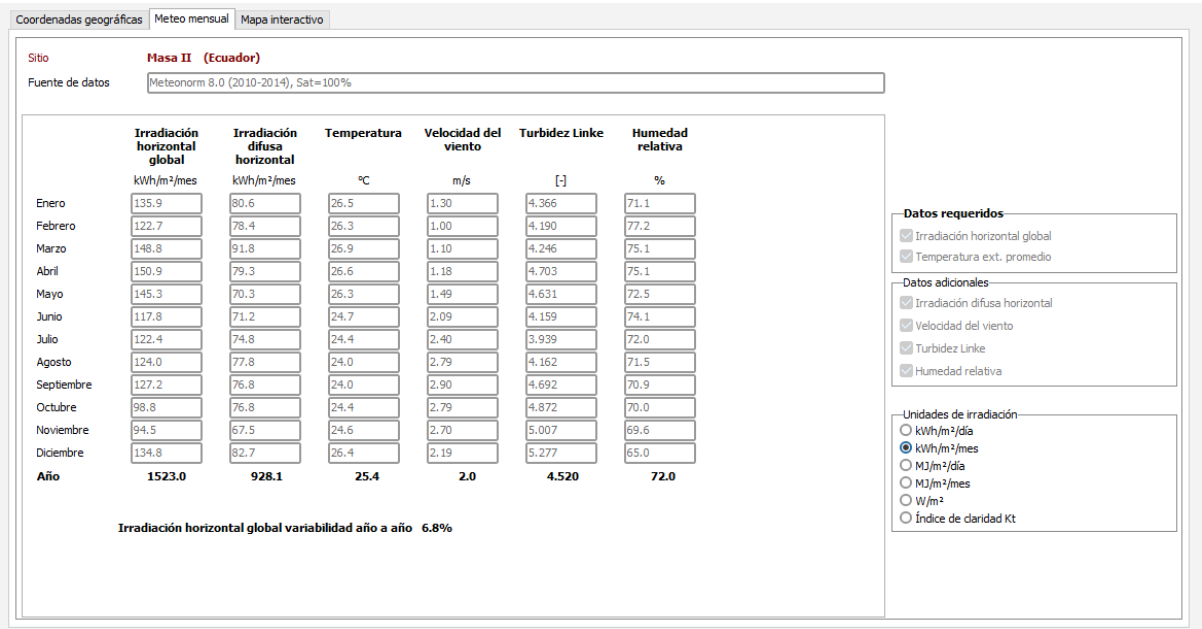


Figura 24. Interfaz de selección del tipo de sistema fotovoltaico

Entre las ventajas que ofrece el software PVSyst es la facilidad de dimensionamiento en pocos pasos, analiza el comportamiento del generador solar y de cada uno de los componentes para

toda la vida del proyecto, se puede seleccionar la época del año, estaciones, etc. para un correcto análisis de los resultados energéticos

Conocido el lugar de implementación y el tipo de sistema para dimensionar, las coordenadas se ingresan en el mapa interactivo, el siguiente paso es descargar las variables meteorológicas de cualquiera de las bases disponibles en convenio con el programa, se puede seleccionar Meteonorm, Pvgis o de la Nasa, las unidades de irradiación se presentan en diferentes unidades y periodos de tiempo, en el presente documento se selecciona kWh/m2/día como unidad. Una vez descargado la información, diferentes datos meteorológicos se presentan tales como irradiación, temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, en la figura 19 se muestra los detalles para todo el año.



	Irradiación horizontal global	Irradiación difusa horizontal	Temperatura	Velocidad del viento	Turbidez Linke	Humedad relativa
	kWh/m²/mes	kWh/m²/mes	°C	m/s	[-]	%
Enero	135.9	80.6	26.5	1.30	4.366	71.1
Febrero	122.7	78.4	26.3	1.00	4.190	77.2
Marzo	148.8	91.8	26.9	1.10	4.246	75.1
Abril	150.9	79.3	26.6	1.18	4.703	75.1
Mayo	145.3	70.3	26.3	1.49	4.631	72.5
Junio	117.8	71.2	24.7	2.09	4.159	74.1
Julio	122.4	74.8	24.4	2.40	3.939	72.0
Agosto	124.0	77.8	24.0	2.79	4.162	71.5
Septiembre	127.2	76.8	24.0	2.90	4.692	70.9
Octubre	98.8	76.8	24.4	2.79	4.872	70.0
Noviembre	94.5	67.5	24.6	2.70	5.007	69.6
Diciembre	134.8	82.7	26.4	2.19	5.277	65.0
Año	**1523.0**	**928.1**	**25.4**	**2.0**	**4.520**	**72.0**

Figura 25. Variables meteorológicas en Masa II.

Descargado los datos se guarda y se procede se presenta a definir la orientación del panel solar como se muestra la figura 27, el generador fotovoltaico va a estar sobre una base fija a 15 grados de inclinación y 0 grados respecto al sur, la energía disponible sobre el plano colector es de 1520 kWh/m2, las pérdidas de energía respecto al plano optimo es de 0.2%, se escoge esta inclinación para que los paneles no acumulen polvo y se pueda limpiar durante las lluvias.

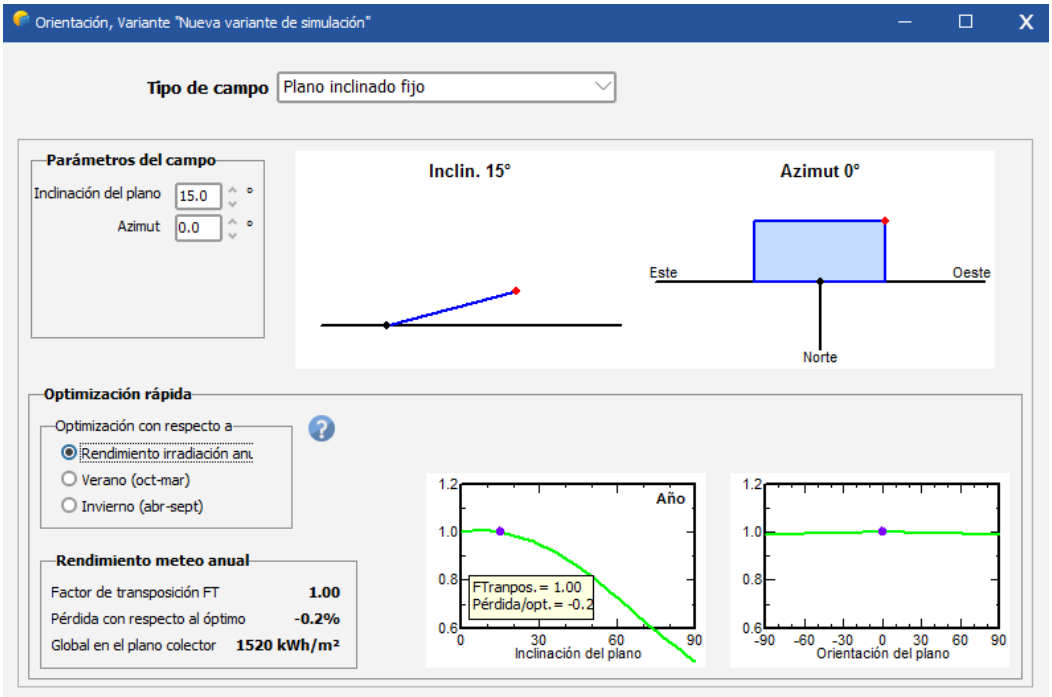


Figura 26. Orientación e inclinación del panel solar

Las potencias y horas de consumo se ingresan en la figura 28, la distribución horaria es una de las mejoras del programa respecto a otros softwares de dimensionamiento con lo cual se optimiza el subsistema de almacenamiento y se garantiza la confiabilidad del mismo.

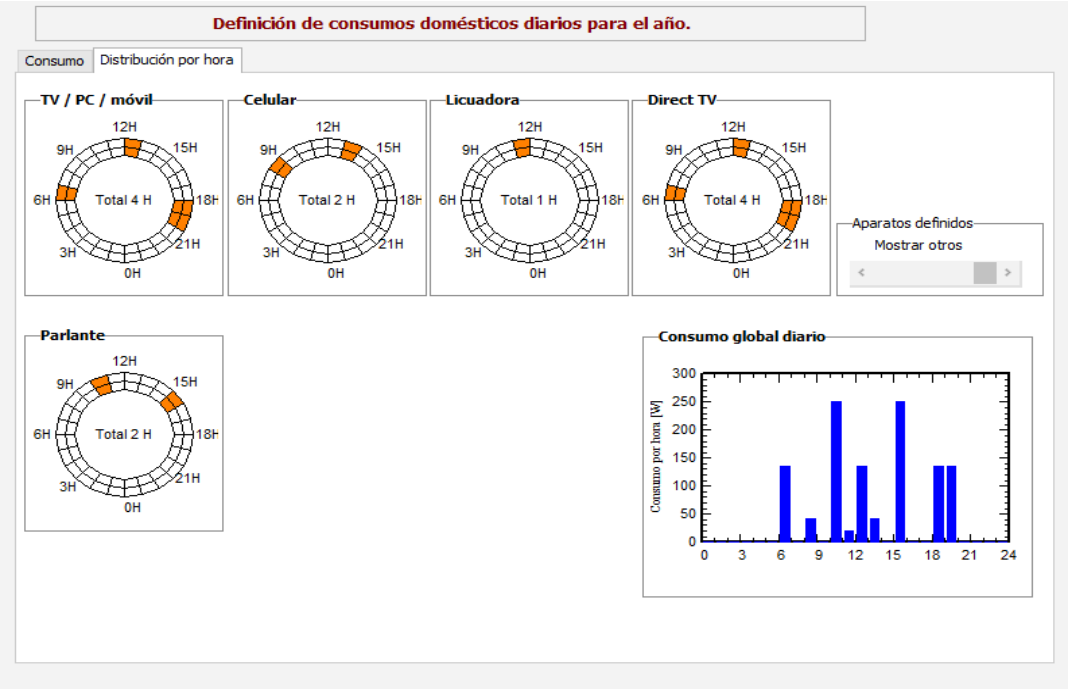


Figura 27. Definición de las cargas y horas de consumo

El siguiente paso es la definición de los componentes del sistema aislado fotovoltaicos, como

se muestra en la figura 29, el interfaz presenta un pre dimensionamiento como guía (parte superior de color rosado) con la información relevante se escoge cada uno de los elementos de la librería comercial que tiene pre cargado.

El primer elemento en seleccionar es el banco de baterías, para tener el respaldo adecuado para dos días de autonomía el programa calcula que se requiere una capacidad de 228 Ah o 2736 Wh, por lo que se colocan 2 baterías en serie para alcanzar 24 V y 2400 Wh, el número de ciclos de funcionamiento a un 80% de profundidad de descarga es de 800 ciclos.

El peso total de los elementos es de 89 kg, el número de elementos es de 24, se consideran los cables que van a unir las baterías, los conectores, terminales etc. Para efectos de cálculo la temperatura es de 20°C

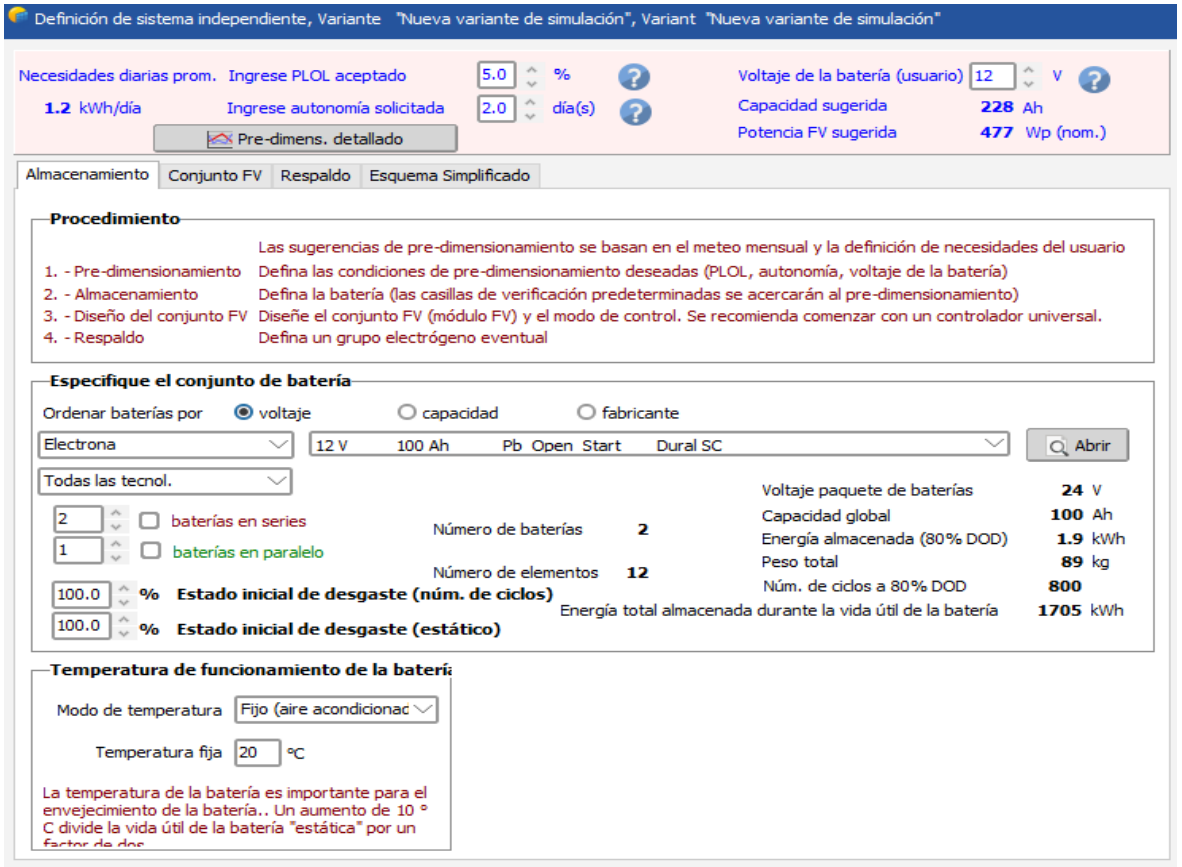


Figura 28. Selección de elementos del SF

El generador fotovoltaico está conformado por un panel de 405 Wp de la marca Jinko Solar, en la figura 30 se muestra los detalles técnicos del mismo, la corriente de corto circuito es de 10.48 A, la corriente máxima es de 9.65 A, el voltaje de circuito abierto es de 50.10 V mientras que el voltaje máximo es de 42 V, los valores son tomados en pruebas de condiciones estándar en ambiente controlados.

Otro parámetro importante es la alta eficiencia que tiene el panel del 22.79%, el panel consta

de 72 células solares conectadas en serie y paralelo, las pérdidas a consecuencia de la temperatura son de -151 mV/°C.

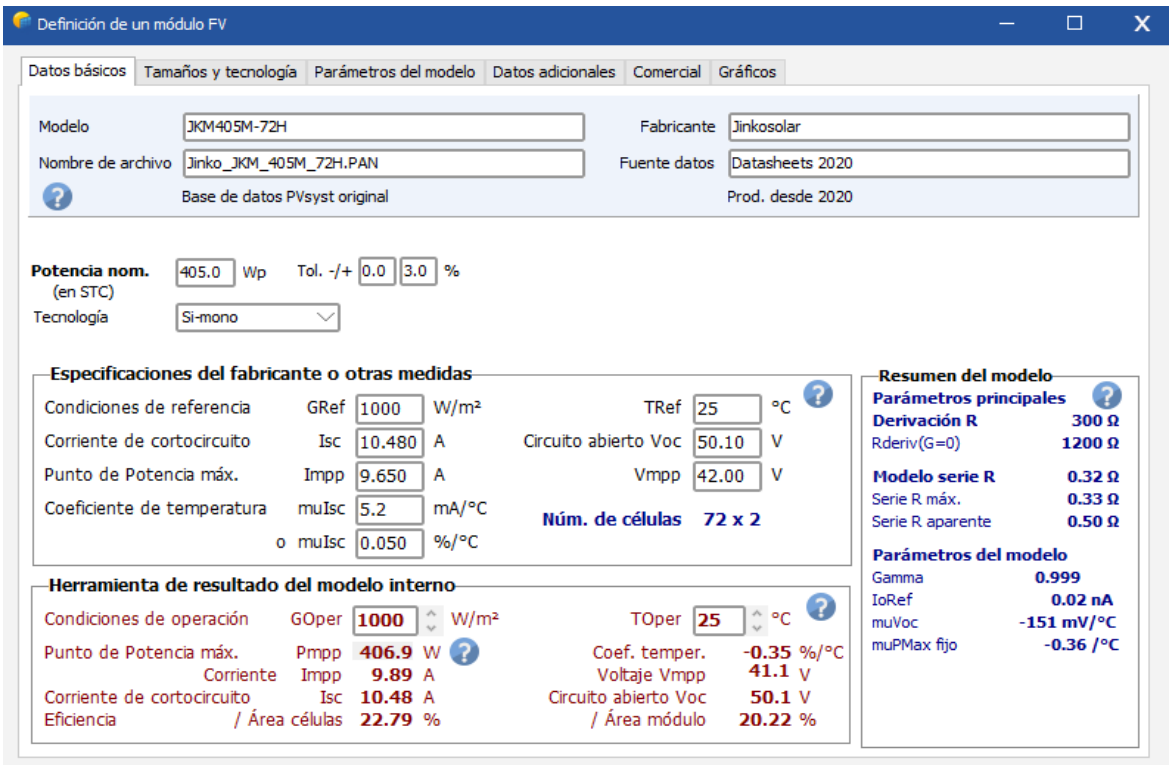


Figura 29. Características técnicas del panel solar

Por el alto voltaje del panel solar, se requiere un controlador de carga tipo MPPT, el seleccionado soporta hasta 75V una carga máxima de consumo de 18.6 A, la potencia que puede soportar es de 1000 W.

En inversor de carga a implementar es de 24V, el mismo voltaje del banco de las baterías y una potencia de 250 W, del fabricante Victron energy. Se escoge al fabricante por la robustez de la electrónica y la alta potencia de arranque que es necesario para arrancar herramientas eléctricas o lámparas halógenas, tiene diferentes niveles de alarmas por precaución ante valores de voltaje de las baterías y se puede reestablecer el servicio de suministro de forma automática una vez que se alcance el nivel requerido de voltaje.

En la figura 31 se muestra los detalles técnicos, la tensión de salida puede ser de 120 V o 220 V, el rango de tensión de la entrada es de 18.4 V hasta 34 V, mientras que se puede desconectar si mide tensiones menores de 18.6 V este valor es ajustable, la eficiencia es del 88% y el consumo de vacío de 5.2 W, la seguridad está conforme a las normas IEC 60335-1 / EN-IEC 62109-1

Inversor Phoenix 12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont a 25°C (1)	250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C	200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia	400W	700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)	230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada	9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V				
Desconexión por CC baja (ajustable)	9,3 / 18,6 / 37,2V				
Dinámica (dependiente de la carga) Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)	Desconexión dinámica, ver https://www.victronenergy.com/live/ve.direct: phoenix-inverters-dynamic-cutoff				
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)	10,9 / 21,8 / 43,6V				
Detector de batería cargada (ajustable)	14,0 / 28,0 / 56,0V				
Eficacia máx.	87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Consumo en vacío	4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reintento: 2,5 s, ajustable)	0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0

Figura 30. Detalles técnicos del inversor Victron

Con todos los elementos ingresados y sin ninguna alarma por no compatibilidad de elementos por potencia o voltaje se procede a correr la simulación. El programa entrega un completo informe donde se indica los parámetros generales del SF, en la figura 32 se detalla cada una de las características de los elementos, el panel fotovoltaico se conecta directo al regulador de carga por tratarse de una sola unidad, mientras que las baterías están conectadas en serie son de tipo plomo acido y la energía almacenada puede llegar a los 1.9 kWh, la capacidad nominal es de 100 Ah.

El controlador de carga es de tecnología MPPT, tiene una eficiencia máxima del 97%, entre sus principales funciones está el control de gestión de la batería desconecta al banco de baterías por sobre descarga a los 23.6 V y por sobre carga a los 27.4 V con un SOC del 20% y 92% respectivamente.

Las pérdidas del conjunto también se muestran en la imagen, por temperatura en el módulo se tiene una pérdida de 20 W/m^2k, la fracción de perdida es del -0.8%, la resistencia del conjunto, por cableado, equipos es de 62 mΩ, mientras que por perdidas por el desajuste del módulo es del 2% en la máxima potencia.

Parámetros generales

Sistema independiente | **Sistema independiente con baterías**

Orientación campo FV

Orientación		**Configuración de cobertizos**	**Modelos usados**	
Plano fijo		Sin escena 3D definida	Transposición	Perez
Inclinación/Azimut	15 / 0 °		Difuso	Perez, Meteonorm
			Circunsolar	separado

Necesidades del usuario

Consumidores domésticos diarios
Constante durante el año
Promedio 1.2 kWh/Día

Características del conjunto FV

Módulo FV

Fabricante	Generic
Modelo	JKM405M-72H
(Base de datos PVsyst original)	
Unidad Nom. Potencia	405 Wp
Número de módulos FV	1 Unidad
Nominal (STC)	405 Wp
Módulos	1 Cadena x 1 En series
En cond. de funcionam. (50°C)	
Pmpp	370 Wp
U mpp	37 V
I mpp	9.9 A

Batería

Fabricante	Generic
Modelo	Dural SC
Tecnología	Plomo-ácido, ventilado, arranque del vehículo
Núm. de unidades	2 en series
Descarga mín. SOC	20.0 %
Energía almacenada	1.9 kWh
Características del paquete de baterías	
Voltaje	24 V
Capacidad nominal	100 Ah (C10)
Temperatura	Fijo 20 °C

Controlador

Controlador universal	
Tecnología	Convertidor MPPT
Coef. temp.	-5.0 mV/°C/Elem.
Convertidor	
Eficiencias máxi y EURO	97.0 / 95.0 %

Control de gestión de la batería

Comandos de umbral como	Cálculo SOC
Cargando	SOC = 0.92 / 0.75
aprox.	27.4 / 25.1 V
Descarga	SOC = 0.20 / 0.45
aprox.	23.6 / 24.4 V

Potencia FV total

Nominal (STC)	0 kWp
Total	1 módulos
Área del módulo	2.0 m²
Área celular	1.8 m²

Pérdidas del conjunto

Factor de pérdida térmica

Temperatura módulo según irradiancia	
Uc (const)	20.0 W/m²K
Uv (viento)	0.0 W/m²K/m/s

Pérdidas de cableado CC

Res. conjunto global	62 mΩ
Frac. de pérdida	1.5 % en STC

Pérdida diodos serie

Caída de voltaje	0.7 V
Frac. de pérdida	1.7 % en STC

Pérdida de calidad módulo

Frac. de pérdida -0.8 %

Pérdidas de desajuste de módulo

Frac. de pérdida 2.0 % en MPP

Pérdidas de desajuste de cadenas

Frac. de pérdida 0.1 %

Factor de pérdida IAM

Efecto de incidencia (IAM): Recubrimiento Fresnel AR, n(vidrio)=1.526, n(AR)=1.290

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.999	0.987	0.962	0.892	0.816	0.681	0.440	0.000

Figura 31. Parámetros técnicos generales del SF

Los resultados energéticos principales se muestran en la figura 33, la energía disponible es de 500.3 kWh/año, pero la energía usada es de 391.7 kWh/año, la diferencia se pierde por que la carga no lo utiliza y las baterías están cargadas y no pueden almacenar más energía, la producción especifica anual es de 1235 kWh/kWp/año, la fracción del rendimiento es del 64% lo que significa que el sistema es aprovechado por el usuario.

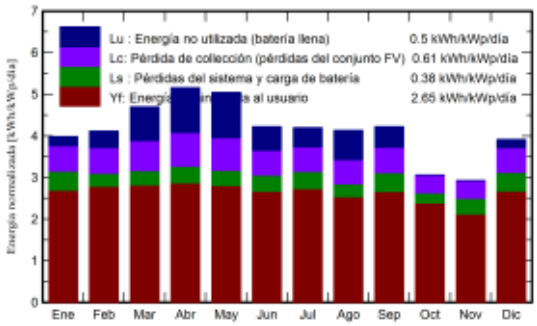
La pérdida de carga es de 33.2 kWh/año teniendo poco impacto sobre la confiabilidad del sistema, las mayores pérdidas son causadas por la energía no utilizada y sobre todo se ve reflejado en los meses de abril y mayo con 13.09 y 13.65 kWh respectivamente.

Resultados principales

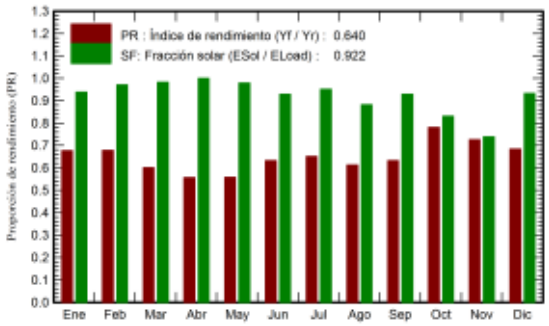
Producción del sistema

Energía disponible	500.3 kWh/año	Producción específica	1235 kWh/kWp/año
Energía usada	391.7 kWh/año	Proporción de rendimiento (PR)	64.00 %
Exceso (sin usar)	74.0 kWh/año	Fracción solar (SF)	92.20 %
Pérdida de carga		**Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)**	
Fracción de tiempo	8.3 %	Ciclos SOW	89.3 %
Energía faltante	33.2 kWh/año	SOW estático	90.0 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac proporción
Enero	135.9	119.3	40.45	2.70	2.239	33.84	36.08	0.938
Febrero	122.7	111.8	38.11	4.48	0.956	31.64	32.59	0.971
Marzo	148.8	142.0	48.25	10.14	0.609	35.48	36.08	0.983
Abril	150.9	151.4	51.20	13.09	0.000	34.92	34.92	1.000
Mayo	145.3	153.1	51.75	13.65	0.771	35.31	36.08	0.979
Junio	117.8	123.8	42.37	6.89	2.476	32.44	34.92	0.929
Julio	122.4	127.2	43.52	5.78	1.759	34.33	36.08	0.951
Agosto	124.0	125.2	42.91	8.83	4.231	31.85	36.08	0.883
Septiembre	127.2	123.4	42.10	6.00	2.494	32.43	34.92	0.929
Octubre	98.8	91.8	31.25	0.00	6.082	30.00	36.08	0.831
Noviembre	94.5	85.1	28.60	0.00	9.110	25.81	34.92	0.739
Diciembre	134.8	117.3	39.79	2.43	2.429	33.65	36.08	0.933
Año	1523.0	1471.5	500.29	73.99	33.156	391.70	424.86	0.922

Leyendas

GlobHor	Irradiación horizontal global	E_User	Energía suministrada al usuario
GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	E_Load	Necesidad energética del usuario (Carga)
E_Avail	Energía solar disponible	SolFrac	Fracción solar (EUtilizada / ECarga)
EUnused	Energía no utilizada (batería llena)		
E_Miss	Energía faltante		

Figura 32. Resultados energéticos del SF

4.2 Implementación del SF en Masa II

Con los resultados del dimensionamiento teórico y mediante el uso de software PVSyst se procede a la adquisición de los diferentes componentes y consumibles para la implementación del sistema solar, en

la figura 34 se muestra el montaje del panel fotovoltaicos con la respectiva acometida hacia el controlador de carga, la columna tiene una altura de 3 m en tubo galvanizado, la base es fundida con concreto para evitar la corrosión al estar en un lugar salino y va a permanecer algunas horas en el agua en épocas de lluvia y con la marea alta.

Figura 33. Montaje del panel solar de 405 W.

Con el panel fotovoltaico asegurado, se procede a la colocación de los demás componentes en la estructura y su respectivo cableado, en la figura 35 se muestra el montaje del controlador de carga, inversor y protecciones, fijado los elementos se hace la conexión respecto al esquema de la figura 24, los cables tienen que estar apretadas para evitar inconvenientes por mal contacto.

Figura 34. Conexión eléctrica de los componentes del SF

El banco de baterías de conecta con conductores calibre # 8, el conductor se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$IB = \frac{Pmc}{VB} \tag{9}$$

$$IB = \frac{500\ W}{24V} = 20.8\ A$$

$$IB = 10.4 \text{ X } 1.25 = 26.04\ A$$

Donde, Pmc es la potencia máxima de la carga, se tiene que considerar que el inversor soporta máximo 250 VA, sin embargo, se utiliza el electrodoméstico con mayor potencia de arranque, para la corriente calculada se utiliza conductor tipo THHN calibre 10 AWG, en la figura 36 se observa la conexión del banco de baterías.

Figura 35. Apriete de terminales en la batería

Concluido y revisado todas las conexiones del SF se procede a la conexión del controlador de carga, se inicia con la conexión de las terminales de la batería, a continuación el panel fotovoltaico y como ultimo la carga. Se enciende el controlador y se mide el voltaje a la salida del inversor obteniendo 114 VAC como se muestra en la figura 37.

Figura 36. Sistema fotovoltaico concluido para las pruebas de funcionamiento

Se conecta el panel de distribución de la vivienda y se realizan las pruebas de funcionamiento se inicia con el encendido de todas las luminarias como se muestra en la figura 38 y 39, se mantienen encendido por 2 horas sin presentar descarga del banco de baterías, la hora de prueba es desde las 13:00 hasta las 15:00, toda la generación del panel solar se consume de forma directa en las luminarias.

Figura 37. Prueba de funcionamiento de las luminarias

En la siguiente imagen se observa una vista panorámica del foco de 9 W encendido y los elementos conectados en la estructura.

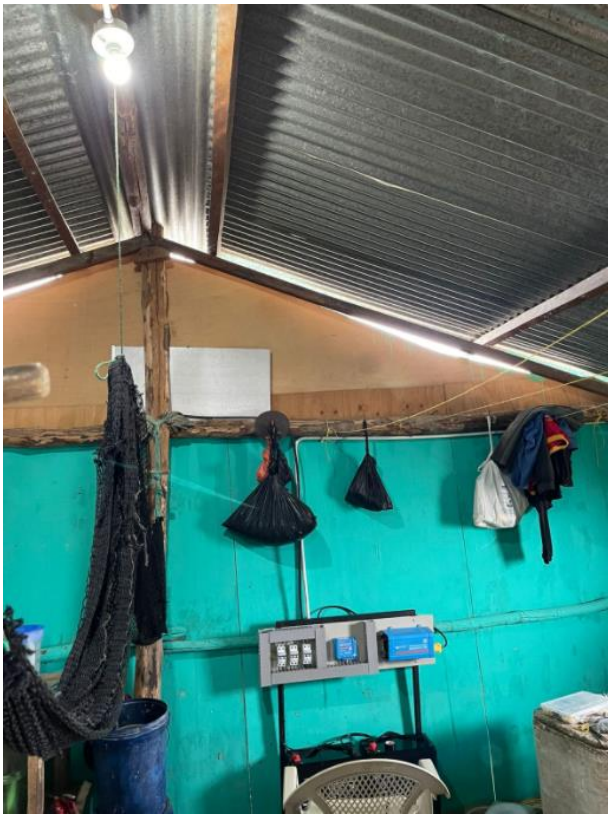


Figura 38. Luminaria encendida y vista del SF

En la imagen 40 se muestra a los autores entregando la instalación fotovoltaica a los habitantes de la vivienda.

Figura 39. Implementación concluida del sistema fotovoltaico

Se toma todas las medidas energéticas para un registro de datos y un futuro análisis del funcionamiento, en la figura 41 se muestra el interfaz de Victron Connect con el técnico y el usuario que este capacitado para analizar los datos, se observa la potencia que suministra el panel solar llegando a 114 W a las 14:33 h, el voltaje del panel es de 43.27 V y la corriente es de 2.6 A.

El banco de batería está cargado por completo, la afirmación se la realiza por el valor de voltaje de 28,8 V y por el estado de absorción, en este caso suministra energía con un amperaje de 3.5 A al inversor.

Figura 40. Estado del sistema solar

Para un análisis completo y tomar medidas oportunas el fabricante de los equipos nos permite interactuar con el historial de funcionamiento, se tiene información del rendimiento del panel solar, potencia y voltaje máximos durante algunos días atrás, lo mismo sucede con el voltaje máximo y mínimo de la batería, el menor voltaje de la batería que se registra es de 24.57 V, 7 días antes de la toma de lectura como se muestra en la figura 42.

Figura 41. Registro de valores energéticos del sistema solar

El proyecto es entregado a los habitantes de la vivienda, quienes se muestran contentos al contar con energía para los servicios básicos que antes no tenían. En la imagen 43 se observa el funcionamiento del televisor que posee la vivienda.

Figura 42. Prueba de funcionamiento de los equipos de la vivienda.

CONCLUSIONES

En este proyecto se implementa un sistema de generación de energía solar fotovoltaica para cargas pequeñas y sin conexión a la red convencional, el sistema ha sido simulado en el software PVSyst para conocer el rendimiento del sistema durante la vida del sistema, durante el diseño e implementación se cumplieron los siguientes objetivos:

Se reviso el estado del arte de los proyectos de energías renovables que se han implementado en el Ecuador, con énfasis en los sistemas aislados para comunidades remotas en especial en islas y en la amazonia del Ecuador, se logró conocer que empresas eléctricas invierten en este tipo de sistemas y cobrar un valor por el servicio para lograr la sostenibilidad del sistema renovable

En algunas ocasiones se visitó el lugar de implementación para el levantamiento de información sobre la carga que poseen, como para realizar una nueva instalación residencial y como punto neural la implementación del sistema solar fotovoltaico. Se compartió con los habitantes de la vivienda y conocimos otros puntos de vista respecto a la necesidad de la electrificación que en muchas de las ocasiones no somos conscientes de la importancia para el desarrollo de una comunidad.

El último objetivo específico consistía en el diseño e implementación del sistema fotovoltaico de acuerdo con la demanda requerida por cada hogar, el dimensionamiento se realizó por dos vías, la primera mediante un cálculo matemático tradicional y la segunda mediante un software comercial donde se aprovecha toda la información adicional que presenta como parte de los resultados.

Con el cumplimiento de los objetivos planteados se cumple el objetivo principal que es la implementación un sistema fotovoltaico basado en paneles solares designado para sectores rurales aislados de alumbrado público en la comunidad masa II situada en el Golfo de Guayaquil.

RECOMENDACIONES

La posibilidad de realizar el proyecto de titulación con un enfoque técnico y de vinculación con la sociedad, nos ha permitido tener otra perspectiva respecto a las necesidades energéticas de las comunidades menos favorecidas, según la experiencia enriquecedora que se ha tenido se puede recomendar para el buen funcionamiento del sistema los siguiente:

- Capacitar a los pobladores para solucionar fallas comunes debido a la dificultad de acceso de los técnicos.
- Confeccionar un plan de manteamiento para que el sistema solar en búsqueda de una operación eficiente y duradera.
- Realizar un estudio para proyectos futuros donde se pueda ampliar la capacidad del SF para electrodomésticos como una nevera.

REFERENCIAS

[1] "Los paneles solares son recargados en zonas rurales - El Comercio." [Online]. Available: https://www.elcomercio.com/actualidad/quito/paneles-solares-recarga-empresa-electrica.html. [Accessed: 01-Feb-2022].

[2] EL UNIVERSO, "Paneles solares y turbinas para dar energía a la Santay, proponen universitarios | Doctor Tecno | La Revista | El Universo," Jan-2018. .

[3] "ISLA SANTAY: 56 casas ecológicas en la Isla Santay entregará el Gobierno Nacional el mártes 2 de agosto." [Online]. Available: https://www.islasantay.info/2011/07/56-casas-ecologicas-en-la-isla-santay.html. [Accessed: 29-Nov-2021].

[4] "MÁS DE 400 HABITANTES DE MINDO UTILIZAN ENERGÍA RENOVABLE EN SUS HOGARES - Asset Publisher." [Online]. Available: http://www.eeq.com.ec:8080/hu/nosotros/comunicamos/noticias/-/asset_publisher/PDd0RO7lSu5d/content/mas-de-400-habitantes-de-mindo-utilizan-energia-renovable-en-sus-hogares/pop_up;jsessionid=64A60D5EE2734ACD459A8FBACF696B94?controlPanelCategory=portlet_101_INSTANCE_PDd0RO7lSu5d&redirect=http%3A%2F%2Fwww.eeq.com.ec%3A8080%2Fhu%2Fnosotros%2Fcomunicamos%2Fnoticias%3Bjsessionid%3D64A60D5EE2734ACD459A8FBACF696B94%3Fp_p_id%3D101_INSTANCE_PDd0RO7lSu5d%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dpop_up%26p_p_mode%3Dview%26controlPanelCategory%3Dportlet_101_INSTANCE_PDd0RO7lSu5d%26_101_INSTANCE_PDd0RO7lSu5d_advancedSearch%3Dfalse%26_101_INSTANCE_PDd0RO7lSu5d_keywords%3D%26_101_INSTANCE_PDd0RO7lSu5d_delta%3D%26p_r_p_564233524_resetCur%3Dfalse%26_101_INSTANCE_PDd0RO7lSu5d_controlPanelCategory%3Dportlet_101_INSTANCE_PDd0RO7lSu5d%26_101_INSTANCE_PDd0RO7lSu5d_andOperator%3Dtrue. [Accessed: 07-Feb-2022].

[5] "Paneles solares fotovoltaicos como soluciones de electrificación en comunidades aisladas en la Amazonía." [Online]. Available: https://www.celec.gob.ec/termopichincha/index.php/87-noticias-internas/488-

paneles-solares-fotovoltaicos-como-soluciones-de-electrificacion-en-comunidades-aisladas-en-la-amazonia. [Accessed: 08-Feb-2022].

[6] “Funcionamiento de las células solares fotovoltaicas, en Vivienda.” [Online]. Available: http://www.revistavivienda.com.ar/empresas/novedades-del-mercado/funcionamiento-de-las-celulas-solares-fotovoltaicas. [Accessed: 02-Feb-2022].

[7] ZYTECH, “Célula solar fotovoltaica y el efecto fotoeléctrico.” [Online]. Available: http://zytech.es/que-es-una-celula-solar-y-el-efecto-fotoelectrico/. [Accessed: 13-Apr-2019].

[8] “Tipos de células fotovoltaicas y sus paneles - HelioEsfera.” [Online]. Available: https://www.helioesfera.com/tipos-de-celulas-fotovoltaicas-y-sus-paneles/. [Accessed: 02-Feb-2022].

[9] “Kits solares fotovoltaicos | La tienda solar líder [2022].” [Online]. Available: https://autosolar.pe/kits-solares-fotovoltaicos. [Accessed: 16-Jan-2022].

[10] “Controlador de carga solar ECO-N-MPPT | Phocos.” [Online]. Available: https://www.phocos.com/es/producto/eco-n-mppt-15-a/. [Accessed: 16-Jan-2022].

[11] “Estructura Con Poste 2 Paneles 18H2-15º | al Mejor Precio.” [Online]. Available: https://autosolar.pe/soporte-elevado/estructura-con-poste-2-paneles-18h2-15o. [Accessed: 07-Feb-2022].

[12] Comité ejecutivo de la norma ecuatoriana del Ecuador, *Norma Ecuatoriana De Construcción Nec Capítulo 15 Instalaciones Electromecánicas*. 2013, p. 173.

[13] Asociación Municipal de Colonos del Pato - AMCOP, “Informe de calculos para sistema solar fotovoltaico,” *Abb*, 2017.

[14] P. S. ABAD MARIÑOS and E. A. FLORES MENDO, “DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA REDUCIR EL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN LA PLATAFORMA DE DESCARGA DE LA PESQUERA EXALMAR - CHIMBOTE PERÚ,” 2016.

[15] M. Alonso Abella, “Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos autónomos - Master en

Energías Renovables y Mercado Energético Escuela de Organización Industrial," p. 15, 2011.

[16] Version 6.67, "PV syst Home." [Online]. Available: http://www.pvsyst.com/en/. [Accessed: 04-Jan-2018].