

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA GUARDIANIA DE
LA MICA DE LA RESERVA ECOLOGICA ANTISANA, CANTON
ARCHIDONA**

**AUTOR:
GALO FEDERICO BAQUERO VILATUÑA**

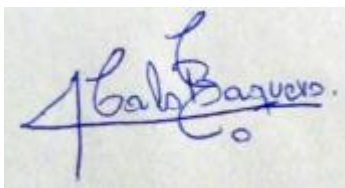
**TUTOR:
ROGELIO ALFREDO ORIZONDO MARTÍNEZ**

Quito, febrero del 2022

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Galo Federico Baquero Vilatuña, con documento de identificación N° 1723616577, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: Diseño de un Sistema Fotovoltaico para la Guardianía de la Mica de la Reserva Ecológica Antisana, Cantón Archidona, mismo que 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 aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

A handwritten signature in blue ink that reads "Galo Baquero". The signature is written in a cursive style with a horizontal line underneath the name.

Galo Federico Baquero Vilatuña
CI. 1723616577

Quito, febrero del 2022.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Rogelio Alfredo Orizondo Martínez, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, **Diseño de un Sistema Fotovoltaico para la Guardianía de la Mica de la Reserva Ecológica Antisana, Cantón Archidona** realizado por Galo Federico Baquero Vilatuña, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.



Rogelio Alfredo Orizondo Martínez

C.I. 1757424195

Quito, febrero de 2022.

DEDICATORIA

A mis padres Galo y Mariana, ellos son mi mayor inspiración y son quienes han estado apoyándome siempre, han puesto su confianza, me han dedicado tiempo de sus vidas para verme crecer, brindarme la educación hasta llegar a culminar mi carrera universitaria que me planteo como meta final, y siempre dándome su ejemplo y muchas fuerzas para todo lo que he deseado cumplir.

Galo Federico Baquero Vilatuña

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haber sido mi fortaleza y haberme cuidado a lo largo de mi carrera, por haberme brindado momentos de felicidad y por tener a mi familia todavía acompañándome, y agradecido por cuidar de mi vida en el día a día.

Le doy las gracias a mis hermanos Saulo y Nicanor, ya que fueron mi apoyo en momentos difíciles que atravesé en mi carrera universitaria y en mi vida personal, por haberme inculcado con su ejemplo de trabajo, que me sirvió para no rendirme ante una dificultad.

Agradecido con los profesores que nos brindaron sus conocimientos y experiencias a lo largo de mi formación profesional.

Le agradezco a mi tutor el Ing. Rogelio Alfredo Orizondo Martínez por haberme guiado e invertido su valioso tiempo en el desarrollo del proyecto, brindándome de sus experiencias y conocimientos.

Gracias a la Reserva Ecológica Antisana por extenderme su mano, abrirme sus puertas, por su aceptación y brindarme el apoyo necesario durante el desarrollo de este proyecto.

Agradezco al Ing. Augusto Granda, guardaparque de la REA quien me apoyo a lo largo del desarrollo del proyecto con su gestión y conocimientos que fueron fundamentales para desarrollar el diseño de este proyecto, donde tuve acceso a las instalaciones de la Guardianía de la Mica de la REA.

Galo Federico Baquero Vilatuña

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Importancia.....	1
1.3 Alcance del Trabajo.....	2
1.4 Delimitación del problema	2
1.5 Objetivos	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 La energía solar	5
2.2 Energía solar térmica.....	5
2.3 Energía solar fotovoltaica.....	6
2.4 Servicios solares más habituales de la energía FV	6
2.5 Celdas Fotovoltaicas.....	6
2.6 Sistema FV aislado de la red (AR).....	7
2.7 Componentes del sistema FV AR	8
2.8 Panel FV	8
2.9 El regulador de carga.....	12
2.10 Inversor	13
2.11 Batería.....	14
2.12 Interruptores termomagnéticos (ITM) automáticos o breaker.....	20
2.13 Ángulo de inclinación y azimut del panel FV	21
2.14 Radiación solar	21
2.15 Radiación solar en el Ecuador	22
2.16 Consideraciones generales al seleccionar el valor de la irradiación global	

2.17	Ángulo de inclinación anual para Cotundo del cantón Archidona	22
2.18	Determinación de la Hora Solar Pico (HSP) para Cotundo, cantón Archidona.....	23
2.19	Cálculo de la energía diaria consumida	24
2.20	Método de cálculo para el diseño del sistema FV AR.....	25
CAPÍTULO III.....		36
CÁLCULOS.....		36
3.1	Aspectos generales por considerar para la aplicación del método de cálculo para el diseño del sistema FV AR.....	36
3.2	Criterio de selección del SFV AR	36
3.3	Determinación de la HSP para Cotundo – Archidona.....	36
3.4	Datos meteorológicos de días nublados por semana y temperatura ambiente 38	
3.5	Cálculo de la energía diaria consumida por los equipos en la guardianía de La Mica	38
3.6	Características de los paneles FV tentativos del diseño del SFV AR	40
3.7	Dimensionamiento de las baterías tentativas para el diseño del SFV	41
3.8	Cálculo del rendimiento global (PR) del sistema FV AR	41
3.9	Propuesta de diseño del SFV AR para la guardianía de La Mica – REA ...	42
CAPÍTULO IV.....		49
ANÁLISIS DE RESULTADOS		49
4.1	Diseño final para el SFV AR para la guardianía de La Mica de la REA	49
4.2	Descripción de los equipos seleccionados en el diseño del SFV AR.....	49
CONCLUSIONES		55
RECOMENDACIONES		56
REFERENCIAS.....		57
ANEXOS		59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la guardianía de La Mica – REA.	3
Figura 2. Esquema de los principales componentes del SFV AR.....	8
Figura 3. Panel FV: (a) Monocristalino – (b) Policristalino.	9
Figura 4. (a) Curva I – V a STC - (b) Curva P – V a STC.....	9
Figura 5. Comportamiento de la curva I – V a diferentes valores de irradiancia.	11
Figura 6. Curva I – V a diferentes cantidades de temperatura de célula FV.	12
Figura 7. (a) Regulador de carga MPPT – (b) Regulador de carga PWM.....	13
Figura 8. (a) Inversor de sistemas FV aislados – (b) Inversor de conexión a red.....	14
Figura 9. Modelo eléctrico de una batería.....	14
Figura 10. Baterías ciclo profundo de Pb – ácido.	17
Figura 11. Baterías ciclo profundo de Gel.	18
Figura 12. Batería de ciclo profundo AGM, 12 V.	18
Figura 13. Batería de Ni - Cd.....	19
Figura 14. ITM tipo Riel Din de 2 polos.....	20
Figura 15. Esquema de bloques del método de cálculo para el diseño del SFV AR.26	
Figura 16. Diagrama del SFV AR por tramos para calcular la sección transversal de los conductores.....	32
Figura 17. Orientación por cada panel FV para el diseño del sistema FV AR.	45
Figura 18. Simbología eléctrica para el diagrama unifilar del sistema FV AR.	47
Figura 19. Diagrama unifilar del SFV AR para la guardianía de la Mica de la REA.	48
Figura 20. Disposición del arreglo FV para el diseño del SFV AR.....	50
Figura 21. Disposición del banco de baterías para el SFV AR.....	51
Figura 22. Distribución de los paneles FV en el emplazamiento de la guardianía de La Mica – REA.	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas del emplazamiento de la guardianía de La Mica de la REA ...	3
Tabla 2. Irradiación solar diaria en promedio del mes para Cotundo / Archidona ...	23
Tabla 3. Evaluación de la energía diaria consumida por los equipos en C.A. o C.C.	24
Tabla 4. Criterio para determinar el voltaje del sistema de almacenamiento	28
Tabla 5. Máxima caída de voltaje para calcular la sección transversal de los conductores	32
Tabla 6. Datos de días nublados por semana, temperatura máxima y mínima	38
Tabla 7. Información de los equipos de C.A. en la guardianía de la Mica	38
Tabla 8. Potencia carga instalada y energía diaria consumida obtenida	39
Tabla 9. Especificaciones eléctricas del panel FV policristalino 200 Wp	40
Tabla 10. Coeficientes de temperatura del panel FV policristalino 200 Wp	40
Tabla 11. Especificaciones eléctricas del panel FV policristalino 280 Wp	40
Tabla 12. Coeficientes de temperatura del panel FV policristalino 280 Wp	41
Tabla 13. Especificaciones batería de ciclo profundo AGM 150 Ah / 12 V	41
Tabla 14. Especificaciones batería de ciclo profundo AGM 200 Ah / 12 V	41
Tabla 15. Datos preliminares y resultados obtenidos para el cálculo de la η_{temp}	42
Tabla 16. Datos preliminares y resultados obtenidos para el cálculo de PR.....	42
Tabla 17. Datos preliminares del método del cálculo del diseño del SFV AR.....	43
Tabla 18. Resumen de resultados de la capacidad de los equipos del sistema FV AR	44
Tabla 19. Datos preliminares del arreglo FV y panel FV del diseño del SFV AR ...	45
Tabla 20. Datos preliminares de las medidas del emplazamiento disponible.....	45
Tabla 21. Estudio del emplazamiento para ubicar el arreglo FV del diseño del SFV AR	46
Tabla 22. Datos del panel FV policristalino y arreglo FV seleccionado para el diseño del SFV AR.....	49
Tabla 23. Datos de selección y regulador de carga MPPT seleccionado para el SFV AR	50
Tabla 24. Datos de la batería seleccionada y banco de baterías para el SFV AR.....	51
Tabla 25. Datos de inversor seleccionado para el SFV AR	51

Tabla 26. Datos para seleccionar los conductores y calibres seleccionados para el SFV AR	52
Tabla 27. Datos de los elementos de protección seleccionados para el SFV AR	53
Tabla 28. Datos del área para el arreglo FV y área disponible del emplazamiento para el diseño del SFV AR.....	53

GLOSARIO

- **REA:** Acrónimo de Reserva Ecológica Antisana [1].
- **MAAE:** Acrónimo de Ministerio de Ambiente y Agua [1].
- **FV:** Acrónimo de Fotovoltaico/s.
- **Arreglo fotovoltaico (FV):** Grupo de paneles fotovoltaicos de una instalación de generación de electricidad mediante energía solar fotovoltaica [2].
- **Energía eléctrica:** Se define al desplazamiento de electrones generados con apoyo de fuentes primarias de energía, mediante generadores eléctricos, para después ser conducida y distribuida hacia el consumidor final [3].
- **Consumidor final:** Individuo el cual se favorece con el uso del servicio estatal de energía eléctrica, a manera de receptor inmediato del servicio o de dueño del predio [3].
- **Energías renovables no convencionales (ERNC):** Energías provenientes de recursos naturales interminables así tenemos: eólica, solar, biomasa, geotérmica, mareomotriz y mini hidroeléctrica [3].
- **Carga instalada:** Adición de la potencia unitaria del total de los artefactos eléctricos en una instalación, expresada en [W] [2].
- **Potencia nominal:** Capacidad expresada en [W] en la cual está proyectado un componente [2].
- **Sistema fotovoltaico (SFV):** Grupo de componentes con los que es posible generar, controlar, transformar, acumular y dar a disposición para el consumo de la energía eléctrica procedente de la radiación solar [2].
- **Semiconductor:** Elemento sólido con el que es posible la circulación de la corriente eléctrica para determinadas condiciones y no para otras [2].
- **Recurso solar:** Valor de insolación (radiación solar) que acoge un emplazamiento. Expresada en [kWh/m²] o [MJ/m²] diaria [2].
- **Irradiancia:** Se define al flujo resplandeciente del sol incidente en una superficie por unidad de área, expresada en [W/m²] [2].
- **Irradiación o radiación solar (G):** Es la energía procedente del sol que cae sobre la superficie de la Tierra. La radiación solar es la adición de las radiaciones difusa, reflejada y directa [2].

- **Curva característica I – V:** Diseño gráfico de la oscilación de la corriente en función de la oscilación de voltaje de un panel FV [2].
- **Eficiencia energética (η):** Proporción entre la energía utilizada y la total empleada en cualquier procedimiento de uso energético [2].
- **Eficiencia de una celda FV:** Proporción entre la energía eléctrica que genera una celda FV y la energía solar que esta recibe por unidad de superficie [2].
- **Constante solar:** Es la cantidad media anual de la radiación solar que alcanza a la superficie exterior de la atmosfera de la Tierra, su cantidad aceptada es 1367 W/m² [2].
- **Batería abierta:** Acumulador que necesita ser llenado frecuentemente de electrolito por medio de la tapa extraíble la cual facilita comprobar el nivel y la densidad del electrolito [2].
- **Autodescarga:** Procedimiento a través del cual la capacidad de acumulación de energía aprovechable de una batería de pierde por las reacciones químicas parasitas internas y de su resistencia interna, este proceso se apresura a medida que aumenta la temperatura ambiente [2].
- **Hora solar pico (HSP):** Es la energía que se recibe en un metro cuadrado con una irradiancia solar continua de 1000 W/m² [3].
- **STC (Standard Test Conditions):** Son las condiciones estándar de funcionamiento, particularmente se dan a 1000 W/m² de radiación solar, a 25 °C de temperatura del panel FV y coeficiente de masa de aire (A.M.=1.5) [4].
- **SPD (Surge Protective Device):** Dispositivo de protección para limitar los voltajes transitorios, por medio de la dispersión o retención de la corriente transitoria [5].
- **AR:** Acrónimo de Aislado de la Red.
- **CR:** Acrónimo de Conectado a la Red.
- **C.A.:** Corriente alterna [5].
- **C.C.:** Corriente continua [5].
- **ITM:** Acrónimo de Interruptor Termomagnético.

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es brindar la electrificación para abastecer parte de la demanda en la guardiana de La Mica de la REA mediante el sistema FV a través de la generación alternativa y limpia de energía eléctrica, principalmente para garantizar la operación de los servicios de comunicación por radio frecuencia e internet, equipos informáticos, iluminación y otros servicios básicos. Con ello se pretende la reducción del consumo energético de la red convencional, ayudar a elevar la confiabilidad de las instalaciones eléctricas y tener una mayor autonomía en términos de energía eléctrica al no depender de la red eléctrica.

Para el procedimiento de estimación que está descrito mediante la Norma Ecuatoriana de Construcción NEC – 11 para el diseño del SFV AR, fue necesario efectuar la toma de datos en campo en la guardiana de La Mica como son: información de los equipos de C.A para calcular la energía diaria consumida, coordenadas geográficas que permitió obtener la irradiación global horizontal para poder calcular la cantidad de HSP y determinar la elevación angular del panel FV. La información adicional como rendimiento de los equipos del SFV, paneles FV y baterías tentativas para el diseño, días nublados por semana, temperatura máxima y mínima, fueron tomadas como base para proseguir al diseño del SFV AR. De manera que el método inicia con la estimación de: rendimiento global (PR), voltaje del sistema de almacenamiento, la potencia pico del arreglo FV, la capacidad de las baterías, la capacidad del controlador de carga, inversor FV, la sección de los conductores y los componentes de protección. Finalmente se calculó el área del arreglo FV y el área disponible del emplazamiento. Como parte de los resultados obtenidos del diseño del SFV AR, en el diseño final se describe las características eléctricas principales y el número de los componentes, tales como: panel FV, batería, regulador de carga MPPT, inversor para sistemas asilados, sección de los conductores y elementos de protección. De la misma manera que se indica por medio de diagramas la configuración del arreglo FV y banco de baterías, así como la disposición de los paneles FV en el emplazamiento de la guardiana de La Mica de la REA. Debido a que la red eléctrica que llega a la guardiana de la Mica presentó una falla en el abastecimiento de energía a eléctrica, la REA requirió el diseño y ejecución del SFV AR para autoabastecerse su demanda.

ABSTRACT

The objective of this project is to provide electrification to supply part of the demand in the La Mica guardianship of the REA by means of the PV system through alternative and clean generation of electricity, mainly to ensure the operation of radio frequency and internet communication services, computer equipment, lighting and other basic services. This is intended to reduce the energy consumption of the conventional grid; help increase the reliability of electrical installations and have greater autonomy in terms of electrical energy by not depending on the electrical grid.

For the estimation procedure described in the Ecuadorian Construction Norm NEC - 11 for the design of the PV system, it was necessary to collect data in the field at the La Mica guardhouse, such as: information from the AC equipment to calculate the daily energy consumed, geographic coordinates that allowed obtaining the horizontal global irradiation to calculate the amount of HSP and to determine the angular elevation of the PV panel. Additional information such as performance of the PV system equipment, PV panels and tentative batteries for the design, cloudy days per week, maximum and minimum temperature, were taken as a basis to proceed with the design of the PV system. So, the method starts with the estimation of: overall performance, storage system voltage, PV array peak power, battery capacity, charge controller capacity, PV inverter, conductor cross-section and protection components. Finally, the PV array area and the available site area were calculated.

As part of the results obtained from the PV system design, the final design describes the main electrical characteristics and the number of components, such as: PV panel, battery, MPPT charge controller, inverter for off-grid systems, conductor cross-section and protection elements. The configuration of the PV array and battery bank, as well as the layout of the PV panels at the REA's La Mica guardianship site are also shown in diagrams. Due to the fact that the electrical network that reaches the La Mica guardhouse presented a failure in the supply of electrical energy, the REA required the design and execution of the PV system to self-supply its demand.

INTRODUCCIÓN

La energía solar fotovoltaica es tomada como referente para la generación renovable no convencional de electricidad en donde requiere del recurso solar disponible y las horas solares de radiación para su operación, este recurso al estar disponible a lo largo del día en la mayoría del globo terráqueo y al ser inagotable, es una opción adecuada para producir energía alternativa y respetuosa con el entorno. La guardianía de La Mica al estar ubicada cercana de la línea equinoccial, la radiación solar no presenta cambios significativos en la generación de energía según las variaciones climatológicas y estaciones del año, resulta viable optar por la generación de electricidad por medio de sistemas FV. Los sistemas FV se presentan, en sistema FV CR, sistema FV AR y sistema FV híbrido.

El Capítulo I inicialmente se explica y delimita el problema donde se tomó la guardianía de La Mica de la REA, como emplazamiento para proponer el diseño de un sistema FV para cubrir parte de la demanda y abastecer de energía eléctrica a los equipos de mayor prioridad y de interés para la REA. Al delimitar el problema se tiene las coordenadas geográficas y la imagen de la ubicación de la guardianía de La Mica. El Capítulo II describe la energía solar térmica y fotovoltaica, el sistema FV AR con sus equipos y su diagrama de conexión, la radiación solar con su definición y sus características en el Ecuador, el concepto y estimación del ángulo de elevación, el concepto y método de estimación de la HSP, la determinación de la energía diaria consumida y el método de cálculo para el diseño del sistema FV AR.

El Capítulo III muestra los datos y resultados obtenidos a partir del método de cálculo propuesto del diseño del SFV AR, en donde se muestra la tabla de resumen de la capacidad de los equipos del sistema FV AR y el estudio del emplazamiento para ubicar el arreglo FV del diseño del sistema FV AR, en donde se muestra los resultados del área del arreglo FV y área disponible del emplazamiento.

Para terminar, el Capítulo IV da una interpretación de los resultados obtenidos, describiendo los equipos seleccionados y la cantidad de los componentes que comprenden el diseño final del sistema FV AR, el área arreglo FV y la distribución de los paneles FV en el área disponible del emplazamiento de la guardianía de La Mica de la REA, para una eventual implementación del sistema FV AR.

CAPÍTULO I

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Antecedentes

La guardiana de La Mica de la Reserva Ecológica Antisana (REA) solicitó en el año 2015 la instalación de equipos de radio comunicación. Junto con estos equipos se instalaron un sistema de paneles fotovoltaicos, que servían de fuente alternativa cuando existían cortes de energía. Con el cambio del transformador que alimentaba a las instalaciones de la Guardianía, se procedió a trasladar los paneles para también brindar el abastecimiento a otras cargas asociadas a los servicios de radiocomunicación. Sin embargo, estas cargas adicionales no lograron ser abastecidas por el antiguo sistema, por lo que el viejo sistema se dejó de utilizar.

Más recientemente se ha planteado un nuevo proyecto técnico a la REA a través del diseño del sistema fotovoltaico (SFV) en base a las condiciones técnicas del lugar, con el fin de asegurar la continua operación de los equipos de comunicaciones, de gestión de la información y del manejo de los visitantes, mediante los programas de control y vigilancia, de uso público y turismo respectivamente [1]. Sería una forma alternativa de generar energía eléctrica para la guardiana de La Mica de la REA.

1.2 Importancia

Se van a beneficiar del servicio de suministro eléctrico alternativo quienes de manera directa están involucrados, los guardaparques, así como los visitantes de la zona alta de la REA administrada por el Ministerio del Ambiente y Agua (MAAE).

Esta fuente de energía renovable no convencional (ERNC) será una alternativa de alimentación para las cargas adicionales y permitirá a la institución contar con una fuente de energía limpia, lo cual brindará una mejor imagen institucional dado que la REA forma parte del MAAE. Para la institución es un gran aporte considerar la eventual implementación de un sistema que brinde energía limpia y de calidad, como es la energía solar fotovoltaica (FV) al incluir este tipo de generación renovable.

El suministro renovable permite mantener operativos los servicios de comunicaciones, por radio comunicación o internet, que sirven de medio para reportar la información oportuna entre el personal de la REA, así como el uso diario de equipos informáticos para la gestión de la información del manejo de visitantes. Además del abastecimiento de otros servicios tenemos a los de refrigeración, iluminación y entretenimiento, los

mismos que son de uso diario para la convivencia de los guardaparques. La alternativa de emplear el sistema FV o la red convencional contribuye a mejorar la confiabilidad del sistema eléctrico en las instalaciones donde se encuentran los equipos en cuestión. También hacen uso de dichos servicios los investigadores y estudiantes que realizan sus prácticas pre profesionales, proyectos de grado y tesis en diversas universidades e institutos tecnológicos, en las carreras de Ingeniería Ambiental y de Turismo [1]. Debido a que los mismos permanecen en las instalaciones de la guardiana de la Mica mientras realizan sus trabajos.

1.3 Alcance del Trabajo

La selección de los equipamientos necesarios acorde a la dimensión del diseño del SFV tales como paneles fotovoltaicos, soportes solares, reguladores de carga, baterías e inversores [6].

Se analizará la propuesta de realizar el diseño unificado, permitiendo finalmente el diseño del SFV de acuerdo con la estimación del consumo. Este análisis de factibilidad del diseño toma en cuenta los factores técnicos. Esta opción tiene como resultado el diseño del SFV con la autonomía energética suficiente, que cumple con los criterios de calidad de energía y para que sean económicamente sustentables.

Se realizará el levantamiento de la información necesaria como la toma de datos de campo incluye la inspección de: acometida eléctrica de la empresa distribuidora, tableros eléctricos, instalaciones eléctricas existentes y las medidas de la superficie del techo donde se pretende implementar el arreglo FV, para posterior a ello emitir los planos de disposición de los equipos FV, con un presupuesto preliminar, que no incluye mano de obra ni por tanto las partidas de obras.

1.4 Delimitación del problema

Se considera disponer del techo de la guardiana para la posible implementación de los paneles FV. Para tener una mejor apreciación de la ubicación, se obtuvo con la ayuda del GPS MAP 78s las coordenadas geográficas, facilitadas en la tabla 1 mostrada a continuación:

Tabla 1. Coordenadas del emplazamiento de la guardianía de La Mica de la REA

Coordenadas	Grados decimales (DD)	Latitud	0,5369° S
		Longitud	78,2277° O
Altitud [msnm]			3831

Elaborado por: Galo Baquero.

La guardianía de La Mica está localizada en la zona alta de la REA. Geográficamente está ubicada en la parroquia Cotundo del cantón Archidona de la provincia de Napo de manera que se aprecia la Figura 1.



Figura 1. Ubicación de la guardianía de La Mica – REA.
Fuente: Google Earth Pro [7].

La infraestructura de la guardianía de La Mica cuenta con mobiliario básico, equipo informático y audiovisual. Pese a que el sistema de comunicación se encuentra en funcionamiento, tiene la desventaja de no poder cubrir toda la zona. El cual necesita ser actualizado a un sistema más moderno [1].

En base a ello, es razonable acompañar los equipos que proveen el servicio mencionado junto con un proyecto que garantice la operación de este, que evite posibles fallos a futuro en dicho sistema de comunicación. Está previsto que los estudios técnicos que se realicen cumplan con las necesidades de abastecer la demanda energética presente y a futuro, contemplada en el diseño del SFV propuesto.

Para complementar el diseño del SFV propuesto, se llegará a indicar los equipamientos necesarios para el SFV con sus respectivas especificaciones técnicas, pero no necesariamente las marcas comerciales de los equipos. Así como también los detalles

de instalación de modo que se tenga en cuenta la posible implementación del SFV. Sin embargo, se aclara que no aparecerá la totalidad de los componentes de forma que el diseño es indicativo y la empresa constructora deberá completar lo que haga falta para la instalación completa del sistema.

1.5 Objetivos

Se presentan el objetivo general y los específicos a continuación:

1.5.1 Objetivo General

- Diseñar un sistema fotovoltaico, con sus detalles de instalación, para el abastecimiento de parte de la demanda en las instalaciones de la guardianía de la Mica de la Reserva Ecológica Antisana, con base en la normativa técnica.

1.5.2 Objetivos Específicos

- Establecer los parámetros y los criterios de diseño de un sistema fotovoltaico para la guardianía de la Mica de la Reserva Ecológica Antisana.
- Satisfacer parte de la demanda por medio del sistema fotovoltaico para la guardianía de la Mica de la Reserva Ecológica Antisana.
- Emitir los detalles de instalación y recomendar el equipamiento necesarios de forma que pueda ser implementado el sistema fotovoltaico.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 La energía solar

Se define como energía solar a la principal fuente de energía primaria, renovable e inagotable, extraída de la radiación electromagnética que proviene del sol. Hoy en día, se busca sacar provecho al recurso de la luz y del calor, mediante diversos captadores tales como celdas FV y colectores térmicos, con los que es posible convertir en energía eléctrica y térmica, respectivamente [8].

Las maneras de extraer recursos de la energía solar se concreta en las siguientes tecnologías energéticas [8]:

- Energía solar activa, está dividida en: energía FV y energía térmica.
- Energía solar pasiva.

2.2 Energía solar térmica

Se define como la obtención de energía solar concentrada por un colector. De esta manera se la convierte en calor y este es transferido para la generación de energía eléctrica. Por lo general los colectores están instalados en azoteas de edificaciones [8]. Un ejemplo en la región sudamericana es el caso de la planta termo solar Cerro Dominador en Antofagasta, Chile, inaugurado en junio de 2021.

Existe una gran variedad de aplicaciones de la energía solar térmica tales como es la climatización de piscinas, calefacción en departamentos, producción de agua caliente sanitaria, entre otros. Estas aplicaciones están relacionadas con la Cogeneración CHP (Combined Heat & Power), donde se produce energía eléctrica y térmica. Por otra parte, por medio de colectores solares más sofisticados (heliostatos) se concentra la radiación solar y se puede transferir el calor a una sustancia que intercambia calor con el agua para generar electricidad. Por medio de las centrales de torre se puede hablar de una generación de energía eléctrica a mayor escala por medio de las centrales termo solares [8].

2.3 Energía solar fotovoltaica

Comprende a la energía que se utiliza para generar electricidad mediante un sistema FV. La radiación solar contribuye al planeta la energía equivalente a una cantidad mayor a la que utiliza la humanidad. Este es uno de los sistemas de generación con mayor aprovechamiento de los recursos energéticos primarios y que tiene un mejor futuro, frente a otras opciones de generación renovable de electricidad [9].

Para obtener energía solar FV se requiere de un proceso de transformación inmediata de energía solar en electricidad mediante un arreglo FV, dicho proceso de conversión es posible en base al uso de paneles FV. El arreglo FV está conformado por una cantidad de paneles FV acoplados en serie y paralelo, el panel FV está conformado de su unidad básica equivalente denominada celda FV [8].

La conversión de energía se da por medio de celdas FV, similar al uso de algunas características de los materiales semiconductores. Por ello, cabe mencionar que un semiconductor es el que facilita el paso de corriente eléctrica bajo determinadas condiciones, lo cual existe la posibilidad de operación como conductor o aislante según sean las condiciones, a través del efecto fotoeléctrico. Este efecto se produce cuando los fotones impactan con una celda FV en la que se refleja, transportan y absorben los electrones que cargan el material. Los electrones con mayor energía pueden circular en el material hasta lograr una unión, dando así la producción de la luz de una corriente eléctrica [8].

Las ERNC están ligadas a los sistemas de generación distribuida, con las cuales se contribuye a reducir las pérdidas en el transporte de energía eléctrica, debido a que permite la generación de energía muy cerca a los lugares de consumo mediante su integración arquitectónica, sin requerir de líneas de transmisión o subtransmisión [9].

2.4 Servicios solares más habituales de la energía FV

Los sistemas FV en el Ecuador resultan una opción a considerar, tanto económica como técnicamente debido a que en todo el año existe mayor radiación solar, el cual se aprovecha en suministrar la energía eléctrica en lugares aislados de la red tales como: bombeos, postes SOS, faros, viviendas aisladas, entre otros [10].

2.5 Celdas Fotovoltaicas

Las celdas FV son fabricadas mediante el silicio a través de alta tecnología que da como resultado un cilindro cristalino y sólido (celda FV). Para su funcionamiento se

hace uso de alambres que se conectan en la superficie de la celda, tanto en el lado positivo y negativo. La corriente continua circula a través de un circuito, mientras la celda se presenta a la radiación solar. Se denomina panel FV al conjunto de celdas las cuales se pueden conectar en un circuito en serie para tener una mayor eficiencia y capacidad [11].

Las celdas FV se clasifican en diferentes tipos dependiendo su fabricación y composición entre ellas tenemos las celdas de: silicio policristalino, silicio monocristalino y silicio amorfo [8].

2.5.1 Celdas de silicio monocristalino

Se define como celda de silicio monocristalino al diodo tipo P – N el cual se caracteriza por ser sensible a la luz y así produciendo electricidad en corriente directa. Hoy en día estas celdas son las más comercializadas, ya que presentan un buen rendimiento a un precio accesible [8].

2.5.2 Celdas de silicio policristalino

Se denomina policristalinas a causa de la solidificación que se hace en varios cristales. Con este tipo de celdas se puede lograr un rendimiento de 7 - 8 %, de tal manera que son fabricadas de forma cuadrada, así ocupando el espacio que se produce entre las celdas, en comparación a las celdas de silicio monocristalino ya que son de forma de tendencia a ser circulares [8].

2.5.3 Celdas de silicio amorfo

Se caracteriza por ser mucho más fina en comparación a las celdas de silicio monocristalino, como principal desventaja su rendimiento no es tan elevado va desde 5 – 6 %, debido a su proceso de fabricación. Para la fabricación de celdas fotovoltaicas el silicio amorfo y sus celdas delgadas son tomados muy en cuenta, de tal manera hay que tener presente su eficiencia ya que presenta problemas de inestabilidad [8].

2.6 Sistema FV aislado de la red (AR)

Para asegurar una mejor autonomía de la energía eléctrica, se ha priorizado la propuesta de un sistema FV AR que, al no encontrarse conectado a la red eléctrica convencional, no aporta energía excedente a la misma. Debido a la existencia de una

variedad de cargas, se sabe que los sistemas FV AR pueden operar para consumos de C.A., consumos de C.C. o consumo mixto [12].

2.7 Componentes del sistema FV AR

El componente principal es el panel FV, sin embargo, no es el único ya que también tomamos en cuenta los componentes para sistemas aislados, así como: controlador de carga, batería, inversor y carga o consumo instalado [8]. En la Figura 2 se aprecia un Esquema de los principales componentes del SFV AR.

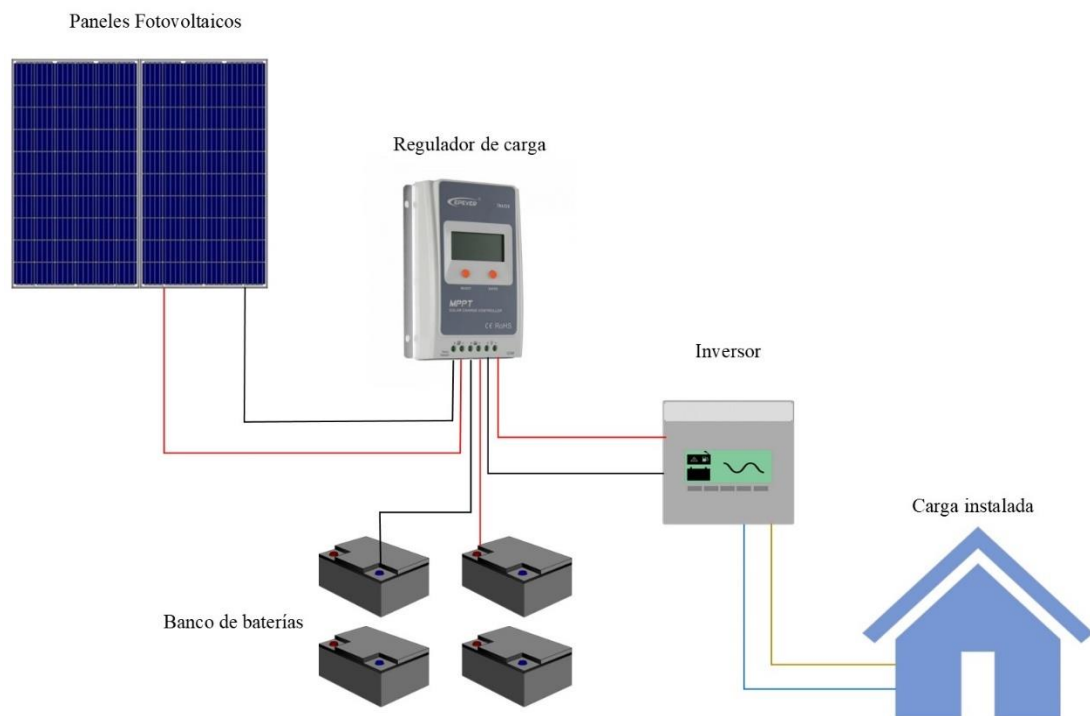


Figura 2. Esquema de los principales componentes del SFV AR.
Elaborado por: Galo Baquero.

Como complemento para el diseño del SFV AR se suma la estimación de la magnitud de los elementos de protección y la sección transversal de los conductores [2].

2.8 Panel FV

Se define al grupo de celdas con mismas características que se conectan entre sí ya sea en serie/paralelo, logrando una corriente y voltaje adecuados. Este elemento cuenta con elementos de protección a diferentes condiciones climáticas y operativas, tales como: marco metálico, diodo de protección (bypass / bloqueo), cubierta exterior de vidrio, cableado y bornes de conexión (positivo y negativo), lámina de protección posterior y encapsulantes (silicón / EVA). Se caracterizan por ser fabricados para

operar con voltajes 12, 24, 48 y hasta 120 o 300 V, por tener diferente dimensión, por su número de celdas y por su potencia pico [8]. Para una mejor comprensión se da a conocer en la Figura 3 los paneles solares más usados en sistemas FV:

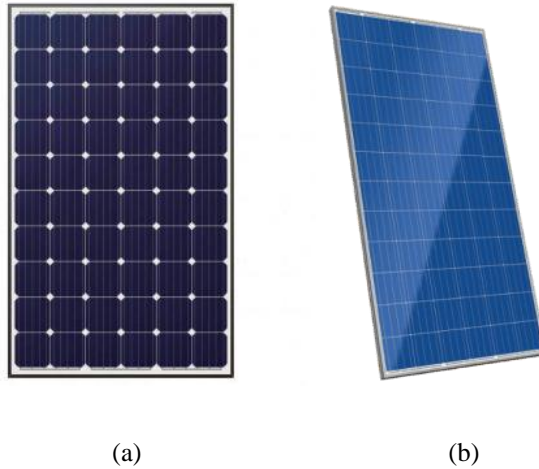


Figura 3. Panel FV: (a) Monocristalino – (b) Policristalino.
Fuente: Sunfields Europe [13].

2.8.1 Curvas características I – V y P – V

Cabe mencionar que las dimensiones eléctricas cambiarán cuando presenten variaciones de temperatura e irradiación, debido a que dependen de la curva Corriente - Voltaje (I – V) y de la curva Potencia – Voltaje (P – V), ya que las mismas son registradas bajo condiciones estándar de medida de: temperatura de 25 °C, nivel de irradiación de 1000 W/m^2 y distribución espectral de radiación incidente por (A.M.= 1.5). Las curvas características se indican en la Figura 4. [8].

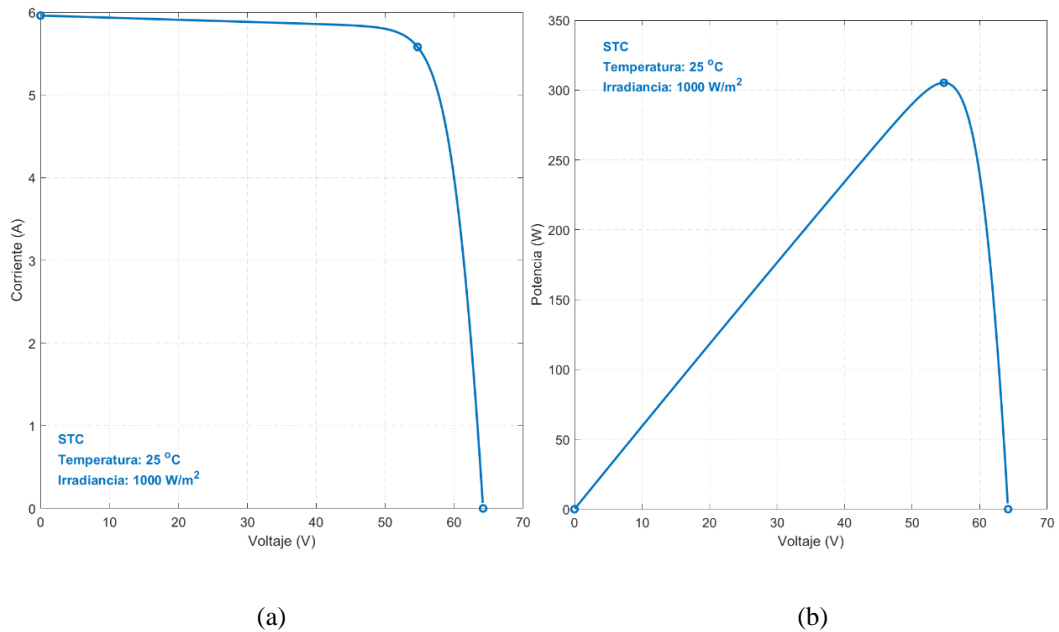


Figura 4. (a) Curva I – V a STC - (b) Curva P – V a STC.
Elaborado por: Galo Baquero.

2.8.2 Características eléctricas

A continuación se tiene los parámetros eléctricos que caracterizan al panel FV [8]:

- **Potencia nominal (P_{max}):** Se define a la potencia que logra producir el panel FV a una temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ y a una radiación de 1000 W/m^2 [8].
- **Corriente de corto circuito (I_{sc}):** Se define como la corriente máxima producida por panel FV a 0 voltios [8].
- **Voltaje de circuito abierto (V_{oc}):** Se denomina así al voltaje pico que se obtiene cuando no existe corriente y carga [8].
- **Voltaje del punto de potencia máxima (VMPP):** Definido como el voltaje del panel FV al mismo tiempo que el punto de potencia máxima [4].
- **Corriente del punto de potencia máxima (IMPP):** Se define a la corriente del panel FV concurrente con el punto de potencia máxima [4].
- **Punto de potencia máxima (MPP):** Lugar en que la curva $I - V$ aparece simultáneamente con el punto máximo de la curva $P - V$. Establece en punto de máximo despacho de potencia del panel FV para un voltaje y corriente específico [4].

Existe un sistema de protección para el panel FV el cual está compuesto por diodos (by-pass) los cuales se utilizan para evitar el fenómeno del punto caliente, siempre y cuando las celdas estén conectadas en serie. Estos diodos permiten la circulación por un paso paralelo a las celdas obstruidas y no permiten que la corriente pase lo las celdas FV que no estén expuestas a la radiación solar, en caso que se produzca una oscuridad parcial [8].

Se muestra en la Figura 5 cómo varía las características de corriente y voltaje para diferentes valores de irradiancia, de la misma manera que se muestra el punto de máxima potencia (MPP) de color rojo.

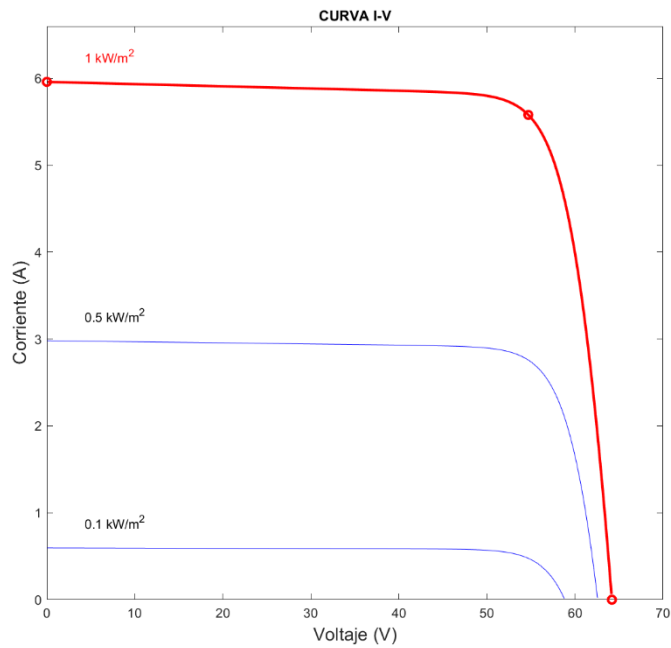


Figura 5. Comportamiento de la curva I – V a diferentes valores de irradiancia.
Elaborado por: Galo Baquero.

2.8.3 Características térmicas

La temperatura influye directamente sobre los coeficientes térmicos del panel FV que muestran una variación en las especificaciones eléctricas de sus características [4]. Las características de temperatura que suelen entregar los fabricantes son:

- **Coefficiente de temperatura de Pmax (γ):** Es la variación de potencia producida por panel FV ante una variación de temperatura, se indica en % / °C [4].
- **Coefficiente de temperatura de Isc (α):** Se define la variación de corriente de cortocircuito ante una variación de temperatura del panel FV, su unidad es el % / °C [4].
- **Coefficiente de temperatura de Voc (β):** Es el cambio en el voltaje de circuito abierto causado por el cambio de temperatura del panel FV, su unidad es el % / °C [4].
- **Rango de temperatura de operación:** Definida como la temperatura optima de funcionamiento de los paneles FV [4].

Se observa cómo cambian las características de corriente y voltaje para diferentes valores de temperatura de celda FV. Mostrada en la Figura 6., a continuación:

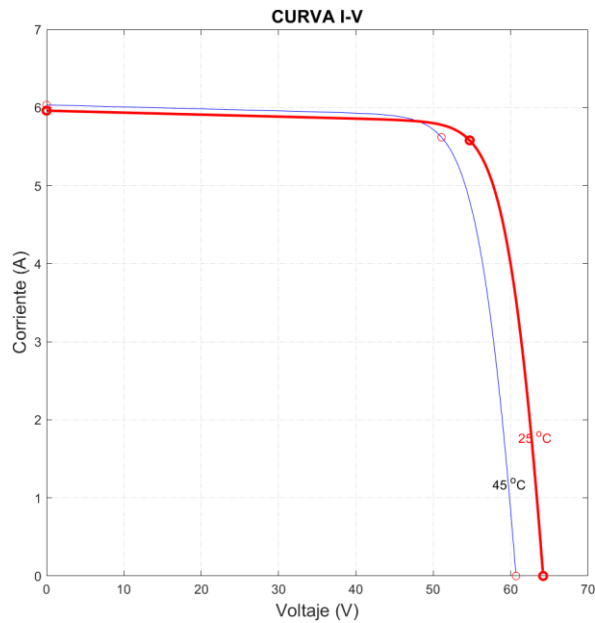


Figura 6. Curva I – V a diferentes cantidades de temperatura de célula FV.
Elaborado por: Galo Baquero.

2.9 El regulador de carga

Se define al dispositivo conocido también como controlador de carga que tiene la capacidad de supervisar la carga de la batería previniendo la sobrecarga de esta, limitando su voltaje para un correcto control. Además, controla la descarga total de las baterías al desconectar las mismas de la carga alimentada. Es de vital importancia la función que cumple el regulador de carga ya que este trabaja con un generador de energía variable durante todo el día y el año [8].

Entre otras funciones que cumple el regulador de carga es el de limitar la corriente y el voltaje mientras se da el proceso de carga de esta manera una vez completado la batería este impide la circulación de corriente, anticipándose a un posible calentamiento y pérdida de electrolito. Si disminuye el voltaje de la batería, la función del regulador es admitir el paso de corriente [8].

En la Figura 7, se presentan los reguladores que se suelen emplear en los sistemas FV:



Figura 7. (a) Regulador de carga MPPT – (b) Regulador de carga PWM.
Fuente: Renova Energía S.A. [14].

2.10 Inversor

Es el equipo mediante el cual es posible transformar de C.C. a C.A., siendo empleada para alimentar varios equipos. Estos están conformados por un circuito de tiristores y transistores, los cuales intervienen variando la corriente continua y obteniendo una onda cuadrada. Si se filtra la onda resultante se podría obtener una onda sinusoidal, característica de la tendido eléctrico convencional [8].

La potencia del inversor está directamente relacionada con el rendimiento por lo que se recomienda sincronizar la potencia del equipo lo más cercano posible a las necesidades determinadas por la instalación. También hay que considerar el costo final siendo lo más moderado posible y la fiabilidad del equipo, por lo que las cargas quedaran sin alimentación debido a una desconexión por daño. Se consideran también tipos de inversores para uso permanente con cargas, como también para uso ocasional [8].

Se dan a conocer en la Figura 8, los tipos de inversor usados en sistemas FV:



(a)



(b)

Figura 8. (a) Inversor de sistemas FV aislados – (b) Inversor de conexión a red.
Fuente: Renova Energía S.A. [14].

2.11 Batería

Se denomina al equipo electroquímico que acumula la energía eléctrica usando enlaces químicos. Están conformados entre sí por uno o varios vasos, entre sus elementos químicos está el dióxido plomo (PbO_2) y el plomo (Pb), los cuales se sumergen en ácido sulfúrico (H_2SO_4) denominado electrolito [8]. Para una batería de Pb – ácido, su circuito equivalente es representado como una fuente de voltaje, V_{BI} , conectada en serie con una resistencia, R_{BI} , el voltaje de salida de la batería para la carga, V_B , la representación se indica en la Figura 9., a continuación [15].

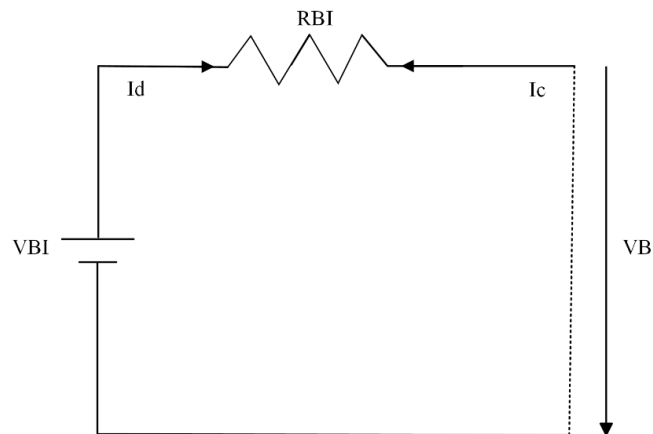


Figura 9. Modelo eléctrico de una batería.
Elaborado por: Galo Baquero.

2.11.1 Parámetros eléctricos de la batería

Se presentan los parámetros eléctricos más relevantes de la batería, a continuación:

2.11.1.1 Capacidad de almacenamiento de energía

Se define al total de carga que puede adquirir mientras se da una descarga completa de la batería completamente cargada. Se estima en amperios – hora [Ah] durante su descarga [8].

Ejemplo:

Para 20 horas a capacidad de 200 Ah, representada por la ecuación 1:

$$C_{20} = 200 \text{ Ah} \quad (1)$$

2.11.1.2 Régimen de carga y descarga

Se define a la corriente que se usa para restituir y extraer la capacidad útil [8].

Ejemplo:

Si el régimen de descarga de 5 h en una batería de 200 Ah, expresado en la ecuación 2:

$$\frac{200\text{Ah}}{5 \text{ h}} = 40 \text{ A (regimen } C_5) \quad (2)$$

2.11.1.3 Máxima corriente de descarga

Es el valor que indica la máxima corriente de descarga continua durante 20 h de permanencia [8].

2.11.1.4 Profundidad de descarga (PdD)

Se define al valor extraído de capacidad de almacenamiento obtenida de una batería completamente cargada, que se representa en forma de porcentual [%] [8].

Ejemplo:

Se obtiene 100 Ah de una batería de 200 Ah, es así como la PdD que se indica en la ecuación 3 es:

$$\frac{100\text{Ah}}{200\text{Ah}} \cdot 100 \% = 50 \% \quad (3)$$

De las pruebas que establecen que el valor de amperio - hora para una batería de uso solar, debe ser al menos el 80 % de la PdD [8].

Se sugiere una máxima profundidad de descarga (PdDmax), en base al régimen de carga y descarga de la batería que usualmente es C_{20} , esta no debe exceder los valores especificados en el Anexo 23, debido a que la vida de la batería depende de ello, esto

significa que la capacidad de almacenamiento de energía restante no caerá por debajo del 80% de la capacidad nominal, debe superar un cierto número de ciclos NOC, para un 50% de PdD [2].

2.11.1.5 Capacidad de acumulación

Se define al producto del voltaje pico por cantidad de [Ah], esta expresada en [Wh] [8]. Indicada en la ecuación 4:

$$Wh = Voltaje\ nominal \cdot Ah \quad (4)$$

2.11.1.6 Voltaje de corte

Se denomina al valor de voltaje en el cual termina la evacuación de la batería. Depende de la tasa de descarga y el tipo de batería [8].

2.11.1.7 Ciclo

Es la sucesión de carga/descarga para una profundidad y régimen de descarga predeterminados [8].

2.11.1.8 Ciclos de vida

Son la cantidad de ciclos que una batería tolera operando, sin sufrir daños irreparables, ni tampoco afectando su vida útil [8].

2.11.1.9 Vida útil

Esta característica de la batería no es más que el tiempo que le es posible operar en condiciones preestablecidas conservando su capacidad y el rendimiento [8].

2.11.1.10 Rendimiento (η)

Se define al rendimiento de una batería indicado de dos formas [8]:

- Energético: Proporción entre la energía obtenida en [Wh] y la energía total en [Wh] requerida para configurar el estado de carga inicial.
- Farádico: Idéntico a lo indicado en lo anterior, pero su cálculo se da en términos de [Ah].

2.11.2 Clases de baterías para implementación FV

En la búsqueda de tecnologías actuales se pretende perfeccionar los rendimientos energéticos, vida útil, la reducción de la frecuencia de mantenimiento, el aumento de la seguridad y disminución costos. Sin embargo, se debe seleccionar el tipo de baterías adecuadas que podrían instalarse en sistemas FV domésticos, que cumplan con las condiciones particulares de operación. Es necesario también tomar en cuenta factores de calidad y costos. Se muestra las distintas clases de baterías y las propiedades más importantes [8]:

2.11.2.1 Baterías de Pb - ácido convencionales

Es del tipo de baterías más económicas y difundidas, su mantenimiento es permanente, especial atención en inspeccionar el nivel de electrolito mismo que será llenado habitualmente con agua destilada. Desde una perspectiva ambiental, las baterías de este tipo al final de su vida, eventualmente deben ser eliminadas de manera adecuada ya que tienen metales pesados y ácidos [8].

Se presenta en la Figura 10., la batería del tipo Pb - ácido:



Figura 10. Baterías ciclo profundo de Pb – ácido.
Fuente: Bureau baterías [16].

2.11.2.2 Baterías con electrolito tipo Gel

Su funcionamiento se basa en el principio de que el compartimiento de la batería se puede cerrar solo cuando los gases generados en la batería de plomo – ácido pueden recombinarse parcial o completamente. Principio aplicado a las baterías con electrolito tipo gel. El grado de recombinación depende de la acción química en electrolito, es decir el valor de la intensidad. Estas baterías pueden ser un 20 % más caras que las baterías de plomo - ácido [8].

Se presenta en la Figura 11, la batería del tipo Gel:



Figura 11. Baterías ciclo profundo de Gel.
Fuente: Bureau baterías [16].

2.11.2.3 Baterías AGM

Son del tipo de baterías selladas, conocida por sus siglas en inglés AGM (Agregated Glass Mat), su traducción sería electrolito contenido en conjuntos de tela absorbente de cristal. Este tipo de batería utiliza un electrolito ácido y agua, pero la solución está menos saturada que un electrolito líquido. Como su costo sigue siendo un inconveniente, sus muchas ventajas respaldan su creciente aceptación en la mayoría de lugares, específicamente para los sistemas FV AR [8].

Se presenta en la Figura 12 la batería del tipo AGM:



Figura 12. Batería de ciclo profundo AGM, 12 V.
Fuente: Renova Energía S.A. [14].

Entre sus principales ventajas podemos mencionar las siguientes [8]:

- Soportan más abuso que otras baterías del tipo selladas, cuando el nivel de la mezcla de gas de suministro está sobre el 99 %.
- Su tasa de autodescarga no va más del 3% por mes a 25 °C.
- Puede cargar al 100 % aunque se pierda la carga completa.
- No requieren mantenimiento, por lo que se utilizan en instalaciones donde existe poca o nula supervisión.

Como también se puede mencionar sus desventajas, las cuales son las siguientes [8]:

- De dos a tres veces más caras que las baterías de plomo – ácido.
- El voltaje de carga y la corriente son más bajos que los del electrolito líquido, en consecuencia, se requiere mayor tiempo de carga.

2.11.2.4 Baterías de Níquel - Cadmio (Ni-Cd)

Este tipo de batería se caracteriza por el conocido ciclo profundo. A pesar de su buena calidad, no pueden sustituir a las baterías de plomo – ácido debido a su elevado coste inicial que es de 6 a 8 veces el de sus homólogas de Pb – ácido, pese a que su costo operacional es muy inferior, equivalente a 5 veces una batería de plomo – ácido de igual magnitud [8]. Se presenta en la Figura 13, la batería del tipo Ni - Cd:



Figura 13. Batería de Ni - Cd.
Fuente: Bureau baterías [16].

Entre sus principales ventajas podemos mencionar las siguientes [8]:

- Cumplen con más requisitos que sus correspondientes de plomo – ácido porque pueden soportar sobrecargas y descargas sin sufrir daños, y pueden funcionar con un estado de carga bajo sin afectar su vida.
- Soportan una mayor PdD, cercana al 100 %.
- Su auto descarga, en un inicio mayor, decrece con el tiempo, dando paso a largos ciclos de acumulación con un almacenamiento.
- Su vida útil es más del doble que su correspondiente de plomo – ácido de la misma capacidad.

Como también se puede mencionar sus desventajas, las cuales son las siguientes [8]:

- Siendo la característica de descarga la cual es de mayor desventaja, porque su voltaje de salida permanece constante debido a una resistencia interna extremadamente baja hasta que su energía acumulada se agota repentinamente. Producto de ello, el voltaje de salida cae bruscamente.

2.12 Interruptores termomagnéticos (ITM) automáticos o breaker

Se define a los módulos de protección para los sistemas eléctricos. Se encuentran disponibles interruptores: termomagnéticos, térmicos y magnéticos. Como también se están los interruptores automáticos: monopolares, bipolares y tripolares [17]. De manera que se muestra un ITM de 2 polos en la Figura 14, a continuación:



Figura 14. ITM tipo Riel Din de 2 polos.
Fuente: Schneider Electric [18].

Los ITM automáticos tienen la función de resguardar al sistema frente a sobrecargas y cortocircuitos, cuando actúan su componente térmica y su componente magnética, respectivamente. Cada procedimiento de desconexión es capaz de actuar individualmente, se muestran los 3 procedimientos de maniobra [17]:

- Maniobra térmica.
- Maniobra magnética.
- Maniobra manual.

Cuando un ITM opera con diversas características frente a sobre cargas o cortocircuitos, ya suprimida la falla es posible restablecerlo conservando la calibración inicial. Es importante mencionar que los ITM cuentan con diversos valores de corriente nominal, por esta razón para tener un apropiado elemento de protección, se hace necesario calcular la corriente nominal del ITM apropiado [17].

2.13 Ángulo de inclinación y azimut del panel FV

Con el fin de conseguir la mayor captación de energía solar a lo largo del peor mes se prestará especial atención al ángulo de inclinación del panel FV, esto significa que este sería el mes con la menor relación entre la intensidad de radiación diaria y el uso de la energía, con valores promedios mensuales. De manera general se suele suponer una demanda de los usuarios constante [8]. El ángulo de inclinación de manera general se calcula de acuerdo con la ecuación 5:

$$Inclinacion[^\circ] = \max\{|\Phi| + 10^\circ\} \quad (5)$$

Donde:

Φ : Latitud del lugar de la instalación [°]

Respecto al ángulo de azimut, se hace útil mencionar que pequeñas desviaciones de azimut en la dirección norte – sur (+/- 30°) y/o elevación (+/- 10°) tienen un efecto relativamente pequeño en la captura de radiación y, por lo tanto, en la producción del arreglo FV [8].

Se indica que la orientación del panel FV deberá ir de acuerdo con su latitud, ya que será la que determine en que hemisferio se encuentra el emplazamiento, es así que para latitudes que se encuentren al sur se recomienda orientar el panel FV hacia el norte y para latitudes al norte se orientara el panel FV hacia el sur.

2.14 Radiación solar

Es conocido que la radiación solar que actúa sobre la superficie de la Tierra varía con la latitud, la estación y la hora del día. La radiación puede ser considerada constante exterior a la atmósfera, con un valor de constante solar de 1368 W/m^2 . No obstante, al traspasar la atmósfera, podría ser absorbida o redireccionada. Se sabe que la radiación que traspasa la atmósfera sin interacción de esta es llamada irradiación normal directa (DNI), por otra parte, cuando la radiación es desviada por las influencias atmosféricas o reflejada desde la superficie de la Tierra, se conoce como radiación difusa horizontal (DHI). Cuando se suma estas componentes se obtiene la irradiación global horizontal (GHI) [19]. Tal como se expresa en la ecuación 6:

$$GHI = DHI + DNI \cdot \cos(\theta) \quad (6)$$

Donde:

θ : Es el ángulo cenital solar [°]

2.15 Radiación solar en el Ecuador

Para conocer con certeza la radiación solar disponible en la localidad, se debe tener en cuenta que, debido a la ubicación geográfica del Ecuador, se sabe que la fuente de energía solar es constante durante todo el año. Podría ser visto como una ventaja para evitar grandes acumuladores de energía. No obstante, debido a la presencia de los Andes se han creado microclimas que reducen el potencial en determinadas regiones. La GHI anual sobre el Ecuador cambia desde $2.9 \text{ kWh/m}^2 \text{ dia}$ a $6.3 \text{ kWh/m}^2 \text{ dia}$. En general, los niveles de radiación son más altos en las zonas de gran altitud y más bajos en las zonas costeras o de transición al este. Para las zonas de mayor altitud hay menor espesor de la atmósfera, por ende, una menor presencia de nubes facilita tener una mayor radiación. En cambio, las zonas de transición hacia una menor altitud, la presión atmosférica causa la formación de nubes por ello se tiene una menor radiación [19]. Se debe mencionar que para Ecuador los niveles de radiación solar son suficientemente elevados de manera que es posible implementar extensas tecnologías solares térmicas y fotovoltaicas. Se sugiere un valor de $3.8 \text{ kWh/m}^2 \text{ dia}$, a partir del cual es viable un proyecto FV [20]. En donde se muestra el mapa de irradiación global horizontal anual que evidencia que aproximadamente el 75% del territorio del Ecuador posee niveles de irradiación por encima de este valor recomendado [19].

2.16 Consideraciones generales al seleccionar el valor de la irradiación global

Una vez conocida la ubicación geográfica del lugar donde se pretende instalar el SFV, para estimar la potencia FV a ser instalada es preciso obtener la radiación solar incidente en la superficie inclinada de la zona de estudio. En base a ello, el objetivo es que el sistema FV sea capaz de satisfacer la demanda de carga en todos los meses del año, requiriendo así menos meses de radiación solar, con ello se dimensionara el sistema FV de tal manera que pueda abastecer el consumo de los equipos en dicho mes, esto quiere decir que para los otros meses cubriría la demanda energética sin problema [21].

También se debe tomar en cuenta la existencia de obstáculos adyacentes al lugar donde se pretende ubicar los paneles FV, porque se debe procurar que haya la menor sombra posible a lo largo de las 8 horas centrales del día en el año [2].

2.17 Ángulo de inclinación anual para Cotundo del cantón Archidona

La ecuación 7 se utilizara para calcular la elevación óptima anual, a continuación [22]:

$$\beta = |\textit{latitud}| + 10^\circ \quad (7)$$

Donde:

β : Elevación de un panel FV respecto a la latitud [°]

Sabiendo la latitud de Archidona Cotundo es de -0.54° , por lo tanto, el ángulo de inclinación del panel será 10.54° , aproximando hacia el inmediato superior obtenemos un ángulo de inclinación de 11° [1]. Sin embargo, para efectos de brindar un mantenimiento adecuado, de lavado con la lluvia del panel FV por acumulación de la suciedad y evitar la formación de pozas de agua, se elevará la inclinación del panel FV a 15° [23].

2.18 Determinación de la Hora Solar Pico (HSP) para Cotundo, cantón Archidona

Para determinar la HSP se usa su definición, esta nos dice que es la energía que se recibe en un metro cuadrado con una irradiancia solar constante de 1000 W/m^2 [3]. Así como también se requiere del valor de irradiación global horizontal en $\text{Wh/m}^2 \text{ dia}$, que es la adición de la radiación difusa y la radiación directa [19].

Se requerirá obtener el valor de irradiación solar en [MJ], por lo que se tiene el factor de conversión: $1 \text{ kWh} = 3.6 \text{ MJ}$. Por lo que se obtendría la irradiación solar global horizontal en $\text{MJ/m}^2 \text{ dia}$ en un día promedio del mes [22].

Se ha extraído la información para seleccionar la irradiación global horizontal del Mapa Solar del Ecuador, organizada en valores diarios promedio en la tabla 2 [19]:

Tabla 2. Irradiación solar diaria en promedio del mes para Cotundo / Archidona

Ubicación (Napo/Archidona/Cotundo) – Latitud/Longitud: $0.5369^\circ \text{ S} / 78.2277^\circ \text{ O}$		
Mes	Irradiación solar global [$\text{kWh/m}^2 \text{ dia}$]	Irradiación solar global [$\text{MJ/m}^2 \text{ dia}$]
Enero	4,2	15,12
Febrero	5,1	18,36
Marzo	4,2	15,12
Abril	4,2	15,12
Mayo	4,2	15,12
Junio	4,2	15,12
Julio	5,4	19,44
Agosto	5,1	18,36
Septiembre	5,4	19,44
Octubre	4,5	16,2
Noviembre	5,1	18,36
Diciembre	4,2	15,12

Fuente: Mapa Solar del Ecuador 2019 [19].

Se debe tener en cuenta el factor de corrección k , expresado en función del mes y la elevación del panel FV a -1° de latitud, la más próxima a Cotundo del cantón Archidona, los valores están especificados en el Anexo 24 [2].

Se ha considerado usar la ecuación 8 para el cálculo de la HSP [22]:

$$HSP = I_{n_{pro}} \cdot k_{atm} \cdot k \cdot 0,2778 \quad (8)$$

Donde:

$I_{n_{pro}}$: Insolación promedio [MJ/m^2]

k_{atm} : Factor de corrección atmosférica

k : Coeficiente de corrección

HSP : Hora Solar Pico [h]

Para este caso, el factor de corrección varía entre los valores de [22]:

$$0,95 < k_{atm} < 1,05 \quad (9)$$

2.19 Cálculo de la energía diaria consumida

Se recomienda previo a la evaluación del consumo organizar la información necesaria, con lo cual se requiere de al menos los siguientes parámetros de los equipos: descripción, cantidad, potencia unitaria [W], potencia total [W], horas [h] y el consumo diario de energía [Wh/día] [2]. La información requerida es de manera genérica tanto para cargas de consumo en C.A. y cargas de consumo en C.C., sin embargo, se tabula para cada caso separando el tipo de consumo C.A. y C.C., sí se diera el caso mencionado. Para organizar la información mencionada se muestra la tabla 3:

Tabla 3. Evaluación de la energía diaria consumida por los equipos en C.A. o C.C.

Ítem	Descripción	Cantidad	Potencia unitaria [W]	Potencia total [W]	Horas [h]	Energía [Wh/día]
1						
2						
	Potencia carga instalada [W]:					
	Energía diaria consumida [Wh/día]:					

Fuente: Norma Ecuatoriana de Construcción NEC – 11, Capítulo 14 Energías Renovables [2].

El consumo diario de energía es el consumo diario de electricidad, que debe ser proporcionado por el SFV, se debe tener en cuenta el consumo en C.C. y C.A. [24].

Para la estimación del consumo para equipos C.A., se usa la ecuación 10 [24]:

$$E_{CA} = \Sigma \#Equip \cdot Horas \cdot P_{Eq} \quad (10)$$

Donde:

#Eqip: Número de equipos con iguales características

Horas: Este es el número de horas que funcionara el dispositivo [h]

P_{Eq} : Esta es la potencia de cada componente de C.A. enchufado [W]

E_{CA} : Energía diaria consumida por los equipos de C.A. [Wh/día]

E_{CC} : Energía diaria consumida por los equipos de C.C. [Wh/día]

Para la ecuación 11, las variables son las mismas que en la ecuación 10, excepto que se aplica para los equipos C.C., a continuación:

$$E_{CC} = \Sigma \#Eqip \cdot Horas \cdot P_{Eq} \quad (11)$$

Es así como resulta que la energía diaria consumida (E_{Carga}) por el consumo es la adición de la energía consumida por los componentes de C.A. y C.C, expresada en [Wh/día]. Tal como se representa en la ecuación 12:

$$E_{Carga} = E_{CC} + E_{CA} \quad (12)$$

Una vez descrito el procedimiento anterior para determinar la energía diaria consumida, se debe mencionar que no se ha considerado el rendimiento global (PR) del sistema FV, ni tampoco los factores de seguridad y/o diseño del sistema FV. Dichas consideraciones serán evidenciadas en el método aplicado a continuación.

2.20 Método de cálculo para el diseño del sistema FV AR

Una vez conocida la E_{Carga} , HSP en las coordenadas geográficas en donde se pretende ubicar el SFV AR y los días nublados por semana, temperatura máxima y mínima, se procede a realizar el diseño del SFV AR. El diseño del SFV AR será realizado siguiendo diagrama de bloques que se indica en la Figura 15, a continuación:

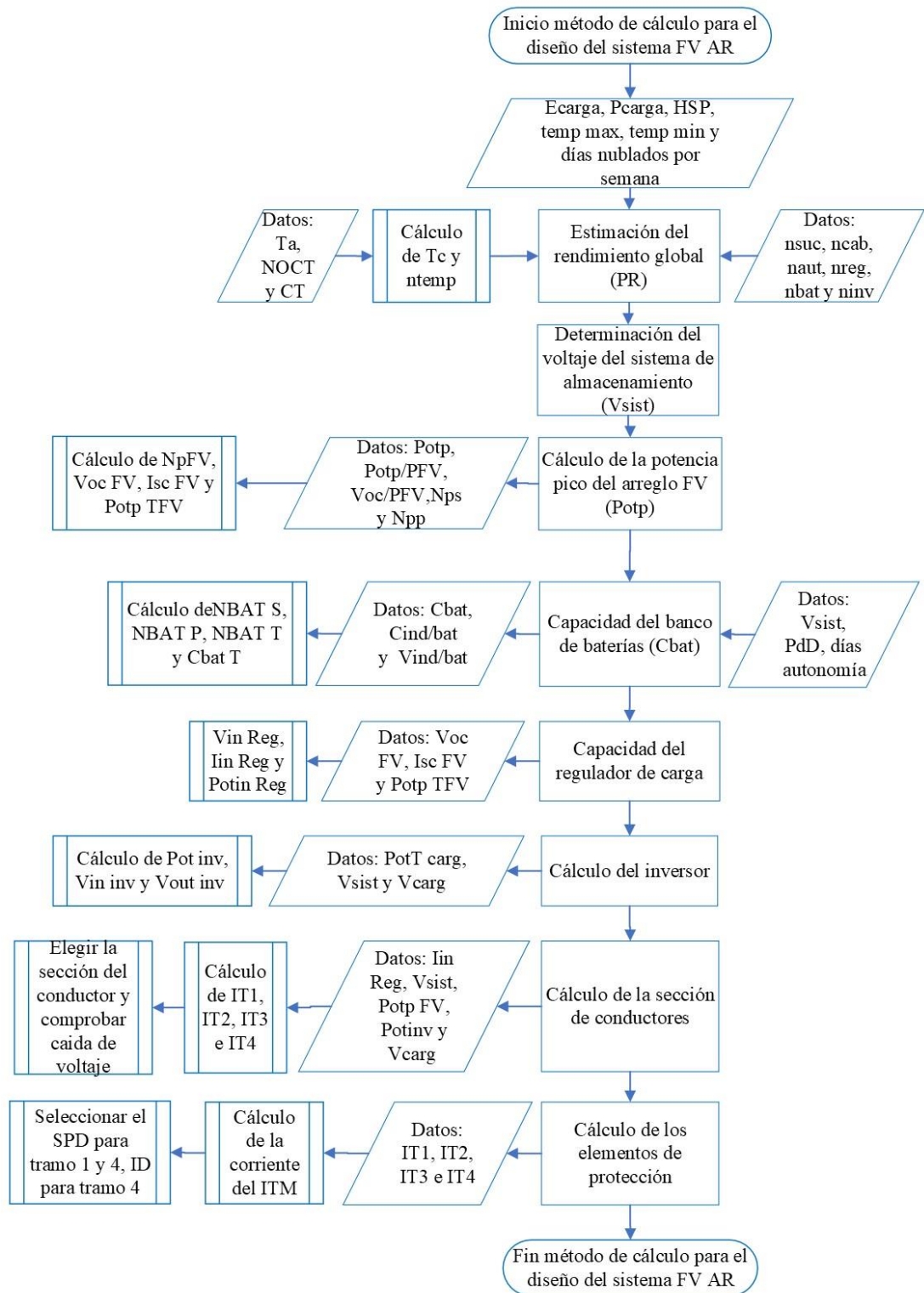


Figura 15. Esquema de bloques del método de cálculo para el diseño del SFV AR.
Elaborado por: Galo Baquero.

2.20.1 Estimación del rendimiento global (PR)

Se define al rendimiento global del sistema FV AR a la energía aprovechable asignada a la carga dividida por la energía máxima que teóricamente puede producir el arreglo FV.

Se necesita previo al cálculo del PR, calcular la temperatura de la celda y rendimiento por temperatura en condiciones anormales, expresado en la ecuación 13 y ecuación 14, respectivamente. Para una radiación instantánea de 1000 W/m^2 [2].

$$T_c = T_a + 1,25(NOCT - 20) \quad (13)$$

$$\eta_{temp} = 1 - C_T(T_c - 25) \quad (14)$$

Donde:

T_c : Temperatura de la célula con irradiación de 1000 W/m^2 [°C]

T_a : Temperatura ambiente exterior [°C]

$NOCT$: Temperatura normal de funcionamiento de la célula (fichas técnicas del fabricante) [°C]

C_T : Factor de variación de la potencia cuando de opera a la temperatura nominal de las condiciones de operación (fichas técnicas del fabricante) [%/°C]

η_{temp} : Rendimiento por temperatura en condiciones anormales

Para calcular el rendimiento global del sistema se emplea la ecuación 15 [2]:

$$PR = \eta_{temp} \cdot \eta_{suc} \cdot \eta_{reg} \cdot \eta_{cab} \cdot \eta_{bat} \cdot \eta_{aut} \cdot \eta_{inv} \quad (15)$$

Donde:

η_{suc} : Rendimiento por efectos de suciedad ($\geq 2\%$)

η_{cab} : Rendimiento por pérdida en los conductores (indicado en la norma)

η_{aut} : Rendimiento por las pérdidas de autodescargas de las baterías ($\geq 1\%$)

$\eta_{reg}, \eta_{inv}, \eta_{bat}$: Rendimientos del controlador de carga, inversor y batería (indicados en las fichas técnicas del fabricante)

2.20.2 Determinación del voltaje del sistema de almacenamiento

Para seleccionar el voltaje del sistema del almacenamiento, se puede determinar en base a la potencia carga instalada. Los voltajes estándar que se suelen emplear son: 12 V, 24 V, 48 V y 120 V [24]. Se aplican estos valores que por lo general existe en el mercado, para el regulador de carga, baterías e inversor. En la tabla 4 se muestran los voltajes recomendados:

Tabla 4. Criterio para determinar el voltaje del sistema de almacenamiento

Potencia demandada por la instalación [W]	Voltaje del sistema de almacenamiento [V]
$P < 1\ 500$	12
$1\ 500 \leq P \leq 5000$	24 o 48
$P > 5000$	48 o 120

Fuente: Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá [24].

2.20.3 Estimación de la potencia máxima del arreglo FV

Se indica en la ecuación 16 cómo se calcula la potencia pico que se requiere para satisfacer la energía diaria consumida por las cargas en estudio [2].

$$Pot_p = \frac{Demanda\ energetica}{HSP \cdot PR} \quad (16)$$

Donde:

Demanda energetica: Energía diaria consumida [Wh]

HSP: Hora solar pico [h]

PR: Rendimiento global (0 – 1)

Pot_p: Potencia pico del arreglo FV [W]

Se indica en la ecuación 17 el cálculo del número de paneles FV requeridos.

$$N_{PFV} = \frac{Pot_p}{Pot_{p/PFV}} \quad (17)$$

Donde:

Pot_p: Potencia pico del arreglo FV [W]

Pot_{p/PFV}: Potencia pico por panel FV [W]

N_{PFV}: Numero de panel/es FV

Se establece la conexión serie y paralelo del arreglo FV en base a los criterios de voltaje en circuito a abierto (V_{oc}), corriente de corto circuito (I_{sc}) y potencia máxima (Pot_p), expresados en la ecuación 18, 19 y 20, respectivamente [2]. Ya que dependiendo de ello se tendrá mayores o menores perdidas por efecto Joule en los conductores, así como un mayor voltaje implica mayor grado de aislamiento y seguridad eléctrica.

$$V_{OC\ FV} = V_{OC/PFV} \cdot N_{PS} \quad (18)$$

$$I_{SC\ FV} = I_{SC/PFV} \cdot N_{PP} \quad (19)$$

$$Pot_{p\ TFV} = Pot_{p/PFV} \cdot N_{PFV} \quad (20)$$

Donde:

$V_{OC/PFV}$: Voltaje de circuito abierto por panel FV [V]

N_{PS} : Cantidad de paneles FV en serie

$V_{OC\ FV}$: Voltaje de circuito abierto del arreglo FV [V]

$I_{SC/PFV}$: Corriente de cortocircuito por panel FV [A]

N_{PP} : Cantidad de paneles FV en paralelo

$I_{SC\ FV}$: Corriente de cortocircuito del arreglo FV

Pot_p/PFV : Potencia pico por panel FV [W]

N_{PFV} : Número de panel/es FV

$Pot_p\ TFV$: Potencia pico total del arreglo FV [W]

La $I_{SC\ FV}$, el $V_{OC\ FV}$ y la $Pot_p\ T$ son parámetros necesarios para el cálculo de la capacidad del regulador de carga, capacidad de las protecciones y calibre de conductores [2].

2.20.4 Capacidad del banco de baterías

Previo a encontrar este parámetro se requiere tomar en cuenta los criterios descritos a continuación:

Una de las consideraciones técnicas de la NEC – 11, menciona los días de autonomía, dentro del rango: 2 – 5 días [2].

La profundidad de descarga (PdD) y el voltaje del sistema, se han recomendado e indicado su criterio de selección en el presente capítulo.

La capacidad necesaria para garantizar la autonomía del sistema FV es expresado en la ecuación 21 [2]:

$$C_{bat} = \frac{\text{Demanda energética} \cdot \text{días de autonomía}}{PdD \cdot V_{sist}} \quad (21)$$

Donde:

Demanda energética: Energía diaria consumida [Wh]

días de autonomía: Cantidad de días de autonomía [días]

PdD: Profundidad de descarga ($\leq 80\%$) [%]

V_{sist} : Voltaje del sistema de almacenamiento [V]

C_{bat} : Capacidad del grupo de baterías [Ah]

Se procede a calcular el número de baterías totales necesarias expresada en la ecuación 24 y a su vez su configuración en serie y paralelo, expresada en la ecuación 22 y ecuación 23. De manera complementaria se da a conocer la capacidad total del banco de baterías, indicada en la ecuación 25.

$$N_{BAT S} = \frac{V_{sist}}{V_{ind/bat}} \quad (22)$$

$$N_{BAT P} = \frac{C_{bat}}{C_{ind/bat}} \quad (23)$$

$$N_{BAT T} = N_{BAT P} \cdot N_{BAT S} \quad (24)$$

$$C_{bat T} = N_{BAT P} \cdot C_{ind/bat} \quad (25)$$

Donde:

C_{bat} : Capacidad del grupo de baterías [Ah]

$C_{ind/bat}$: Capacidad por batería [Ah]

$N_{BAT P}$: Cantidad de baterías en paralelo

V_{sist} : Tensión del sistema del almacenamiento [V]

$V_{ind/bat}$: Tensión individual por batería [V]

$N_{BAT S}$: Cantidad de baterías en serie

$N_{BAT T}$: Número de baterías totales

$C_{bat T}$: Capacidad integral del grupo de baterías [Ah]

2.20.5 Capacidad del regulador de carga

Se establecen tres criterios principales al momento de seleccionar el regulador de carga, los cuales mencionan que:

El voltaje de entrada del controlador debe ser mayor o igual al voltaje en circuito abierto del arreglo FV [2]. Indicado en la ecuación 26.

$$V_{in Reg} \geq V_{OC FV} \quad (26)$$

Donde:

$V_{OC FV}$: Voltaje en circuito abierto del arreglo FV [V]

$V_{in Reg}$: Voltaje de entrada del controlador de carga [V]

La corriente que admite el regulador de carga debe ser 1.25 veces mayor que la corriente de corto circuito del arreglo FV [2], expresado en la ecuación 27.

$$I_{in Reg} = 1,25 \cdot I_{SC FV} \quad (27)$$

Donde:

$I_{in Reg}$: Corriente de entrada del regulador de carga [A]

$I_{SC\ FV}$: Corriente de cortocircuito del arreglo FV [A]

La potencia de entrada del regulador debe ser mayor o igual a la potencia pico total del arreglo FV [2], indicado en la ecuación 28.

$$Pot_{in\ Reg} \geq Pot_{p\ TFV} \quad (28)$$

Donde:

$Pot_{p\ TFV}$: Potencia pico total del arreglo FV [W]

$Pot_{in\ Reg}$: Potencia de entrada del regulador de carga [W]

2.20.6 Cálculo del inversor

Se establecen tres criterios principales al momento de seleccionar el inversor, los cuales son:

La potencia del inversor debe ser 1,25 veces mayor a la carga instalada [2], expresado en la ecuación 29.

$$Pot_{inv} = 1,25 \cdot Pot_{T\ carg} \quad (29)$$

Donde:

$Pot_{T\ carg}$: Potencia total de la carga instalada [W]

Pot_{inv} : Potencia del inversor [W]

El voltaje de entrada del inversor tiene que manejar igual valor que el voltaje del sistema [2], expresado en la ecuación 30.

$$V_{in\ Inv} = V_{sist} \quad (30)$$

Donde:

V_{sist} : Voltaje del sistema de almacenamiento [V]

$V_{in\ Inv}$: Voltaje de entrada del inversor [V]

El voltaje de salida del inversor debe ser igual al voltaje de operación de la carga instalada [2], expresado en la ecuación 31.

$$V_{out\ Inv} = V_{carg} \quad (31)$$

Donde:

$V_{out\ Inv}$: Voltaje de salida del inversor [V]

V_{carg} : Voltaje de la carga instalada [V]

2.20.7 Cálculo de la sección transversal de los conductores

Para simplificar el cálculo de la sección transversal de los conductores se organizó en la tabla 5 los valores porcentuales de caída de voltaje permitidos [2].

Tabla 5. Máxima caída de voltaje para calcular la sección transversal de los conductores

Tramo N°	Equipo 1	Equipo 2	Máxima caída de voltaje permitida [%]
1	Arreglo FV	Regulador de carga	3
2	Regulador de carga	Baterías	1
3	Regulador de carga	Inversor	3
4	Inversor	Tablero de distribución	3

Fuente: Norma Ecuatoriana de Construcción NEC – 11, Capítulo 14 Energías Renovables [2].

Es necesario conocer la corriente que va a circular en cada tramo para dimensionar la sección adecuada de los conductores. Para lo cual se ilustra en la Figura 16, el diagrama del SFV AR por tramos para el calcular la sección transversal de los conductores.

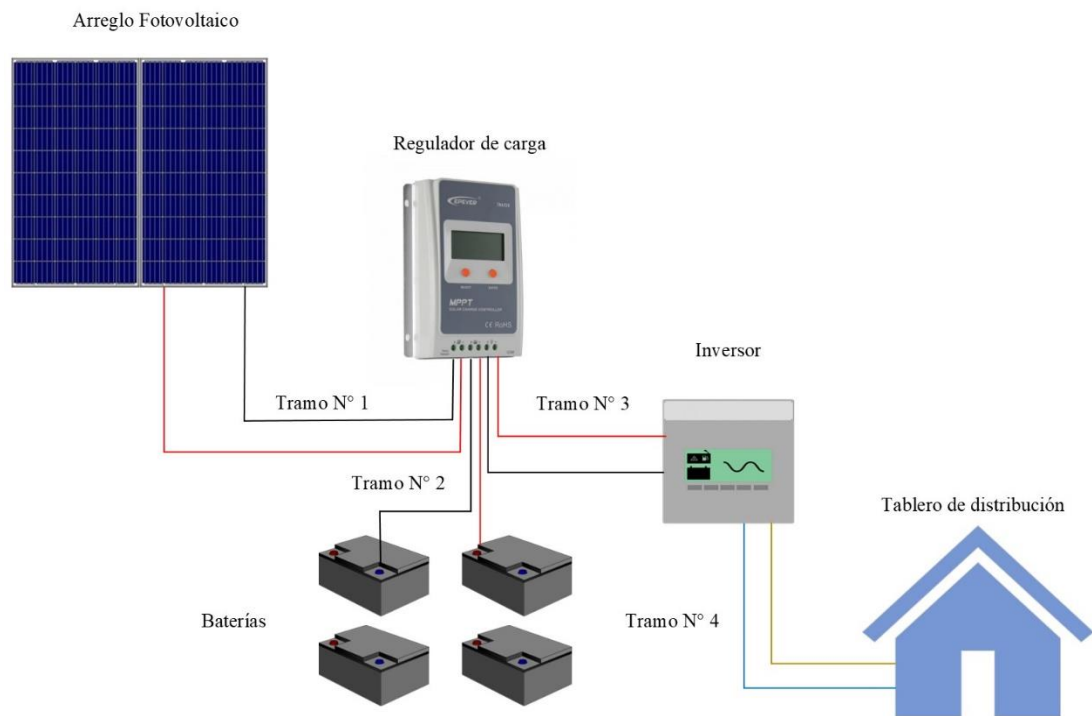


Figura 16. Diagrama del SFV AR por tramos para calcular la sección transversal de los conductores. Elaborado por: Galo Baquero

Es así como en el caso particular del SFV AR, se indican el cálculo de las corrientes para cada tramo a continuación:

Para el tramo N° 1 la corriente se expresa en la ecuación 32.

$$I_{T1} = I_{in Reg} \quad (32)$$

Donde:

$I_{in Reg}$: Corriente de entrada del regulador de carga [A]

I_{T1} : Corriente del tramo N°1 [A]

Para el tramo N° 2 el voltaje de carga del banco de baterías se expresa en la ecuación 33 y la corriente se expresa en la ecuación 34.

$$V_{carg bat} = 1,15 \cdot V_{sist} \quad (33)$$

$$I_{T2} = \frac{Pot_{pTFV}}{V_{carg bat}} \quad (34)$$

Donde:

V_{sist} : Voltaje del sistema de almacenamiento [V]

$V_{carg bat}$: Voltaje de carga de las baterías [V]

Pot_{pTFV} : Potencia pico total del arreglo FV [W]

I_{T2} : Corriente del tramo N° 2 [A]

Para el tramo N° 3 la corriente se expresa en la ecuación 35.

$$I_{T3} = \frac{Pot_{inv}}{V_{sist}} \quad (35)$$

Donde:

V_{sist} : Voltaje del sistema de almacenamiento [V]

Pot_{inv} : Potencia del inversor [W]

I_{T3} : Corriente del tramo N° 3 [A]

Para el tramo N° 4 la corriente se expresa en la ecuación 36.

$$I_{T4} = \frac{Pot_{inv}}{V_{carg}} \quad (36)$$

Donde:

V_{carg} : Voltaje de la carga instalada [V]

Pot_{inv} : Potencia del inversor [W]

I_{T3} : Corriente del tramo N° 4 [A]

Para calcular la sección transversal del conductor, se sigue bajo las especificaciones eléctricas de corriente y caída de voltaje [2].

Así como es importante tener en cuenta la máxima caída de voltaje permisible en cada tramo, por ello se selecciona una sección de conductor estimada para los siguientes cálculos:

Para los tramos en CC se calcula la caída de voltaje, que se expresa en la ecuación 37, si no excede la máxima caída de voltaje permitida se mantiene la selección del conductor estimado [2].

$$\Delta V = \frac{2 \cdot \rho \cdot l \cdot i}{S} \quad (37)$$

Donde:

ρ : Resistividad del material conductor [mm^2]

l : Longitud del tramo del conductor [m]

i : Intensidad que circula por el conductor [A]

S : Sección del cable [mm^2]

Para los tramos en CA se calcula la caída de voltaje, que se expresa en la ecuación 38, si no excede la máxima caída de voltaje permitida se mantiene la selección del conductor estimado [2].

$$\Delta V = \frac{2 \cdot \rho \cdot l \cdot i \cdot \cos\varphi}{S} \quad (38)$$

Donde:

$\cos\varphi$: Factor de potencia

ρ : Resistividad del material conductor [$\Omega \cdot mm^2/m$]

l : Longitud del tramo del conductor [m]

i : Intensidad que circula por el conductor [A]

S : Sección del cable [mm^2]

2.20.8 Cálculo de los elementos de protección

Para ofrecer una mayor protección los sistemas FV AR tendrán que poseer de los equipos de protección típicos para instalaciones eléctricas, un dispositivo de protección contra sobre voltajes (SPD), un interruptor termomagnético (ITM) e un interruptor diferencial (ID), como también será adecuado para proporcionar dispositivos de conmutación mecánica para mantenimiento y su operación [2].

2.20.8.1 Cálculo de la corriente del ITM

De manera general se expresa en la ecuación 39 el cálculo del ITM tanto para tramos en CA y CC.

$$I_{ITM} = 1,25 \cdot I_{i-j} \quad (39)$$

Donde:

I_{i-j} : Corriente que circula del equipo i hacia el equipo j [A]

I_{ITM} : Corriente del ITM [A]

Una vez calculada la I_{ITM} se seleccionará la capacidad del ITM en valores comerciales normalizados y disponibles en el mercado, siempre seleccionando el mayor valor más cercano al calculado.

2.20.8.2 Criterio de selección de SPD

Serán considerados SPD específicamente que sean tanto para C.C. y C.A., para ambos casos será necesario que se cumpla la condición que se indica en la ecuación 40 y ecuación 41, respectivamente:

$$V_{SPD\ CC} \geq V_{OC\ FV} \quad (40)$$

Donde:

$V_{OC\ FV}$: Voltaje en circuito abierto del arreglo FV [V]

V_{carg} : Voltaje de la carga instalada [V]

$V_{SPD\ CC}$: Voltaje del SPD en C.C. [V]

$V_{SPD\ CA}$: Voltaje del SPD en C.A. [V]

2.20.8.3 Criterio de selección del ID

El interruptor diferencial seleccionado tiene que ser de mayor corriente que la considerada para el ITM seleccionado para el tramo N° 4. Debe cumplirse la condición que se indica en la ecuación 42, a continuación:

$$I_{ID} > I_{T4} \quad (42)$$

Donde:

I_{T4} : Corriente del tramo N° 4 [A]

I_{ID} : Corriente del ID [A]

CAPÍTULO III

CÁLCULOS

3.1 Aspectos generales por considerar para la aplicación del método de cálculo para el diseño del sistema FV AR

El método de cálculo a aplicarse para el diseño del sistema FV deberá tomar en cuenta una serie de consideraciones necesarias antes de ser aplicado, por lo tanto, se debe prestar especial atención a los siguientes aspectos a determinar: la Hora Solar Pico (HSP), orientación del panel FV, datos de días nublados por semana, temperatura máxima, temperatura mínima y la energía diaria consumida en [Wh/día].

Son los aspectos básicos para tomar en cuenta previo a hacer cualquier diseño FV de manera general, pese a lo planteado pueden existir más factores a tomar en cuenta.

3.2 Criterio de selección del SFV AR

En base a la evaluación de la ubicación del proyecto, acometida eléctrica actual y predominancia del tipo de cargas en C.C. y cargas en C.A. Es viable la aplicación del tipo de SFV AR en donde no se depende de la existencia del suministro eléctrico convencional para su funcionamiento, sino más bien se cuenta con una autonomía energética al contar con un subsistema de almacenamiento de energía para su uso en el momento necesario o cuando se prevea una falla en la red eléctrica convencional, sea por la desconexión temporal a causa de condiciones climáticas adversas o por fallas no controlables en dicha red.

Con la aplicación del SFV AR, se pretende brindar una alternativa de generación renovable no convencional que permita satisfacer una parte de la demanda, en consecuencia, reducción del consumo energético en redes convencionales y que aporte a elevar la confiabilidad del sistema eléctrico en la guardianía de La Mica de la REA. Para ello se partirá de este SFV AR, hacia el siguiente método de cálculo a ser aplicado.

3.3 Determinación de la HSP para Cotundo – Archidona

Se determinará el número de HSP para el emplazamiento seleccionado a continuación:

3.3.1 Cálculo del ángulo de inclinación anual para Cotundo del cantón Archidona

Previo al cálculo del ángulo de inclinación anual necesitamos conocer en qué latitud está ubicada la Guardianía de la Mica, la ubicación mencionada está en una latitud de

0. 5369° S en grados decimales, las latitudes hacia el sur son negativas, por ello se obtiene un valor de - 0.5369°.

Para el cálculo de la inclinación óptima anual se expresará en la ecuación 43 [22]:

$$\beta = | - 0,5369^\circ | + 10^\circ = 10,5369^\circ \cong 11^\circ \quad (43)$$

Sin embargo, para efectos de brindar un mantenimiento adecuado, de autolavado del panel FV por acumulación de suciedad y evitar la formación de pozas de agua, se elevará la inclinación del panel FV a 15 ° [23].

3.3.2 Cálculo de las HSP para el sector de Cotundo del cantón Archidona

Previo a desarrollar el cálculo de las HSP, se ha seleccionado el valor de irradiación solar global en base a la aplicación del criterio del mes con menor irradiación solar, con el fin de garantizar el abastecimiento de la demanda diaria de consumo durante todos los meses a lo largo del año, ya que, si se cubre la demanda para dicho mes con menor irradiación solar, no habrá inconveniente en los otros meses.

Se ha extraído la información para seleccionar la irradiación global horizontal del Mapa Solar del Ecuador. Tales valores encontrados en [*kWh/m²dia*] han sido llevados a [*MJ/m²dia*] para ser aplicable en el cálculo de la HSP. Se ha organizado en valores diarios promedio especificados en el Anexo 25 [19].

Como elección del mes de menor irradiación solar global se selecciona el mes de junio por registrarse uno de los menores valores diarios promedios de irradiación global que corresponde a 15.12 *MJ/m²*.

Se extrae de los valores especificados en el Anexo 24 los factores de corrección *k*, establecido en función del mes y la inclinación del panel FV a 15° que responden para latitud de -1°, la más próxima a la parroquia Cotundo del cantón Archidona [2].

Para el mes de junio se tiene un valor de 1.06 de factor de corrección.

Para este caso, el factor de corrección varía entre los valores de [22]:

$$0,95 < k_{atm} < 1,05 \quad (44)$$

Como es el caso de la guardianía de La Mica de la REA en la parroquia Cotundo del Cantón Archidona, donde no se registra mayor grado de contaminación al estar ubicado dentro de una reserva ecológica. Por ello se toma un valor de 1.05 de *k_{atm}*.

Se ha considerado usar la ecuación 45, para el cálculo de la HSP [22]:

$$HSP = 15,12 \text{ MJ/m}^2 \cdot 1,05 \cdot 1,06 \cdot 0,2278 = 4,67 \text{ h/dia} \quad (45)$$

3.4 Datos meteorológicos de días nublados por semana y temperatura ambiente

Para los posteriores cálculos que serán aplicados del método indicado en el capítulo II, se hace necesario conocer los datos de días nublados por semana, temperatura máxima y mínima, de esta manera se calculará la capacidad nominal del banco de baterías y PR del sistema, respectivamente. La tabla 6 muestra los valores máximos y mínimos de los datos anteriores para todo el año.

Tabla 6. Datos de días nublados por semana, temperatura máxima y mínima

	Promedio	Max	Min	Elegido
Temperatura max [°C]	19	20	16	20
Temperatura min [°C]	2	3	-1	-1
Días nublados por semana [días]	1	1,10	1	2

Fuente: Data Access Viewer – NASA POWER [25].

3.5 Cálculo de la energía diaria consumida por los equipos en la guardiana de La Mica

Se ha previsto emplear la metodología descrita en el Capítulo II y empleando la tabla 3, para obtener la energía diaria consumida en [Wh/día]. Por lo que ha sido necesario realizar el levantamiento de información de los equipos mediante visualización y toma de datos en campo, por ello se consideró solamente cargas en C.A., pese a que existen equipos que operan en C.C., pero cuentan con su propia fuente de poder para cargas en C.C.

En la tabla 7, se ha organizado toda la información necesaria para calcular la energía diaria consumida y se ha obtenido los resultados por medio de las ecuaciones propuestas para tal fin.

Tabla 7. Información de los equipos de C.A. en la guardiana de la Mica

Ítem	Descripción	Cantidad	Potencia unitaria [W]	Horas [h]
1	Iluminación Led – garita	1	9	0,5
2	Iluminación Led – sala de estudio	3	9	2
3	Iluminación Led – alojamiento	5	9	4
4	Iluminación Led – exterior	2	9	10
5	Monitor HP L1710	1	30	2
6	Radiomovil MOTOTRBO DGM 6100	1	45	12
7	PC HP Compaq 6000 pro	1	320	2
8	Impresora Epson L6171	1	12	1
9	Monitor LG 20MP38HQ-B	1	15	8
10	Monitor LG 20MK400H	1	13	2

11	PC de escritorio	1	600	2
12	Router Linksys E900	1	5,4	24
13	PC HP Compaq 6200 pro	1	240	8
14	Televisor LG 42PT250B	1	210	4
15	Refrigerador Mabe	1	113	8

Elaborado por: Galo Baquero.

Usando la información de los equipos de la instalación en estudio, se calculó la potencia carga instalada en [W] y la energía diaria consumida en [Wh/día] por los equipos de C.A. de la instalación. Los resultados se presentan en la tabla 8, siguiente:

Tabla 8. Potencia carga instalada y energía diaria consumida obtenida

Ítem	Descripción	Cantidad	Potencia unitaria [W]	Horas [h]
1	Iluminación Led - garita	1	9	0,5
2	Iluminación Led - sala de estudio	3	9	2
3	Iluminación Led - alojamiento	5	9	4
4	Iluminación Led - exterior	2	9	10
5	Monitor HP L1710	1	30	2
6	Radiomovil MOTOTRBO DGM 6100	1	45	12
7	PC HP Compaq 6000 pro	1	320	2
8	impresora Epson L6171	1	12	1
9	Monitor LG 20MP38HQ-B	1	15	8
10	Monitor LG 20MK400H	1	13	2
11	PC escritorio	1	600	2
12	Router Linksys E900	1	5,4	24
13	PC HP Compaq 6200 pro	1	240	8
14	Televisor LG 42PT250B	1	210	4
15	Refrigerador Mabe	1	113	8
Potencia carga instalada [W]:			1706,4	
Energía diaria consumida [Wh/día]:			6768,1	

Elaborado por: Galo Baquero.

Para la estimación del consumo para equipos C.A., donde se muestra en la ecuación 46 [24]:

$$E_{CA} = \Sigma \#Equip \cdot Horas \cdot P_{Eq} = 6768,1 \text{ Wh/día} \quad (46)$$

Es así como resulta que la energía consumida diaria (E_{carga}) por el consumo es la adición de la energía consumida por los componentes de C.A. y C.C., mostrada en la ecuación 47. En el presente diseño no ha sido considerada ninguna carga de C.C.

$$E_{carga} = 0 + 6768,1 \frac{Wh}{día} = 6768,1 \frac{Wh}{día} \quad (47)$$

3.6 Características de los paneles FV tentativos del diseño del SFV AR

Sera necesario previo a aplicarse los métodos de diseño planteados, especificar los equipos tentativos a ser incluidos en el SFV AR. Por ello en base a la potencia total de las cargas en C.A. de la guardianía de La Mica, potencia de valor máximo de 1 706.4 W, es decir que $1\,706.4\text{ W} < 5\,000\text{ W}$, no excede el valor indicado en la tabla 4, por ello se trabajará con voltajes de 24 o 48 V, según sea más adecuado para los equipos. Es así como se toman en cuenta los siguientes paneles FV, según la tabla 9:

Tabla 9. Especificaciones eléctricas del panel FV policristalino 200 Wp

Descripción del panel FV:	Gi Power GP-200P-36, 200 W
Potencia nominal (Pmax)	200 Wp
Voltaje máximo (VMPP)	18,4 V
Intensidad máxima (IMPP)	10,87 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	22,3 V
Intensidad de corto circuito (Isc)	11,56 A

Fuente: Renova Energía [14].

Con el fin de calcular el rendimiento por temperatura en condiciones anormales y después el PR, se indica las características térmicas, mostradas en la tabla 10:

Tabla 10. Coeficientes de temperatura del panel FV policristalino 200 Wp

Descripción del panel solar FV:	Gi Power GP-200P-36, 200 W
Factor de temperatura de Pmax (γ)	- 0,38 % / °C
Factor de temperatura de Voc (β)	- 0,32 % / °C
Factor de temperatura de Isc (α)	0,08 % / °C
Temperatura operación nominal de célula (NOCT)	46 ± 2 °C

Fuente: Renova Energía [14].

El siguiente panel FV tiene una potencia máxima de 280 Wp, mayor al anterior en respuesta a que existe una potencia carga instalada sobre los 1500 W y con el fin de reducir el número de paneles solares empleados en el sistema FV AR.

Se considera utilizar para el diseño paneles FV de 280 Wp c/u, a continuación, sus características, mostradas en la tabla 11:

Tabla 11. Especificaciones eléctricas del panel FV policristalino 280 Wp

Descripción del panel FV:	Jinko Solar JKM280PP-60, 280 W
Potencia nominal (Pmax)	280 Wp
Voltaje máximo (VMPP)	32,3 V
Corriente máxima (IMPP)	8,69 A
Tensión en circuito abierto (Voc)	39,4 V
Intensidad de corto circuito (Isc)	9,20 A

Fuente: Renova Energía [14].

Con el fin de calcular el rendimiento por temperatura en condiciones anormales y después el PR, se indica las características térmicas siguientes, mostradas en la tabla 12:

Tabla 12. Coeficientes de temperatura del panel FV policristalino 280 Wp

Descripción del panel FV:	Jinko Solar JKM280PP-60, 280 W
Factor de temperatura de Pmax (γ)	- 0,40 % / °C
Factor de temperatura de Voc (β)	- 0,31 % / °C
Factor de temperatura de Isc (α)	0,06 % / °C
Temperatura operación nominal de célula (NOCT)	45 ± 2 °C

Fuente: Renova Energía [14].

3.7 Dimensionamiento de las baterías tentativas para el diseño del SFV

La capacidad de un batería es seleccionada en base a la capacidad de acumulación en amperios hora que es requerida por la energía diaria consumida, una vez descrito lo anterior se dará a conocer una variedad de baterías comerciales con capacidades definidas por el fabricante, que pueden ser empleadas para el sistema de acumulación. Las baterías son las siguientes, mostradas en la tabla 13:

Tabla 13. Especificaciones batería de ciclo profundo AGM 150 Ah / 12 V

Descripción de la batería:	Ritar DC12150 12 V 150 Ah
Voltaje nominal [V]	12
Capacidad nominal [Ah]	150

Fuente: Renova Energía [14].

La batería presentada a continuación en la tabla 14, tiene una mayor capacidad lo cual resultará beneficioso al momento de buscar un mejor uso de los componentes del sistema FV AR.

Tabla 14. Especificaciones batería de ciclo profundo AGM 200 Ah / 12 V

Descripción de la batería:	Ritar DC12-200 12 V 200 Ah
Voltaje nominal [V]	12
Capacidad nominal [Ah]	200

Fuente: Renova Energía [14].

3.8 Cálculo del rendimiento global (PR) del sistema FV AR

Una vez conocidos los paneles FV tentativos a utilizar y los datos meteorológicos de temperatura máxima y mínima, se procede a calcular el PR para el SFV AR. Previo a cálculo del PR fue necesario obtener el valor de rendimiento por temperatura a

condiciones anormales (η_{temp}), tal como se puede apreciar en la tabla 15, a continuación:

Tabla 15. Datos preliminares y resultados obtenidos para el cálculo de la η_{temp}

Datos y resultados del cálculo de la η_{temp}		
Ta	20	°C
NOCT	45	°C
CT	0,4	%/°C
Tc	51,69	°C
Htemp	0,89324	

Elaborado por: Galo Baquero.

Posteriormente se calcula el PR para el SFV AR, como se indicó en la ecuación 14 del capítulo II. Tal como se puede apreciar en la tabla 16, a continuación:

Tabla 16. Datos preliminares y resultados obtenidos para el cálculo de PR

Datos y resultados del cálculo de PR	
Htemp	0,89
Hsuc	0,98
Hreg	0,98
Hcab	0,98
Hbat	0,9
Haut	0,98
Hinv	0,97
PR	0,72

Elaborado por: Galo Baquero.

3.9 Propuesta de diseño del SFV AR para la guardianía de La Mica – REA

La siguiente propuesta de diseño se ha realizado en base a centralizar la generación fotovoltaica en un solo sitio, para ello se evaluará según los resultados del diseño teniendo en cuenta factores técnicos y económicos. Se considera la totalidad de los equipos descritos en el cálculo de la energía diaria consumida realizada para la guardianía de la Mica, en dicho cálculo se ha considerado el rendimiento global del sistema.

Se ha planteado dos tipos de paneles FV y de baterías a elección, para el diseño correspondiente al SFV AR para la guardianía de La Mica – REA, con el fin de maximizar el aprovechamiento del emplazamiento y optimizar la cantidad de equipos se ha seleccionado los de mayor potencia pico y capacidad nominal, respectivamente. Sin embargo, en el Anexo 42, se incluye el resumen de resultados de la capacidad de los equipos del SFV AR, para los equipos no seleccionados para el diseño final.

3.9.1 Datos preliminares para el método del cálculo del diseño del SFV AR para la guardianía de La Mica – REA

Los datos preliminares para partir con el diseño del SFV AR, se dan a conocer en la tabla 17, a continuación:

Tabla 17. Datos preliminares del método del cálculo del diseño del SFV AR

Datos preliminares para el diseño del SFV AR		
Globales		
Energía diaria consumida	6768,1	Wh/día
Potencia carga instalada	1706,4	W
HSP (Inclinación a 15°, peor mes)	4,67	H
Temperatura max	20	°C
Temperatura min	-1	°C
Días nublados por semana	2	Días
Potencia pico del arreglo FV		
Rendimiento global (PR)	0,72	
Potencia pico por panel FV	280,00	Wp
Voltaje en circuito abierto por panel FV	39,40	V
Corriente de cortocircuito por panel FV	9,20	A
Voltaje del sistema de almacenamiento	48	V
Capacidad del regulador de carga		
Factor de seguridad	1,25	
Capacidad del banco de baterías		
Capacidad individual por batería	200	Ah
Voltaje individual por batería	12	V
Días de autonomía	2	Días
PdD	50	%
Inversor		
Factor de seguridad	1,25	
Tensión de la carga instalada	120	V
Sección de los conductores		
Voltaje de carga de las baterías	55,2	V
Factor de potencia (cos Φ)	0,95	
Resistividad del cobre	0,0172	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$
Elementos de protección		
Factor de seguridad ITM	1,25	

Elaborado por: Galo Baquero.

3.9.2 Resultados del método de cálculo del diseño del SFV AR para la guardianía de La Mica – REA

De manera unificada, se ha organizado los resultados obtenidos en el diseño del SFV AR para la guardianía de La Mica – REA, donde se muestra de manera resumida los

valores obtenidos calculados y comerciales disponibles, como se puede apreciar en la tabla 18 a continuación:

Tabla 18. Resumen de resultados de la capacidad de los equipos del sistema FV AR

Tabla de resumen de la capacidad de los equipos del sistema FV AR						
Potencia pico total del arreglo FV				Pot p	2240	Wp
N ps:	4	N pp:	2	N° paneles FV:	8	
Capacidad total del banco de baterías				C bat T	600	Ah
N bat s:	4	N bat p:	3	N° baterías:	12	
Regulador de carga	Voltaje de entrada del regulador			V in Reg	157,6	V
	Corriente de entrada del regulador			I in Reg	23	A
	Potencia de entrada del regulador			Pot in Reg	2240	W
Inversor	Potencia del inversor			Pot inv	2400	W
	Tensión de entrada del inversor			V in Inv	48	V
	Tensión en la salida del inversor			V out inv	120	V
Cálculo de la sección del conductor	Arreglo FV	Regulador	Tramo N°1	Calibre	10	AWG
	Regulador	Baterías	Tramo N°2	Calibre	10	AWG
	Regulador	Inversor	Tramo N°3	Calibre	8	AWG
	Inversor	Tablero dist.	Tramo N°4	Calibre	12	AWG
Cálculo de elementos de protección	Arreglo FV	Regulador	Tramo N°1	Corriente del ITM	30	A
	Regulador	Baterías	Tramo N°2	Corriente del ITM	50	A
	Regulador	Inversor	Tramo N°3	Corriente del ITM	63	A
	Inversor	Tablero dist.	Tramo N°4	Corriente del ITM	25	A
	Arreglo FV	Regulador	Tramo N°1	Voltaje SPD CC	300	V
Inversor	Tablero dist.	Tramo N°4	Voltaje SPD AC	350	V	
Inversor	Tablero dist.	Tramo N°4	Corriente del ID	40	A	
Cálculo del área del emplazamiento del sistema FV AR					13,0944	m2

Elaborado por: Galo Baquero.

3.9.3 Estudio del emplazamiento para ubicar el arreglo FV del diseño del SFV AR para la guardianía de La Mica – REA

Para ubicar los paneles FV de manera apropiada es necesario conocer la latitud de la guardianía de la Mica, como ya se conoce su latitud es de -0.5369° ya que las latitudes negativas se encuentran al hemisferio sur, por lo tanto, cada panel FV del conjunto arreglo FV deberá ir orientado hacia el norte como fue descrito en el Capítulo II y se indica en la Figura 17, a continuación:

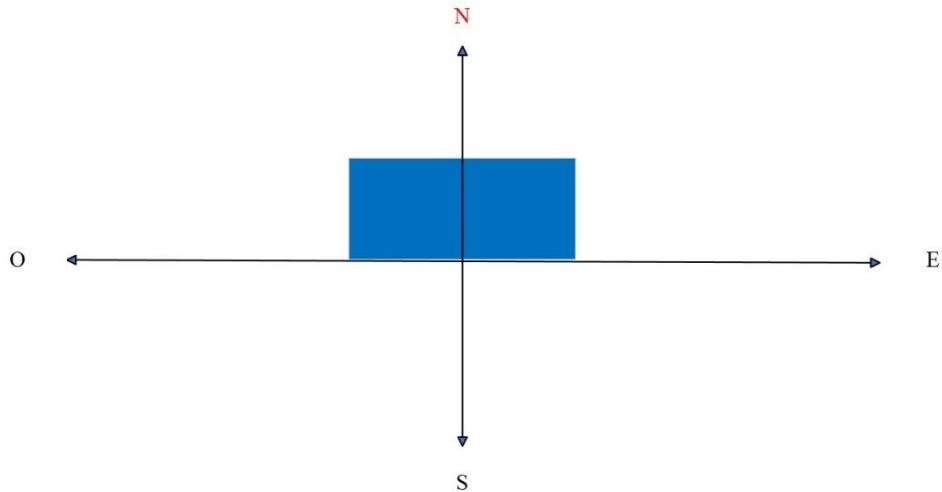


Figura 17. Orientación por cada panel FV para el diseño del sistema FV AR.
Elaborado por: Galo Baquero.

3.9.3.1 Datos preliminares para calcular el área del arreglo FV y el área disponible del emplazamiento

En la tabla 19 se muestra los datos del arreglo FV y de cada panel FV, a continuación:

Tabla 19. Datos preliminares del arreglo FV y panel FV del diseño del SFV AR

Datos del arreglo FV y de los paneles FV		
Número de paneles FV:	8	
Nº de paneles FV en serie:	4	
Nº de paneles FV en paralelo:	2	
Medidas del Panel FV		
Alto	1650	Mm
Largo	992	Mm
Ancho	35	Mm

Elaborado por: Galo Baquero.

En la tabla 20 se da a conocer las medidas para calcular el área disponible en el emplazamiento, para facilitar los cálculos se dividió la superficie en un rectángulo y dos triángulos rectángulos iguales.

Tabla 20. Datos preliminares de las medidas del emplazamiento disponible

Medidas del emplazamiento disponible			
Rectángulo	Base	3600	Mm
	Altura	3500	Mm
Primero y segundo triángulo rectángulo	Base	3250	Mm
	Altura	3500	Mm

Elaborado por: Galo Baquero.

3.9.3.2 Resultados del área del arreglo FV y el área disponible del emplazamiento

Se hizo necesario determinar el área por cada panel FV para posterior obtener el área del arreglo FV. Para después obtener el área disponible del emplazamiento, es necesario aclarar que siempre que esta área debe ser mayor o igual al área del arreglo FV con el fin de facilitar la implementación del arreglo FV en el emplazamiento. La tabla 21 da a conocer los resultados del estudio.

Tabla 21. Estudio del emplazamiento para ubicar el arreglo FV del diseño del SFV AR

Resultados del área del arreglo FV y área disponible del emplazamiento		
Área por cada panel FV	1,6368	m2
Área del arreglo FV	13,0944	2
Área disponible del emplazamiento	23,975	m2

Elaborado por: Galo Baquero.

3.9.4 Simbología eléctrica del diagrama unifilar del sistema FV AR para la guardianía de La Mica de la REA, diseño final

Se presenta la simbología eléctrica con su respectiva nomenclatura para realizar e interpretar el diagrama unifilar del sistema FV AR para la guardianía de La Mica de la REA. Como muestra la Figura 18., de la siguiente manera:

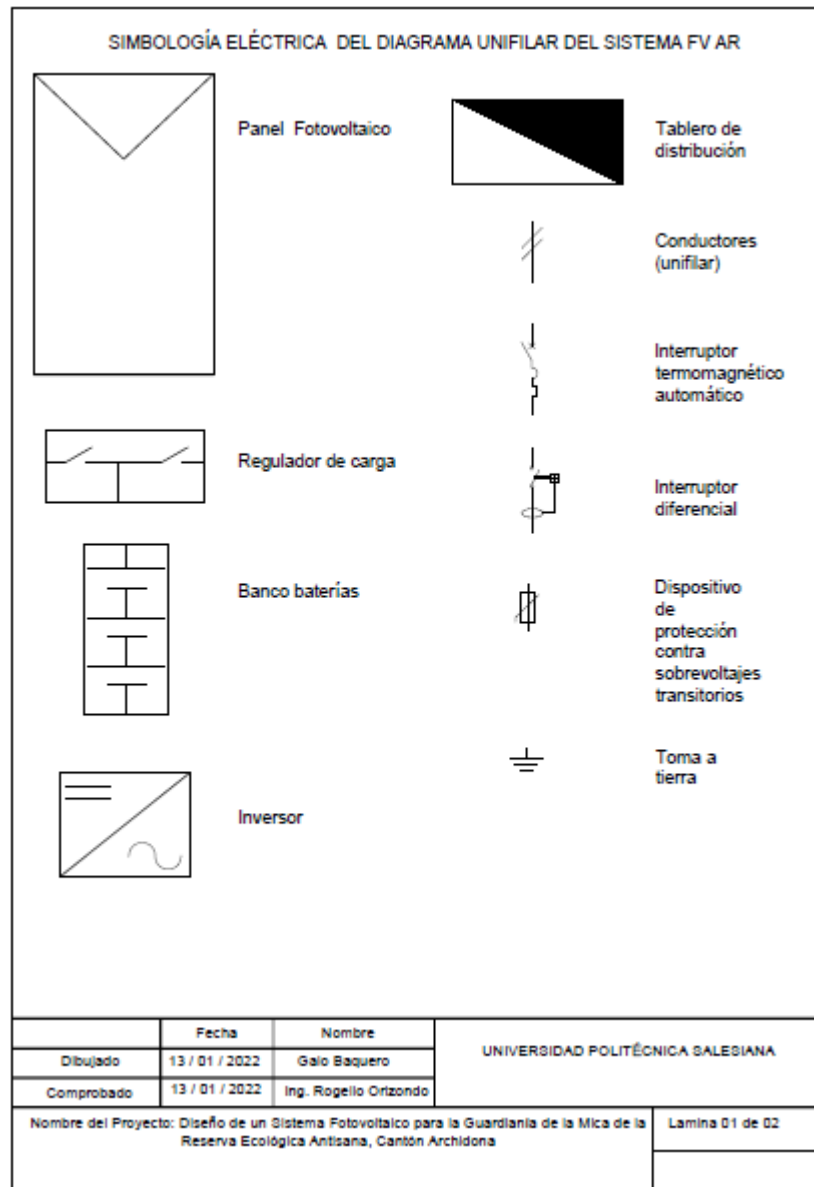


Figura 18. Simbología eléctrica para el diagrama unifilar del sistema FV AR.
Elaborado por: Galo Baquero.

3.9.5 Diagrama unifilar del sistema FV AR para la guardianía de La Mica de la REA, diseño final

Se presenta el diagrama unifilar del sistema FV AR para la guardianía de La Mica de la REA, diseño final. Como manera indicativa para una posible implementación de este sistema FV AR. Como muestra la Figura 19., de la siguiente manera:

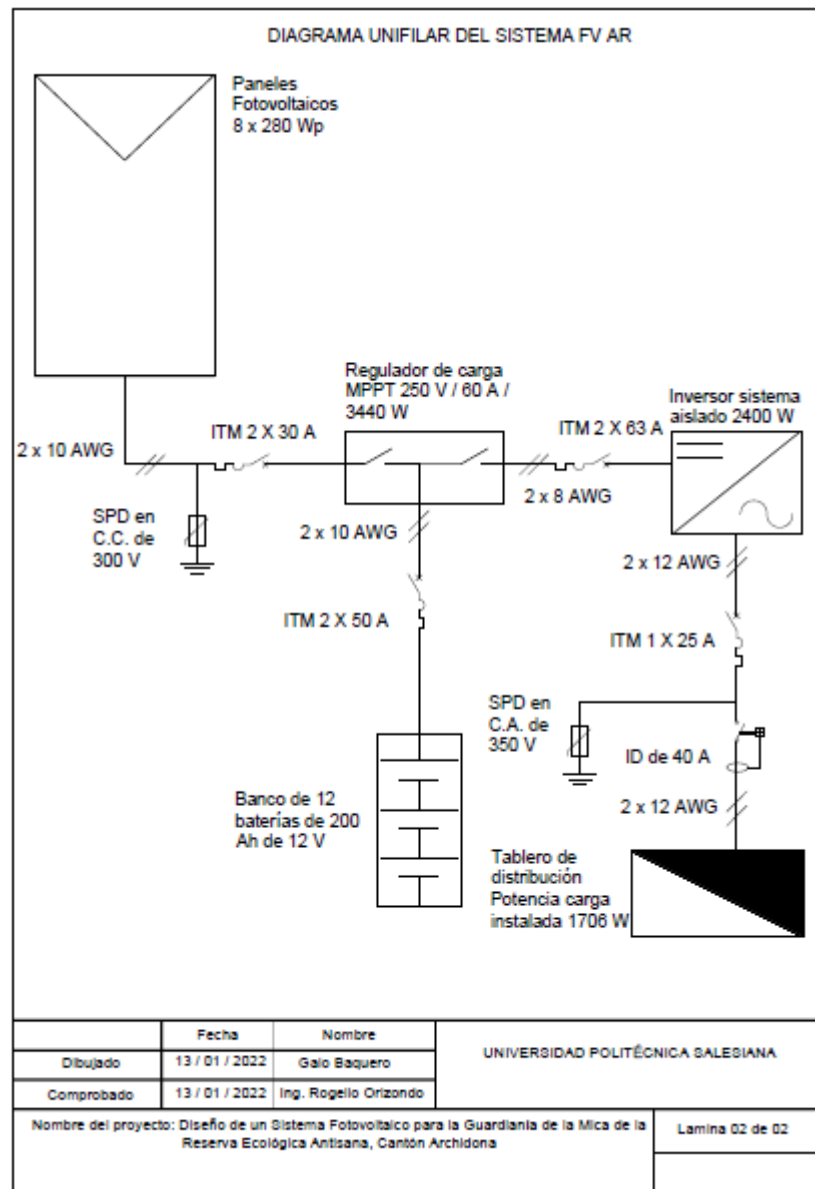


Figura 19. Diagrama unifilar del SFV AR para la guardianía de la Mica de la REA.
Elaborado por: Galo Baquero.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Diseño final para el SFV AR para la guardianía de La Mica de la REA

En el presente diseño del SFV AR se ha procurado brindar las condiciones técnicas necesarias para su eventual implementación, debido a que se logró aprovechar de manera eficiente el emplazamiento disponible para ubicar el arreglo FV, con un adecuado cálculo y selección de cada equipo del SFV AR. Posteriormente se dará una breve pero detallada descripción de los equipos seleccionados y de la distribución de los paneles FV en el emplazamiento de la guardianía de La Mica.

4.2 Descripción de los equipos seleccionados en el diseño del SFV AR

Cada equipo será descrito con el mayor detalle posible, de la misma manera con su cantidad necesaria y finalmente su configuración en el caso del arreglo FV y banco de baterías, para brindar una mejor comprensión. La tabla 22 a continuación describe esto en detalle:

4.2.1 Descripción del panel FV y arreglo FV seleccionado para el SFV AR

En la tabla 22 se dan a conocer las especificaciones eléctricas para el panel FV policristalino y el arreglo FV seleccionados, también se da a conocer el número de paneles FV que componen el arreglo FV, tal como se muestra a continuación:

Tabla 22. Datos del panel FV policristalino y arreglo FV seleccionado para el diseño del SFV AR

Panel FV policristalino y Arreglo FV seleccionado para el diseño del SFV AR		
Potencia pico por panel FV	280	Wp
Voltaje en circuito abierto por panel FV	39,4	A
Corriente de cortocircuito por panel FV	9,2	V
Número de paneles FV:	8	
N° de paneles FV en serie:	4	
N° de paneles FV en paralelo:	2	
Voltaje en circuito abierto del arreglo FV	157,6	V
Corriente de cortocircuito del arreglo FV	18,4	A
Potencia pico total del arreglo FV	2240	Wp

Fuente: Renova Energía [14].

La disposición seleccionada para el arreglo FV del SFV AR, ofrece las mejores condiciones tanto para el regulador de carga y la sección de conductor, porque al tener

una menor corriente de corto circuito del arreglo FV y mayor voltaje en circuito abierto, por ende, se tiene menores pérdidas por efecto Joule en los conductores y una caída de voltaje tolerable. La disposición del arreglo FV se puede apreciar en la Figura 20, a continuación:

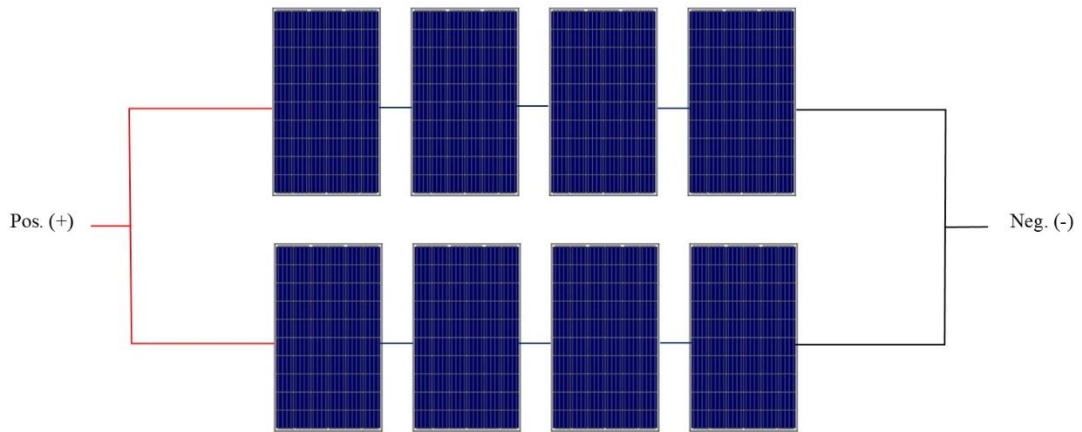


Figura 20. Disposición del arreglo FV para el diseño del SFV AR.
Elaborado por: Galo Baquero.

4.2.2 Descripción del regulador de carga MPPT seleccionado para el SFV AR

La tabla 23 muestra las especificaciones del regulador MPPT de carga seleccionado para el SFV AR.

Tabla 23. Datos de selección y regulador de carga MPPT seleccionado para el SFV AR

Datos para selección y regulador de carga MPPT seleccionado para el sistema FV AR		
Voltaje de entrada del regulador	157,6	V
Corriente de entrada del regulador	23	A
Potencia de entrada del regulador	2240	W
Voltaje del sistema de almacenamiento	48	V
Voltaje máximo del circuito abierto FV	250	V
Corriente nominal de carga	60	A
Potencia nominal FV, 48 V	3440	W

Fuente: Renova Energía [14].

El regulador de carga seleccionado cuenta con un algoritmo MPPT, que maximiza el aprovechamiento de la potencia entregada por el arreglo FV y de esta manera puede abastecer la carga de las baterías cuando se lo requiera y la energía consumida por la carga instalada.

4.2.3 Descripción de la batería y banco de baterías seleccionado para el sistema FV AR

La tabla 24 indica las especificaciones de la batería seleccionada y su respectivo banco, como se puede apreciar a continuación:

Tabla 24. Datos de la batería seleccionada y banco de baterías para el SFV AR

Datos de la batería seleccionada y banco de baterías para el sistema FV AR		
Voltaje de la batería	12	V
Capacidad por cada batería	200	Ah
Voltaje del sistema de almacenamiento	48	V
Nº baterías en paralelo:	3	
Nº baterías serie:	4	
Nº baterías totales:	12	
Capacidad total del banco de baterías	600	Ah

Fuente: Renova Energía [14].

Se muestra en la Figura 21, la disposición establecida para el banco de baterías del SFV AR, realizado en base al número de baterías en serie y paralelo, a continuación:

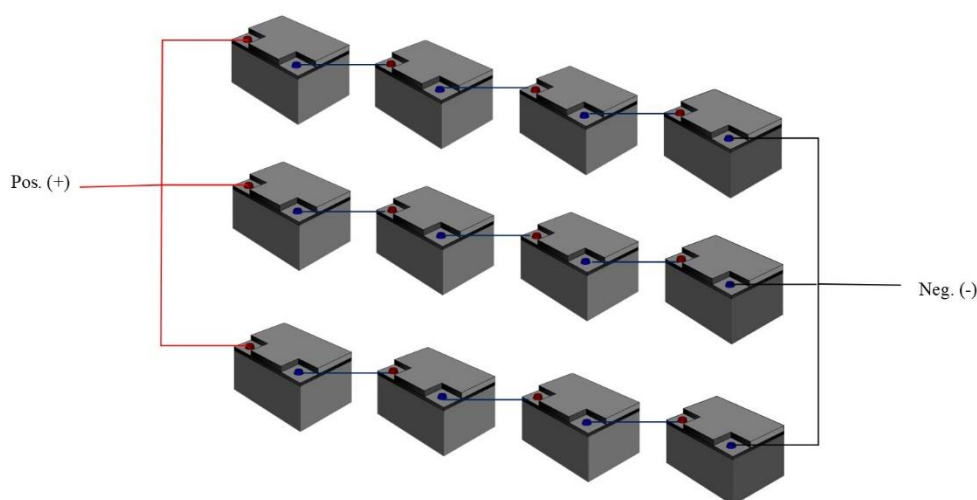


Figura 21. Disposición del banco de baterías para el SFV AR.
Elaborado por: Galo Baquero.

4.2.4 Descripción del inversor seleccionado para el SFV AR

La tabla 25 muestra los datos del inversor seleccionado para el SFV AR, siguiente:

Tabla 25. Datos de inversor seleccionado para el SFV AR

Datos del inversor seleccionado para el SFV AR		
Tensión de entrada del inversor	48	V
Tensión de salida del inversor	120	V C.A.
Potencia del inversor	2133	W
Potencia del inversor comercial	2400	W

Fuente: Renova Energía [14].

Es importante mencionar que el inversor seleccionado debe ser para sistemas aislados de la red eléctrica, ya que esto garantiza un adecuado funcionamiento para abastecer las cargas instaladas, para las cuales fue diseñado el SFV AR.

4.2.5 Descripción de los conductores seleccionados para el SFV AR

Los datos de la selección de los conductores y calibres de conductores para el SFV AR se pueden apreciar en la tabla 26, a continuación:

Tabla 26. Datos para seleccionar los conductores y calibres seleccionados para el SFV AR

Tramo N°	Equipo 1	Equipo 2	Intensidad nominal [A]	Sección [mm ²]	AWG	Longitud de cada tramo [m]	Caída de voltaje [%]
1	Arreglo FV	Controlador de carga	23	5,26	10	15	2,26
2	Controlador de carga	Baterías	40,58	5,26	10	2	0,53
3	Controlador de carga	Inversor	50,00	8,37	8	3	0,62
4	Inversor	Tablero de distribución	20,00	3,31	12	8	1,58

Elaborado por: Galo Baquero.

El tipo de conductor elegido fue el de tipo conductor de cobre THHN FLEX 600 V 90 °C con las siguientes características:

- Conductor: Cable de cobre blando, extraflexible, clase i.
- Aislación: Policloruro de vinilo (PVC) para una temperatura de operación nominal de 90 °C.
- Cubierta exterior: Nylon, brinda al cable propiedades mecánicas, eléctricas, térmicas y químicas

4.2.6 Descripción de los elementos de protección seleccionados para el SFV AR

En la tabla 27 se muestran los datos de los elementos de protección seleccionados para el SFV AR.

Tabla 27. Datos de los elementos de protección seleccionados para el SFV AR

Tramo N°	Equipo 1	Equipo 2	Corriente del ITM [A]	Valores comerciales de corriente ITM [A]	Voltaje máximo del SPD [V]	Corriente de descarga máxima SPD [kA]	Corriente del ID [A]
1	Arreglo FV	Controlador de carga	28,75	30	300	40	N/A
2	Controlador de carga	Baterías	50,72	50	N/A	N/A	N/A
3	Controlador de carga	Inversor	62,5	63	N/A	N/A	N/A
4	Inversor	Tablero de distribución	25	25	350	20	40

Elaborado por: Galo Baquero.

Los elementos de protección que fueron considerados y seleccionados para el diseño del SFV AR, son de importancia para proteger frente a sobrecargas, cortocircuitos, sobrevoltajes transitorios y corrientes de fuga. Por otra parte, serán útiles para proteger a los conductores de sobrecalentamiento y a los equipos de daños. En el mantenimiento de los sistemas FV AR, es importante tener elementos de protección y seccionamiento manuales, para facilitar el acceso a estos equipos.

4.2.7 Distribución de los paneles FV en el emplazamiento de la guardiana de La Mica – REA

Para ello se ubicó a los paneles FV mirando hacia el Norte por lo descrito en el Capítulo II y verificado mediante la latitud del emplazamiento realizado en el Capítulo III. Por ello fue necesario obtener el área del arreglo FV y el área disponible del emplazamiento. Como se puede apreciar en la tabla 28 a continuación:

Tabla 28. Datos del área para el arreglo FV y área disponible del emplazamiento para el diseño del SFV AR

Datos del área del arreglo FV y área disponible del emplazamiento		
Área del arreglo FV	13,0944	m2
Área disponible del emplazamiento	23,975	m2

Elaborado por: Galo Baquero.

Se procedió a realizar el esquema de la configuración de los paneles FV en el área disponible del emplazamiento como se muestra en la Figura 22, debido a que el área del emplazamiento es mayor al área del arreglo FV es útil para ubicar el arreglo FV.

Sin embargo, se ha de justificar la posible implementación de los paneles FV en el área de triángulos rectángulos.

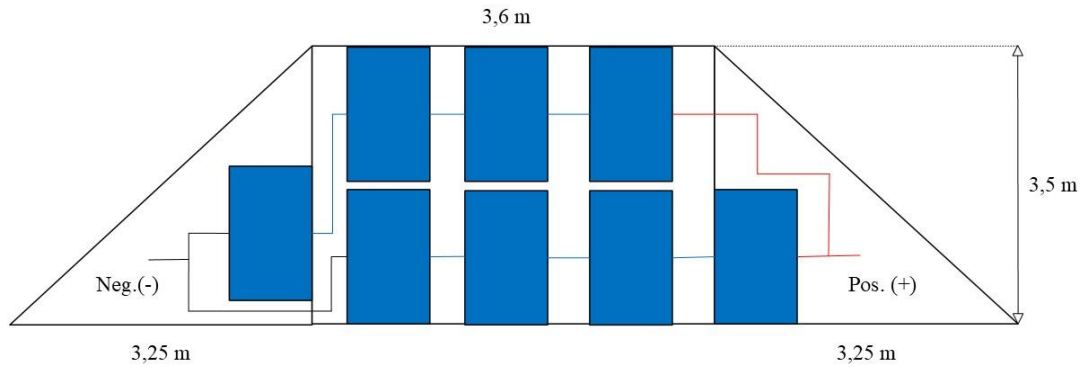


Figura 22. Distribución de los paneles FV en el emplazamiento de la guardianía de La Mica – REA.
Elaborado por: Galo Baquero.

CONCLUSIONES

Por medio del diseño del sistema fotovoltaico para la guardianía de La Mica de la REA, cantón Archidona, se realizó y describió el diseño final del sistema FV AR con sus características eléctricas principales y el número de los componentes seleccionados, tales como: 8 paneles FV de 280 Wp, 12 baterías AGM de 12 V / 200 Ah, 1 regulador de carga MPPT de 250 V / 60 A, 1 inversor de sistemas aislados de 48 V / 3000 VA, conductores de cobre THHN FLEX del calibre 12 – 8 AWG, ITM de 25, 30, 50 y 63 A, SPD en C.C. de 300 V, SPD en C.A. de 350 V e ID de 40 A. De manera que también se mostró por medio de diagramas la configuración del arreglo FV y banco de baterías. Se buscó a través del diseño del sistema FV AR brindar la electrificación a los servicios de comunicaciones en general, equipos informáticos y servicios básicos por medio de la generación alternativa de energía eléctrica, así se propone a la REA una generación de energía limpia y renovable, ya que es una buena opción visto desde el aspecto ambiental.

Se eligió un regulador de carga del tipo MPPT, por tener mayor número de ventajas que su homólogo del tipo PWM que se recomienda para pequeñas potencias FV, en cambio el regulador MPPT maneja potencias FV a mediana escala, entre otros aspectos es que maximiza el aprovechamiento del recurso solar.

Se seleccionó una batería del tipo AGM por tener una buena relación costo – beneficio, lo cual es importante para el aspecto técnico y económico, otro aspecto de interés es que no requiere mantenimiento, su vida útil es larga en dependencia de su número de ciclos y profundidad de descarga.

Se optó por un inversor para sistemas aislados ya que no estará conectado a la red eléctrica sino más bien funcionará independientemente de la red y en caso de requerir la red eléctrica convencional se dispondrá de un interruptor para la transferencia manual de estas dos opciones de electrificación.

El sistema FV AR al ser comparado con la red eléctrica convencional no resulta ser una opción tan conveniente, sin embargo, al ser comparado con un grupo electrógeno resulta ser una muy buena opción por el aspecto técnico, económico y ambiental.

RECOMENDACIONES

Se recomienda considerar otras propuestas de diseño tanto en variabilidad de los componentes utilizados para el diseño, como del tipo de sistema FV ya que se puede incorporar sistemas FV híbridos para garantizar una mayor continuidad del servicio de energía eléctrica hacia las cargas instaladas en el emplazamiento de la guardianía de La Mica y evitar largos periodos de desabastecimiento de la demanda. De manera que se puede aprovechar el emplazamiento donde sería implementado el sistema FV, seleccionando componentes de mayor capacidad para la acumulación de energía y potencia FV para la generación.

Es aconsejable que la batería empleada en el sistema FV, no se la descargue por completo ya que esto disminuye la vida útil de la misma, lo que se conoce como profundidad de descarga, y esto también se ve afectado por la cantidad de ciclos de carga y descarga.

Se recomienda también que el inversor empleado para el sistema FV AR sea específicamente para sistemas aislados, ya que el sistema FV AR requiere funcionar como fuente de voltaje, más no como una de corriente. El inversor al estar conectado al regulador de carga podría causar transitorios de corriente por lo cual es aconsejable que se conecte directamente la batería hacia el inversor, así como también se debe seleccionar un inversor del tipo de onda senoidal pura para efectos de mejorar el aprovechamiento de la energía eléctrica entregada.

Se debe realizar un análisis de factibilidad y económico para posteriores diseños de sistemas FV y un análisis de calidad para los componentes, ya que esto facilita la toma de decisiones para diseñar el sistema FV final y optimiza el aprovechamiento del recurso solar en el sitio de estudio. En el caso del análisis de calidad, en caso de carecer de recomendaciones nacionales, se pueden utilizar regulaciones internacionales.

REFERENCIAS

- [1] I. Endara *et al.*, “Ministerio del Ambiente y Agua. Plan de Manejo del Parque Nacional Antisana.,” *Quito-Ecuador.*, p. 168, 2020.
- [2] NEC -11, “Norma Ecuatoriana de Construcción NEC – 11, Capitulo 14 Energías Renovables,” *Norma Ecuatoriana De Construccion, NEC-11*, p. 110, 2011.
- [3] J. Crespo and J. Peralta, ““Estudio e implementación de un sistema de micro generación solar fotovoltaico para autoconsumo (caso de estudio considerando la regulación Nro. ARCONEL- 003/18),”” 2019.
- [4] A. Miguel Dávila, “Estudio de técnicas invasivas y no invasivas para evaluar el deterioro de paneles solares fotovoltaicos,” 2020.
- [5] NFPA, *National Electrical Code*. 2017.
- [6] Sunfields Europe and J. A. L. Alonso, “SunFields Europe Calculo Fotovoltaica Autonomas.,” p. 15, 2011, [Online]. Available: https://www.sfe-solar.com/wp-content/uploads/2011/08/Sunfields_Manual-Calculo_Fotovoltaica_Autonomas.pdf.
- [7] “Google Earth,” *Earth.google.com*, 2021. <https://earth.google.com> (accessed Dec. 27, 2021).
- [8] M. R. S. Pelaez and J. L. A. Espinoza, *Energías renovables en el Ecuador. Situación actual, tendencias y perspectivas*. 2015.
- [9] J. M. Mendez, “Diseño de un sistema fotovoltaico estándar para alimentación con energía eléctrica a viviendas en el Distrito de Sanagoran – Sánchez Carrión,” 2017.
- [10] I. Morán and K. León, “Diseño e implementación de un sistema de iluminación fotovoltaico de respaldo para los laboratorios de electrónica de potencia y control automático.,” 2015.
- [11] J. A. S. España and E. F. J. Villarruel, “Diseño de un sistema de energía fotovoltaica de emergencia para la iluminación en laboratorios,” 2011.
- [12] P. L. Corrales, P. R. D. Buitron, and G. G. V. Burbano, “Elaboración de una normativa para el diseño y diagnóstico de sistemas fotovoltaicos residenciales autónomos para el Ecuador,” 2010.
- [13] Sunfields Europe, “Tipos de paneles solares,” 2018. <https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/> (accessed Jul. 05, 2021).
- [14] Renova Energía S.A., “Productos.” <https://www.renova->

- energia.com/productos/ (accessed Jul. 05, 2021).
- [15] O. Perpiñan Lamigueiro, *Energía Solar Fotovoltaica*. 2015.
- [16] Bureau Baterías, “Productos.”
<https://www.bureaubaterias.com/renovables/es/instalaciones-fotovoltaicas-productos.php> (accessed Jul. 05, 2021).
- [17] L. A. De La Torre and G. E. Cárdenas, “Diseño e implementación de instalaciones eléctricas y telefónicas residenciales,” 2014.
- [18] Schneider Electric, “Productos,” 2021.
<https://www.se.com/co/es/search/termomagnetico?multifilter=Productos&mfLevel=1> (accessed Jan. 10, 2021).
- [19] D. Revelo Vaca, F. Ordóñez, and J. Villada, “Mapa Solar del Ecuador,” *Scinergy*, p. 30, 2019.
- [20] J. Cevallos-Sierra and J. Ramos-Martin, “Spatial assessment of the potential of renewable energy: The case of Ecuador,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 81, no. August 2017, pp. 1154–1165, 2018, doi: 10.1016/j.rser.2017.08.015.
- [21] A. Santos Fuentefria, R. Díaz Santos, and Y. Hernández Pérez, “Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda,” *ResearchGate*, no. June, p. 12, 2017.
- [22] J. D. C. Garcia, “Diseño de un sistema fotovoltaico para el centro de educacion permanente ‘San Bartolo,’” 2020.
- [23] P. Potes and X. Proaño, “Diseño de un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red en el Bloque B de la Universidad Técnica de Cotopaxi,” *Rev. Técnica “Energía,”* vol. 16, no. 2, pp. 148–157, 2020, doi: 10.37116/revistaenergia.v16.n2.2020.362.
- [24] S. Salamanca-Avila, “Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá,” *Rev. científica*, vol. 3, no. 30, pp. 263–277, 2017, doi: 10.14483/23448350.12213.
- [25] “Data Access Viewer – NASA POWER,” *Nasa.gov*, 2021.
<https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accessed Dec. 20, 2021).

ANEXOS

Anexo1: Toma de datos en campo de las características de la acometida eléctrica de la empresa distribuidora en la guardianía de la Mica de La REA.

INSPECCION DE EQUIPOS DE ENERGIA PAG. 1 DE: 1

FECHA: 5/5/2021

CANTÓN: Archidona

CIUDAD/LOCALIDAD: Archidona / La Mica PROVINCIA: Napo

ACOMETIDA DE CORRIENTE ALTERNA

NOMBRE DE LA COMPAÑIA DE ELECTRICIDAD: EPMAPS

TRANSFORMADOR TRIFASICO(SI/NC) NO CAPACIDAD: N/A TIPO DE CONEXIÓN: _____

TRANSFORMADOR MONO FASICO(S) SI CAPACIDAD: 10 kVA TIPO DE CONEXIÓN: _____

TENSION DE SERVICIO: _____ PRIMARIO: 13,8 kVA SECUNDARIO: 240/120 V

ALIMENTADOR ENTRE EL BANCO DE TRANSFORMACION Y EL INTERRUPTOR PRINCIPAL DE LA COMPAÑIA ELECTRICA.

N° CABLES POR FASE: 1 CALIBRES: # 6AWG AISLAMIENTO: PVC

N° CABLES NEUTRO: 1 CALIBRES: # 6AWG AISLAMIENTO: PVC

N° CABLES DE TIERRA 1 CALIBRES: _____ AISLAMIENTO: N/A

MATERIAL DEL CONDUCTOR: _____ COBRE: X ALUMINIO: _____

INTERRUPTOR PRINCIPAL:

MARCA: Schneider MODELO: EZC100H 40A TIPO: Interruptor automatico

CAPACIDAD ARMADURA: _____ A. AJUSTE DE DISPARO: _____

CAPACIDAD INTERRUPCION: 5 kA KAcc RMS, EN 50 V.

ALIMENTADOR ENTRE INTERRUPTORES PRINCIPALES

N° CABLES POR FASE: _____ CALIBRES: #6 AWG AISLAMIENTO: PVC

N° CABLES D/NEUTRO: _____ CALIBRES: #6 AWG AISLAMIENTO: PVC

N° CABLES D/TIERRA: _____ CALIBRES: _____ AISLAMIENTO: NO

MATERIAL DEL CONDUCTOR _____ COBRE: X ALUMINIO: _____

Elaborado por: Galo Baquero.

Anexo 2: Toma de datos en campo de las características del tablero eléctrico de C.A. en la guardianía de La Mica de la REA.

INSPECCIÓN DE EQUIPOS DE ENERGIA TABLERO DE CORRIENTE ALTERNA	PAG. <u>1</u> DE <u>1</u> FECHA: <u>5/5/2021</u>
--	---

NOMBRE: Guardiana de la Mica CANTÓN: Archidona
 CIUDAD/LOCALIDAD: Archidona / La Mica PROVINCIA: Napo

TABLERO: Distribucion		ALIMENTADOR		Aislante	Color	Levantado por: Galo Baquero
Ubicación: Exterior		Fases: 2	PVC	Negro	TENSION (V)	
Marca: Schneider	Tipo: Superficial <input type="checkbox"/>	Neutro: 1	PVC	Negro	AB:	242
Modelo:	Embutido <input checked="" type="checkbox"/>	Tierra: 1	N/A	N/A	BC:	N/A
Canalización de entrada (ø) :		INTERRUPTOR PRINCIPAL				
DIMENSIONES DEL TABLERO (m)		Marca: Schneider	Tipo: Interruptor automatico		AC:	N/A
Alto: 0,36	Profundic 0,16	Capacidad (Amp): 40	Volts: 240		AN:	121
Ancho: 0,26	Altura desde el suelo: 1,68	Polos: 2	KAcc: 50		BN:	121
					CN:	N/A

EXISTE BARRA DE NEUTRO?(SI/NO) SI
 EXISTE BARRA DE TIERRA? (SI/NO) SI

Elaborado por: Galo Baquero.

Anexo 3: Inspección de campo de las características de la acometida eléctrica de la empresa distribuidora en la guardianía de La Mica de la REA.



Anexo 4: Inspección de campo de las características del interruptor principal de la guardianía de La Mica de la REA.



Anexo 5: Inspección de campo de las características del tablero eléctrico de C.A. en la guardianía de La Mica de la REA.



Anexo 6: Toma de las medidas de la superficie del techo donde se busca instalar el SFV en el emplazamiento de la guardianía de La Mica de la REA.



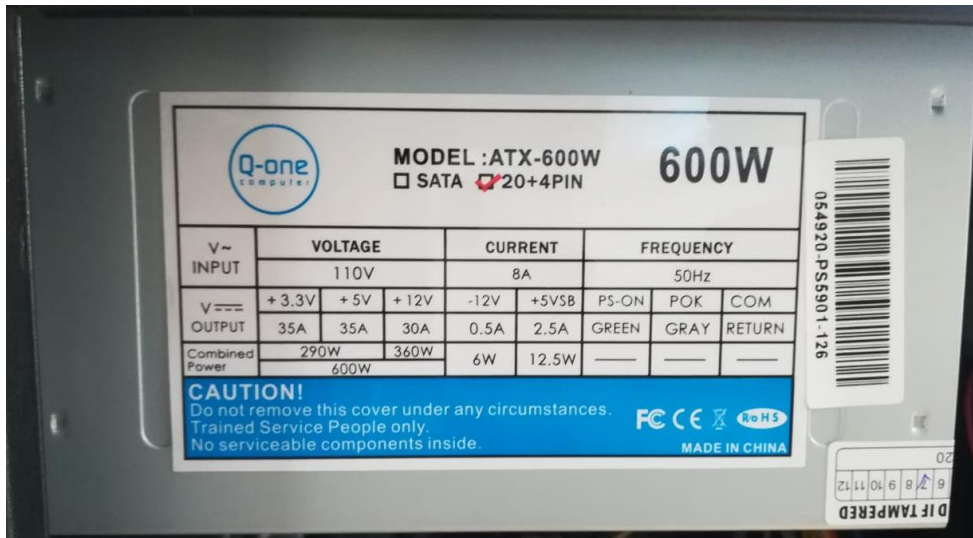
Anexo 7: Orientación del techo donde se busca instalar el sistema FV en el emplazamiento de la guardianía de La Mica de la REA.



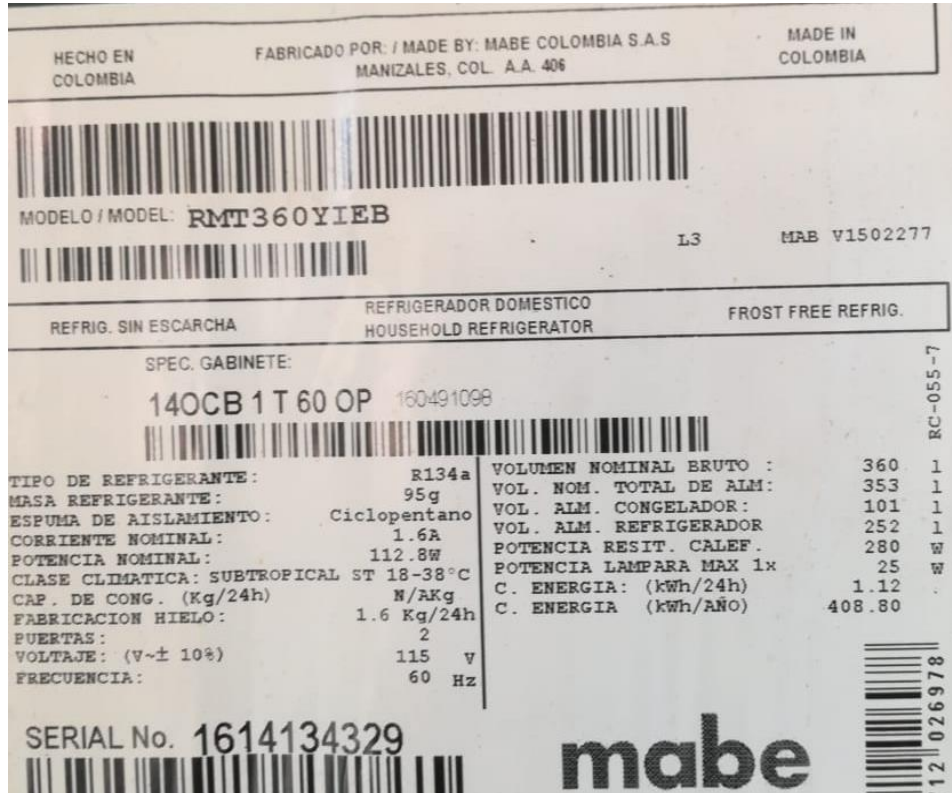
Anexo 8: Toma de datos de la carga: router Linksys E900, para calcular energía diaria consumida en la guardianía de La Mica de la REA.



Anexo 9: Toma de datos de la carga: PC de escritorio, para calcular energía diaria consumida en la guardiana de La Mica de la REA.



Anexo 10: Toma de datos de la carga: refrigeradora Mabe, para calcular energía diaria consumida en la guardiana de La Mica de la REA.



Anexo 11: Especificaciones eléctricas de la hoja técnica de la carga: Televisor LG 42PT250B, para calcular energía diaria consumida en la guardianía de La Mica de la REA.

ESPECIFICACIONES

Las especificaciones del producto pueden cambiar sin previo aviso debido a las actualizaciones de las funciones de los productos.

Sistema de televisión	NTSC, PAL-M/N, SBTVD	
Cobertura de programas	VHF 2-13, UHF 14-69, CATV 1-135	
Impedancia de antena externa	75 Ω	
Condición de ambiente	Temperatura de funcionamiento	0 a 40 °C
	Humedad de funcionamiento	Menos de 80 %
	Temperatura de almacenamiento	-20 a 60 °C
	Humedad de almacenamiento	Menos de 85 %

MODELOS		42PT250B (42PT250B-SA)	50PT250B (50PT250B-SA)
Dimensiones (Ancho x Altura x Profundidad)	Con pie	987,6 mm x 662,8 mm x 230,5 mm	1 171,9 mm x 770,9 mm x 289,8 mm
	Sin pie	987,6 mm x 608,9 mm x 52,5 mm	1 171,9 mm x 712,2 mm x 52,5 mm
Peso	Con pie	21,4 kg	29,5 kg
	Sin pie	19,9 kg	27,2 kg
Corriente de consumo / Consumo de la potencia		2,1 A / 210 W	3,0 A / 300 W
Potencia requerida		AC100 - 240 V ~ 50/60 Hz	

Anexo 12: Especificaciones eléctricas de la hoja técnica de la carga: PC HP Compaq 6200 pro, para calcular energía diaria consumida en la guardianía de La Mica de la REA.

Especificaciones eléctricas

Característica	Descripción
Eficiencia estándar	240 W con PFC activo
Alta eficiencia ¹	240 W con PFC activo eficiente a un 87 %/90 %/87 % a una carga del 20 %/50 %/100 %
Rango de voltaje en funcionamiento	90 a 264 VCA
Rango de voltaje nominal	100 a 240 VCA
Frecuencia de línea nominal	50/60 Hz

Anexo 13: Especificaciones eléctricas de la hoja técnica de la carga: radio móvil MOTOTRBO DGM 6100, para calcular energía diaria consumida en la guardiana de La Mica de la REA.

ESPECIFICACIONES DEL RADIO MÓVIL MOTOTRBO DGM 6100 / DGM 6100+

GENERAL	VHF	UHF	
		BAND I	BAND II
Número de canales	160		
Salida RF típica			
Potencia baja	1-25 W	1-25 W	1-40 W
Potencia alta	25-45 W	25-40 W	(1-25 W above 512 MHz)
Frecuencia	136 - 174 MHz	403-470 MHz	450-527 MHz
Dimensiones (AlxAnxProf)	251 x 175 x 206 mm (2.01 x 6.89 x 8.11 in)		
Peso	1.8 kg (4.0 lbs.)		
Consumo de corriente:	0.81 A max		
En espera	2 A max		
Recepción a audio nominal	1-25 W: 11.0 A max		
Transmisión	25-40 W: 14.5 A max		
Aprobación FCC	ABZ99FT3083	ABZ99FT4081	ABZ99FT4083
	ABZ99FT3082	ABZ99FT4080	


Anexo 14: Especificaciones eléctricas de la hoja técnica de la carga: monitor HP L1710, para calcular energía diaria consumida en la guardiana de La Mica de la REA.

Control de energía	
Consumo energético *	30 W
Consumo de energía (inactivo) *	2 W

Anexo 15: Especificaciones eléctricas de la hoja técnica de la carga: impresora Epson L6171, para calcular energía diaria consumida en la guardiana de La Mica de la REA.

Características ecológicas

Sólo 12W en modo operación:
Hasta 90% menos energía vs. láser color[®]
Cumple las normas de ENERGY STAR[®]
Cumple la directiva RoHS



Anexo 16: Especificaciones eléctricas de la hoja técnica de la carga: iluminación Led, para calcular energía diaria consumida en la guardiana de La Mica de la REA.

CÓDIGO	POTENCIA	TENSIÓN DE OPERACIÓN	FLUJO LUMINOSO	FACTOR DE POTENCIA	EFICACIA	TEMPERATURA DE COLOR	IRC	ÁNGULO	VIDA ÚTIL
	(W)	(V)	(lm)		(lm/W)	(k)		°	(h)
P29362	9	120	800	0.5	89	6500	80	240	10000
P27620	9	100-240	750	0.5	83	3000	80	240	15000
P27621	9	100-240	800	0.5	89	6500	80	240	15000

Anexo 17: Especificaciones eléctricas de la hoja técnica de la carga: monitor LG 20MP38HQ-B, para calcular energía diaria consumida en la guardianía de La Mica de la REA.

CONSUMO

- Tipo Adapter
- Entrada 100-240 V, 50/60 Hz
- Normal On (EPA Typ) 15 W
- Modo suspension (Max) Menos de 0.3 W
- Dc Off (Max) Menos de 0.3 W

Anexo 18: Especificaciones eléctricas de la hoja técnica de la carga: monitor LG 20MK400H, para calcular energía diaria consumida en la guardianía de La Mica de la REA.

CONSUMO	Tipo	Adaptador
	Entrada	100-240Vac, 50/60Hz
	Normal On (EPA)	13W
	Modo Suspensión (Max)	Por debajo de 0.3W
	Dc Off (Max)	Por debajo de 0.3W
	Calificación energética (de a++ hasta e)	

Anexo 19: Especificaciones eléctricas de la hoja técnica de la carga: PC HP Compaq 6000 pro, para calcular energía diaria consumida en la guardianía de La Mica de la REA.

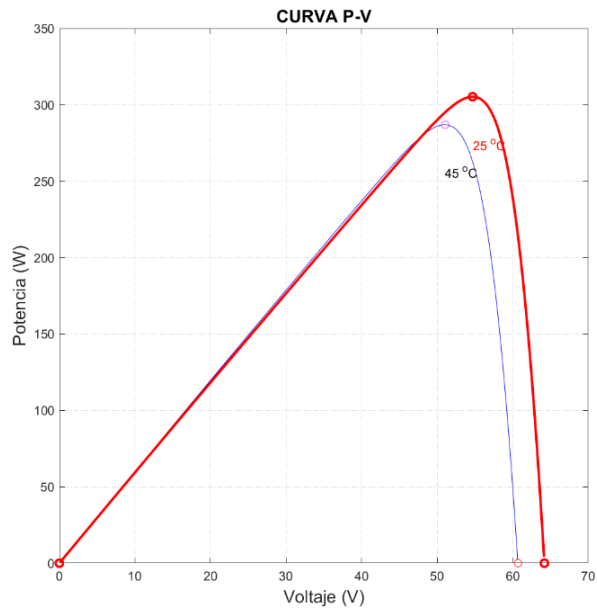
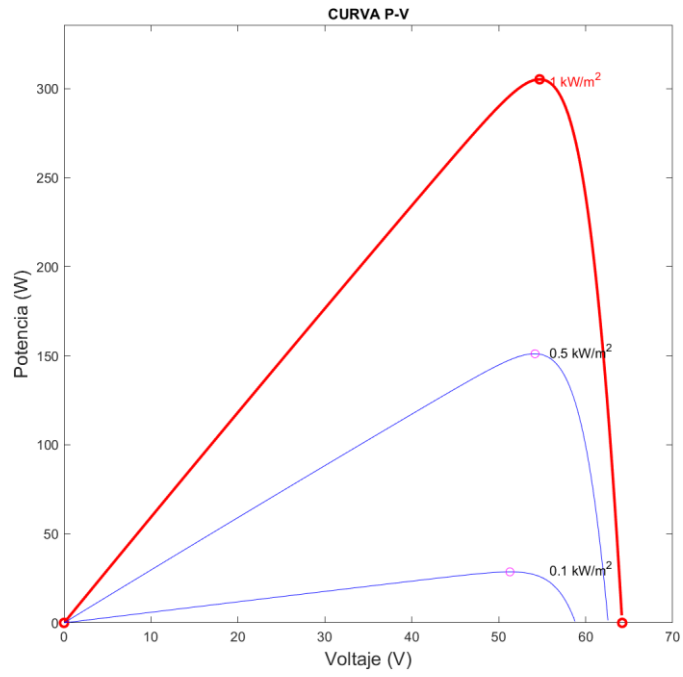
Control de energía	
Fuente de alimentación *	320 W

Anexo 20: Características eléctricas para las gráficas de las curvas características I - V y P – V, a diferente irradiación y a diferente temperatura de los paneles FV.

Module data	
Module:	SunPower SPR-305E-WHT-D
Maximum Power (W)	305.226
Cells per module (Ncell)	96
Open circuit voltage Voc (V)	64.2
Short-circuit current Isc (A)	5.96
Voltage at maximum power point Vmp (V)	54.7
Current at maximum power point Imp (A)	5.58
Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)	-0.2727
Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)	0.061745

Elaborado por: Galo Baquero.

Anexo 21: Graficas de las curvas características P – V a diferente irradiación y a diferente temperatura de los paneles FV.



Elaborador por: Galo Baquero.

Anexo 22: Carta de respaldo para una posible implementación del sistema FV AR para la guardianía de La Mica de la REA.



Ministerio del Ambiente, Agua
y Transición Ecológica

Oficio N°.- MAAE-PNA-2021-012-020-106
Píntag, 20 de diciembre 2021

Sr.
Galo Baquero
Presente. -

De mis consideraciones:

A petición del interesado, en mi calidad de Guardaparque del Parque Nacional Antisana y responsable del proceso de tesis, pasantías y vinculación del área protegida, cúmpleme indicar que desde el 7 de septiembre de 2021 ocurrió una falla en el abastecimiento de energía eléctrica que ha causado serios inconvenientes en las actividades que se realizan al interior de la reserva, es importante señalar que el servicio de energía eléctrica es provisto por parte de la empresa EPMAPS a través de la infraestructura de medio voltaje propiedad de la citada empresa.

De los acercamientos efectuados, EPMAPS ha señalado que una fecha tentativa para restablecer el servicio eléctrico y solucionar el problema en la infraestructura de transmisión de energía correspondería al primer semestre del 2022, aspecto por el cual se ratifica que el Parque Nacional Antisana requiere auto sustentarse el abastecimiento de la energía eléctrica mediante la implementación de sistemas fotovoltaicos en menor escala que no sean necesariamente interconectados a la red.

Por lo expuesto, como parte del proceso de implementación, en una primera fase se ha considerado pertinente el diseño de microsistemas fotovoltaicos aislado para abastecer la demanda eléctrica de los servicios básicos y de comunicación de la Guardianía de la Mica del Parque Nacional Antisana, cuyo diseño sería efectuado por el Sr. Galo Baquero con CI: 1723816577, estudiante de la Universidad Politécnica Salesiana.

Atentamente,



Ing. Augusto Granda Guamán
Guardaparque Parque Nacional Antisana
Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica
+593996848468
augusto.granda@ambiente.gob.ec

Anexo 23: Criterio para seleccionar la máxima PdD en función del tipo de batería.

Tabla A.1. Máxima PdD en función del tipo de batería

Tipo de batería	Máxima PdD recomendada [%]	Número de ciclos NOC a 50 % PdD
Tubular o estacionaria abierta	80	3600
Estacionaria sellada	60	600 - 1200
Plomo ácido solar abierta	50	900 - 1000
Plomo ácido sellada AGM	60	500 - 800
Plomo ácido sellada GEL	60	600 - 950
Ión Litio	100	> 1000
Sodio Azufre (NaS)	80	> 4000

Fuente: Norma Ecuatoriana de Construcción NEC – 11, Capítulo 14 Energías Renovables.

Anexo 24: Coeficientes de corrección k para diferentes valores de latitud.

Tabla A.2. Coeficientes de corrección k

Inclinación [°]	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0,97	0,98	1	1,01	1,02	1,03	1,02	1,01	1	0,98	0,97	0,96
10	0,93	0,96	0,99	1,02	1,04	1,04	1,03	1,02	0,99	0,96	0,93	0,92
15	0,88	0,92	0,97	1,02	1,05	1,06	1,04	1,01	0,97	0,93	0,89	0,87
20	0,83	0,88	0,95	1,01	1,05	1,06	1,04	1,01	0,95	0,89	0,84	0,81
25	0,77	0,84	0,92	1	1,05	1,06	1,04	0,99	0,92	0,85	0,78	0,75
30	0,71	0,79	0,89	0,98	1,04	1,05	1,03	0,97	0,89	0,8	0,72	0,69
35	0,65	0,73	0,84	0,95	1,02	1,04	1,01	0,95	0,85	0,74	0,65	0,62
40	0,57	0,67	0,8	0,92	1	1,02	0,98	0,91	0,81	0,67	0,58	0,54
45	0,5	0,61	0,74	0,88	0,97	0,99	0,95	0,87	0,76	0,62	0,51	0,46
50	0,42	0,54	0,69	0,83	0,93	0,96	0,92	0,83	0,7	0,56	0,43	0,38
55	0,34	0,46	0,63	0,78	0,89	0,92	0,88	0,78	0,64	0,49	0,35	0,3
60	0,26	0,39	0,56	0,73	0,84	0,87	0,83	0,73	0,58	0,41	0,27	0,21
65	0,17	0,31	0,49	0,66	0,79	0,82	0,78	0,67	0,51	0,34	0,19	0,13
70	0,11	0,23	0,42	0,6	0,73	0,77	0,72	0,61	0,45	0,26	0,13	0,12

Fuente: Norma Ecuatoriana de Construcción NEC – 11, Capítulo 14 Energías Renovables.

Anexo 25: Valores de irradiación solar global en promedio del mes para Cotundo, cantón Archidona.

Tabla A.3. Irradiación solar diaria en promedio del mes para Cotundo, cantón Archidona

Ubicación (Napo/Archidona/Cotundo) – Latitud/Longitud: 0,5369° S / 78,2277° O	
Mes	Irradiación solar global [MJ/m ² día]
Enero	15,12
Febrero	18,36
Marzo	15,12
Abril	15,12
Mayo	15,12
Junio	15,12
Julio	19,44
Agosto	18,36
Septiembre	19,44
Octubre	16,2
Noviembre	18,36
Diciembre	15,12

Fuente: Mapa Solar del Ecuador 2019.

Anexo 26: Estudio detallado de la energía diaria consumida en la guardianía de La Mica de la REA.

Tabla A.4. Información de equipos de C.A. y cálculo de la energía diría consumida

Estudio de la energía diaria consumida en la guardianía de la Mica de la REA						
Ítem	Descripción	Cantidad	Potencia unitaria [W]	Potencia total [W]	Horas [h]	Energía [Wh/día]
1	Iluminación Led - garita	1	9	9	0,5	4,5
2	Iluminación Led - sala de estudio	4	9	36	2	72
3	Iluminación Led – alojamiento	5	9	45	4	180
4	Iluminación Led - exterior	2	9	18	10	180
5	Monitor HP L1710	1	30	30	2	60
6	Radiomovil MOTOTRBO DGM 6100	1	40	40	12	480
7	PC HP Compaq 6000 pro	1	320	320	2	640
8	Impresora Epson L6171	1	12	12	1	12
9	Monitor LG 20MP38HQ-B	1	15	15	8	120
10	Monitor LG 20MK400H	1	13	13	2	26
11	PC de escritorio	1	600	600	2	1200
12	Router Linksys E900	1	5,4	5,4	24	129,6
13	PC HP Compaq 6200 pro	1	240	240	8	1920
14	Televisor LG 42PT250B	1	210	210	4	840
15	Refrigerador Mabe	1	113	113	8	904
Potencia carga instalada [W]:					1706,4	
Energía diaria consumida [Wh/día]:					6768,1	

Elaborado por: Galo Baquero.

Anexo 27: Datos de irradiación en [kWh/m2/mes] a 15° de inclinación para la Guardianía de La Mica de la REA – Ubicación: Cotundo/Archidona/Napo, extraídos de PVGIS.

Tabla A.5. Datos alternativos de irradiación solar en [kWh/m2/mes] a 15° para Cotundo del cantón Archidona

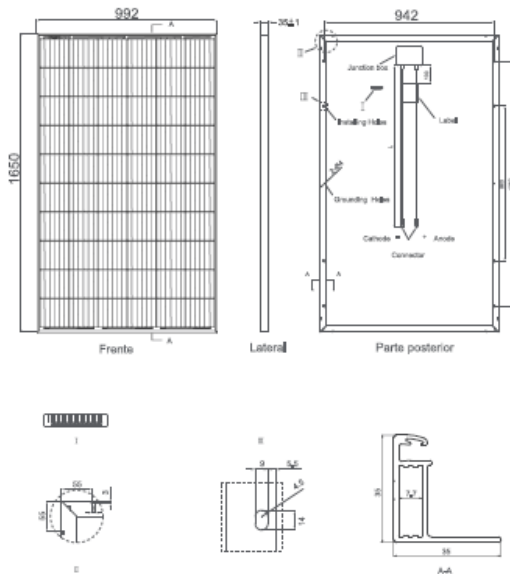
Mes/Año	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Promedio
Enero	158,17	127,83	150,37	148,92	167,72	150,602
Febrero	112,77	128,77	120,63	150,54	157,63	134,068
Marzo	157,89	168,7	153,06	147,97	183,09	162,142
Abril	138,71	149,16	179,63	179,89	175,01	164,48
Mayo	154,65	174,34	160,77	156,75	177,85	164,872
Junio	169,5	183,36	186,94	153,75	176,63	174,036
Julio	160,95	174,52	177,73	191,69	204,74	181,926
Agosto	194,08	168,96	184,47	172	192,47	182,396
Septiembre	141,59	84,99	170,11	180,29	196,61	154,718
Octubre	167,69	148,42	161,13	149,82	170,64	159,54

Noviembre	142,28	130,82	135,79	136,24	153,51	139,728
Diciembre	130,33	149,04	146,59	145,38	190,56	152,38
Anual	1828,61	1788,91	1927,22	1913,24	2146,46	1920,888

Elaborado por: Galo Baquero.

Anexo 28: Características de la ficha técnica del panel FV de 280 Wp seleccionado para el diseño final del SFV AR para la guardianía de La Mica.

Planos de ingeniería

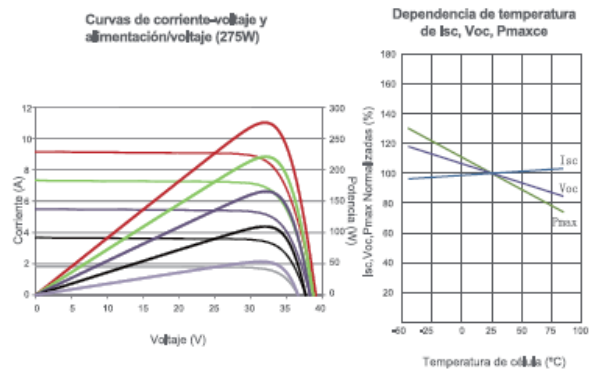


Configuración del embalaje

(Dos pallets = Una pila)

30 piezas/pallet, 60 piezas/pila, 840 piezas/contenedor de HQ de 40'

Rendimiento eléctrico y dependencia de temperatura



Características mecánicas

Tipo de celda	Policristalina 156×156 mm (6 pulgadas)
Cant. de celdas	60 (6×10)
Dimensiones	1650×992×35mm (65.00×39.05×1.37 inch)
Peso	19.0 kg (41.9 lbs)
Vidrio frontal	Vidrio templado de 3.2 mm, con revestimiento antirreflejo, alta transmisión, bajo contenido de hierro
Estructura	Aleación de aluminio anodizado
Caja de conexiones	Clasificación IP67
Cables de salida	TUV 1×4,0 mm ² , longitud: 900 mm o longitud personalizada comprimento personalizado

ESPECIFICACIONES

Tipo de módulo	JKM265PP-60		JKM270PP-60		JKM275PP-60		JKM280PP-60		JKM285PP-60	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Potencia Nominal (Pmax)	265Wp	197Wp	270Wp	200Wp	275Wp	204Wp	280Wp	208Wp	285Wp	212Wp
Tensión en el punto Pmax-VMPP (V)	31.4V	29.0V	31.7V	29.4V	32.0V	29.8V	32.3V	30.1V	32.5V	30.4V
Corriente en el punto Pmax-IMPP (A)	8.44A	6.78A	8.52A	6.80A	8.61A	6.85A	8.69A	6.91A	8.77A	6.97A
Tensión en circuito abierto-VOC (V)	38.6V	35.3V	38.8V	35.4V	39.1V	35.4V	39.4V	35.6V	39.6V	35.7V
Corriente de cortocircuito-ISC (A)	9.03A	7.36A	9.09A	7.38A	9.15A	7.44A	9.20A	7.99A	9.26A	8.05A
Eficiencia del modulo (%)	16.19%		16.50%		16.80%		17.11%		17.41%	
Temperatura de funcionamiento (°C)	-40°C~+85°C									
Tensión máxima del sistema	1000VDC (IEC)									
Valores máximos recomendados de los fusibles	20A									
Tolerancia de potencia nominal (%)	0~+3%									
Coefficiente de temperatura de PMAX	-0,40%/°C									
Coefficiente de temperatura de VOC	-0,31%/°C									
Coefficiente de temperatura de ISC	0,06%/°C									
Temperatura operacional nominal de célula	45±2°C									

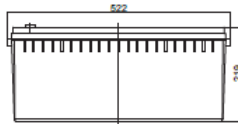
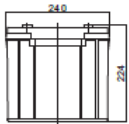
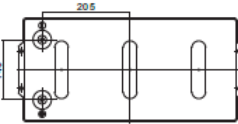

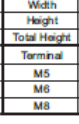
Anexo 29: Características de la ficha técnica de la batería de 12 V/200 Ah seleccionado para el diseño final del SFV AR para la guardiana de La Mica.

Specification	
Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	200Ah@20hr-rate to 1.75V per cell @25°C
Weight	Approx. 60.0 Kg (Tolerance ±1.5%)
Internal Resistance	Approx. 4 mΩ
Terminal	F10(M8)/F16(M8)
Max. Discharge Current	2000A(5 sec)
Design Life	12 years (floating charge)
Maximum Charging Current	60.0 A
Reference Capacity	C3 147.3AH C5 167.0AH C10 190.0AH C20 200.0AH
Float Charging Voltage	13.6 V-13.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -3mV/C/Cell
Cycle Use Voltage	14.6 V-14.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -4mV/C/Cell
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C-60°C Charge: 0°C-50°C Storage: -20°C-60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C ± 5°C
Self Discharge	RITAR Valve Regulated Lead Acid (VRLA) batteries can be stored for up to 6 months at 25°C and then recharging is recommended. Monthly Self-discharge ratio is less than 3% at 25°C. Please charge batteries before using.
Container Material	A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.



DC (Deep Cycle) series batteries provide superior high integrity and reliability. It is specially designed for frequent cyclic charge and discharge. By using strong grids, thick plate and specially active material are designed for repeated deep-discharge applications. The DC series batteries offer 30% more cyclic life than the standby series. It is suitable for solar and wind renewable energy storage, mobility and medical equipment, V, telecom, broadband and cable TV, UPS systems etc.



Dimensions																	
																	
																	
																	
	<table border="1"> <tbody> <tr> <td>Length</td> <td>522±2mm (20.6 inches)</td> </tr> <tr> <td>Width</td> <td>240±2mm (9.45 inches)</td> </tr> <tr> <td>Height</td> <td>219±2mm (8.62 inches)</td> </tr> <tr> <td>Total Height</td> <td>224±2mm (8.82 inches)</td> </tr> <tr> <td>Terminal</td> <td>Value</td> </tr> <tr> <td>M5</td> <td>6-7 N*m</td> </tr> <tr> <td>M6</td> <td>8-10 N*m</td> </tr> <tr> <td>M8</td> <td>10-12 N*m</td> </tr> </tbody> </table>	Length	522±2mm (20.6 inches)	Width	240±2mm (9.45 inches)	Height	219±2mm (8.62 inches)	Total Height	224±2mm (8.82 inches)	Terminal	Value	M5	6-7 N*m	M6	8-10 N*m	M8	10-12 N*m
Length	522±2mm (20.6 inches)																
Width	240±2mm (9.45 inches)																
Height	219±2mm (8.62 inches)																
Total Height	224±2mm (8.82 inches)																
Terminal	Value																
M5	6-7 N*m																
M6	8-10 N*m																
M8	10-12 N*m																
	Unit: mm																

Anexo 30: Características de ficha técnica del regulador de carga MPPT de 250 V/60 A seleccionado para el diseño del SFV AR para la guardiana de La Mica.

Controlador de carga SmartSolar	250/60	250/70	250/85	250/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 ó 48 V (Se precisa una herramienta de <i>software</i> para ajustar el sistema en 36 V)			
Corriente de carga nominal	60A	70A	85A	100A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia FV nominal, 36V 1a,b)	2580W	3000W	3600W	4350W
Potencia FV nominal, 48V 1a,b)	3440W	4000W	4900W	5800W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	35A (máx. 30A por conector MC4)		70A (máx. 30A por conector MC4)	
Tensión máxima del circuito abierto FV	250 V máximo absoluto en las condiciones más frías 245 V en arranque y funcionando al máximo			
Eficacia máxima	99%			
Autoconsumo	Menos de 35 mA a 12 V / 20 mA a 48 V			
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)			
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (Regulable con: selector giratorio, pantalla, VE.Direct o Bluetooth)			
Tensión de carga de "ecualización"	Valores predeterminados: 16,2V / 32,4V / 48,6V / 64,8V (regulable)			
Algoritmo de carga	variable multietapas (ocho algoritmos preprogramados) o algoritmo definido por el usuario			
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -64 mV / °C			
Protección	Polaridad inversa/Cortocircuito de salida/Sobretensión			
Temperatura de trabajo	De -30 a +60 °C (potencia nominal completa hasta los 40 °C)			
Humedad	95%, sin condensación			
Altura máxima de trabajo	5.000 m (fpotencia nominal completa hasta los 2.000 m)			
Condiciones ambientales	Para interiores, no acondicionados			
Grado de contaminación	PD3			
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct o Bluetooth			
Interruptor on/off remoto	Sí (conector bifásico)			
Relé programable	DPST Capacidad nominal CA 240 V AC / 4 A		Capacidad nominal CC 4A hasta 35VCC, 1A hasta 60VCC	
Funcionamiento en paralelo	Sí			
CARCASA				
Color	Azul (RAL 5012)			
Terminales FV 3)	35 mm ² / AWG2 (modelos Tr)		35 mm ² / AWG2 (modelos Tr)	
Bornes de la batería	Dos pares de conectores MC4 (modelos MC4)		Tres pares de conectores MC4 (modelos MC4)	
Grado de protección	35mm ² / AWG2			
Peso	3 kg		4,5 kg	
Dimensiones (al x an x p) en mm	Modelos Tr: 185 x 250 x 95 mm Modelos MC4: 215 x 250 x 95 mm		Modelos Tr: 216 x 295 x 103 Modelos MC4: 246 x 295 x 103	

Anexo 31: Características de la ficha técnica del inversor para sistemas aislados de 2400 W seleccionado para el diseño final del SFV AR para la guardianía de La Mica.

Quattro	48/3000/35-50/50 120V	12/5000/220-100/100 120V 24/5000/120-100/100 120V 48/5000/70-100/100 120V	48/10000/140-100/100 120V
PowerControl / PowerAssist	Yes		
Integrated Transfer switch	Yes		
AC inputs (2x)	Input voltage range: 90-140 VAC Input frequency: 45 – 65 Hz Power factor: 1		
Maximum feed through current	2x 50 A	2x 100 A	2x 100 A
INVERTER			
Input voltage range	9,5 – 17 V 19 – 33V 38 – 66 V		
Output (1)	Output voltage: 120 VAC ± 2% Frequency: 60 Hz ± 0,1%		
Cont. output power at 25°C (3)	3000 VA	5000 VA	10000 VA
Cont. output power at 25°C	2400 W	4000 W	8000 W
Cont. output power at 40°C	2200 W	3700 W	6500 W
Cont. output power at 65°C	1700 W	3000 W	4500 W
Peak power	6000 W	10000 W	20000 W
Maximum efficiency	94 %	94 / 94 / 95 %	96 %
Zero load power	25 W	30 / 30 / 35 W	55 W
Zero load power in AES mode	20 W	20 / 25 / 30 W	35 W
Zero load power in Search mode	12 W	10 / 10 / 15 W	20 W
CHARGER			
Charge voltage 'absorption' (V DC)	57,6 V	14,4 / 28,8 / 57,6 V	57,6 V
Charge voltage 'float' (V DC)	55,2 V	13,8 / 27,6 / 55,2 V	55,2 V
Storage mode (V DC)	52,8 V	13,2 / 26,4 / 52,8 V	52,8 V
Charge current house battery (A) (4)	35 A	200 / 120 / 70 A	140 A
Charge current starter battery (A)	4 A (12V and 24V models only)		
Battery temperature sensor	Yes		
GENERAL			
Auxiliary output (5)	32 A	50 A	50 A
Programmable relay (6)	3x		
Protection (2)	a-g		
VE.Bus communication port	For parallel, split phase and three phase operation, remote monitoring and system integration		
General purpose com. port	2x		
Remote on-off	Yes		
Common Characteristics	Operatina temp.: -40 to +65°C		Humiditv (non-condensina): max. 95%

Anexo 32: Características de los conductores seleccionados para el diseño final del SFV AR para la guardianía de La Mica.

CONDUCTOR DE COBRE TIPO THHN FLEX 600V 90°C

C O N D U C T O R									
CALIBRE	SECCION NOMINAL	# HILOS	DIAMETRO APROX.	ESPESOR DE AISLACION	DIAMETRO EXT. APROX.	R. ELECTRICA DC 20 °C	PESO TOTAL APROX.	CAPACIDAD DE CORRIENTE T. ambiente 30 °C	
AWG	mm2		mm	mm	mm	kg/km	kg/km	*	**
14	2,08	22	1,9	0,38	3,0	8,61	26	25	35
12	3,31	41	2,4	0,39	3,5	5,43	38	30	40
10	5,26	26	2,7	0,51	4,0	3,41	61	40	55
8	8,37	41	3,3	0,76	5,3	2,14	99	55	80
6	13,3	63	4,2	0,76	6,2	1,38	147	75	105
4	21,1	100	5,2	1,02	7,8	0,865	236	95	140
2	33,6	126	7,7	1,02	10,4	0,544	372	130	190
1	42,4	158	8,6	1,27	11,9	0,431	474	150	220
1/0	53,5	200	9,9	1,27	13,2	0,345	586	170	260
2/0	67,4	250	10,6	1,27	14,2	0,273	701	195	300
3/0	85,0	312	12,4	1,27	15,8	0,217	892	225	350
4/0	107	393	14,0	1,27	17,4	0,172	1,119	260	405
250	127	495	14,9	1,52	18,9	0,174	1,295	290	455
300	152	586	16,4	1,52	20,5	0,122	1,565	320	505
350	177	820	17,3	1,52	21,4	0,105	1,889	350	570
400	203	1171	19,1	1,52	23,2	0,0920	2,031	380	615
500	253	-	20,6	1,52	24,8	0,0735	2,671	430	700

Anexo 33: Características comerciales de los ITM en C.C. seleccionados para el diseño final del SFV AR para la guardianía de La Mica.

C60H-DC 2P 0.5A C 500 Vdc	MGN61520	2 Polos, 0.5 A	4
C60H-DC 2P 1A C 500 Vdc	MGN61521	2 Polos, 1 A	4
C60H-DC 2P 2A C 500 Vdc	MGN61522	2 Polos, 2 A	4
C60H-DC 2P 3A C 500 Vdc	MGN61523	2 Polos, 3 A	4
C60H-DC 2P 4A C 500 Vdc	MGN61524	2 Polos, 4 A	4
C60H-DC 2P 5A C 500 Vdc	MGN61525	2 Polos, 5 A	4
C60H-DC 2P 6A C 500 Vdc	MGN61526	2 Polos, 6 A	4
C60H-DC 2P 8A C 500 Vdc	MGN61527	2 Polos, 8 A	4
C60H-DC 2P 10A C 500 Vdc	MGN61528	2 Polos, 10 A	4
C60H-DC 2P 13A C 500 Vdc	MGN61529	2 Polos, 13 A	4
C60H-DC 2P 15A C 500 Vdc	MGN61530	2 Polos, 15 A	4
C60H-DC 2P 16A C 500 Vdc	MGN61531	2 Polos, 16 A	4
C60H-DC 2P 20A C 500 Vdc	MGN61532	2 Polos, 20 A	4
C60H-DC 2P 25A C 500 Vdc	MGN61533	2 Polos, 25 A	4
C60H-DC 2P 30A C 500 Vdc	MGN61534	2 Polos, 30 A	4
C60H-DC 2P 32A C 500 Vdc	MGN61535	2 Polos, 32 A	4
C60H-DC 2P 35A C 500 Vdc	MGN61536	2 Polos, 35 A	4
C60H-DC 2P 40A C 500 Vdc	MGN61537	2 Polos, 40 A	4
C60H-DC 2P 50A C 500 Vdc	MGN61538	2 Polos, 50 A	4
C60H-DC 2P 63A C 500 Vdc	MGN61539	2 Polos, 63 A	4

Anexo 34: Características de los ITM en C.A. seleccionados en valores comerciales para el diseño final del SFV AR para la guardianía de La Mica.

Referencia	Parte	Descripción	Ancho en Pasos de 9 mm
C60N 1P 1A curva C	24395	1 Polo, 1 A	2
C60N 1P 2A curva C	24396	1 Polo, 2 A	2
C60N 1P 3A curva C	24397	1 Polo, 3 A	2
C60N 1P 4A curva C	24398	1 Polo, 4 A	2
C60N 1P 6A curva C	24399	1 Polo, 6 A	2
C60N 1P 8A curva C	24400	1 Polo, 8 A	2
C60N 1P 10A curva C	24401	1 Polo, 10 A	2
C60N 1P 13A curva C	24402	1 Polo, 13 A	2
C60N 1P 16A curva C	24403	1 Polo, 16 A	2
C60N 1P 20A curva C	24404	1 Polo, 20 A	2
C60N 1P 25A curva C	24405	1 Polo, 25 A	2
C60N 1P 32A curva C	24406	1 Polo, 32 A	2
C60N 1P 40A curva C	24407	1 Polo, 40 A	2
C60N 1P 50A curva C	24408	1 Polo, 50 A	2
C60N 1P 63A curva C	24409	1 Polo, 63 A	2

Anexo 35: Características del SPD en V C.C. seleccionados en valores comerciales para el diseño final del SFV AR para la guardianía de La Mica.

MODELO	2P	2P	2P	2P
Especificaciones				
Voltaje máximo de circuito abierto Uoc (V DC)	150	300	600	800
Tipo	II			
Tensión máxima FV de operación (V DC)	150	300	600	800
Corriente de descarga nominal (8/20us) (kA)	20	20	20	20
Corriente de descarga máxima (8/20us) (kA)	40	40	40	40
Resistencia a las corrientes de cortocircuito IscpV (A)	1000	1000	1000	1000
Nivel de protección MC/MD Up (kV)	1	2	2,5	2,5
Grado IP	20			
Par de apriete recomendado (Nm)	3,5			

Anexo 36: Características comerciales del SPD en V C.A. seleccionados para el diseño final del SFV AR para la guardianía de La Mica.

Tipo y clase de limitador de sobretensiones	Tipo 2
Tecnología de limitador de sobretensiones	MOV + GDT
[Ue] tensión asignada de empleo	230/400 V CA - tipo de cable: +/- 10 %) en 50/60 Hz
[In] nominal discharge current	Modo común, estado 1 5 kA - tipo de cable: L/PE) Modo común, estado 1 5 kA - tipo de cable: N/PE) Modo diferencial, estado 1 5 kA - tipo de cable: L/N)
[Imax] maximum discharge current	Modo común, estado 1 20 kA L/PE Modo común, estado 1 20 kA N/PE Modo diferencial, estado 1 20 kA L/N
[Uc] tensión de funcionamiento máxima continua	Modo común, estado 1 260 V N/PE Modo común, estado 1 350 V L/PE Modo diferencial, estado 1 350 V L/N
[Up] nivel de protección de tensión	Modo diferencial <1.1 kV tipo 2 L/N Modo común <1.4 kV tipo 2 N/PE
[Ut] sobretensión temporal	337 V L/N 5 s mantenido 1200 V N/PE 200 ms modo de falla segura 442 V L/PE 5 s mantenido 1453 V L/PE 200 ms modo de falla segura

Anexo 37: Características comerciales del ID seleccionado para el diseño final del SFV AR para la guardianía de La Mica.

Referencia	Ancho en Pasos de 9 mm	Sensibilidad (mA)	Calibre (A)
2 polos, tensión de empleo 230Vac, interruptor diferencial clase AC, instantáneo			
11024	4	30	25
11025	4	30	40
16791	4	30	63

Anexo 38: Método de cálculo alternativo para sistemas FV AR del diseño del sistema FV para la guardianía de la Mica de la REA.

Estimación de pérdidas:

Para generar la energía suficiente con los paneles, se debe tomar en cuenta las pérdidas de energía anticipadas en el sistema (cableado, control de carga, inversor y baterías).

$$\eta_T = \eta_B \cdot \eta_{inv} \cdot \eta_R \cdot \eta_X$$

Donde:

η_B : Eficiencia debido al rendimiento de la batería (de 75% a 90%)

η_{inv} : Eficiencia debido al rendimiento del inversor (de 85 % a 98%)

η_R : Eficiencia debido al rendimiento del regulador (valor por defecto del 90%)

η_X : Eficiencia que considera las pérdidas no contempladas (temperatura, por dispersión de parámetros, errores en el seguimiento del punto de máxima potencia, cableado)

Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos:

Consiste en calcular la energía total necesaria a generar (tomando en cuenta pérdidas del sistema) y la insolación del lugar, al igual que determinar la cantidad de paneles y su conexión (serie y paralelo), tal como se expresa en la ecuación 21 [19]:

$$E_{gen} = \gamma \cdot \left(\frac{E_{AC}}{\eta_{TAC}} + \frac{E_{CC}}{\eta_{TCC}} \right)$$

Donde:

E_{AC} y E_{CC} : Consumos energéticos diarios de AC y CC [Wh/día]

E_{gen} : Energía que se va a generar con el bloque generador [Wh/día]

γ : Factor de seguridad que suele ser 1.1

η_{TAC} y η_{TCC} : Eficiencias de cada uno de los sistemas de AC y CC

De no contar con un regulador con seguimiento de punto de máxima potencia MPPT, se debe tener en cuenta que será entonces la batería la que marque la tensión del sistema [19].

$$E_{panel} = W_p(T) \cdot HSP \cdot \frac{V_{np}}{V_p}$$

Donde:

E_{panel} : Energía diaria generada por el panel [Wh/día]

$W_p(T)$: Potencia nominal o pico del panel corregida por temperatura [W]

HSP : Hora solar pico [h/día]

V_{np} : Voltaje nominal del panel [V]

V_p : Voltaje pico del panel [V]

Sera necesario indicar la potencia del panel corregida por temperatura:

$$W_p(T) = W_p \cdot \left(1 - \Delta T \cdot \frac{C_d}{100}\right)$$

Donde:

ΔT : $T - 25^\circ\text{C}$, T es la temperatura del trabajo del panel en $^\circ\text{C}$

C_d : Valor porcentual del coeficiente de degradación

W_p : Potencia nominal del panel solar [Wp]

Determinación del voltaje nominal de la instalación:

Para seleccionar el voltaje de funcionamiento se puede determinar en base a la potencia de la instalación. Los voltajes estándar que se suelen emplear son: 12 V, 24 V, 48 V O 120 V [19]. Los valores sugeridos se indican en la tabla, a continuación:

Tabla A.6. Criterio para determinar el voltaje nominal de la instalación.

Potencia demandada por la instalación [W]	Voltaje del sistema [V]
Menor de 1 500	12
Entre 1 500 y 5000	24 o 48
Mayores de 5000	48 o 120

Fuente: Propuesta de diseño de un sistema de energía solar fotovoltaica. Caso de aplicación en la ciudad de Bogotá.

Dimensionamiento de los paneles fotovoltaicos:

Cantidad total de paneles:

Es la cantidad de paneles necesarios para poder abastecer a la carga, representada en la ecuación:

$$N_{TP} = \frac{E_{gen}}{E_{panel}}$$

Donde:

N_{TP} : Número total de paneles del bloque generador

E_{gen} : Energía que se va a generar con el bloque generador [Wh/día]

E_{panel} : Energía diaria generada por el panel [Wh/día]

Cantidad de paneles en serie:

$$N_{PS} = \frac{V_{nom}}{V_{np}}$$

Donde:

V_{nom} : Voltaje nominal del sistema [V]

V_{np} : Voltaje nominal del panel [V]

Cantidad de paneles en paralelo:

$$N_{pp} = \frac{N_{TP}}{N_{PS}}$$

Donde:

N_{TP} : Número total de paneles del bloque generador

N_{PS} : Cantidad de paneles en serie

Dimensionamiento del banco de baterías:

Es el encargado de abastecer la energía requerida por la carga cuando no haya sol, en días nublados, o durante la noche.

Capacidad del banco de baterías, representada en la ecuación:

$$C_{nb} = \frac{E_{CT} \cdot (D_{out} + 1)}{V_{nom} \cdot P_{Dmax} \cdot \eta_D \cdot \eta_{inv}}$$

Donde:

C_{nb} : Capacidad nominal del banco de baterías [Ah/día]

E_{CT} : Consumo energético diario total de la carga [Wh/día]

D_{out} : Días de autonomía con baja o nula insolación [días]

V_{nom} : Voltaje nominal del sistema [V]

P_{Dmax} : Profundidad máxima de descarga de la batería (60% o 80%)

η_D : Eficiencia de la descarga (valor por defecto 75%)

η_{inv} : Rendimiento del inversor (de 85 % a 98%)

Cantidad de baterías:

$$N_{BT} = \frac{V_{nom} \cdot C_{nb}}{V_{nom_bat} \cdot C_{nom_bat}}$$

Donde:

N_{BT} : Número total de baterías del banco

C_{nb} : Capacidad nominal del banco de baterías [Ah]

C_{nom_bat} : Capacidad nominal de una batería [Ah]

V_{nom_bat} : Voltaje nominal de una sola batería [V]

V_{nom} : Voltaje nominal del sistema [V]

Cantidad de baterías en serie:

$$N_{BS} = \frac{V_{nom}}{V_{nom_bat}}$$

Donde:

V_{nom_bat} : Voltaje nominal de una sola batería [V]

V_{nom} : Voltaje nominal del sistema [V]

Cantidad de baterías en paralelo:

$$N_{BP} = \frac{N_{BT}}{N_{BS}}$$

Donde:

N_{BT} : Número total de baterías del banco

N_{BS} : Número de baterías en serie

Máxima corriente de carga y descarga del banco

$$C_{max_car} = N_{BP} \cdot C_5 = N_{BP} \cdot \frac{C_{nom_bat}}{5 h}$$

Donde:

N_{BP} : Número de baterías en paralelo

C_5 : Corriente de carga en 5 h

C_{nom_bat} : Capacidad nominal de una batería [Ah]

$$C_{max_des} = N_{BP} \cdot C_{20} = N_{BP} \cdot \frac{C_{nom_bat}}{20 h}$$

C_{20} : Corriente de descarga en 20 h

Dimensionamiento del regulador de carga:

Equipo que se conecta en serie con los paneles fotovoltaicos, por lo que circulara por él mismo, la corriente generada por ellos, representada en la ecuación.

$$I_{reg} = 1.2 \cdot \max(N_{PP} \cdot I_{cc} \cdot I_{car_{cc}})$$

Donde:

I_{reg} : Corriente nominal del regulador de carga [A]

N_{PP} : Número de paneles solares en paralelo

I_{cc} : Corriente de corto circuito de un panel fotovoltaico [A]

Dimensionamiento del regulador de carga MPPT:

Cuando se requiere dimensionar el regulador de carga es necesario tener en cuenta la potencia pico del generador fotovoltaico, el voltaje del circuito abierto de los paneles FV, y el voltaje nominal del banco de baterías.

$$V_{nom_banco} = V_{nom}$$

Donde:

V_{nom_banco} : Voltaje nominal del banco de baterías [V]

V_{nom} : Voltaje nominal del sistema [V]

$$P(Wp) = W_p(T) \cdot N_{TP}$$

Donde:

$P(Wp)$: Potencia pico del generador fotovoltaico [W]

$W_p(T)$: Potencia nominal o pico del panel corregida por temperatura [W]

N_{TP} : Número total de paneles del bloque generador

$$V_{in} = 1.25 \cdot N_{ps} \cdot V_{oc}$$

Donde:

V_{in} : Voltaje de entrada [V]

N_{ps} : Numero de paneles en serie

V_{oc} : Voltaje en circuito abierto del generador fotovoltaico [V]

Máxima corriente de carga y descarga:

$$I_{des_bat} = 1.25 \cdot \frac{P_{car_CA}}{V_{nom} \cdot \eta_{inv}}$$

Donde:

P_{car_CA} : Consumo de potencia total de la carga [W]

V_{nom} : Voltaje nominal del sistema [V]

η_{inv} : Rendimiento del inversor (de 85 % a 98%)

$$I_{car_bat} = \frac{P_{Reg}}{V_{min_bat}}$$

Donde:

P_{Reg} : Potencia del regulador de carga seleccionado [W]

V_{min_bat} : Voltaje mínimo de operación de la batería [V]

Dimensionamiento del inversor:

Su potencia se basará en función de la potencia de los aparatos de consumo de AC, el rendimiento del mismo inversor y la simultaneidad de uso de las cargas, representada en las ecuaciones, a continuación:

$$S_{inv_out} = 1.25 \cdot \frac{P_{carCA}}{F_p} \cdot FS$$

$$P_{inv_in} = 1.25 \cdot \frac{P_{carCA}}{\eta_{inv}} \cdot FS$$

S_{inv_out} : Potencia nominal del inversor [VA]

P_{inv_in} : Potencia de entrada del inversor [W]

P_{carCA} : Potencia de las cargas en CA [W]

F_p : Factor de potencia de las cargas en AC

FS : Factor de simultaneidad del consumo en AC

η_{inv} : Rendimiento del inversor (de 85 % a 98%)

Anexo 39: Datos preliminares para aplicar el método de cálculo alternativo para el SFV AR del diseño del sistema FV para la guardianía de La Mica de la REA

Tabla A.7. Datos preliminares para aplicar el método de cálculo alternativo para el

SFV AR			
Parámetros			
Panel solar FV			
Ppanel (Wp)	280		W
Vpanel_nom	32,3		V
Vpanel_oc	39,4		V
Imax	8,69		A
Isc	9,2		A
Cd	0,7		
T	45		
Regulador de carga MPPT			

η_R		0,98	
	Batería		
V _{min_bat}		21	V
V _n		24	V
η_B		0,9	
V _{bateria}		12	V
V _{sistema}		48	V
Q _{bateria}		200	Ah
Dias autonomía		2	
M		0,5	
η_{bat}		0,9	
	Inversor		
η_{inv}		0,97	
	Datos meteorológicos		
HSP		4,67	h/día
	Factores de diseño		
$\eta_{conduct}$		0,98	
FP		0,95	
FS		1	

Elaborado por: Galo Baquero.

Anexo 40: Resultados del método de cálculo alternativo para el SFV AR del diseño del sistema FV para la guardianía de La Mica de la REA

Tabla A.8. Resumen de los resultados obtenidos del método de cálculo alternativo para el SFV AR

Cálculo del diseño FV 1			
Egen	8879,592934	Wh/día	
Wp(T)	240,8	Wp	
Epanel	1124,536	Wh/día	
Eextra	1775,918587	Wh/día	
N _{tp}	7,896228252	paneles	
N _{tp}	8	paneles	
N _{ps}	1,486068111	paneles	
	2	panel/es	
N _{pp}	4	paneles	
	4	paneles	
E _{total}	10460,8	Wh/día	
cnb	646,0576556	Ah	
N _{bt}	12,92115311	13	baterías
N _{bs}	4	baterías	
N _{bp}	3,25	baterías	
C _{max_car} (C5)	130	A	

Cmax_des (C20)	32,5	A
Pregulador MPPT	2240	W
Vregulador MPPT	48	V
Vin_regulador	98,5	V
Ides_bat	45,81185567	A
Icar_bat	106,6666667	A
Ireg	44,16	A
Inversor (S)	2245,263158	VA
Inversor (P)	2198,969072	W

Elaborado por: Galo Baquero.

Anexo 41: Datos preliminares del diseño del sistema FV AR para la guardianía de La Mica de la REA, usando los equipos tentativos secundarios de los cálculos del diseño mostrados en el Capítulo III.

Tabla A.9. Datos preliminares del diseño del sistema FV AR para la guardianía de La Mica de la REA, usando los equipos tentativos secundarios

Datos preliminares para el diseño del sistema FV AR		
Globales		
Energía diaria consumida	6768,1	Wh/día
Potencia carga instalada	1706,4	W
HSP (Inclinación 15°, peor mes)	4,67	h
Temperatura max	20	°C
Temperatura min	-1	°C
Días nublados por semana	2	días
Potencia pico del arreglo FV		
Rendimiento global (PR)	0,72	
Potencia pico por panel FV	200,00	Wp
Voltaje en circuito abierto por panel FV	22,30	V
Corriente de cortocircuito por panel FV	11,56	A
Voltaje del sistema de almacenamiento	48	V
Capacidad del regulador de carga		
Factor de seguridad	1,25	
Capacidad del banco de baterías		
Capacidad individual por batería	150	Ah
Voltaje individual por batería	12	V
Días de autonomía	2	días
Profundidad de descarga	50%	
Inversor		
Factor de seguridad	1,25	
Voltaje de la carga instalada	120	V C.A.
Sección de los conductores		
Voltaje de carga de las baterías	55,2	V
Factor de potencia (cos Φ)	0,95	
Resistividad del cobre	0,0172	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

Elaborado por: Galo Baquero.

Anexo 42: Resultados obtenidos del diseño del sistema FV AR para la guardiana de La Mica de la REA, usando los equipos tentativos secundarios de los cálculos del diseño mostrados en el Capítulo III.

Tabla A.10. Resumen de resultados de la capacidad de los equipos del diseño del sistema FV AR – usando los equipos tentativos secundarios

Tabla de resumen de la capacidad de los equipos del sistema FV AR						
	Potencia pico total del arreglo FV			Pot p	2400	Wp
N ps:	4	N pp:	3	N° paneles FV:	12	
	Capacidad total del banco de baterías			C bat T	600	Ah
N bat s:	4	N bat p:	4	N° baterías:	16	
Regulador de carga	Voltaje de entrada del regulador			V in Reg	89,2	V
	Corriente de entrada del regulador			I in Reg	43,35	A
	Potencia de entrada del regulador			Pot in Reg	2400	W
Inversor	Potencia del inversor			Pot inv	2400	W
	Voltaje de entrada del inversor			V in Inv	48	V
	Voltaje de salida del inversor			V out inv	120	V
Cálculo de la sección del conductor	Arreglo FV	Regulador	Tramo N°1	Calibre	10	AWG
	Regulador	Baterías	Tramo N°2	Calibre	10	AWG
	Regulador	Inversor	Tramo N°3	Calibre	8	AWG
	Inversor	Tablero dist.	Tramo N°4	Calibre	12	AWG
Cálculo de elementos de protección	Arreglo FV	Regulador	Tramo N°1	Corriente del ITM	63	A
	Regulador	Baterías	Tramo N°2	Corriente del ITM	63	A
	Regulador	Inversor	Tramo N°3	Corriente del ITM	63	A
	Inversor	Tablero dist.	Tramo N°4	Corriente del ITM	25	A
	Arreglo FV	Regulador	Tramo N°1	Voltaje SPD CC	300	V
	Inversor	Tablero dist.	Tramo N°4	Voltaje SPD AC	350	V
	Inversor	Tablero dist.	Tramo N°4	Corriente del ID	40	A
	Cálculo del área del emplazamiento del sistema FV AR				19,6416	m2

Elaborado por: Galo Baquero.