



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

TEMA:

**“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE
ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE CELDAS FOTOVOLTAICAS
UBICADA EN LAS RIVERAS DEL RÍO PAYAMINO DE LA CIUDAD DEL
COCA PARA LA EMPRESA ORELLANA TURISMO EP”**

AUTOR: Jonathan Andrés Viera Andi

TUTOR: Ing. Mg. Alex Santiago Mayorga Pardo

AMBATO - ECUADOR

Septiembre - 2021

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE CELDAS FOTOVOLTAICAS UBICADA EN LAS RIVERAS DEL RÍO PAYAMINO DE LA CIUDAD DEL COCA PARA LA EMPRESA ORELLANA TURISMO EP**”, elaborado por el señor Jonathan Andrés Viera Andí, portador de la cédula de ciudadanía: C.I. 2200277461, estudiante de la Carrera de Ingeniería Mecánica, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Proyecto Técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, Septiembre 2021

Ing. Mg. Alex Santiago Mayorga Pardo

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo, **Jonathan Andrés Viera Andi**, con C.I. 2200277461 declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente proyecto técnico con el tema: **“DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE CELDAS FOTOVOLTAICAS UBICADA EN LAS RIVERAS DEL RÍO PAYAMINO DE LA CIUDAD DEL COCA PARA LA EMPRESA ORELLANA TURISMO EP”**, así como también los gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Septiembre 2021



Jonathan Andrés Viera Andi

C.I: 2200277461

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Septiembre 2021



Jonathan Andrés Viera Andi

C.I: 2200277461

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Jonathan Andrés Viera Andi, de la Carrera de Ingeniería Mecánica bajo el tema: “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE CELDAS FOTOVOLTAICAS UBICADA EN LAS RIVERAS DEL RÍO PAYAMINO DE LA CIUDAD DEL COCA PARA LA EMPRESA ORELLANA TURISMO EP**”.

Ambato, Septiembre 2021

Para constancia firman:

Ing. Mg. Santiago Paúl Cabrera Anda

Miembro Calificador

Ing. Mg. José Luis Yunapanta Velastegui

Miembro Calificador

DEDICATORIA

A mi familia que con su infinito amor supo guiarme en el camino del estudio, para alcanzar una profesión y ser de bien y útil a la sociedad.

A ellos les dedico este trabajo fruto de su sacrificio y esfuerzo constante los cuales me permiten terminar con éxito mi carrera universitaria.

Jonathan Viera

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por brindarme salud y vida, mi externa gratitud para quienes me apoyaron en todo momento, de manera especial a mis maestros y compañeros; testigos de mis triunfos y fracasos de los cuales me llevo las mejores enseñanzas.

Además agradezco a la familia Chávez-Viera quien me hizo miembro de ella acogiéndome en su hogar en mi vida universitaria.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I.....	1
1. MARCO TEÓRICO	1
1.1 Antecedentes investigativos	1
1.2 Descripción del lugar.....	2
1.3 Objetivos.....	2
1.3.1 Objetivo General	2
1.3.2 Objetivos Específicos	2
1.4 Fundamentación teórica.....	2
1.4.1 Energía solar.....	2
1.4.2 Radiación solar	4
1.4.3 Paneles solares.....	9
1.4.4 Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas.....	17
1.4.5 Orientación e inclinación de los paneles	19
1.4.6 Regulador solar.....	20
1.4.7 Inversor.....	22
1.4.8 Acumuladores o Banco de baterías	24
1.4.9 Eficiencia energética	27
CAPÍTULO II	28
2. METODOLOGÍA	28
2.1 Materiales	28
2.2 Métodos	34

2.2.1	Método de observación.....	34
2.2.2	Método documental.....	34
2.2.3	Método de comparación.....	34
2.2.4	Método cualitativo.....	34
2.3	Análisis de alternativas.....	34
2.4	Herramienta para el análisis estático mediante software.....	35
2.5	Diseño del sistema de conexión eléctrica.....	35
2.6	Requerimientos de consumo energético.....	35
2.7	Pruebas con cargas.....	35
CAPÍTULO III.....		36
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
3.1	Análisis y discusión de los resultados.....	36
3.1.1	Parámetros de diseño.....	36
3.1.2	Consumo energético.....	36
3.1.3	Horas solar pico para el sistema.....	37
3.1.4	Modelo del Atlas Solar del Ecuador.....	38
3.1.4.1	Dimensionamiento del módulo fotovoltaico.....	38
3.1.4.2	Dimensionamiento del banco de baterías.....	41
3.1.4.3	Dimensionamiento del inversor.....	43
3.1.4.4	Capacidad de la unidad de control.....	43
3.1.5	Modelo de la Norma Ecuatoriana de la construcción.....	43
3.1.5.1	Rendimiento global del sistema.....	43
3.1.5.2	Potencia pico del arreglo fotovoltaico.....	45
3.1.5.3	Selección de los paneles fotovoltaicos.....	45
3.1.5.4	Selección del banco de baterías.....	47
3.1.5.5	Selección del regulador de voltaje.....	49
3.1.5.6	Selección del inversor.....	50
3.1.5.7	Selección de los conductores.....	50
3.1.6	Selección de alternativas.....	52
3.1.7	Diseño de la estructura.....	55
3.1.7.1	Análisis estático.....	58
3.1.8	Diagrama completo de conexión del sistema fotovoltaico.....	64
3.1.9	Implementación del proyecto.....	65
3.1.9.1	Traslado de los equipos al Parque Yasuniland.....	65

3.1.9.2 Ubicación de los paneles fotovoltaicos	66
3.1.9.3 Conexión en paralelo de los paneles solares al repartidor de corriente.....	68
3.1.9.4 Ubicación y conexión de la baterías.....	69
3.1.9.5 Instalación y configuración del regulador solar	70
3.1.9.6 Instalación del inversor de voltaje y conexión a las cargas.....	71
3.1.9.7 Pruebas de funcionamiento.....	72
3.1.10 Cálculo de la eficiencia del sistema.....	82
3.1.11 Presupuesto del proyecto implementado	84
3.1.11.1 Costo de equipos del sistema fotovoltaico	84
3.1.11.2 Costo de la instalación eléctrica	84
3.1.11.3 Costo de materiales adicionales.....	85
3.1.11.4 Costo de mano de obra y gestión.....	85
3.1.11.5 Costo total del proyecto implementado.....	86
3.1.11.6 Costo generado por el sistema fotovoltaico en kWh.....	86
CAPÍTULO IV.....	87
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	87
4.1 Conclusiones.....	87
4.2 Recomendaciones	88
Referencias Bibliográficas	89
Anexos.....	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Tipos de paneles solares.....	16
Tabla 2: Ángulos de inclinación para sistemas fijos	20
Tabla 3: Tipos de baterías en el mercado.....	25
Tabla 4: Tipos de banco de baterías de Plomo-ácido.....	26
Tabla 5: Materiales y equipos del sistema fotovoltaico	28
Tabla 6: Materiales eléctricos para el sistema fotovoltaico	29
Tabla 7: Materiales y equipos adicionales	31
Tabla 8: Consumo energético estimada para la instalación	36
Tabla 9: Características de los paneles solares	38
Tabla 10: Porcentajes de caídas de voltajes entre componentes	50
Tabla 11: Selección del calibre para los conductores del sistema	51
Tabla 12: Comparación entre modelos de cálculos para el sistema.....	52
Tabla 13: Tabla de ponderación de la selección de modelo a aplicar en el proyecto	53
Tabla 14: Tabla de ponderación para la selección de panel.....	53
Tabla 15: Tabla de ponderación para la selección de las baterías.....	54
Tabla 16: Tabla de ponderación para la selección del regulador solar	54
Tabla 17: Tabla de ponderación para la selección del inversor	55
Tabla 18: Costo de equipos del sistema fotovoltaico.....	84
Tabla 19: Costo de la instalación eléctrica.....	84
Tabla 20: Costo de materiales adicionales	85
Tabla 21: Costo de mano de obra y gestión	85
Tabla 22: Costo total del proyecto implementado	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Distribución espectral terrestre.....	5
Figura 2: Representación gráfica de las componentes de radiación solar.....	6
Figura 3: Radiación Global en el Ecuador del año 2019.	7
Figura 4: Mapa donde se encuentra realizado el estudio de irradiancia mediante el modelo PSM.....	8
Figura 5: Composición de un panel solar.....	9
Figura 6: Unión P-N.....	11
Figura 7: Porcentaje del total de MWp producido por regiones 1997-2019.....	12
Figura 8: Instalaciones solares fotovoltaicas globales de los años 2018-2030-2050. 12	
Figura 9: Célula monocristalina	14
Figura 10: Célula policristalina.....	14
Figura 11: Células amorfos	15
Figura 12: Paneles solares conectados en un campo para generar energía eléctrica . 17	
Figura 13: Instalación solar aislada.....	18
Figura 14: Equipos de apoyo para una vivienda aislada	18
Figura 15: Relación entre la radiación incidente sobre el panel fotovoltaico y el punto de trabajo de la bomba	19
Figura 16: Reguladores solares	20
Figura 17: Diferencia en la curva característica I-V entre el PWM y el MPPT	22
Figura 18: Parte interna de un inversor solar	23
Figura 19: Esquema de un inversor.....	23
Figura 20: Ciclos de vida de las baterías según profundidad de descarga.....	24
Figura 21: Reacción química que sucede dentro de un acumulador	25
Figura 22: Radiación solar que existe en la zona del proyecto	37
Figura 23: Dimensiones de los paneles solares.....	56
Figura 24: Modelo de la estructura realizada.....	56
Figura 25: Medidas de la estructura de soporte realizado.....	57
Figura 26: Espectro para medir la calidad de malla.....	58
Figura 27: Mallado de la estructura en ANSYS.....	58
Figura 28: Valor de la calidad de malla	59
Figura 29: Fuerzas de viento que se ejerce en la estructura.....	60
Figura 30: Carga distribuida del peso del panel solar en la estructura.....	61
Figura 31: Selección de los soportes fijos en la estructura	61
Figura 32: Deformación total de la estructura.....	61
Figura 33: Deformación en el eje X de la estructura	62
Figura 34: Deformación en el eje Y de la estructura	62
Figura 35: Deformación en el eje Z de la estructura.....	62
Figura 36: Esfuerzo máximo que aguantará la estructura	63
Figura 37: Factor de seguridad de la estructura	63
Figura 38: Diagrama completo de conexión del sistema fotovoltaico.....	64

Figura 39: Traslado de las baterías en bote al parque turístico	65
Figura 40: Traslado de los paneles fotovoltaicos en bote al parque turístico	65
Figura 41: Equipos ya trasladados en la casa-comedor para su instalación.....	66
Figura 42: Casa-comedor del Parque Yasuniland.....	66
Figura 43: Subida de los paneles solares.....	67
Figura 44: Anclaje de los paneles solares al techo de la vivienda	67
Figura 45: Conexión en paralelo de los paneles solares con repartidor de corriente .	68
Figura 46: Colocación de un fusible entre los paneles y el regulador solar.....	68
Figura 47: Conexión en paralelo de las baterías	69
Figura 48: Voltaje de las baterías conectadas en paralelo.....	69
Figura 49: Batería sellada para la configuración del regulador solar.....	70
Figura 50: Conexión de las baterías al regulador solar	70
Figura 51: Colocación del regulador solar a la pared	70
Figura 52: Regulador solar encendido y configurado	71
Figura 53: Instalación del inversor del voltaje con conexión al regulador solar	71
Figura 54: Instalación del breaker entre el inversor y las cargas	71
Figura 55: Conexión del inversor de voltaje hacia el tablero de conexiones de la vivienda.....	72
Figura 56: Sistema fotovoltaico en funcionamiento	73
Figura 57: Voltaje recibido de los paneles al regulador solar.....	73
Figura 58: Voltaje medido en día soleado.....	74
Figura 59: Amperaje que recibe el inversor de voltaje	74
Figura 60: Potencia generada en el inversor de voltaje en un día soleado.....	75
Figura 61: Comparación de la potencia generada por los paneles solares con la potencia consumida en la vivienda con alta carga en un día soleado.....	75
Figura 62: Voltaje recibido de los paneles al regulador solar.....	76
Figura 63: Voltaje que entrega el regulador solar al inversor de voltaje	76
Figura 64: Voltaje medido en día parcialmente nublado	77
Figura 65: Amperaje medido en día parcialmente nublado	77
Figura 66: Potencia generada en el inversor de voltaje.....	78
Figura 67: Comparación de la potencia generada por los paneles solares con la potencia consumida en la vivienda en un día parcialmente nublado.....	78
Figura 68: Voltaje recibido de los paneles al regulador solar	79
Figura 69: Voltaje que entrega el regulador solar al inversor de voltaje	79
Figura 70: Amperaje medido en día nublado	80
Figura 71: Potencia generada en el inversor de voltaje.....	80
Figura 72: Comparación de la potencia generada por los paneles solares con la potencia consumida en la vivienda en un día nublado	81
Figura 73: Prueba de funcionamiento de las iluminarias en la noche.....	81

RESUMEN

El presente proyecto técnico se aplicó para una casa-comedor del Parque Yasuniland de la ciudad del Coca con el fin de proporcionar energía al lugar y para lograr disminuir el uso de un generador eléctrico evitando la contaminación del aire con el dióxido de carbono y el ruido en la naturaleza.

Para este proyecto se tomó en cuenta los factores que inciden en instalaciones fotovoltaicas como la radiación solar existente en la zona, la cual se tomó de la Nacional Renewable Energy Laboratory (NREL); y con la demanda energética que posee la vivienda se calculó el número de paneles solares, el número de baterías y el tipo de regulador e inversor, además se agregaron fusibles para evitar cortocircuitos lo cual brindará mayor seguridad a los equipos. Para este sistema se diseñó una conexión en paralelo con los paneles solares y las baterías, lo cual incrementó el potencial y se obtuvo mayor capacidad de acumulación de energía, la cual se reguló mediante la utilización de un controlador solar, que permitió una tensión del sistema de 12V.

Finalmente se realizaron pruebas de funcionamiento en 3 días específicos: soleado, parcialmente nublado y nublado, con un cierto valor de carga. Bajo estas condiciones se midieron los voltajes, amperajes y potencia en la entrada y salida del regulador solar, logrando obtener el comportamiento del consumo de las baterías y asegurando que el sistema fotovoltaico está funcionando correctamente.

Palabras claves: Radiación solar, demanda energética, paneles solares, tensión del sistema, baterías.

ABSTRACT

The present technical project was applied for a house-building room of the Yasuniland Park in Coca city in order to provide energy to the place and to reduce the use of an electric generator avoiding air pollution with carbon dioxide and noise in nature.

This project took into account the factors that affect photovoltaic installations such as the existing solar radiation in the area, which was taken from the National Renewable Energy Laboratory (NREL); and with the energy demand that the house has calculated the number of solar panels, the number of batteries and the type of regulator and inverter, in addition fuses were added to avoid short circuits which will provide greater security to the equipment. For this system a connection was designed in parallel with the solar panels and batteries, which increased the potential and obtained greater capacity of energy accumulation, which was regulated by the use of a solar controller, which allowed a system voltage of 12V.

Finally, it was tested in 3 specific days: sunny, partially cloudy and cloudy, with a certain load value. Under these conditions, voltages, amperages and power were measured at the input and output of the solar regulator, achieving the behavior of the consumption of the batteries and ensuring that the photovoltaic system is functioning correctly.

Keywords: Solar radiation, energy demand, solar panels, system voltage, batteries.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

Para el presente proyecto técnico se ha tomado como referencia:

Según [1] toma en cuenta la importancia de tener una investigación previa acerca de las condiciones geográficas y ambientales para poder instalar un convertidor híbrido de energía eléctrica que funciona con paneles solares y un generador eólico. Este proyecto lo realizaron en la Comunidad de Río Blanco, para la implementación de agua caliente de uso domestico diseñaron un calentador de agua para disminuir el consumo de energía eléctrica.

Según [2] menciona que es esencial tener un sistema de control para mejorar el almacenamiento energético que requiere un generador de energía renovable eólico-solar para la comunidad de Yatzaputzán del sector de Río Blanco en la provincia de Tungurahua. Utilizó parámetros de funcionamiento de los paneles solares y del generador eólico, para incrementar la vida útil de los equipos. Diseñaron un programa y conexiones de los componentes que fueron capaces de controlar la carga y descarga de las baterías.

Según [3] señala que implementaron un sistema fotovoltaico de baja potencia para una vivienda de escasos recursos que está ubicada en el sector Río Blanco, en el cantón Ambato para que obtengan energía eléctrica en esa zona. Además agregó un tablero de control para que puedan utilizar el sistema fotovoltaico y el generador eólico de baja potencia a la vez; el proyecto tiene dos controladores, uno que regula la energía obtenida de las fuentes y otro regula el consumo de las cargas para poder mejorar la vida útil de las baterías.

Según [4] realizaron un estudio sobre cargas de iluminación las cuales son de fácil adaptación, debido a que en el sector no existía iluminación durante la noche, por lo que posteriormente realizaron la implementación de paneles solares los cuales van a

suministrar energía eléctrica a 4 viviendas de la comunidad Puerto Roma en el Golfo de Guayaquil.

1.2 Descripción del lugar

La Empresa Pública de Comercialización Turística “Orellana Turismo E.P.”, posee un parque turístico llamado “Yasuniland”, el cual se ubica al frente de la ciudad de Puerto Francisco de Orellana y está rodeado por los ríos Payamino y Napo, afluentes del gran río Amazonas. El parque cuenta con 59,10 hectáreas y al ser una representación cercana al Parque Nacional Yasuní no posee vías de acceso, lo que no facilita la instalación de redes de energía eléctrica en la zona. Por lo que se está ocupando generadores de energía en la casa-comedor turístico, ocasionando ruido y haciendo que las especies que se encuentran en su hábitat podrían sentirse amenazadas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Diseñar e implementar un sistema de generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas ubicada en las riveras del Río Payamino de la Ciudad del Coca para la empresa Orellana Turismo E.P.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Determinar los factores más importantes para la utilización de este recurso energético
- Elegir los dispositivos o componentes del sistema de generación de energía eléctrica de acuerdo a los parámetros de diseño.
- Implementar el sistema de generación de energía eléctrica en la empresa.
- Evaluar la eficiencia del sistema de generación de energía eléctrica.

1.4 Fundamentación teórica

1.4.1 Energía solar

El sol es la principal fuente de generación de vida y energía en la Tierra. La energía solar es la autora de la mayoría de las fuentes renovables que existen, como por ejemplo la biomasa, la hidroeléctrica, la fotovoltaica y la solar termina, entre otras. [5]

➤ Energía solar térmica

Llamada también termosolar, consiste en el aprovechamiento de la radiación del sol para producir calor que puede aprovecharse para la producción de agua caliente sanitaria para consumo o calefacción, además de la producción de energía mecánica para convertirla en energía eléctrica a partir de vapor de agua en plantas termosolares. Este tipo de energía utiliza colectores a través de ellos y que a su vez es el encargado de producir el aumento de temperatura de un fluido que se quiera calentar, ya sea agua para uso domestico, agua para calefacción o para la producción de vapor de agua para producir electricidad. [5]

➤ Energía solar fotovoltaica

Es la fuente de energía de origen renovable que se obtiene gracias a la tecnología que genera corriente continua a partir de la radiación solar (potencia medida en vatios o kilovatios), mediante un dispositivo llamado “célula fotovoltaica”, que posee semiconductores cuando son iluminados por un haz de fotones. Cuando esta célula se expone a la radiación solar, un fotón de energía luminosa separa un electrón del material semiconductor, creando un “espacio” que es “ocupado” a su vez por otro electrón procedente de otro “espacio”. Este movimiento de electrones provoca una diferencia de potencial y, por lo tanto, una tensión eléctrica entre dos partes del material, tal y como ocurre en una pila, dando lugar a una corriente eléctrica. [5] [6]

Este tipo de energía solar fotovoltaica posee algunas ventajas que son:

- Es una energía limpia, renovable y no tiene precio.
- Mantenimiento e inseguridad muy bajo.
- Su instalación es fácilmente modulable; se puede disminuir o incrementar la potencia instalada según las necesidades.
- Son sencillas y no generan ruido.
- Se puede instalar en cualquier lugar donde se requiera, es decir, es energía descentralizada.
- Se lo puede realizar en instalaciones aisladas o acoplar con la energía eléctrica residencial.

1.4.2 Radiación solar

Se le llama radiación solar a las ondas electromagnéticas que llegan al planeta tierra, que se desplazan por el espacio en todas las direcciones, ya que estas no necesitan un medio físico para desplazarse. [7]

La energía contenida en los rayos del sol se puede calcular a partir de la fórmula de Planck:

$$E = h \cdot f$$

donde:

E= Energía de la radiación (J).

h= Constante de Planck, cuyo valor es: 6.625×10^{-34} Js.

f= Frecuencia de las ondas de luz (s^{-1}).

Mediante esta fórmula, se puede deducir que hay radiaciones muy energéticas (como por ejemplo los rayos gamma) y otras con menos energía (como por ejemplo los rayos infrarrojos). Esto se interpreta en que existen radiaciones que no son capaces de traspasar la capa atmosférica terrestre, mientras que otras (como por ejemplo los rayos X) pueden traspasar los tejidos. [7]

La radiación solar incide sobre la superficie de la tierra después de atravesar la atmósfera, en la que se debilita por diferentes tipos de efecto llamados reflexión, difusión y absorción de la materia atmosférica. La atmósfera absorbe parte de la radiación solar. En unas condiciones óptimas, con un día perfectamente claro y con rayos del sol cayendo casi perpendiculares, las tres cuartas partes de la energía que llega del exterior alcanzan la superficie. Lo demás se refleja en la capa atmosférica y su trayectoria va al espacio exterior. [5]

Como se puede observar en la figura 1 se muestra como los rayos provenientes del sol al contacto con la atmósfera de la tierra comienzan a tomar diferentes trayectorias como por ejemplo las que atraviesan las nubes haciéndose radiación dispersa después de traspasarlo.

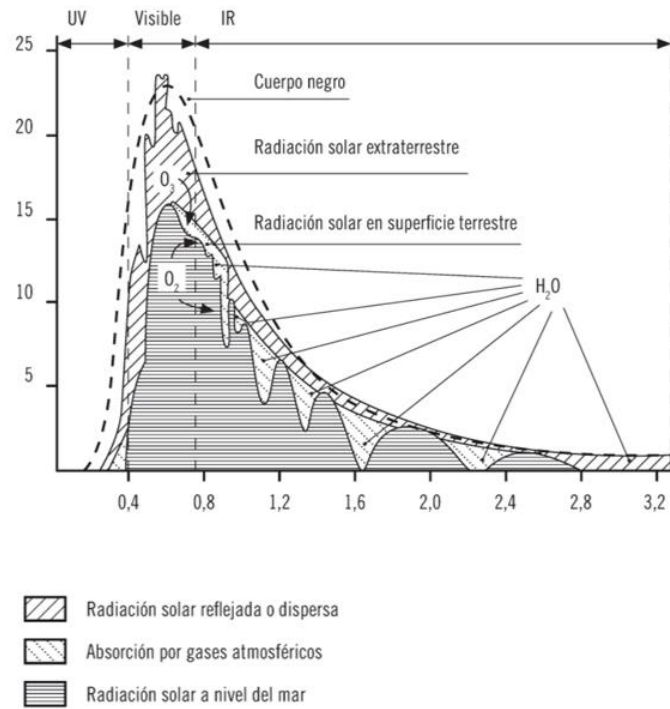


Figura 1: Distribución espectral terrestre.

Fuente: [7]

➤ Componentes de la radiación solar

Como se muestra en la figura 2 según como llegue la luz solar a la superficie de la tierra, podemos clasificar la radiación en tres diferentes tipos: radiación directa, radiación difusa o dispersa y albedo. [5]

- Radiación directa: es la radiación que atraviesa la atmosfera sin interacción con ella, la cual está formada por los rayos que provienen directamente del sol sin ser dispersados. [7]
- Radiación difusa: son aquellos rayos que han sido redireccionadas por efecto de la atmósfera o reflejada por la superficie de la tierra. [7]
- Radiación del albedo: originario del suelo, se debe a la reflexión de parte de la radiación incidente sobre edificios, lagos, montañas, etc. Depende exclusivamente de la naturaleza de los elementos que tienen relación. [7]
- Radiación global: es la suma de las componentes de la radiación directa y radiación difusa. [8]

- Radiación total: es la suma de las componentes de la radiación directa, radiación difusa y radiación del albedo. [3]

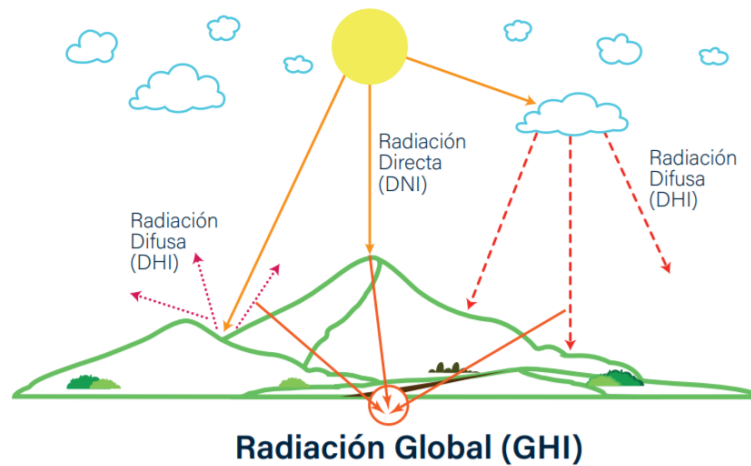


Figura 2: Representación gráfica de las componentes de radiación solar.

Fuente: [8]

Cabe recalcar que en algunas bibliografías la palabra radiación lo llaman irradiación pero en esta investigación la definiremos:

- **Irradiación:** es la energía por unidad de un plano en el transcurso del tiempo. Posee la unidad de medida J/m^2 (Julios por metro cuadrado) o también se expresa Wh/m^2 o kWh/m^2 (potencia). [9]
- **Irradiancia:** Es la magnitud empleada para representar la potencia incidente por unidad de área de la radiación electromagnética. Su unidad de medida es kW/m^2 (kilovatio por metro cuadrado). [9]

➤ Horas Pico Solar

Se puede definir como HPS (horas pico solar) a la obtención de energía solar disponible en que las celdas solares pueden aportar energía a los sistema de consumo hasta con radiación solar difusa, pero en pequeñas cantidades, a comparación de momentos con gran luminosidad solar. [10]

➤ Radiación en el Ecuador

Existe un estudio realizado por la Nacional Renewable Energy Laboratory – NREL de los Estados Unidos, la cual se desarrollo el modelo CRS (Climatological Solar

Radiation Model), que proporciona datos acerca de la insolación diaria total sobre una superficie horizontal en celdas de alrededor de 40 km x 40 km alrededor del mundo y los valores resultantes han sido validados por medio de la medición de datos por estaciones meteorológicas. [11]

Esta información ha sido base para crear el Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica, corresponde al periodo entre el 1 de enero de 1985 y el 31 de diciembre de 1991 y finalmente publicado en julio del año 2006. En este atlas se puede encontrar los datos de la energía solar promedio mensual y anual representadas en valores diarios de insolación total (directa y difusa) e insolación global sobre una superficie horizontal y todo estos valores están expresados en Wh/m²/día. [11]

Como se observa en la figura 3, este estudio muestra imágenes del mapa del Ecuador de todo un año con los valores correspondientes a cada mes, dando como resultado que el Ecuador tiene una insolación global promedio de 4,574 kWh/m²/día. [11]

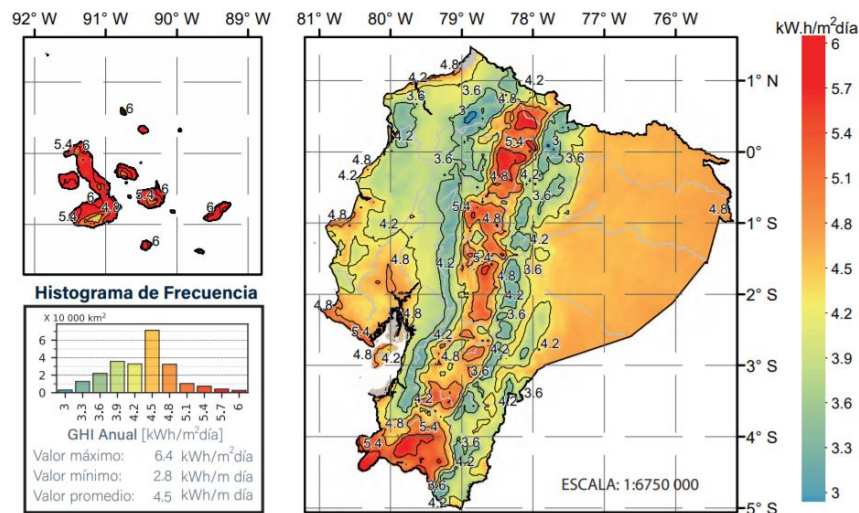


Figura 3: Radiación Global en el Ecuador del año 2019.

Fuente: [8]

➤ Datos de la radiación de la NSRDB para la ciudad del Coca

La NSRDB (The National Solar Radiation Database) es una colección completa en serie de valores de datos meteorológicos por hora y media hora y las tres medidas más comunes de radiación solar: irradiancia horizontal global, normal directa y horizontal difusa que forma parte de la NREL (Nacional Renewable Energy Laboratory) de los Estados Unidos. [12]

Cubre los Estados Unidos y un subconjunto creciente de ubicaciones internacionales. Estos datos se han recopilado en un número suficiente de ubicaciones y escalas temporales y espaciales para representar con precisión los climas regionales de radiación solar. [12]

El modelo PMS (Modelo Solar Físico) que ocupa la NSRDB para la obtención de los datos de la irradiancia fue realizado por la NREL y este modelo cubren las Américas y, incluido Hawái, entre aproximadamente 21 grados de latitud sur (aproximadamente 300 km al norte de Sao Paolo, Brasil) y aproximadamente 60 grados al norte (aproximadamente 200 km al sur de Anchorage, Alaska). [13]



Figura 4: Mapa donde se encuentra realizado el estudio de irradiancia mediante el modelo PSM

Fuente: [13]

En la página web de la NSRDB existe un enlace donde posee una pequeña herramienta, mediante software, tipo calculadora que ayuda a obtener un análisis de costos con la radiación que existe en el lugar, de allí se puede obtener los datos de la ubicación que desees, lo que ayuda en tener datos verdaderos de una manera rápida y exacta. [13]

En el software se selecciona en un mapa el lugar que se desee con un rectángulo de aproximadamente 10km², dándonos los valores de radiación de esa zona de un año, mediante la recopilación de varios años, el año mas reciente realizado es del 2019. [13]

Aplicando este software se obtuvo los datos de radiación solar para la instalación del proyecto en el Parque Yasuniland. En el Anexo I se puede observar el procedimiento para la obtención de los datos.

1.4.3 Paneles solares

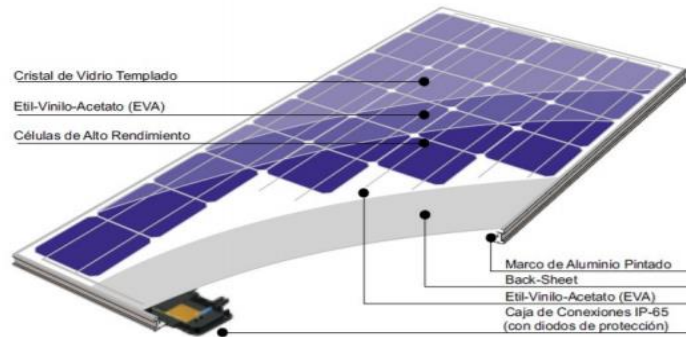


Figura 5: Composición de un panel solar

Fuente: [14]

Como se observa en la figura 5, un módulo de panel solar es una colección de varias células solares. Una célula solar es un dispositivo semiconductor diseñado para convertir la irradiancia solar en electricidad. (La irradiancia solar es la energía electromagnética del sol. La energía electromagnética de otras fuentes como las lámparas también puede ser utilizada por las células solares para generar electricidad si la energía de los fotones es lo suficientemente alta para romper los pares de electrones). La mayoría de las células solares disponibles están hechas de silicio. [15]

El beneficio de usar silicio es su tecnología de procesamiento madura. La gran abundancia en la corteza de la tierra, y su no toxicidad la hace una elección sabia y obvia. El silicio se utiliza en células fotovoltaicas para la producción de módulos fotovoltaicos monocristalinos y policristalinos. En silicio monocristalino, la red cristalina de la muestra entera es continua sin límites de grano. Los cristales múltiples están compuestos por un número de cristales más pequeños o múltiples cristales de silicio pequeños. En general, la oblea de silicio monocristalino tiene un mejor rendimiento que las obleas de silicio policristalino. [15]

El voltaje de la corriente eléctrica de una célula solar de silicio monocristalino o policristalino es de 0,5 voltios. Esto resulta del voltaje a través de la capa de barrera N/P de la célula solar. La corriente o amperaje de la célula solar depende del número de electrones que son golpeados en la banda de conducción. Esta corriente es proporcional a la cantidad de radiación solar incidente en la célula solar. La corriente de la célula solar se puede aumentar aumentando el área de la célula solar o aumentando la cantidad de radiación solar incidente en la célula solar. Las células solares pueden ser pensadas como baterías solares. [15]

➤ **Conversión eléctrica**

La conversión de energía fotovoltaica en células solares consta de dos pasos importantes. La primera es la absorción de luz que genera un par de agujeros de electrones. El electrón y el agujero se separan entonces con electrones que van a la terminal negativa y agujeros a la terminal positiva. De ahí la generación de energía eléctrica. Para que ocurra este proceso utilizan materiales especiales. [15]

Los materiales especiales utilizados para la construcción de las células solares se denominan semiconductores. Estos materiales se utilizan porque la energía de los electrones de la última capa de valencia de sus átomos es parecido a la energía de las partículas que originan la radiación solar (fotones). [7]

La célula fotovoltaica está conformada por dos zonas, para formar un campo eléctrico dentro de ésta lo que hace es manipular químicamente distintamente a las dos regiones. En la primera se le sustituyen algunos átomos de silicio por átomos de fósforo, la cual posee cinco electrones de valencia, uno mas que el silicio, quedando un electrón libre. A la segunda zona se sustituye por átomos de boro, la cual posee 3 electrones de valencia, uno menos que el silicio, lo que da por resultado que este un espacio vacío y disponible. Dando como consecuencia que los electrones fluyan desde la zona tratada con fósforo hacia la zona tratada con boro y los huecos fluyan generando así un campo eléctrico en la unión P-N como se ve en la figura 6. [14]

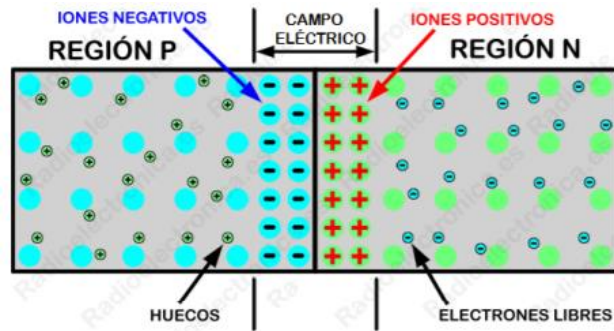


Figura 6: Unión P-N

Fuente: [14]

➤ **Paneles fotovoltaicos en el mundo**

La tecnología fotovoltaica es un mercado de rápido crecimiento: la tasa de crecimiento anual compuesta (TCAC) de las instalaciones fotovoltaicas acumuladas, incluyendo fuera de la red, fue del 35% entre 2010 y 2019. En cuanto a la producción de módulos fotovoltaicos en 2019, China ostenta el liderazgo con una participación del 66%, seguida del resto de Asia-Pacífico y Asia Central con un 18%. Europa contribuyó con un 3%; Estados Unidos/Canadá contribuyó con un 4%. [16]

En 2019, la contribución de Europa al total acumulado de instalaciones fotovoltaicas ascendió al 24% (frente al 25% en 2018). En cambio, las instalaciones en China representaron el 36% (el mismo valor que el año anterior).

La tecnología fotovoltaica basada en obleas de silicio representó alrededor del 95% de la producción total en 2019. La participación de la tecnología monocristalina es ahora de aproximadamente el 66% (en comparación con el 45% en 2018) de la producción total. [16]

En la figura 7 se observa como ha avanzado la producción de energía fotovoltaica en MWp en las mayores regiones de energía solar desde 1997 al año 2019.

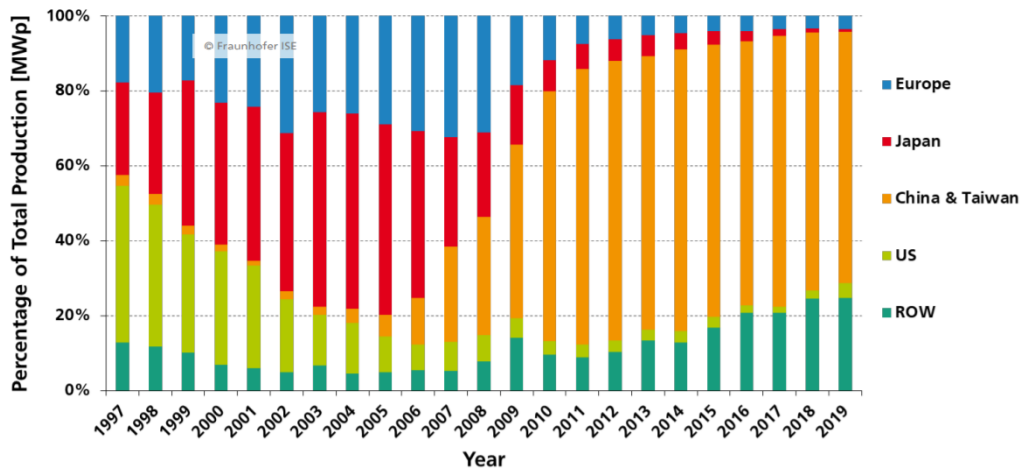


Figura 7: Porcentaje del total de MWp producido por regiones 1997-2019.

Fuente: [16]

La energía solar, junto con la eólica, marcaría el camino en la transformación del sector eléctrico mundial. La energía eólica sería una de las principales fuentes de generación de electricidad, suministrando más de un tercio de la demanda total de electricidad. La energía fotovoltaica solar seguiría, suministrando el 25% de la demanda total de electricidad, lo que representaría un aumento de más de diez veces en la proporción de energía fotovoltaica solar de la mezcla de generación para 2050 en comparación con los niveles de 2018 como se observa en la figura 8.

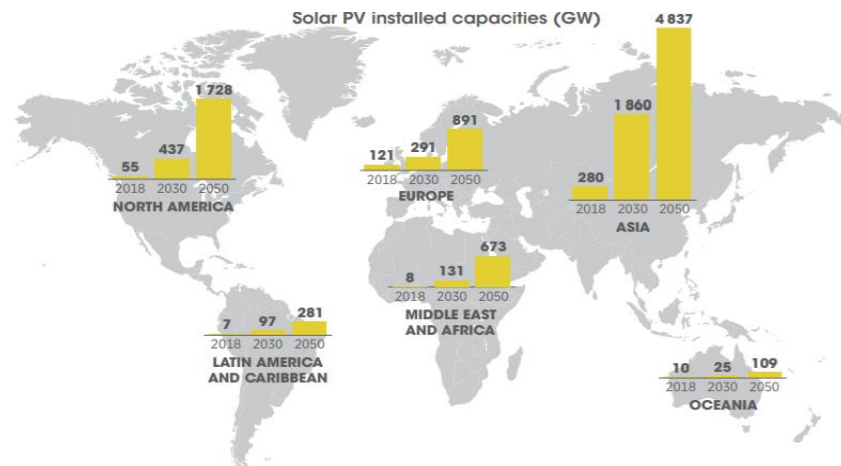


Figura 8: Instalaciones solares fotovoltaicas globales de los años 2018-2030-2050

Fuente: [17]

➤ **Tipos de paneles solares**

Uno de los más importantes componentes de un sistema de generación de electricidad mediante la energía solar es el panel (llamado también módulo fotovoltaico o captador solar). Generalmente, un panel solar está formado por un número variable de células solares, entre 31 y 36, conectadas en serie, lo cual genera un determinado voltaje dependiendo del número de células; el fabricante establece el número mínimo para garantizar la carga efectiva para el banco de baterías. [18]

Existen actualmente varios tipos de paneles solares que están en el mercado los cuales son: [18]

- Paneles solares monocristalinos
- Paneles solares policristalinos
- Paneles solares amorfos
- Paneles solares de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre
- Paneles solares de arsénico de galio
- Paneles solares de diseleniuro de cobre en indio
- Paneles solares de telurio de cadmio
- Paneles solares bifaciales

➤ **Paneles solares monocristalinos**

Los paneles solares monocristalinos proporcionan el rendimiento más elevado, alrededor del 20% en la fabricación en serie y un 24% en modelos de laboratorio. Se obtienen de silicio puro fundido y dopado con boro, su inconveniente es que tienen un precio medio alto. Por su rentabilidad energética son las placas más ocupadas en las instalaciones. Las características que poseen estos paneles son: tienen típicos los colores azules homogéneos y la conexión de las células son individuales entre sí. [18], [19]



Figura 9: Célula monocristalina

Fuente: [19]

➤ **Paneles solares policristalinos**

Estos paneles proporcionan un rendimiento con valores entre 12 y 14 %, tienen un espesor reducido de varias micras. Se diferencian de los paneles monocristalinos por lo que su forma es cuadrada, haciendo que se aproveche mejor el espacio entre las células que componen el panel solar, también los costos para este tipo de panel son menores, ya que se fabrica con menor composición de silicio y el proceso es menos dificultoso. Algunas características que poseen son: la superficie está estructurada en cristales y posee diferentes tonos azulados como se observa en la figura 10. [18], [19]

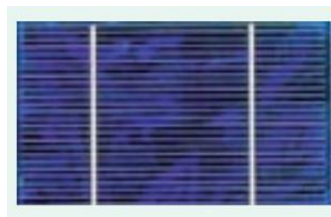


Figura 10: Célula policristalina

Fuente: [19]

➤ **Paneles solares amorfos**

Tienen un rendimiento inferior al 10% y una ventaja que poseen es su maleabilidad. Hoy en día se instalan en tejados y superficies de edificios de oficinas donde se aplica en tamaños significativos por su adaptabilidad. Poseen un futuro muy asegurado ya que son extremadamente delgados y económicamente rentables. Una característica de este panel es que tiene un color homogéneo (marrón), pero no tiene conexión perceptible entre las células. [18], [19]



Figura 11: Células amorfos

Fuente: [19]

➤ **Paneles solares de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre**

Estos paneles tienen como ventaja que su proceso de fabricación es fácil porque se utiliza poco material activo. Los rendimientos máximos obtenidos en laboratorio no superan el 10%, que quedan reducidos a la mitad cuando llegan a la actividad industrial. [18]

Una desventaja es que radica en que las células se degradan con el paso del tiempo, pero se continúa estudiando, porque los precios pueden ser muy competitivos debido a su bajo costo. [18]

➤ **Paneles solares de arsénico de galio**

Estos paneles son los más convenientes para la fabricación de paneles, ya que su rendimiento teórico alcanza límites con valores cercanos al 27-28% en su versión monocristalina. Lamentablemente presenta inconvenientes por la escasez del material, lo que limita mucho la materia prima. Una ventaja es que tienen un coeficiente elevado de absorción, lo que hace que con poco material se obtenga un rendimiento elevado. [18]

➤ **Paneles solares de diseleniuro de cobre en indio**

Estos paneles tienen unos rendimientos en laboratorio con valores aproximados al 17% y en módulos comerciales del 9%. [18]

➤ **Paneles solares de telurio de cadmio**

Posee un rendimiento en laboratorio de aproximadamente de 16% y en módulos comerciales del 8%. [18]

➤ **Paneles solares híbridos**

Estos paneles tienen una combinación entre panel solar fotovoltaico y un panel solar térmico. Esto trata de refrigerar las células fotovoltaicas con la actuación del agua, que a la vez, por medio de un acumulador, se puede utilizar como agua hervida sanitaria. [18]

Tabla 1: Tipos de paneles solares

Tipo de panel solar	Rendimiento	Características
Monocrystalino	20%	Posee típicos colores azulados homogéneos y la conexión de las células son individuales entre si
Policristalino	14%	Su superficie está estructurada en cristales y posee diferentes tonos azulados
Amorfo	Menor al 10%	un color homogéneo (marrón), pero no tiene conexión perceptible entre las células
Sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre	Menor al 10%	Las células se degradan con el paso del tiempo.
Arsénico de galio	28% en laboratorio	Tienen un coeficiente elevado de absorción, lo que hace que con poco material se obtenga un rendimiento elevada.
Diseleniuro de cobre en indio	9%	-
Teluro de cadmio	8%	-
Híbrido	-	Posee un panel solar térmico que ayuda a enfriar con el agua las células fotovoltaicas.

Fuente: Autor

En la tabla 1 se puede observar una comparación entre los tipos de paneles solares que existen en el mercado, con sus respectivos rendimientos y características.

1.4.4 Tipos de instalaciones solares fotovoltaicas

Existen 3 aplicaciones de las instalaciones solares fotovoltaicas las cuales se clasifican dependiendo del consumo final, como puede ser para generar directamente electricidad y ponerla en la red domestica, también para una vivienda aislada sin disponibilidad de red eléctrica o como sustento para conseguir una autonomía energética en domicilios mediante energías renovables. [20]

➤ Instalación solar fotovoltaica conectada a la red

Si se toma en cuenta una gran proporción libre de una superficie y se desea utilizar la energía solar para convertirla a energía eléctrica, pueden interconectarse los paneles solares que están formados por células fotovoltaicas y con eso conectar a la red eléctrica la energía que, en forma pasiva, se está generando. [20]



Figura 12: Paneles solares conectados en un campo para generar energía eléctrica

Fuente: [20]

➤ Instalación solar fotovoltaica aislada

Hay hogares que no están conectadas a una red eléctrica, esto puede ser por su ubicación de difícil acceso o porque están construidos en sitios fuera del plan de expansión de instalaciones eléctricas comunes. [20]

Una vivienda urbana tiene los servicios básicos que son agua potable, saneamiento e instalaciones de electricidad, por lo que una vivienda aislada no puede tener la mayoría de servicios básicos debe suministrarse de manera autónoma con energía eléctrica. [20]



Figura 13: Instalación solar aislada

Fuente: [20]

➤ **Instalación solar fotovoltaica aislada con sistema de apoyo**

La energía que se consumen hoy en día de los hogares ha estado aumentado a lo largo del tiempo gracias a que se necesitan mas aparatos domésticos para su comodidad, lo que hace que incremente el consumo energético, haciendo que una instalación solar no pueda abastecer una vivienda, por lo que requiere de un apoyo de otras fuentes de energía autónoma para darle un agregado a la instalación eléctrica. [20]

Para estos casos, una buena opción seria el uso de pequeños aerogeneradores que generan electricidad con el movimiento de las hélices gracias a la fuerza del viento que esta siendo atravesado o generadores de energía eléctrica con uso de combustibles fósiles derivados del petróleo como la gasolina o el diésel. [20]



Figura 14: Equipos de apoyo para una vivienda aislada

Fuente: [20]

➤ Bombeo de agua

Una característica fundamental, que limita la implantación de las instalaciones fotovoltaicas, radica en la dificultad de almacenar energía eléctrica en grandes cantidades y mediante sistema barato. Si este sistema que ocupa energías solar es utilizado para bombear agua, este dilema se puede eludir, ya que se puede almacenar agua durante periodos de generación de electricidad para ocuparla cuando se lo requiera. [21]

El agua puede bombearse mediante diferentes tipos de bombas, pero las más adecuadas para ese proceso son las bombas alternativas y las centrífugas, siendo la última como la más utilizada habitualmente. [21]

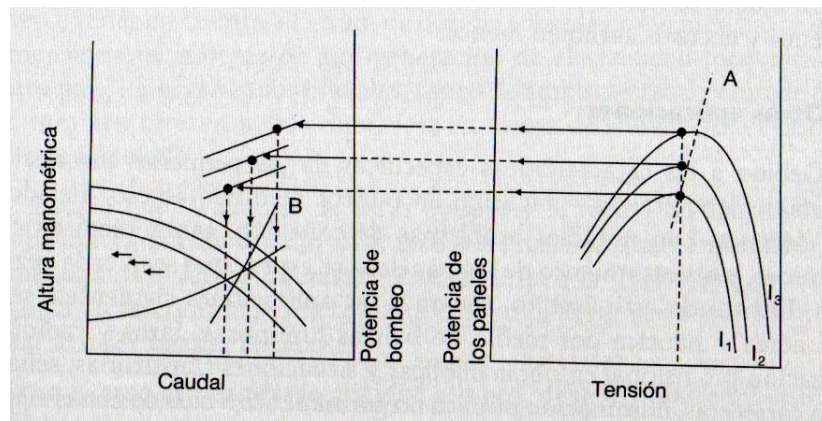


Figura 15: Relación entre la radiación incidente sobre el panel fotovoltaico y el punto de trabajo de la bomba

Fuente: [21]

1.4.5 Orientación e inclinación de los paneles

Para que tenga una buena recepción de la radiación solar se debe establecer una serie de mediciones para poder colocarlo de manera que pueda captar de manera óptima los rayos del sol. [4]

Para la orientación del panel fotovoltaico se debe tomar en cuenta el hemisferio en el cual se va a instalar los paneles, para instalaciones que se encuentren en el hemisferio norte se debe orientar hacia el sur y si se encuentra la instalación en el hemisferio sur, la ciudad del Coca se encuentra en el hemisferio sur, por lo que se debe orientar hacia el norte. [10]

Para la inclinación se toma en cuenta la latitud de la zona, por lo que a mayores latitudes (mayores a 30°), estos están mucho mas inclinados para poder nivelar las fluctuaciones por estaciones. Las zonas que se encuentran cerca de la lineal ecuatorial la latitud es prácticamente 0, por lo cual los paneles se lo deben colocar a 15° para evitar que se puedan presentar partículas como polvo, hojas, y agua de lluvia lo cual no permite que se obtenga una optima eficiencia. [10]

Tabla 2: Ángulos de inclinación para sistemas fijos

Latitud del lugar (en grados)	Ángulo de inclinación fijo
0° a 15°	15°
15° a 25°	El mismo valor de la latitud
25° a 30°	La latitud mas 5°
30° a 35°	La latitud mas 10°
35° a 40°	La latitud mas 15°
40° o mayor	La latitud mas 20°

Fuente: [4]

1.4.6 Regulador solar

Un controlador de carga o alternativamente un regulador de carga es básicamente un regulador de tensión y/o corriente, para evitar que las baterías se sobrecarguen. Regula el voltaje y la corriente que vienen de los paneles solares y van a la batería. La mayoría de los paneles de "12 voltios" producen entre 16 y 20 voltios, así que si no hay regulación, las baterías se dañarán por sobrecarga. [22]



Figura 16: Reguladores solares

Fuente: [23]

➤ Tipos de reguladores

Los dos tipos de controladores de carga más comúnmente utilizados en los sistemas de energía solar de hoy son la modulación de ancho de pulso (PWM) y el seguimiento de punto de potencia máxima (MPPT). Ambos ajustan las tasas de carga dependiendo de la capacidad máxima de la batería, así como monitorear la temperatura de la batería para evitar el sobrecalentamiento. [22]

- **Controlador de carga de modulación de ancho de pulso (PWM)**

El regulador de carga de ancho de pulso (PWM) es el medio más eficaz para lograr una carga de batería de tensión constante ajustando la relación de trabajo de los interruptores (MOSFET). En el controlador de carga PWM, la corriente del panel solar disminuye según el estado de la batería y las necesidades de recarga. [22]

Utiliza el voltaje que requiera para la batería o el banco de baterías para su carga o descarga. Si el panel fotovoltaico esta generando por un momento 16V y la tensión de la batería es de 12V, para la carga el regulador proveerá el voltaje de 12V a la batería y los 4V restantes no van a ser utilizados. [23]

- **Controlador de carga de seguimiento de punto de potencia máxima (MPPT)**

Hoy en día, el controlador de carga solar más avanzado disponible es el Maximum Power Point Tracking (MPPT). Es más sofisticado y más caro. Tiene varias ventajas sobre el controlador de carga PWM. Es 30 a 40% más eficiente a baja temperatura. El MPPT se basa alrededor de un circuito de convertidor de buck sincrónico. Baja el voltaje del panel solar más alto hasta el voltaje de carga de la batería. [22]

En la figura 17 se puede apreciar la diferencia que existe entre los controladores PWM y MPPT en la curva característica de I-V siendo la mejor la MPPT por la mayor área que posee entre el voltaje y la intensidad. [23]

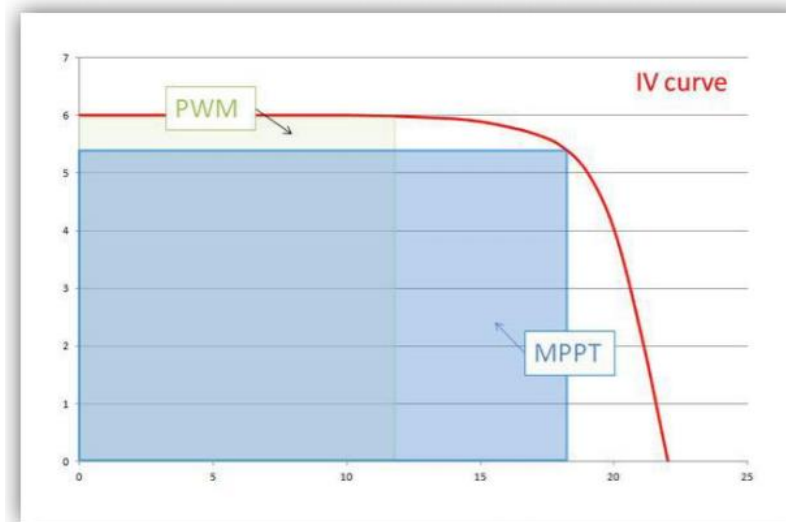


Figura 17: Diferencia en la curva característica I-V entre el PWM y el MPPT

Fuente: [23]

Para la selección del regulador solar se debe tomar en cuenta estos importantes parámetros: [23]

- Voltaje e intensidad de corriente continua (CC) de entrada
- Voltaje e intensidad de corriente continua (CC) de salida hacia la batería
- El tipo de regulador solar (PWM o MPPT)
- El rango del voltaje de MPPT (si concierne)

1.4.7 Inversor

Un inversor solar o inversor fotovoltaico convierte la salida de corriente continua variable de un panel solar fotovoltaico (PV) en una corriente alterna de frecuencia de utilidad pública que puede ser sustentada en una red eléctrica comercial o utilizada por una red eléctrica local fuera de la red. Es un aparato crítico en un sistema fotovoltaico, permitiendo el uso de aparatos comerciales ordinarios. [24]



Figura 18: Parte interna de un inversor solar

Fuente: [24]

Como se puede observar en la figura 18, un inversor contiene varias bobinas y un transistor para que la onda rectangular recibida sea transformada a una onda sinusoidal produciendo un voltaje de salida requerido. [24]

La corriente alterna (CA) es la que se ocupa en las viviendas, los aparatos eléctricos, normalmente que funcionan a 110V de tensión monofásica o 220V de tensión trifásica. En la figura 19 se puede observar un esquema del inversor. [19]

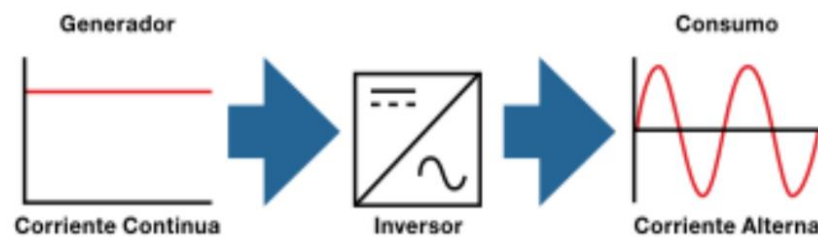


Figura 19: Esquema de un inversor

Fuente: [23]

➤ Características de un inversor

Para la selección de un inversor es necesario tener unos requisitos o características para el empleo en instalaciones solares fotovoltaicas y estas son: [23]

- Una eficiencia optima
- Resistente a las potencias puntas

- Baja distorsión en armónicos
- Bajo consumo en vacío
- Protección contra sobretensiones
- Aislamiento galvánico
- Seguridad

1.4.8 Acumuladores o Banco de baterías

Los acumuladores o bancos de baterías tienen la función de almacenar la energía producida por el sistema fotovoltaico. Esta energía es aprovechada en el transcurso de la noche o en periodos de día cuando hay una baja irradiación. [23]

En resumen, las baterías son esenciales en los sistemas autónomos, para satisfacer la variabilidad de la energía solar, transformando la energía química en energía eléctrica y son recargadas mediante la electricidad proporcionada por los paneles fotovoltaicos y alimentan las cargas. [23]

En la figura 20 se observa de un manual de baterías la curva característica del ciclo de vida de las baterías dependiendo de la profundidad de descarga.

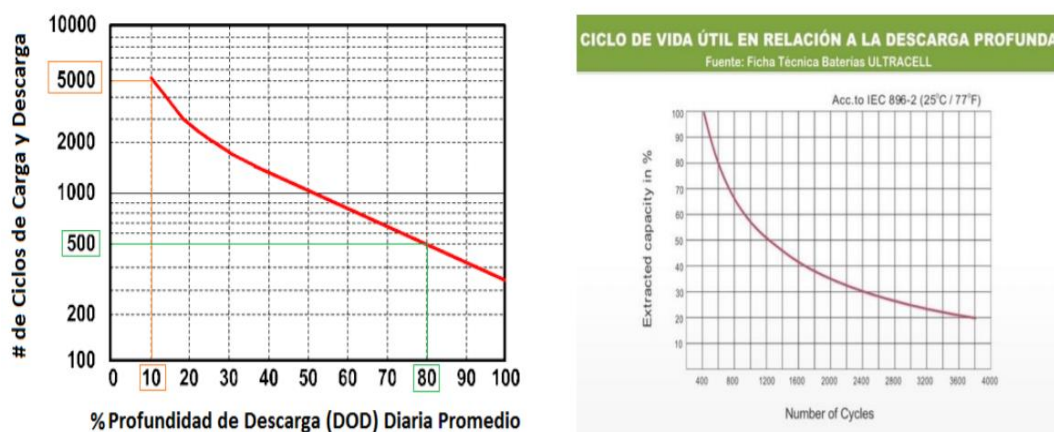


Figura 20: Ciclos de vida de las baterías según profundidad de descarga

Fuente: [23]

➤ Tipo de baterías

En la tabla 3 se puede apreciar los diferentes tipos de baterías que existen en el mercado con sus características básicas:

Tabla 3: Tipos de baterías en el mercado

Tipo	Voltaje	Tiempo de recarga (h)	Autodescarga por mes	Nº de ciclos	Capacidad	Precio
Plomo-ácido	2	8-16 h	Menor al 5%	Medio	30-50Wh/kg	Bajo
Níquel-cadmio	1,2	1 h	20%	Alto	50-80Wh/kg	Medio
Níquel-Metalhidruro	1,2	2-4 h	20%	Medio	60-12Wh/kg	Medio
Litio	3,6	2-4 h	6%	Medio-Bajo	110-160Wh/kg	Alto

Fuente: [19]

Los tipos de baterías que describiremos son lo más importantes y utilizados:

➤ Plomo-Ácido

Este tipo de baterías es el más utilizado por su costo relativamente bajo. Esta conformado por dos electrones de plomo (Pb) y como electrolito el ácido sulfúrico (SO₄H₂), estas partes están en una solución de agua destilada. Cuando la batería posee toda su carga el electrodo positivo posee un depósito de dióxido de plomo (PbO₂) y el electrodo negativo es el plomo. Cuando se descarga la reacción química, la placa positiva y la placa negativa tienen un depósito de sulfato de plomo (PbSO₄), lo que hace que se produzca la siguiente transformación en el interior del acumulador o batería. En la figura 21 se puede observar la reacción química que ocurre en el acumulador o batería. [18]

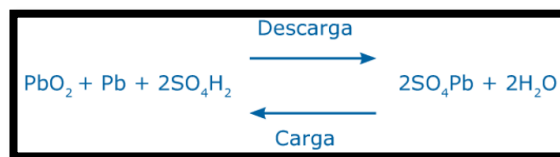


Figura 21: Reacción química que sucede dentro de un acumulador

Fuente: [18]

En la tabla 4 se puede apreciar las ventajas y desventajas de diferentes tipos de baterías de Plomo-ácido.

Tabla 4: Tipos de banco de baterías de Plomo-ácido

Tipo de batería	Ventajas	Desventajas	Aspecto
Tubular estacionario	-Ciclo profundo -Tiempos de vida largos -Reserva de sedimentos	-Precio elevado -Disponibilidad escasa en lugares determinados	
Arranque (automóvil)	-Precio -Disponibilidad	-Mal funcionamiento ante ciclado profundo y bajas corrientes -Escasa reserva de electrolito	
Solar	-Amplia reserva de electrolito -Buen funcionamiento en ciclados medios.	-Tiempo de vida medio -No es recomendada para ciclos profundos y prolongados	
Gel	-Escaso mantenimiento	-Tiene un desgaste rápido en situaciones de funcionamiento extremos.	

Fuente: [4]

➤ Níquel-Cadmio

Este tipo de baterías tienen una estructura física parecida a las del Plomo-ácido, pero se reemplaza el plomo por hidróxido de Níquel para las placas positivas y óxido de cadmio para las placas negativas. [4]

Estas baterías se dividen por elementos de 1,2V; por lo que se requiere 10 elementos colocados en serie para formar una batería de 12V. [18]

1.4.9 Eficiencia energética

Para determinar la eficiencia del sistema de generación de energía eléctrica se va a emplear la siguiente fórmula:

$$\text{Eficiencia energética} = \frac{\text{Potencia demandada por la carga}}{\text{Entrada total de energía}} \quad (\text{Ec. 01})$$

donde:

Potencia demandada por la carga: Potencia utilizada por los equipos en el sistema [W]

Entrada total de energía: Potencia máxima del panel fotovoltaico [W]

Esta fórmula está incluida en la norma internacional ISO 50001 acerca de los sistemas de gestión de energía, que fue publicada en septiembre del año 2011 por la International Organization for Standardization (ISO). [26]

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

En las tablas 5,6 y 7 se detallan los materiales y equipos que se utilizaron para la implementación del sistema fotovoltaico.

Tabla 5: Materiales y equipos del sistema fotovoltaico




Nº	Denominación	Cantidad	Descripción	Imagen	Costo
1	Paneles solares fotovoltaico	3	Panel solar fotovoltaico 405Wp		\$199.62
2	Baterías plomo ácido	4	Batería DC 12V 100Ah		\$278,60
3	Regulador solar	1	Regulador solar 50A PWM		\$83.90

4	Inversor	1	Inversor de voltaje 12v 1500W onda senoidal		\$57,12
---	----------	---	---	--	---------



Fuente: Autor

En la tabla 6 se muestra los materiales ocupados para la conexión entre los equipos del sistema fotovoltaico.

Tabla 6: Materiales eléctricos para el sistema fotovoltaico

Nº	Denominación	Cantidad	Descripción	Imagen	Costo
1	Cable eléctrico	10m	Cable solido calibre n°8		\$15.00
2	Cable eléctrico	70m	Cable solido calibre n°10		\$58.00
3	Cable eléctrico	10m	Cable flexible gemelo calibre n°12		\$14.00

4	Repartidor de corriente	1	Repartidor de corriente 100 A		\$27.50
5	Fusible	2	Fusible 32A		\$1.20
6	Portafusible	2	Portafusible para fusibles de 32A		\$4.60
7	Terminal de compresión	12	Terminal de compresión para cable calibre n°8		\$4.00
8	Breaker	1	Breaker 40A Schneider		\$6.30







9	Caja Térmica	1	Caja térmica 1 punto square		\$14.00
10	Conector MC4 1-1	3	Conectores macho y hembra MC4 1-1		10,75

Fuente: Autor

En la tabla 7 se muestra los materiales y equipos adicionales que tienen varios usos en la instalación del sistema fotovoltaico.

Tabla 7: Materiales y equipos adicionales

Nº	Denominación	Cantidad	Descripción	Imagen	Costo
1	Cinta aislante	2	-		\$2.00
2	Grapas para cable	100	-		\$1.00
3	Tubo acordeón	2 m	-		\$1,00

4	Tairas de plástico	100	-		\$1,50
5	Pernos	25	-		\$3,00
6	Taladro	1	-		-
7	Alicate	1	-		-
8	Pinza de presión	1	-		-
9	Pelacables	1	-		-

10	Multímetro	1	-		-
11	Pinza Amperimétrica	1	-		-
12	Guantes dieléctricos	1	-		-
13	Mandil	1	-		-
14	Botas de seguridad	1	-		-

Fuente: Autor

2.2 Métodos

Las metodologías utilizadas en el proyecto son:

2.2.1 Método de observación

Se realizó el método de observación porque en base a las pruebas de funcionamiento se verificó con la vista, para que el procedimiento realizado en la mediciones y los datos finales anotados sean los correctos y deseados.

2.2.2 Método documental

La realización del Marco Teórico a sido argumentado en base a una serie de bibliografías de la biblioteca virtual de la Universidad Técnica de Ambato. Los documentos que se utilizaron fueron los archivos de internet, revistas, papers relacionados al tema de investigación y de fuentes confiables. La investigación bibliográfica está en base a estudios realizados acerca de la energía solar como un recurso ilimitado para el uso de la población.

2.2.3 Método de comparación

Se realizó el método de comparación porque se comparó las funciones y características de diferentes equipos del sistema fotovoltaico y con eso obtener un costo-beneficio en el proyecto de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos.

2.2.4 Método cualitativo

Se describió este método en base a las características que se debe desempeñar en el diseño del sistema de generación reuniendo los requisitos calculados que parten de las necesidades de funcionamiento del generador de energía.

2.3 Análisis de alternativas

Para la selección de alternativas, en este proyecto se utilizó una matriz de criterios que ayuda a elegir de una manera mas priorizada entre un conjunto de alternativas (como son: Económico, Tipo de panel, Vida útil, Área requerida y Facilidad de instalación), mediante una serie de conceptos ponderados, la mejor opción por medio de simples matemáticas.

2.4 Herramienta para el análisis estático mediante software

Para este proyecto se utilizó el software ANSYS Workbench, el cual permite definir características de análisis como dimensiones de geometría, propiedades de material y condiciones de contorno como parámetros para realizar el estudio de una estructura metálica estática. La Universidad Técnica de Ambato posee la licencia para el uso del programa, haciendo posible su manejo para desarrollar la simulación sin ninguna dificultad.

2.5 Diseño del sistema de conexión eléctrica

Para el diseño del sistema se tomó de la norma vigente sobre conexiones eléctricas, la cual es la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su capítulo 14 de energías renovables.

2.6 Requerimientos de consumo energético

Para la determinación del consumo energético que requiere un lugar determinado, primero se debe conocer las cargas totales que posee, potencia que utiliza cada una y el tiempo que están siendo utilizadas, para lo cual se debe realizar una toma de datos de los equipos que estén instalados en el lugar u observar en fichas técnicas para obtener un valor estimado.

2.7 Pruebas con cargas

Una vez implementado el proyecto, se realizó pruebas de funcionamiento mediante la toma de mediciones de los equipos que estaban instalados en la casa-comedor, con ayuda de instrumentos como: un multímetro digital y una pinza amperimétrica, logrando ver los valores de voltaje y amperaje que arrojaban en ese instante, siendo aplicado el método de la medición.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de los resultados

3.1.1 Parámetros de diseño

Para este proyecto se tomó 2 tipos de modelos para los cálculos del sistema, el primer modelo se basa en la teoría del Atlas Solar del Ecuador, en el cual posee fórmulas para su cálculo y el otro modelo se lo obtuvo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción sobre Energías Renovables. Para los 2 modelos se van a mantener constantes los valores del consumo energético y la hora solar pico para el sistema.

3.1.2 Consumo energético

Los parámetros de diseño en el que se basa el diseño del sistema de generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas parte del análisis del consumo energético que requiere la casa-comedor.

Tabla 8: Consumo energético estimada para la instalación

Equipos	Cantidad	Potencia (watts)	Horas de uso diario	Días de uso por semana	Energía (Wh/Semana)	Potencia total (W)	
Focos	8	12	6	7	4032	96,00	
Lamparas tubulares	6	20	3	7	2520	120,00	
Dispensador de agua	1	77,08	4	7	2158,24	77,08	
TV	1	200	1	7	1400,00	200,00	
Walkie talkie	1	32	24	7	5376,00	32,00	
Sistema de cámaras	1	20	24	7	3360	20,00	
Cargadores/enchufes	5	10	2	7	700	50,00	
				Total demanda energética semanal	19546,24	Total Potencia	595,08
				Total demanda energética diaria (+5%)	2931,936 (Wh/día)		

Fuente: Autor

En la tabla 8 se calcula el consumo energético para la instalación del sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos con un consumo de energía diario será: $E_D = 2,931 \text{ kWh/día}$. Se agrega un 5% de energía por posibles pérdidas que pueda presentar por el autoconsumo del inversor, según la Norma de la Construcción (NEC) en su capítulo 14 sobre energías renovables. [25]

3.1.3 Horas solar pico para el sistema

Los datos que se consiguieron sobre la radiación solar esta basada en un estudio de varios años, el año mas reciente del estudio es del 2019 lo cual la pagina de la NREL nos proporciona estos valores: [12]

RESULTADOS

 Print Results

Mes	Radiación solar ² (kWh / m ² / día)
enero	5.13
febrero	4.52
marzo	4.27
abril	4.08
Mayo	3,60
junio	3,22
julio	3,47
agosto	4.16
septiembre	4,79
octubre	5.23
noviembre	5.33
diciembre	5.31
Anual	4.43

Figura 22: Radiación solar que existe en la zona del proyecto

Fuente: [12]

En la figura 22 se observa que el valor promedio de un año de la radiación solar es de **4,43 kWh/m²** diaria en la zona de instalación del proyecto. Con este valor se ocupara para los cálculos del número de paneles solares que se necesitara, entonces:

$$HPS = \frac{\text{radiación solar}}{1000 \frac{W}{m^2}} \quad (\text{Ec. 02})$$

$$HPS = \frac{4430 \frac{Wh}{m^2}}{1000 \frac{W}{m^2}}$$

$$HPS = 4,430 \text{ h}$$

Con este valor tendremos un poco más de 4 horas durante el día para que se aproveche el valor de 1000W/m² de irradiancia sobre una superficie inclinada.

3.1.4 Modelo del Atlas Solar del Ecuador

3.1.4.1 Dimensionamiento del módulo fotovoltaico

Para el dimensionamiento se han seleccionado 2 modelos de paneles solares con los datos más relevantes de su ficha técnica para conocer el número total de paneles solares, en este caso fue un panel de 330 Wp y de 405 Wp de diferentes marcas como se logra observar en la siguiente tabla:

Tabla 9: Características de los paneles solares

		
Marca		
Modelo	Cheetah HC 72M405	SMM6-72
Material	Monocristalino	Monocristalino
Número de celdas	72	72
Peso (kg)	22 kg	24 kg
Medidas (mm)	2008*1002*30mm	2000*992*40mm
P. máxima (Pmp)	405 W	330 W
V. nominal (Vmp)	40,42 V	38,72 V
V. máximo (Voc)	49,1 V	46,74 V
C. nominal (Imp)	10,02 A	8,52 A
C. máxima (Isc)	10,69 A	9,38 A

Fuente: Autor

Para comenzar con el cálculo se debe saber primero la carga diaria de corriente, lo cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$B5 = \frac{E_D}{B4} \quad (\text{Ec. 03})$$

donde:

B5: Carga diaria de corriente [Ah]

E_D: Carga diaria total o consumo diario de energía [Wh/día]

B4: La tensión del sistema (en este caso se va a ocupar 12v) [v]

$$B5 = \frac{2931,936 \text{ Wh/día}}{12 \text{ v}}$$

$$B5 = 244,328 \text{ Ah}$$

Con el valor de la ecuación 3 se debe dar un factor de seguridad del 20% por pérdidas del sistema por lo que daría:

$$B7 = B5 * 1.2 \quad (\text{Ec. 04})$$

$$B7 = 244,328 \text{ Ah} * 1.2$$

$$B7 = 293,194 \text{ Ah}$$

Ahora se calcula la corriente pico del sistema con la siguiente formula:

$$B9 = \frac{B7}{B8} \quad (\text{Ec. 05})$$

donde:

B9: Corriente pico del sistema [A]

B7: Carga de corriente corregida [Ah]

B8: Radiación solar establecido [kWh/m²]

$$B9 = \frac{293,194 \text{ Ah}}{4,43 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}}$$

$$B9 = 66,184 \text{ A}$$

Se calcula ahora el arreglo de los módulos con la fórmula:

$$C3 = \frac{C1}{C2} \quad (\text{Ec. 06})$$

donde:

C3: Arreglo de módulos

C1=B9: Corriente pico del sistema [A]

C2: Corriente pico del panel (información del catálogo) [A]

$$C3 = \frac{66,184 A}{8,52 A}$$

$$C3 = 7,768 \approx 8$$

Para finalmente obtener el valor de cuantos paneles se necesita se debe realizar el calculo de la tensión del sistema sobre la tensión del módulo con la siguiente fórmula:

$$C7 = \frac{C5}{C6} \quad (\text{Ec. 07})$$

donde:

C7: Tensión del sistema sobre la tensión del módulo fotovoltaico.

C5: Tensión nominal del sistema. [v]

C6: Tensión nominal del módulo fotovoltaico. [v]

$$C7 = \frac{12 v}{24 v}$$

$$C7 = 0,5$$

Con la ecuación 7 calculada ya se puede calcular el número total de módulos para el sistema con la fórmula:

$$C8 = C7 * C3 \quad (\text{Ec. 08})$$

donde:

C8: Número total de módulos

$$C8 = 0,5 * 8$$

$$C8 = 4$$

Para este sistema con paneles de 330Wp se requiere 4 paneles para satisfacer la demanda energética del lugar.

Ahora para el panel de 405Wp se realiza el cálculo y se obtiene:

$$C3 = \frac{66,184 A}{10,02 A}$$

$$C3 = 6,605 \approx 7$$

$$C8 = 0,5 * 7$$

$$C8 = 3,5 \approx 4$$

Para este sistema con paneles de 405Wp se requiere 4 paneles para satisfacer la demanda energética del lugar.

3.1.4.2 Dimensionamiento del banco de baterías

Para el dimensionamiento del banco de baterías parte del calculo de la carga total diaria, la cual ya se dispone y con eso multiplicar con el numero de días de reserva (se debe emplear entre 1 a 5 días máximo), con eso calculamos la capacidad nominal del banco de baterías, con lo cual la fórmula para este cálculo es:

$$D3 = D1 * D2 \quad (\text{Ec. 09})$$

donde:

D3: Capacidad nominal banco de baterías [Ah]

D1=B7: Carga total diaria [Ah]

D2: Días de reserva (en este caso se tomo 1 día para el caso de Ecuador)

$$D3 = 293,194 Ah * 1$$

$$D3 = 293,194 Ah$$

Ahora se calcula la capacidad corregida del banco de baterías con la siguiente fórmula:

$$D5 = \frac{D3}{D4} \quad (\text{Ec. 10})$$

donde:

D5: Capacidad corregida banco de baterías [Ah]

D4: Profundidad de descarga de la batería (anexo VII)

$$D5 = \frac{293,194}{0,65}$$

$$D5 = 451,067 \text{ Ah}$$

Con este valor se calcula el arreglo de las baterías en conexión paralelo para el sistema con la fórmula:

$$D7 = \frac{D5}{D6} \quad (\text{Ec. 11})$$

donde:

D7: Arreglo de baterías en paralelo

D6: Capacidad nominal de la batería (anexo VII) [Ah]

$$D7 = \frac{451,068 \text{ Ah}}{100 \text{ Ah}}$$

$$D7 = 4,51 \approx 5$$

Finalmente para conocer el numero total de baterías se debe conocer la tensión nominal del sistema sobre la tensión nominal de las baterías con la siguiente fórmula:

$$D11 = \frac{D9}{D10} \quad (\text{Ec. 12})$$

donde:

D11: Numero de baterías en serie

D9: Tensión nominal del sistema (en este caso es de 12v) [v]

D10: Tensión nominal de la batería (anexo VII) [v]

$$D11 = \frac{12 \text{ v}}{12 \text{ v}}$$

$$D11 = 1$$

Y con este valor multiplicamos con la ecuación 11 para conocer el número total de baterías:

$$D12 = D7 * D11 \quad (\text{Ec. 13})$$

donde:

D12: Número total de baterías

$$D12 = 5 * 1$$

$$D12 = 5$$

El número de baterías que se requiere conectar en paralelo para este sistema es de 5 baterías de 100Ah para satisfacer la demanda energética del lugar.

3.1.4.3 Dimensionamiento del inversor

Para el cálculo del inversor se tomó la carga máxima continua y pico del sistema, en este caso es de 595,08 W, y se compararon con los valores de la capacidad máxima continua y pico del inversor, siendo siempre que el valor de la carga del inversor debe ser mayor a la carga del sistema.

3.1.4.4 Capacidad de la unidad de control

Para la capacidad de la unidad de control se toma en cuenta la corriente pico del sistema siendo el valor:

$$B9 = 66,184 A$$

Se requiere una unidad de control de 70A para que pueda funcionar el sistema.

3.1.5 Modelo de la Norma Ecuatoriana de la construcción

3.1.5.1 Rendimiento global del sistema

Para este modelo se estima el rendimiento global del sistema y se debe considerar estos siguientes factores:

- n_{temp} : Rendimiento por las funciones a diferentes temperaturas de las condiciones normales.
- n_{suc} : Rendimiento por efectos de suciedad en los paneles fotovoltaicos

- n_{reg} : Rendimiento del regulador
- n_{cab} : Rendimiento por pérdidas en los conductores
- n_{bat} : Rendimiento de las baterías
- n_{aut} : Rendimiento por pérdidas por autodescarga del banco de baterías
- n_{inv} : Rendimiento del inversor

Con esos factores se puede calcular el rendimiento global del sistema con la fórmula:

$$PR = n_{temp} * n_{suc} * n_{reg} * n_{cab} * n_{bat} * n_{aut} * n_{inv} \quad (\text{Ec. 14})$$

donde:

PR: Rendimiento global del sistema

Para los factores deben cumplir con unos requisitos establecidos por la NEC-11 los cuales son:

- El rendimiento por las funciones a diferentes temperaturas de las condiciones normales se obtiene mediante la ecuación:

$$n_{temp} = 1 - C_t(T_c - 25) \quad (\text{Ec. 15})$$

donde:

T_c = Temperatura de la celda a una irradiación de 1000W/m².

C_T = Coeficiente de variación de potencia, si no se conoce el valor se asume 0,005.

Para la temperatura de celda T_c se calcula con la siguiente fórmula:

$$T_c = T_a + 1.25(NOCT - 20) \quad (\text{Ec. 16})$$

donde:

T_a : Temperatura ambiente (para la ciudad del Coca es de 20°C de promedio)

NOCT: Temperatura normal de operación de la celda según el catálogo del proveedor, en caso de no poseer ese valor se asume de 45°C(en este caso el catálogo nos da un valor de 43°C).

$$T_c = 20 + 1.25(43 - 20)$$

$$T_c = 48,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$n_{temp} = 1 - 0.005(48,75 - 25)$$

$$n_{temp} = 0,88$$

- El rendimiento por efectos de suciedad no debe ser menor al 2%.
- El rendimiento del regulador, inversor y baterías se obtiene de la especificaciones técnicas del proveedor.
- El rendimiento por pérdidas de los cables por caídas de tensión entre el arreglo fotovoltaico y el regulador de carga, entre la batería y el regulador y entre el regulador de carga y las cargas no deben ser menores al 3%.
- El rendimiento por perdidas de autodescarga no debe ser menor al 1%.

Finalmente se calcula el PR:

$$PR = 0,88 * 0,98 * 0,95 * 0,97 * 0,98 * 0,99 * 0,98$$

$$PR = 0,755$$

3.1.5.2 Potencia pico del arreglo fotovoltaico

Este cálculo ayuda a conocer la potencia pico necesaria para abastecer las necesidades energéticas de la carga y se calcula con la siguiente fórmula:

$$Pot_p = \frac{E_D}{HSP * PR} \quad (\text{Ec. 17})$$

donde:

Pot_p: Potencia pico del sistema

$$Pot_p = \frac{2931,936}{4,43 * 0,755}$$

$$Pot_p = 876,605 \text{ Wp}$$

3.1.5.3 Selección de los paneles fotovoltaicos

Para la selección de los paneles fotovoltaicos se toma las características de 2 paneles presentes en la tabla 9 para el respectivo cálculo.

Para obtener el número de paneles fotovoltaicos necesarios para el sistema se basan en la carga por alimentar y su configuración en serie o paralelo de los paneles, para esto se realiza el cálculo del total de paneles fotovoltaicos con la siguiente fórmula:

$$N_T = \frac{E_D}{HSP * Wp * PR} \quad (\text{Ec. 18})$$

donde:

N_T : Número total de paneles fotovoltaicos

Wp : Potencia pico del panel fotovoltaico (anexo VI)

Se realizará el cálculo para cada panel:

Primer modelo de 330 Wp:

$$N_T = \frac{2931,936}{4,43 * 330 * 0,755}$$

$$N_T = 2,656 \approx 3$$

Segundo modelo de 405 Wp:

$$N_T = \frac{2931,936}{4,43 * 405 * 0,755}$$

$$N_T = 2,16 \approx 3$$

Los valores que obtengamos se los deben redondear para saber el número exacto de paneles solares y se debe comprobar que sobrepase la potencia total del panel con la potencia pico calculada.

$$3 * 330 W = 990 W > 876,605 W$$

$$3 * 405 W = 1215 W > 876,605 W$$

En este caso los paneles de 330 Wp y 405 Wp sobrepasan la potencia mínima de generación calculada, lo cual se seleccionará el panel de 405Wp por que cumplen con la condición para ser instalada en el sistema.

Paneles fotovoltaicos en serie

$$N_s = \frac{V_{nom}}{V_m} \quad (\text{Ec. 19})$$

donde:

N_S : Número de módulos en serie por rama

V_{nom} : Voltaje nominal del sistema

V_m : Tensión nominal del módulo

$$N_S = \frac{12}{40,42}$$

$$N_S = 0,29 \approx 1$$

Paneles fotovoltaicos en paralelo

Para conocer el número de paneles para la conexión en paralelo se debe realizar una división entre el total de paneles fotovoltaicos sobre el número de módulos en serie dando como resultado que se necesitan 3 módulos en paralelo.

3.1.5.4 Selección del banco de baterías

Días de autonomía

Para los días de autonomía en un sistema fotovoltaicos se toma en consideración entre 1 a 5 días de autonomía para lo que se podrá abastecer el lugar de la demanda, en este caso se seleccionó 1 día de autonomía.

Capacidad de las baterías

Para conocer la cantidad total de amperios hora (Ah) que se va a requerir para el banco de baterías se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_{bat} = \frac{E_D * \text{días de autonomía}}{V_{nom} * PdD} \quad (\text{Ec. 20})$$

donde:

C_{bat} : Consumo total en un día [Ah]

E_D : Consumo de energía diario [Wh/día]

PdD : Profundidad de descarga de la batería (anexo VII)

$$C_{bat} = \frac{2976,82 * 1}{12 * 0,65}$$

$$C_{bat} = 375,889 Ah$$

Este valor en realidad es el capacidad teórica de carga de las baterías y para que no exista un agotamiento total de la carga, la capacidad real vendrá dada por la siguiente fórmula: [21]

$$C_{bat.real} = \frac{C_{bat}}{n_{bat}} \quad (\text{Ec. 21})$$

donde:

$C_{bat.real}$: Capacidad real de las cargas del banco de baterías [Ah]

n_{bat} : Eficiencia de la batería (anexo VII)

$$C_{bat.real} = \frac{375,889 Ah}{0,96}$$

$$C_{bat.real} = 391,55 Ah$$

Número de baterías en paralelo

Para obtener el número de baterías en paralelo se debe dividir la capacidad real de las cargas del banco de baterías entre la capacidad nominal de las baterías seleccionadas, considerando que las baterías seleccionadas son de capacidad de 100 Ah y un voltaje nominal de 12 V se calcula con la siguiente fórmula:

$$N_{bp} = \frac{C_{bat.real}}{C_{nb}} \quad (\text{Ec. 22})$$

donde:

N_{bp} : Número de baterías en paralelo

C_{nb} : Capacidad nominal de la batería

$$N_{bp} = \frac{391,55 Ah}{100 Ah}$$

$$N_{bp} = 3,915 \approx 4$$

Se necesitará 4 baterías de 100Ah conectadas en paralelo para que pueda satisfacer la demanda energética del sistema.

Número de baterías en serie

Para el cálculo de el número de baterías en paralelo se calcula con la siguiente fórmula:

$$N_{bs} = \frac{V_{nom}}{V_b} \quad (\text{Ec. 23})$$

donde:

N_{bs} : Número de baterías en serie

V_b : Voltaje nominal de la batería

$$N_{bs} = \frac{12 V}{12 V}$$

$$N_{bs} = 1$$

Con un voltaje nominal de 12 V se requiere 1 batería conectada en serie.

3.1.5.5 Selección del regulador de voltaje

Para la selección del regulador de voltaje se debe calcular la capacidad estimada para el regulador, el cual se calcula con la siguiente fórmula:

$$Cr = 1.25 * I_{sc_{mod}} * N_T \quad (\text{Ec. 24})$$

donde:

Cr : Capacidad de corriente que debe soportar el regulador de voltaje

$I_{sc_{mod}}$: Corriente de cortocircuito del panel fotovoltaico (anexo VI)

El factor de 1,25 es un factor de seguridad para que pueda ser aprovechado al máximo la corriente de los paneles.

$$Cr = 1,25 * 10,69 * 3$$

$$Cr = 40,08 A$$

Para el regulador de voltaje se requiere que soporte al menos una corriente de 40 A, para lo cual se seleccionará un regulador de 50 A de tecnología PWM.

3.1.5.6 Selección del inversor

Para la selección del inversor, el inversor debe tener al menos un 25% mas de la carga calculada para impedir que halla inconvenientes, por lo que se calcula con la siguiente fórmula:

$$P_{in} = 1,25 * P_s \quad (\text{Ec. 25})$$

donde:

P_{in} : Potencia del inversor

P_s : Potencia total del sistema

$$P_{in} = 1,25 * 595,08 \text{ W}$$

$$P_{in} = 743,85 \text{ W}$$

El inversor de este sistema debe tener la capacidad mayor a 743,85 W, por lo que el inversor deberá tener una capacidad de al menos 1000 W. Tomando en cuenta que la mayor parte de equipos no están instalados (Dispensador de agua, TV, Walkie Talkie, y Sistema de cámaras de seguridad) se procederá a adquirir un inversor de 1500 W, para satisfacer la potencia energética del sistema de los equipos que están colocados en el lugar y de los que se vayan a instalar a futuro.

3.1.5.7 Selección de los conductores

Para la selección de los conductores se debe incluir los requisitos eléctricos de ampacidad, caída de tensión y seguridad en cada parte del sistema. En la tabla 10 se puede apreciar unas especificaciones acerca de la caída de tensión entre la conexión entre diferentes puntos ya que son muy importantes para la toma de decisión de que calibre de cable ocupar:

Tabla 10: Porcentajes de caídas de voltajes entre componentes

Conexión entre componentes	Porcentaje máximo de caída de voltaje
Paneles solares-Regulador de carga	Inferior al 3%
Acumuladores-Regulador de carga	Inferior al 1%
Inversor-Cargas	Inferior al 3%

Fuente: [25]

Con lo cual para el cálculo del calibre del cable se lo realiza con la siguiente fórmula:

$$S = \frac{2 * 0.0178 * l * I}{\Delta V} \quad (\text{Ec. 26})$$

donde:

S: Sección de cable en mm²

l: Longitud del conductor entre componentes

I: Corriente máxima que puede circular por el conductor [A]

ΔV : Caída de voltaje permisible en el conductor

Si ya se conoce las medidas que existen entre los componentes, la sección de los cables que se requieren en la instalación se podrán observar en la siguiente tabla:

Tabla 11: Selección del calibre para los conductores del sistema

Longitud del conductor	Sección (mm ²)	Calibre AWG
Panel solar al regulador de carga (9 m)	6,20	AWG 10
Acumuladores al regulador de carga (1 m)	8,91	AWG 8
Inversor a las cargas (5 m)	1,62	AWG 12

Fuente: Autor

Para la selección del calibre de los conductores se calculó para diferentes secciones del sistema y se obtuvo para el panel solar al regulador de carga se requiere de un cable de calibre 10, del acumulador al regulador de carga necesita un cable calibre 8 y del inversor a las cargas un cable con calibre 12.

Con los parámetros de diseño ya realizados se han seleccionado los componentes o equipos más importantes para que abastezca el consumo energético del lugar, lo cuales se observan en la siguiente tabla:

Tabla 12: Comparación entre modelos de cálculos para el sistema

	Modelo Atlas Solar	Modelo NEC
Número de paneles (405Wp)	4	3
Número de baterías (12v 100Ah)	5	4
Amperaje del regulador	70 A	50 A
Capacidad del inversor	1000 W	1500 W
Calibre del cable	AWG 8-10-12	AWG 8-10-12

Fuente: Autor

3.1.6 Selección de alternativas

De la tabla 12 se escogió el mejor modelo para la implementación del sistema de generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas.

Para la selección de alternativas tomó en cuenta los siguientes factores: Económico, Tipo de panel, Vida útil, Área requerida y Facilidad de instalación.

Factor económico: Valor que posee el equipo y se compara con el presupuesto para comprobar si es factible adquirirlo.

Factor tipo de panel: Se toma en cuenta el tipo de panel que esta construido, si es monocristalino, policristalino y amorfo.

Factor vida útil: La durabilidad o los años de garantía que posee el equipo.

Área requerida: Es el espacio que va a ocupar el equipo o sistema.

Facilidad de instalación: Si es posible instalar el modelo o equipo de una manera fácil o difícil.

Bueno: 5 Regular: 3 Malo: 1

Tabla 13: Tabla de ponderación de la selección de modelo a aplicar en el proyecto

Factor Modelo	Económico	Tipo de panel	Vida útil	Área requerida	Facilidad de instalación	Total
Atlas Solar	1	5	5	3	3	17
NEC	5	5	5	5	3	23

Fuente: Autor

En la tabla 13 se muestra la evaluación total de cada factor que se tomó en cuenta. De esta tabla el mejor modelo para la implementación del sistema de generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas es el **Modelo de la NEC** (Norma Ecuatoriana de la Construcción) debido a que posee una mayor prioridad (**23**) en comparación con el modelo del Atlas Solar (17).

Tabla 14: Tabla de ponderación para la selección de panel

Factor Equipo	Económico	Tipo de panel	Vida útil	Área requerida	Facilidad de instalación	Total
Panel AeSolar 330Wp	3	5	5	1	3	17
Panel Jinko 405Wp	5	5	3	5	3	21

Fuente: Autor

De la tabla 14 el mejor equipo para la implementación del sistema de generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas es el **Panel Jinko 405Wp** debido a que posee una mayor prioridad (**21**) en comparación con el Panel AeSolar 330Wp (17).

Tabla 15: Tabla de ponderación para la selección de las baterías

Factor Equipo	Económico	Tipo de panel	Vida útil	Área requerida	Facilidad de instalación	Total
Batería SSB Gel 12v 100Ah	3	5	5	3	3	19
Batería RitarDc 12v 100Ah	3	5	3	5	5	21

Fuente: Autor

De la tabla 15 el mejor equipo para la implementación del sistema de generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas es la **Batería RitarDc 12v 100Ah** debido a que posee una mayor prioridad (**21**) en comparación la Batería SSB Gel 12v 100Ah (19).

Tabla 16: Tabla de ponderación para la selección del regulador solar

Factor Equipo	Económico	Tipo de panel	Vida útil	Área requerida	Facilidad de instalación	Total
Regulador Solar PWM 50A	5	3	3	5	3	19
Regulador Solar MPPT 50A	1	5	5	3	3	17

Fuente: Autor

De la tabla 16 el mejor equipo para la implementación del sistema de generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas es el **Regulador solar PWM 50A** debido a que posee una mayor prioridad (**19**) en comparación con el Regulador solar MPPT 50A (17).

Tabla 17: Tabla de ponderación para la selección del inversor

Factor Equipo	Económico	Tipo de panel	Vida útil	Área requerida	Facilidad de instalación	Total
Inversor CEJ 1500W	5	3	3	5	3	19
Inversor/UPS MUST 1000W	1	5	5	3	3	17

Fuente: Autor

De la tabla 17 el mejor equipo para la implementación del sistema de generación de energía eléctrica mediante celdas fotovoltaicas es el **Inversor CEJ 1500W** debido a que posee una mayor prioridad (**19**) en comparación con el Inversor/UPS MUST 1000W (17).

Con los cálculos ya realizados en los parámetros de diseño y la selección del modelo de la Norma Ecuatoria de la Construcción (NEC) se implementó el sistema de generación de energía eléctrica en el Parque Yasuniland de la Empresa Orellana Turismo E.P.

3.1.7 Diseño de la estructura

Para el diseño se tomó en cuenta que los paneles van a ser instalados sobre el tejado de la casa-comedor, por lo que la estructura será utilizada como soporte para que tenga mayor resistencia y apoyo los paneles solares, los cuales estarán anclados al techo mediante pernos. Se optó por ubicarlo en el techo porque con eso se recepta de mejor manera los rayos solares.

Los aspectos que se toman en cuenta para el diseño de la estructura son:

- Peso del panel solar
- Velocidad de viento de 50 km/h aproximadamente
- Inclinación estará establecida por el ángulo del tejado que es de 20°

Para la creación de las piezas o modelos de la estructura se lo realizó un software de diseño de piezas mecánicas y el ensamble generado se lo exportó en formato “.x_t” para realizar el análisis estático en el software ANSYS.

Las dimensiones de los paneles solares son los siguientes:

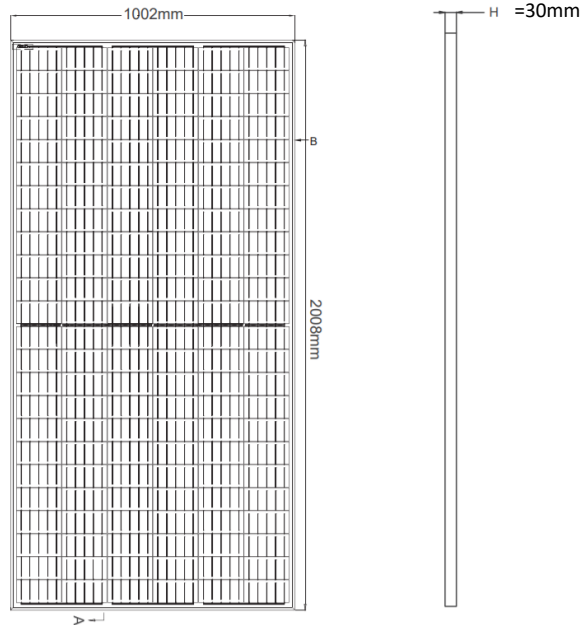


Figura 23: Dimensiones de los paneles solares

Fuente: Autor

Conociendo las medidas de los paneles solares, la cual se seleccionó de la tabla 14 con su respectivo ficha técnica del anexo VI, se puede diseñar las proporciones que pueden emplearse en las estructuras de soporte de los mismos.

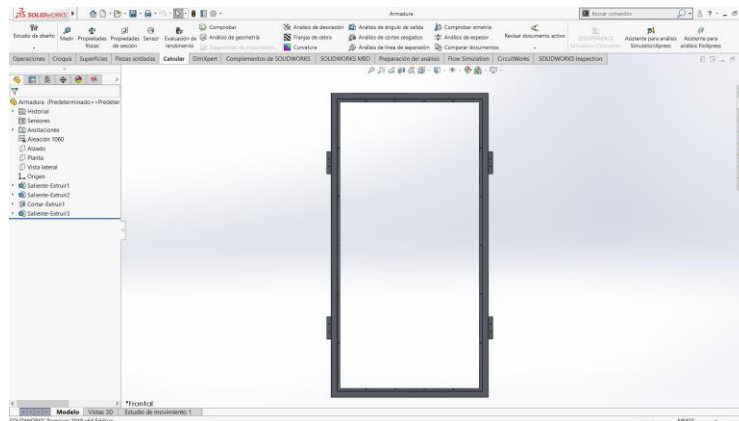


Figura 24: Modelo de la estructura realizada

Fuente: Autor

Las dimensiones de la estructura de soporte para los paneles fotovoltaicos serán los siguientes:

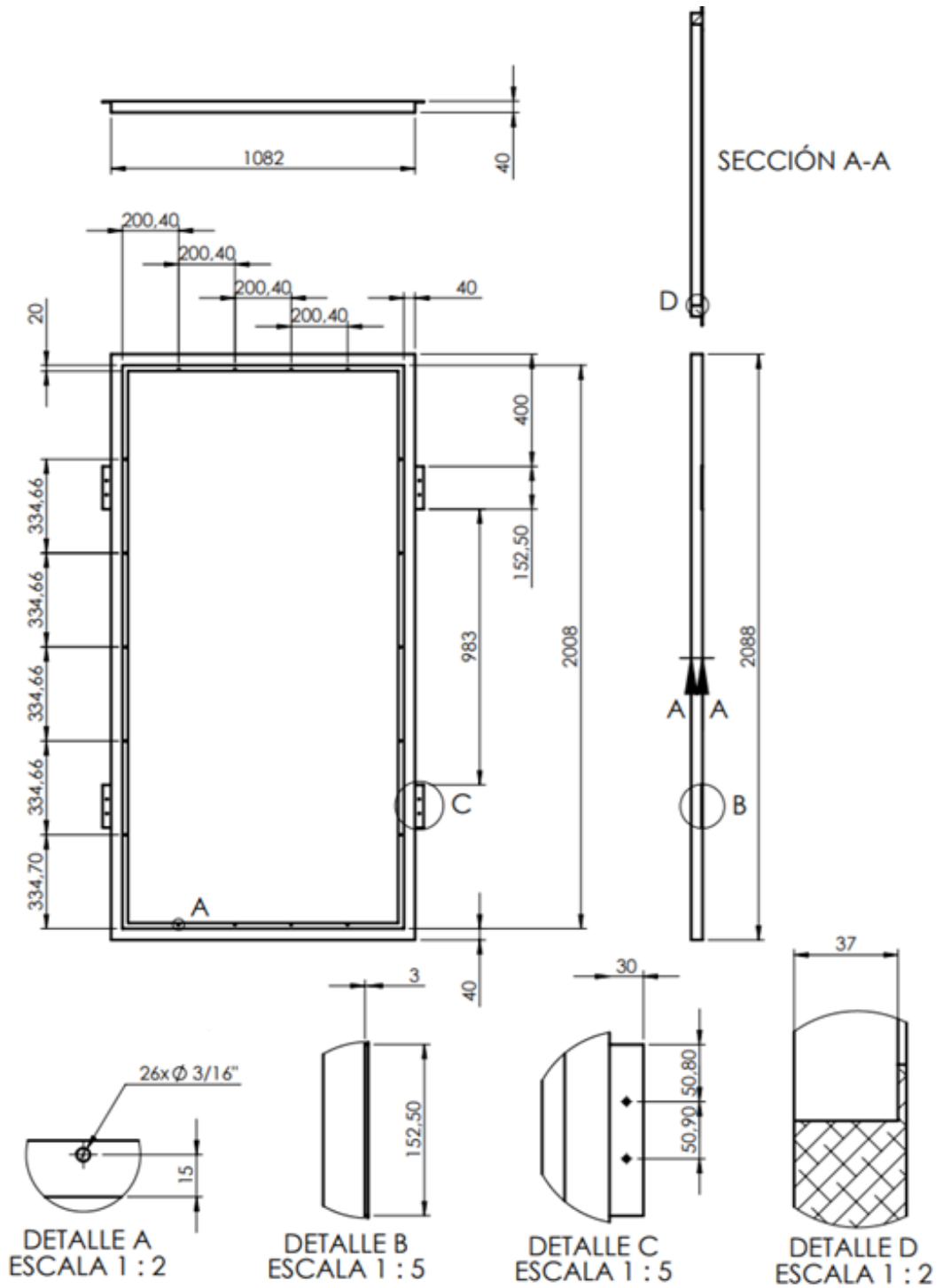


Figura 25: Medidas de la estructura de soporte realizado

Fuente: Autor

3.1.7.1 Análisis estático

Mallado de la estructura

Para realizar el mallado en ANSYS se verifica que la estructura esté realizada correctamente en el apartado de SpaceClaim del mismo ANSYS, después de la verificación se aplica el mallado logrando un “Average” de 1,06 lo que es un valor cercano a 1 llegando a un nivel de excelencia en la calidad del mallado.

Skewness Jacobian – Espectro de métrica de malla



EXCELENTE	MUY BUENO	BUENO	ACEPTABLE	MALO	INACEPTABLE
1-1.05	1.06-1.3	1.31-1.77	1.78-1.82	1.83-1.96	1.97-2

Orthogonal Quality Jacobian – Espectro de métrica de malla



INACEPTABLE	MALO	ACEPTABLE	BUENO	MUY BUENO	EXCELENTE
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.19	0.2-0.69	0.7-0.94	0.95-1.05

Figura 26: Espectro para medir la calidad de malla

Fuente: [27]

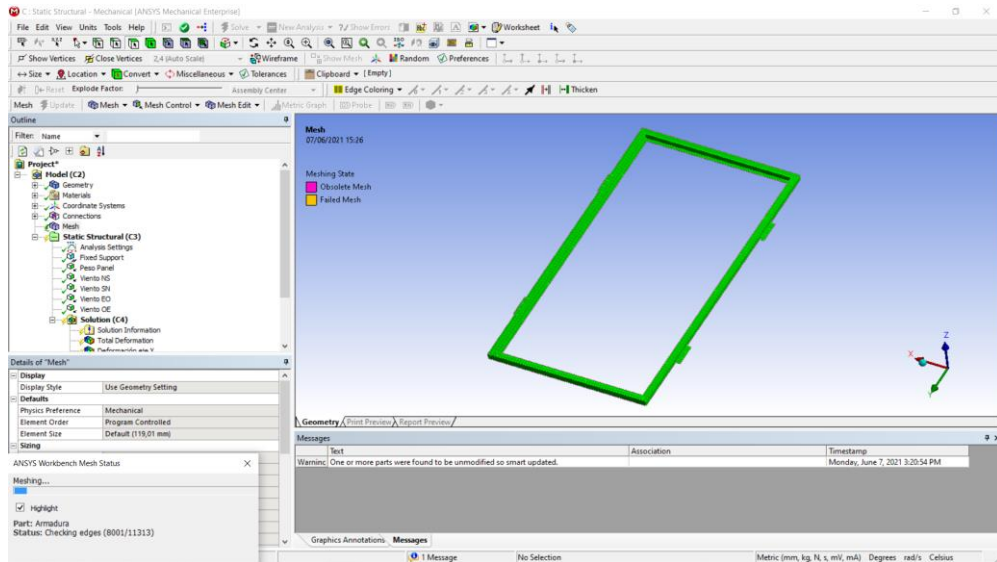


Figura 27: Mallado de la estructura en ANSYS

Fuente: Autor

Average Surface Area	37594 mm ²
Minimum Edge Length	3, mm
Quality	
Check Mesh Quality	Yes, Errors
Error Limits	Standard Mechanical
<input type="checkbox"/> Target Quality	Default (0.050000)
Smoothing	Medium
Mesh Metric	Jacobian Ratio (MAPDL)
<input type="checkbox"/> Min	1,
<input type="checkbox"/> Max	4,3724
<input type="checkbox"/> Average	1,0608
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,16909
Inflation	

Figura 28: Valor de la calidad de malla

Fuente: Autor

Cargas de la estructura

Para la estructura se seleccionó tubos cuadrados de aleación de aluminio de 40x40 mm y de 2010 mm de largo con un espesor de 3 mm, las propiedades mecánicas son: resistencia a la tracción con un valor igual a 280 MPa y límite de fluencia con un valor de 205 MPa. Se escogió este material ya que es más liviano que el acero estructural y resiste de mejor manera a la corrosión. [28]

Los 3 paneles solares de 405Wp tienen un peso de 22 kg cada uno por lo que se realizaron estructuras individuales y el análisis se lo ejecutó a solo 1 ya que los otros 2 poseen las mismas dimensiones y peso.

Para obtener la fuerza del viento que va a ejercer sobre los soportes de los paneles solare se calcula con la siguiente fórmula:

$$Fv = p * S * sen (\beta)$$

donde:

Fv= Fuerza del viento en Newtons

p= Presión del viento en Bares

S= Superficie de los módulos expuestos a la fuerza del viento en cm²

β = Ángulo de inclinación del panel fotovoltaico con respecto a la horizontal

Para encontrar el valor de la presión del viento con una velocidad promedio de 50km/h se obtiene con la fórmula: [29]

$$p = 0,613 * v^2$$

Donde:

p= presión del viento

v= velocidad del viento en m/s

$$p = 0,613 * \left(13,88 \frac{m}{s}\right)^2$$

$$p = 8,513 Nm^2 \approx 0,00851 bar$$

Dando un valor de la presión de 0.00851 bar.

El área de los paneles solares con la estructura de soporte es de 22592.16 cm² y el ángulo de inclinación del panel fotovoltaico con respecto a la horizontal es de 20°, dando como resultado la fuerza del viento es de:

$$Fv = 65,756 N$$

Esta fuerza será colocada en el análisis de manera distribuida en los 4 lados de la estructura ya que la dirección del viento en esa zona varía durante el año. [30]

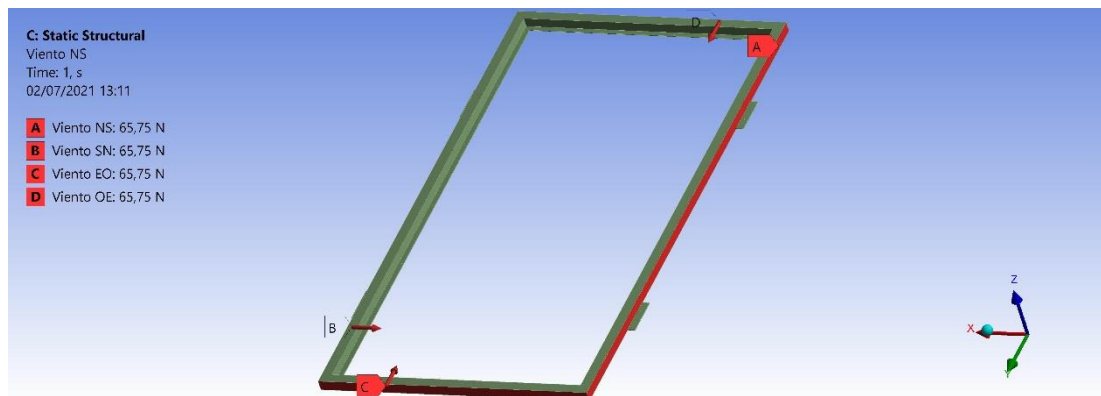


Figura 29: Fuerzas de viento que se ejerce en la estructura

Fuente: Autor

Para la carga del peso del panel fotovoltaico se obtiene un valor de 215,82 N y será una carga distribuida en la parte donde se colocará dentro de la estructura de soporte.

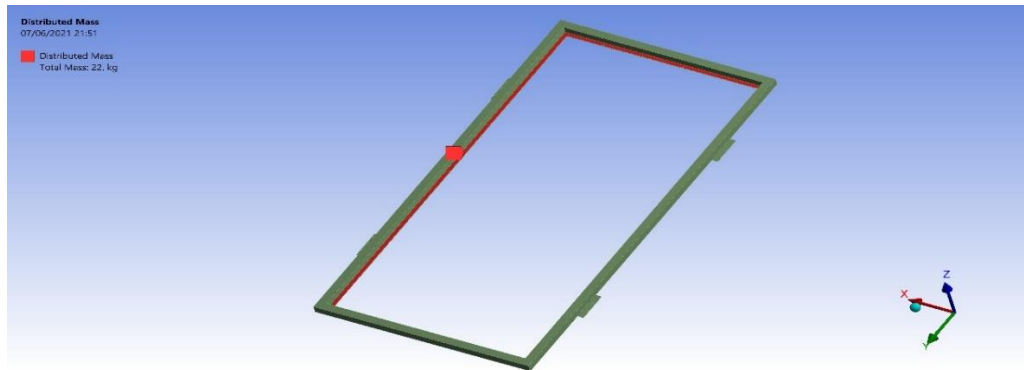


Figura 30: Carga distribuida del peso del panel solar en la estructura

Fuente: Autor

Para los soportes fijos se seleccionaron los 8 agujeros de los extremos de la estructura de soporte de los paneles:

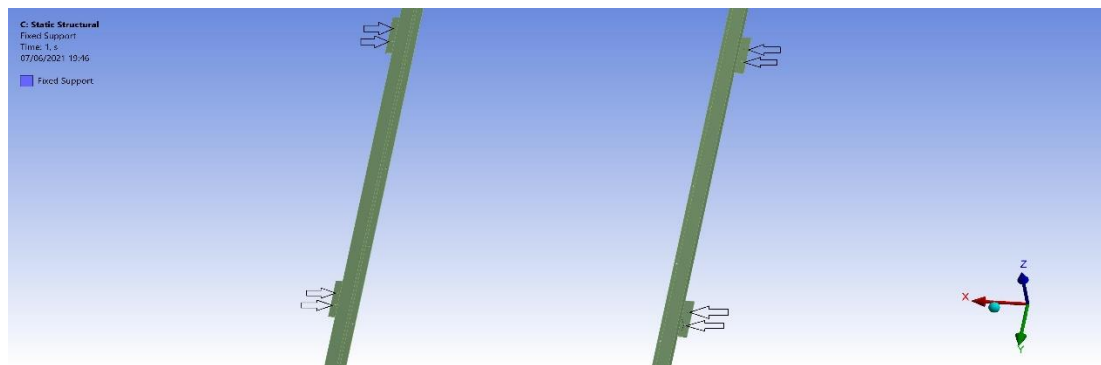


Figura 31: Selección de los soportes fijos en la estructura

Fuente: Autor

Resultados del análisis estático

La deformación total que se va a producir en la estructura por las cargas aplicadas es de 0,34 mm.

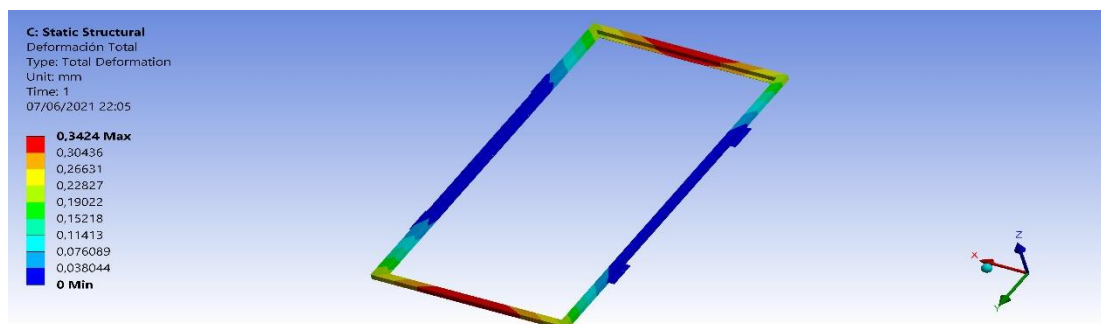


Figura 32: Deformación total de la estructura

Fuente: Autor

La deformación que se va a producir en eje X de la estructura por las cargas aplicadas será de 0,023 mm.

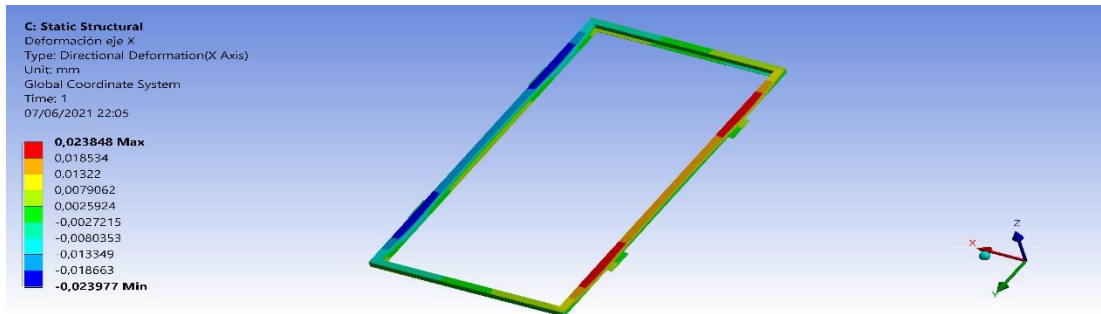


Figura 33: Deformación en el eje X de la estructura

Fuente: Autor

La deformación que se va a producir en eje Y de la estructura por las cargas aplicadas será de 0,021 mm.

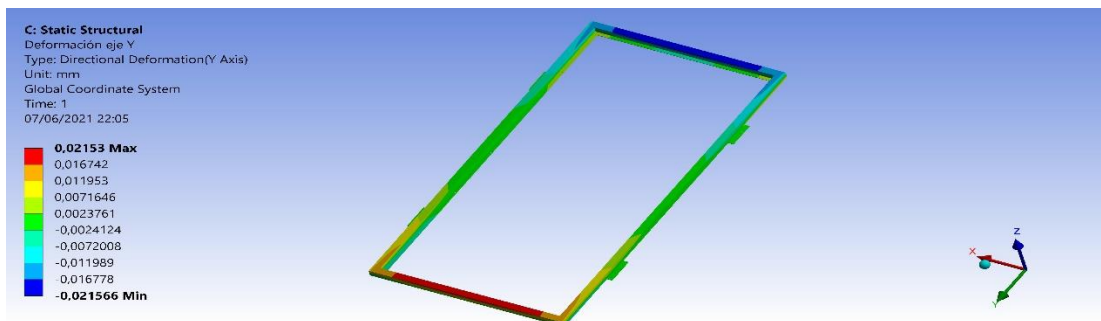


Figura 34: Deformación en el eje Y de la estructura

Fuente: Autor

La deformación que se va a producir en eje Z por las cargas aplicadas será de 0,029 mm.

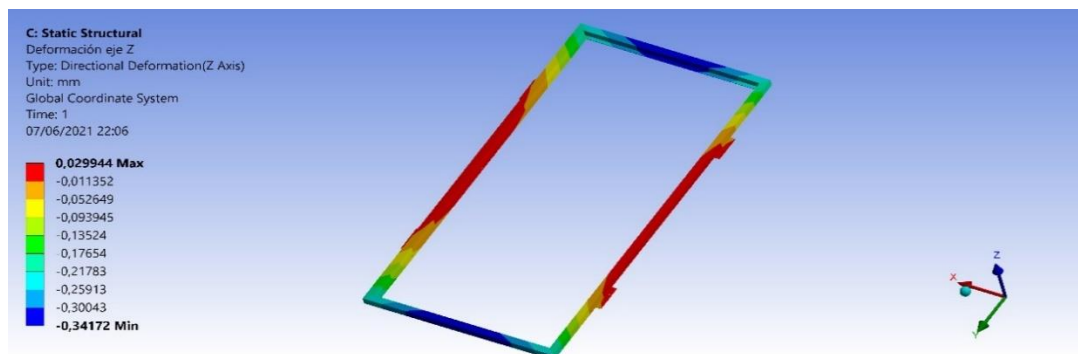


Figura 35: Deformación en el eje Z de la estructura

Fuente: Autor

El esfuerzo máximo que se va a producir en la estructura por las cargas aplicadas es de $\sigma = 211,6 \text{ MPa}$.

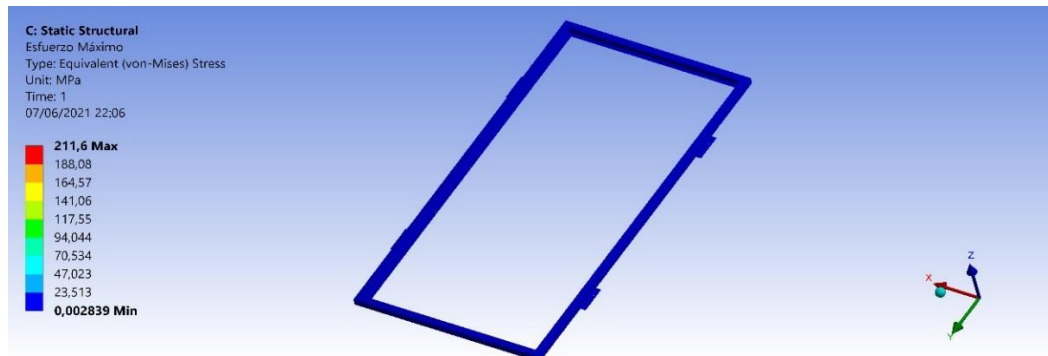


Figura 36: Esfuerzo máximo que aguantará la estructura

Fuente: Autor

El factor de seguridad que resultó del análisis estático es de $n=1,3$.

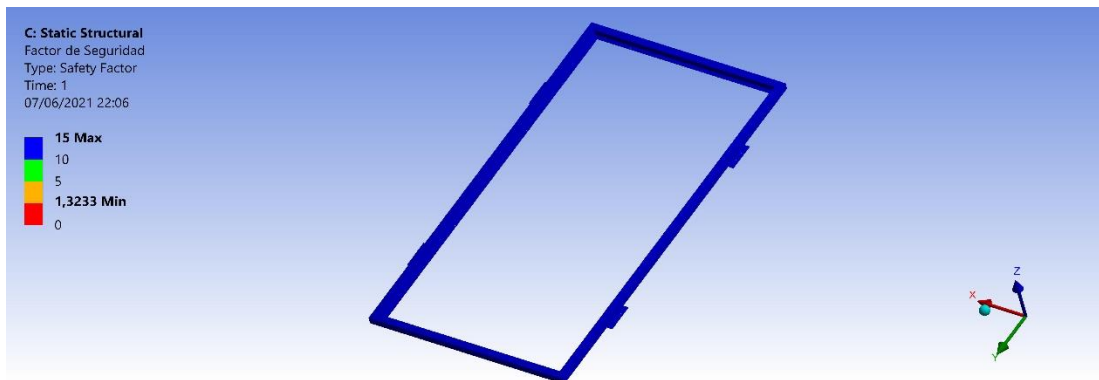


Figura 37: Factor de seguridad de la estructura

Fuente: Autor

Se concluye que las estructuras de soporte de aluminio para los paneles solares ancladas sobre la vivienda mediante pernos es lo suficientemente sólida para soportar sin ningún problema las cargas que están presentes las cuales son: el peso del panel solar y la fuerza del viento ya que las deformaciones que se generan en los ejes X, Y y Z son imperceptibles (menor a 0.05 mm) y no hay un peligro de ruptura obteniendo un factor de seguridad considerable ($n=1,3$) por lo que la estructura es segura.

3.1.8 Diagrama completo de conexión del sistema fotovoltaico

Para el sistema fotovoltaico se realizó el diagrama del sistema de conexión eléctrica con el fin de implementar de una manera rápida y sencilla ya que posee los datos de cada uno de los equipos o componentes del sistema.

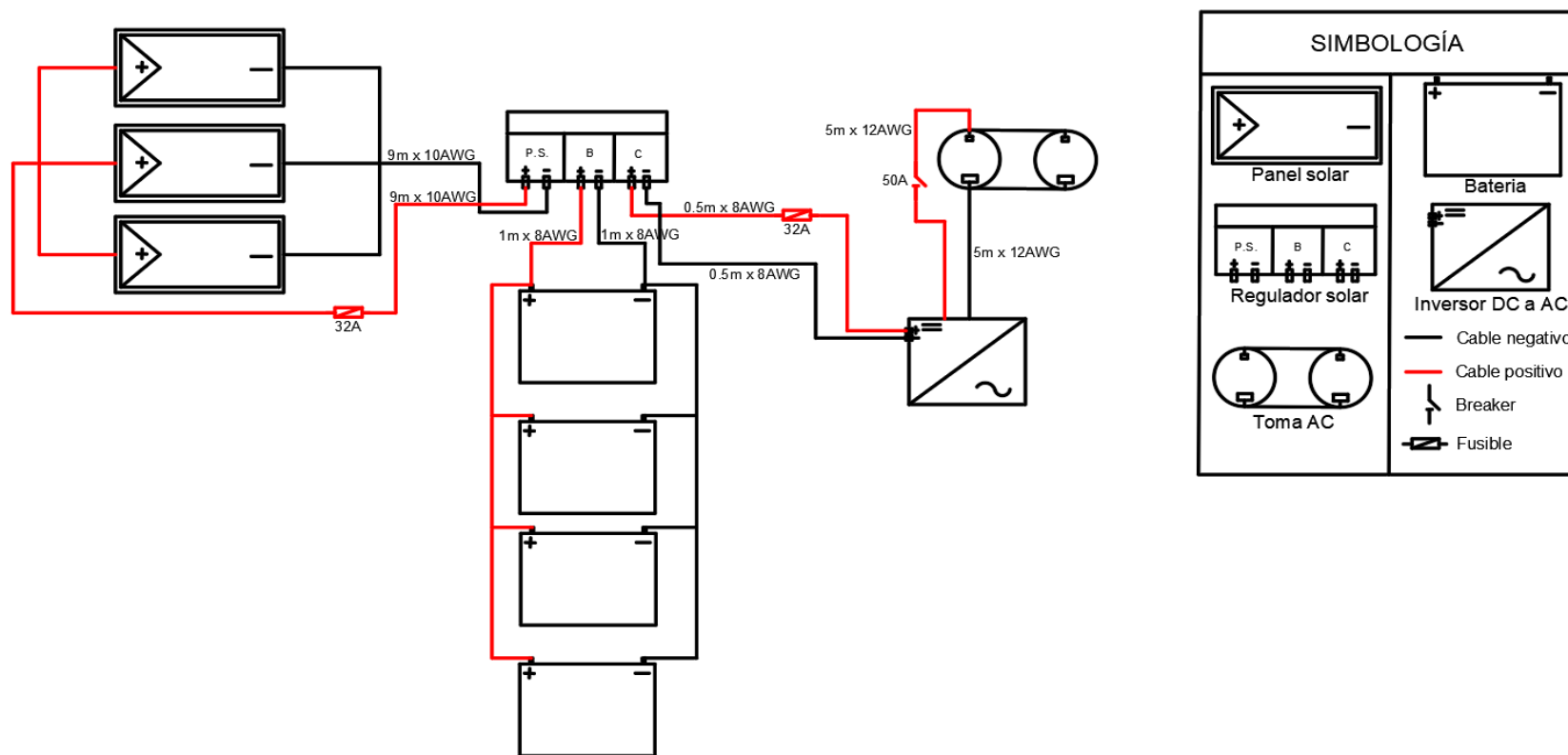


Figura 38: Diagrama completo de conexión del sistema fotovoltaico

Fuente: Autor

3.1.9 Implementación del proyecto

Descripción del proceso para la implementación del sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos:

3.1.9.1 Traslado de los equipos al Parque Yasuniland

El traslado de los equipos para la instalación del sistema fotovoltaico se lo realizó en bote ya que el lugar del proyecto se encuentra a 15 minutos de la ciudad del Coca vía fluvial y no existe un camino vial.



Figura 39: Traslado de las baterías en bote al parque turístico

Fuente: Autor

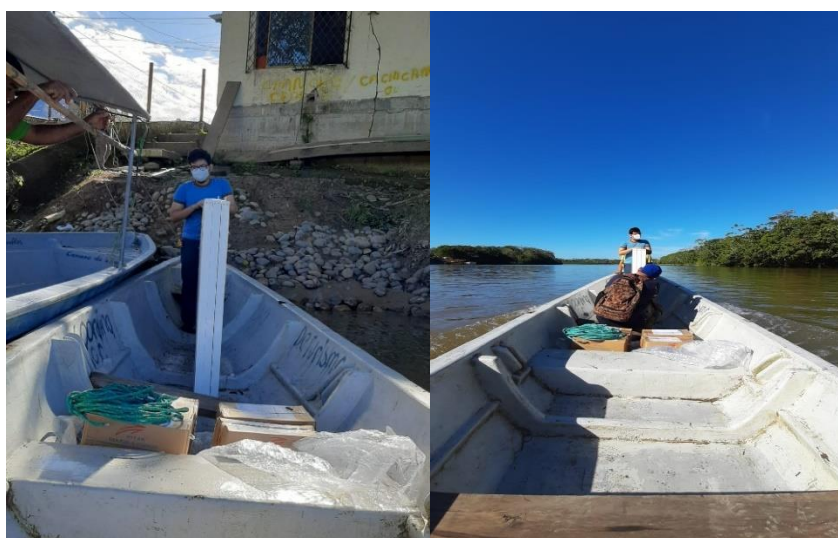


Figura 40: Traslado de los paneles fotovoltaicos en bote al parque turístico

Fuente: Autor



Figura 41: Equipos ya trasladados en la casa-comedor para su instalación

Fuente: Autor

3.1.9.2 Ubicación de los paneles fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos van a ser colocados en el techo de la casa-comedor del Parque Yasuniland de la Empresa Orellana Turismo E.P.



Figura 42: Casa-comedor del Parque Yasuniland

Fuente: Autor

Se utilizaron 2 escaleras para colocar la estructura y los paneles solares en la parte superior de la vivienda, para dicha se tarea se contó con la colaboración de los trabajadores del Parque lo cual permitió agilizar el trabajo.



Figura 43: Subida de los paneles solares

Fuente: Autor

Se procedió a sujetarlos mediante la utilización de pernos al techo de la vivienda. La dirección de los paneles está hacia el norte para receptor de mejor manera la radiación solar.



Figura 44: Anclaje de los paneles solares al techo de la vivienda

Fuente: Autor

3.1.9.3 Conexión en paralelo de los paneles solares al repartidor de corriente

La conexión de los paneles se realizó con la extensión de los cables mediante conectores MC4 macho y hembra, diseñados para soportar variaciones climáticas, estas extensiones se los conectaron a un repartidor de corriente facilitando el enlace en paralelo de los paneles solares obteniendo el polo positivo y negativo para la conexión al regulador solar.



Figura 45: Conexión en paralelo de los paneles solares con repartidor de corriente

Fuente: Autor

Se colocó en el polo positivo un fusible de 32 A entre la conexión de los paneles con el regulador para mayor protección a cortocircuitos.



Figura 46: Colocación de un fusible entre los paneles y el regulador solar

Fuente: Autor

3.1.9.4 Ubicación y conexión de la baterías

Las baterías están ubicadas sobre una plancha de concreto a 3m de altura; se lo conectó en paralelo y se procedió a conectarlo al regulador solar.



Figura 47: Conexión en paralelo de las baterías

Fuente: Autor

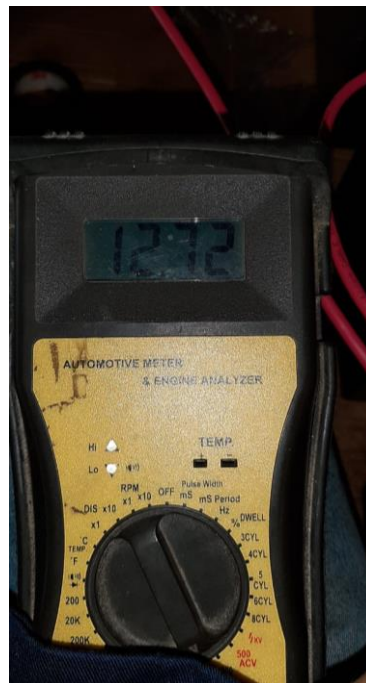


Figura 48: Voltaje de las baterías conectadas en paralelo

Fuente: Autor

3.1.9.5 Instalación y configuración del regulador solar

Se colocó en una zona en la cual es visible los datos en el display del regulador y se configuró la selección del tipo de batería, en este caso se hizo para baterías selladas.



Figura 49: Batería sellada para la configuración del regulador solar

Fuente: Autor



Figura 50: Conexión de las baterías al regulador solar

Fuente: Autor



Figura 51: Colocación del regulador solar a la pared

Fuente: Autor



Figura 52: Regulador solar encendido y configurado

Fuente: Autor

3.1.9.6 Instalación del inversor de voltaje y conexión a las cargas

El inversor de voltaje está conectado a lado y directamente al regulador solar, ya que posee las salidas DC de 12V y en el polo positivo está instalado un fusible de 32A para evitar cortocircuitos logrando mayor seguridad.



Figura 53: Instalación del inversor del voltaje con conexión al regulador solar

Fuente: Autor

Después de la instalación del inversor de voltaje se procede a colocar un breaker entre el inversor y las cargas de la vivienda para realizar la desconexión con mayor facilidad.



Figura 54: Instalación del breaker entre el inversor y las cargas

Fuente: Autor

Finalmente se tira el cable desde el breaker que está conectado con el inversor hasta el tablero de conexiones de la casa-comedor para que pueda proporcionar de energía eléctrica al lugar.



Figura 55: Conexión del inversor de voltaje hacia el tablero de conexiones de la vivienda

Fuente: Autor

3.1.9.7 Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento se las realizaron en 3 días específicos: un día soleado, un día parcialmente nublado y un día totalmente nublado, con esas condiciones se tomaron medidas de voltaje, amperaje y potencia obtenida en los paneles fotovoltaicos y el voltaje, amperaje y potencia que comparte el regulador al inversor de voltaje.

En cuanto a la carga parcial utilizada para probar en el sistema, consiste en 8 focos tipo bombillo y de 6 lamparas tubulares. De acuerdo a sus fichas técnicas se estima que tendra una potencia a cubrir de 70W.

Una vez hecha las mediciones de la potencia de la carga en promedio dio como resultado un valor de 66,61 W muy cercano al estimado inicialmente como se observa en el anexo III.

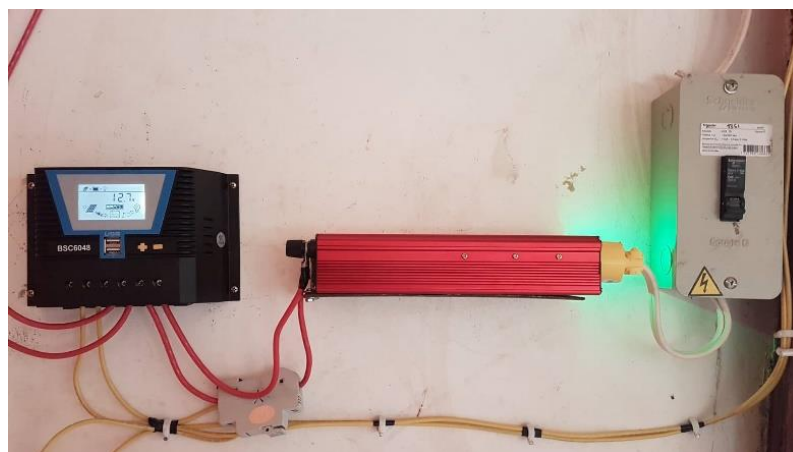


Figura 56: Sistema fotovoltaico en funcionamiento

Fuente: Autor

- Prueba de funcionamiento en día soleado

Como se observa en el anexo III se tomó las mediciones de voltaje y amperaje de la entrada (paneles fotovoltaicos) y salida DC del regulador solar, para observar el comportamiento del voltaje, amperaje y potencia que recibe el regulador solar y que trasmite al inversor de voltaje en un día soleado.

En la figura 57 se observa como varía el voltaje recibido de los paneles en un día soleado siendo el voltaje pico de 44,3 V y el voltaje menor de 41,70 V.

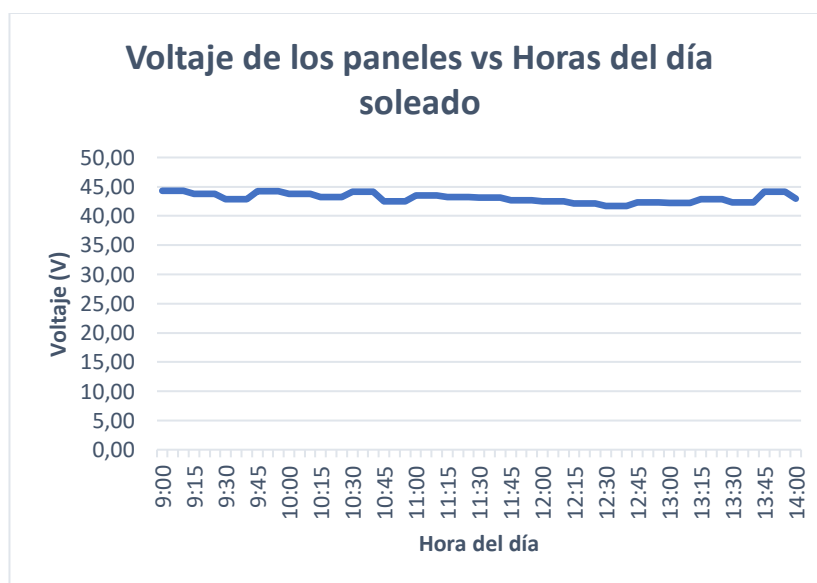


Figura 57: Voltaje recibido de los paneles al regulador solar

Fuente: Autor

En la figura 58 se observa como varía el voltaje en un día soleado con carga siendo el voltaje pico de 12,09 V y el voltaje menor de 11,41 V.

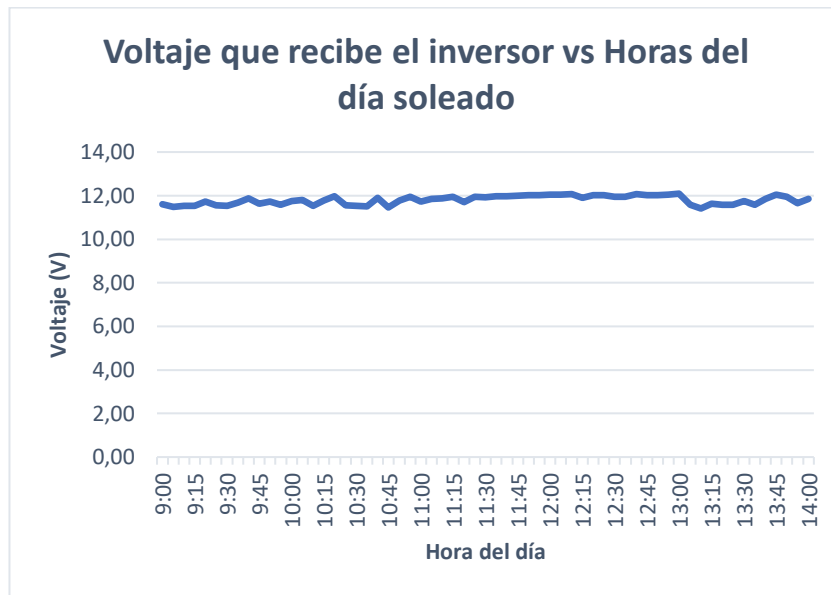


Figura 58: Voltaje medido en día soleado

Fuente: Autor

En la figura 59 se observa como varía el amperaje en un día soleado con carga siendo el amperaje pico de 5,04 A y el amperaje menor de 4,30 A.

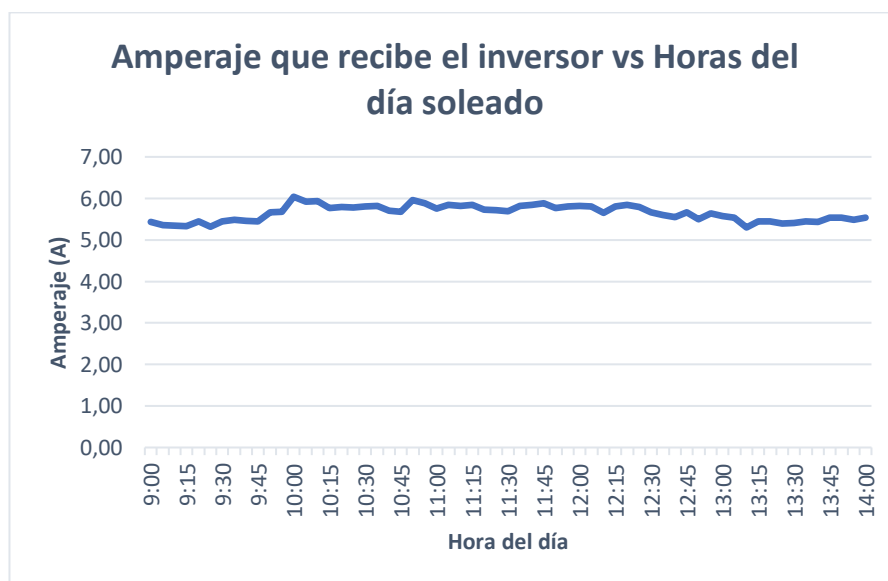


Figura 59: Amperaje que recibe el inversor de voltaje

Fuente: Autor

En la figura 60 se observa como varia la potencia que se genera en el inversor de voltaje en el día soleado con carga siendo la potencia pico de 70,97 W y la potencia menor de 60,47 W.

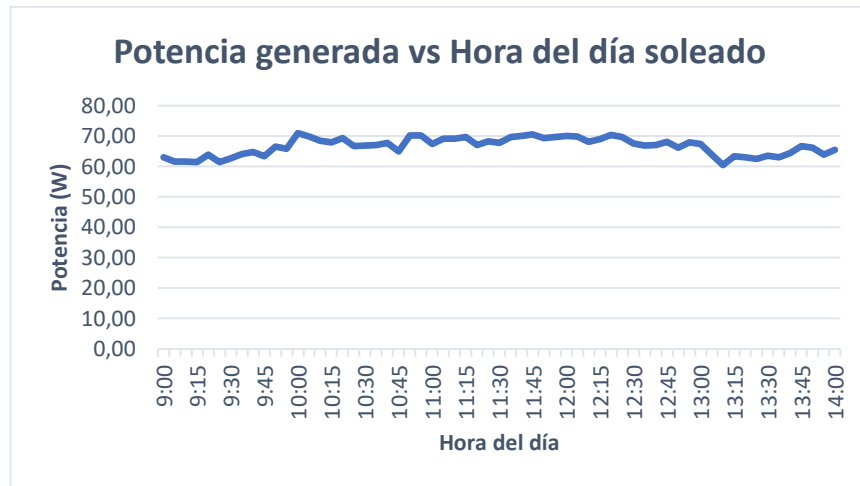


Figura 60: Potencia generada en el inversor de voltaje en un día soleado

Fuente: Autor

En la figura 61 se observa una comparación entre la potencia generada por los paneles solares con la potencia que consume las cargas de la vivienda en el día soleado.

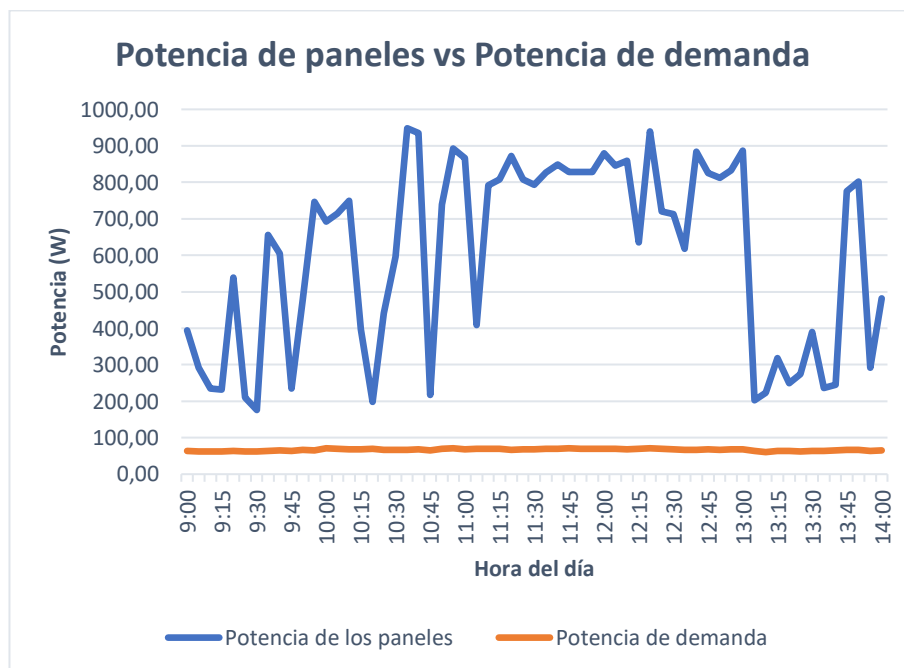


Figura 61: Comparación de la potencia generada por los paneles solares con la potencia consumida en la vivienda en un día soleado

Fuente: Autor

- Prueba de funcionamiento en día parcialmente nublado

Como se observa en el anexo IV se tomó las mediciones de voltaje y amperaje de la entrada (paneles fotovoltaicos) y salida DC del regulador solar, para observar el comportamiento del voltaje, amperaje y potencia que recibe el regulador solar y que trasmite al inversor de voltaje en un día parcialmente nublado.

En la figura 62 se observa como varía el voltaje recibido de los paneles en un parcialmente nublado siendo el voltaje pico de 44,6 V y el voltaje menor de 41,40 V.

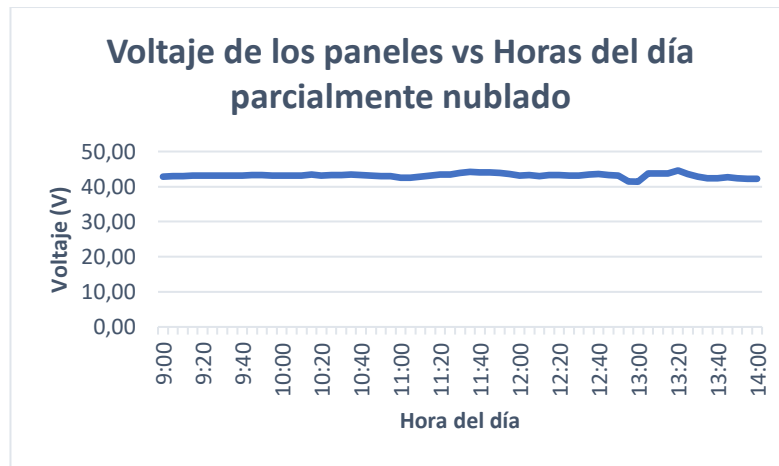


Figura 62: Voltaje recibido de los paneles al regulador solar

Fuente: Autor

En la figura 63 se observa como varía el voltaje por la presencia parcial de nubes en el día con carga siendo el voltaje pico de 13,49 V y el voltaje menor de 11,9 V.



Figura 63: Voltaje que entrega el regulador solar al inversor de voltaje

Fuente: Autor

En la figura 64 se observa como varía el voltaje por la presencia parcial de nubes en el día con carga siendo el voltaje pico de 12,67 V y el voltaje menor de 11,99 V.

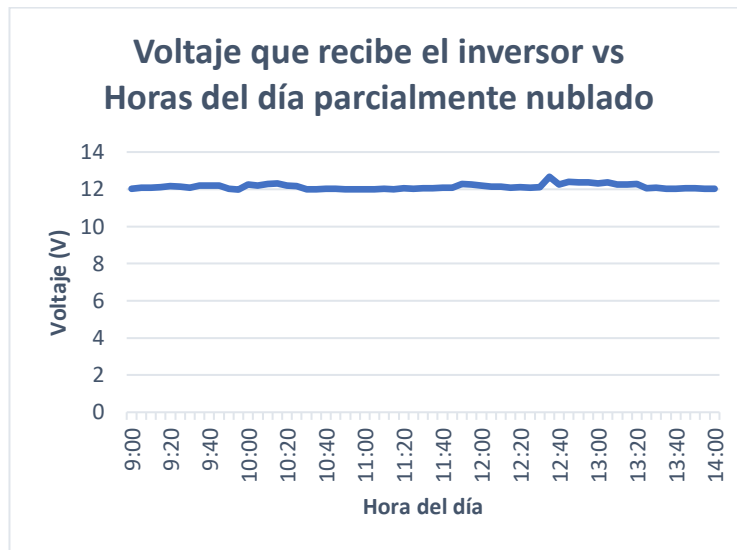


Figura 64: Voltaje medido en día parcialmente nublado

Fuente: Autor

En la figura 65 se observa como varía el amperaje por la presencia parcial de nubes en el día con alta carga siendo el amperaje pico de 5,66 A y el amperaje menor de 4,59A.



Figura 65: Amperaje medido en día parcialmente nublado

Fuente: Autor

En la figura 66 se observa como varia la potencia por la presencia parcial de nubes en el día con carga siendo la potencia pico de 69,96 W y la potencia menor de 55,45W.

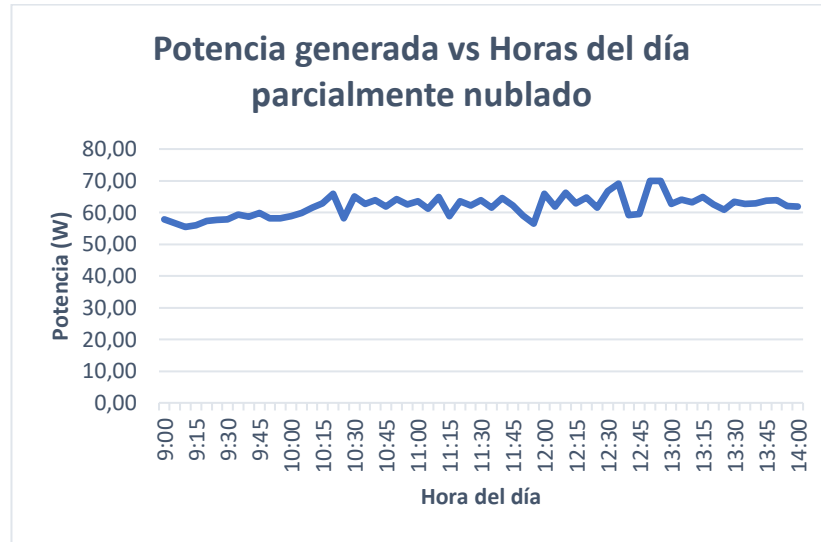


Figura 66: Potencia generada en el inversor de voltaje

Fuente: Autor

En la figura 67 se observa una comparación entre la potencia generada por los paneles solares con la potencia que consume las cargas de la vivienda en el día parcialmente nublado.

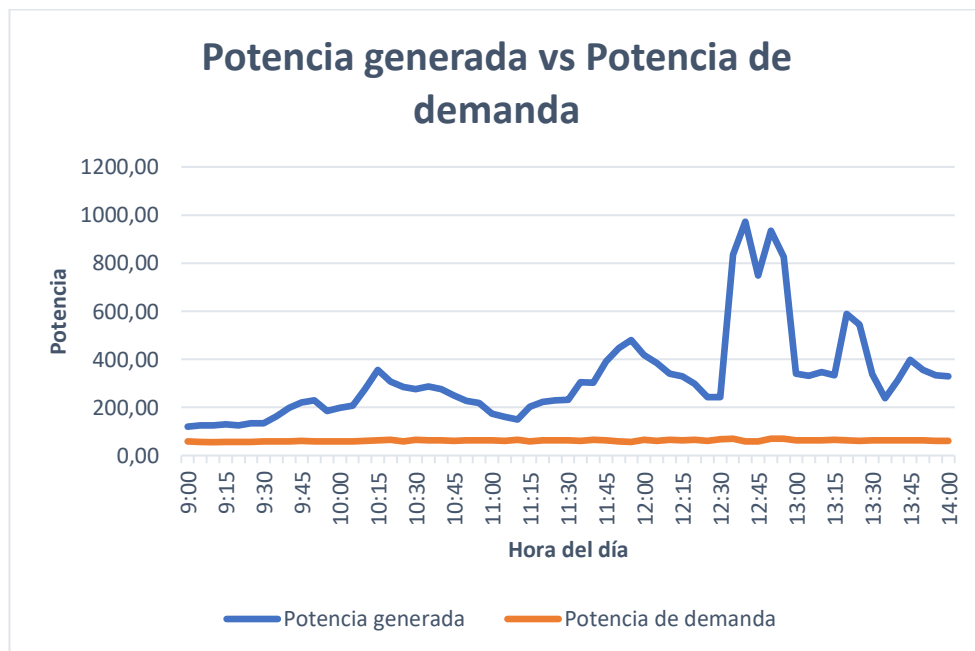


Figura 67: Comparación de la potencia generada por los paneles solares con la potencia consumida en la vivienda en un día parcialmente nublado

Fuente: Autor

- Prueba de funcionamiento en día nublado

Como se observa en el anexo V se tomó las mediciones de voltaje y amperaje de la entrada (paneles fotovoltaicos) y salida DC del regulador solar, para observar el comportamiento del voltaje, amperaje y potencia que recibe el regulador solar y que trasmite al inversor de voltaje en un día nublado.

En la figura 68 se observa como varía el voltaje recibido de los paneles en un día nublado siendo el voltaje pico de 44,6 V y el voltaje menor de 41,40 V.

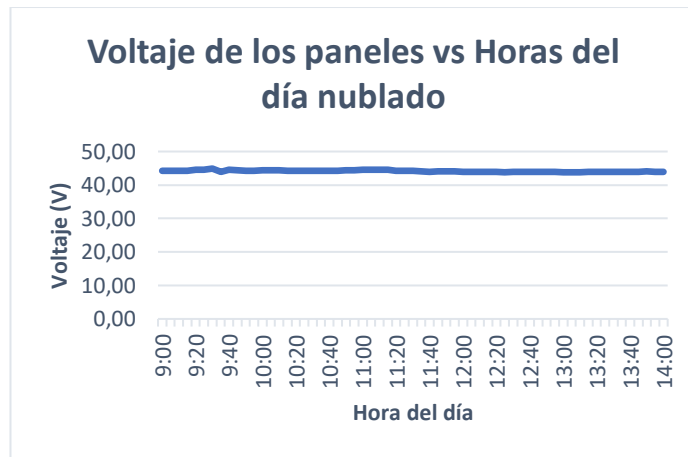


Figura 68: Voltaje recibido de los paneles al regulador solar

Fuente: Autor

En la figura 69 se observa como varía el voltaje por la presencia de nubes en el día con carga siendo el voltaje pico de 11,91 V y el voltaje menor de 11,38 V.

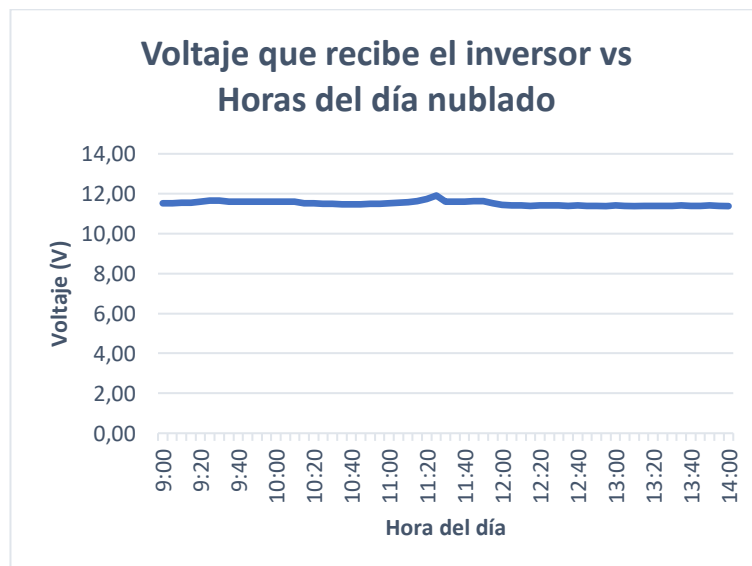


Figura 69: Voltaje que entrega el regulador solar al inversor de voltaje

Fuente: Autor

En la figura 70 se observa como varía el amperaje por la presencia de nubes en el día con carga siendo el amperaje pico de 4,81 A y el amperaje menor de 4,49 A.

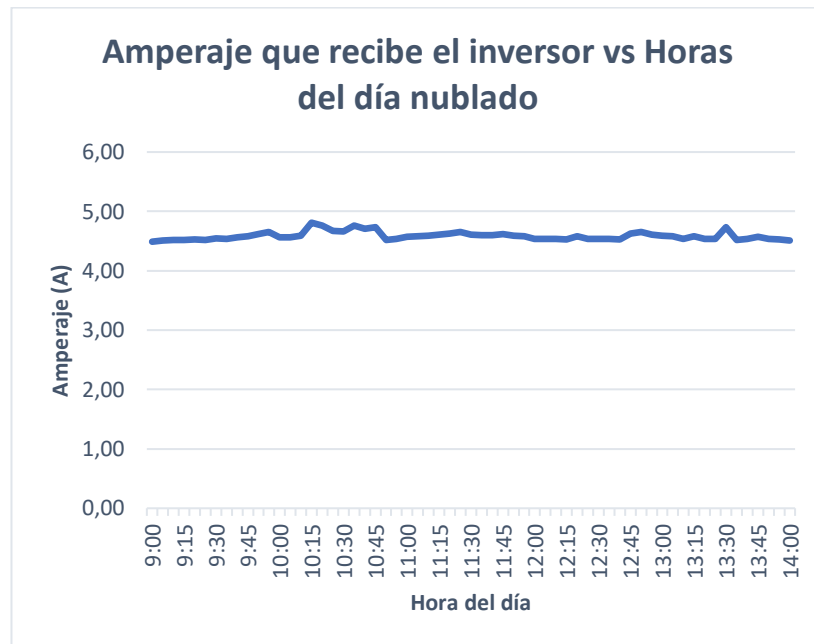


Figura 70: Amperaje medido en día nublado

Fuente: Autor

En la figura 71 se observa como varia la potencia por la presencia de nubes en el día con carga siendo la potencia pico de 58,10 W y la potencia menor de 49,11 W.

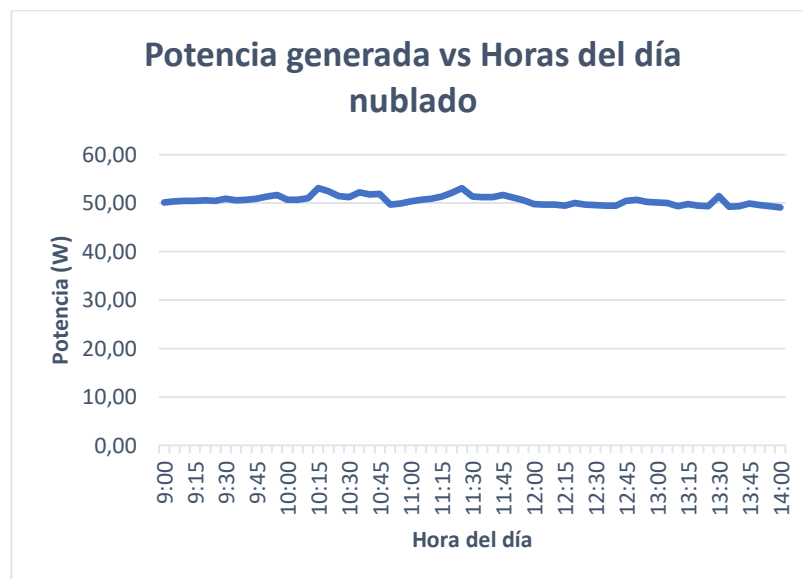


Figura 71: Potencia generada en el inversor de voltaje

Fuente: Autor

En la figura 72 se observa una comparación entre la potencia generada por los paneles solares con la potencia que consume las cargas de la vivienda en el día nublado.

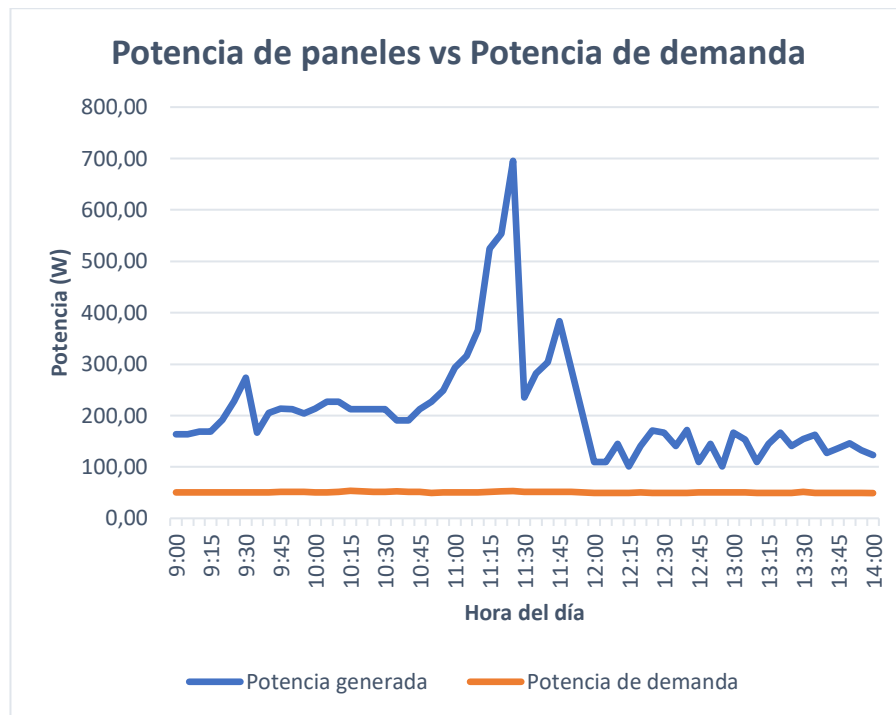


Figura 72: Comparación de la potencia generada por los paneles solares con la potencia consumida en la vivienda en un día nublado

Fuente: Autor

- Prueba de funcionamiento en la noche

Se realizó una prueba de funcionamiento en la noche logrando que las luces de la vivienda funcionen correctamente.



Figura 73: Prueba de funcionamiento de las iluminarias en la noche

Fuente: Autor

3.1.10 Cálculo de la eficiencia del sistema

La eficiencia energética de uso del sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos se calcula con la ecuación 1 dando como resultado:

- Eficiencia en el día soleado

La potencia demandada por la carga se tomó del consumo de las mismas para el análisis de resultados, dando un promedio de 66,61 W de potencia y la entrada total de energía es la potencia captada del sol por los paneles, dando un valor promedio de 607,72 W.

$$\text{Eficiencia energética de uso} = \frac{66,61 \text{ W}}{607,72 \text{ W}}$$

$$\text{Eficiencia energética de uso} = 0,11 \approx 11\%$$

La eficiencia energética del sistema fotovoltaico en un día soleado aprovechando la máxima radiación solar es del **11%**.

- Eficiencia en el día parcialmente nublado

La entrada total de energía es la potencia captada del sol por los paneles en días parcialmente nublados, dando un valor promedio de 323,36 W.

$$\text{Eficiencia energética de uso} = \frac{66,61 \text{ W}}{323,36 \text{ W}}$$

$$\text{Eficiencia energética de uso} = 0,205 \approx 20,5\%$$

La eficiencia energética del sistema fotovoltaico en un día parcialmente nublado aprovechando la máxima radiación solar es del **20,5 %**.

- Eficiencia en el día nublado

La entrada total de energía es la potencia captada del sol por los paneles en días parcialmente nublados, dando un valor promedio de 210,88 W.

$$\text{Eficiencia energética de uso} = \frac{66,61 \text{ W}}{210,88 \text{ W}}$$

$$\text{Eficiencia energética de uso} = 0,315 \approx 31,5\%$$

La eficiencia energética del sistema fotovoltaico en un día nublado aprovechando la máxima radiación solar es del **31,5%**.

Ahora se procede a realizar el cálculo de la eficiencia energética nominal del sistema:

- Eficiencia en el día soleado

La potencia generada por los paneles tiene un valor promedio de 607,72 W en el día soleado y la entrada total de energía que poseen los paneles es de 1215W.

$$\text{Eficiencia energética nominal} = \frac{607,72 \text{ W}}{1215 \text{ W}}$$

$$\text{Eficiencia energética nominal} = 0,50 \approx 50\%$$

La eficiencia energética nominal del sistema fotovoltaico en un día soleado es del **50%**.

- Eficiencia en el día parcialmente nublado

La potencia generada por los paneles en un día parcialmente nublado tiene un valor promedio de 323,36 de potencia.

$$\text{Eficiencia energética nominal} = \frac{323,36 \text{ W}}{1215 \text{ W}}$$

$$\text{Eficiencia energética nominal} = 0,266 \approx 26,6\%$$

La eficiencia energética nominal del sistema fotovoltaico en un día parcialmente nublado es del **26,6%**.

- Eficiencia en el día nublado

La potencia generada por los paneles en un día nublado tiene un valor promedio de 210,88 W de potencia.

$$\text{Eficiencia energética nominal} = \frac{210,88 \text{ W}}{1215 \text{ W}}$$

$$\text{Eficiencia energética nominal} = 0,174 \approx 17,4\%$$

La eficiencia energética nominal del sistema fotovoltaico en un día nublado es del **17,4%**.

3.1.11 Presupuesto del proyecto implementado

En este apartado se describe el presupuesto que se ocupó para implementar el sistema de generación de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos:

3.1.11.1 Costo de equipos del sistema fotovoltaico

Tabla 18: Costo de equipos del sistema fotovoltaico

Equipos del sistema fotovoltaico				
No.	Cant.	Descripción	Costo unitario	Costo total
1	3	Panel Solar JKM405M-72H-V	\$199,62	\$598,86
2	4	Baterías Ritar Power 12Vdc 100AH DC12-100 (RA12-100D)	\$248,75	\$995,00
3	1	Controlador solar PWM 50A	\$74,90	\$74,90
4	1	Inversor CEJ 12V 100V 1500W	\$51,00	\$51,00
5	1	Transporte de los equipos	\$32,90	\$32,90
Subtotal				\$1752,66
IVA				\$134,51
Total				\$1887,17

Fuente: Autor

3.1.11.2 Costo de la instalación eléctrica

Tabla 19: Costo de la instalación eléctrica

Instalación eléctrica				
No.	Cant.	Descripción	Costo unitario	Costo total
1	10	Metros de cable cableado #8 (7 hilos) rojo	\$1,34	\$13,40
2	70	Metros de cable cableado #10 amarillo	\$0,74	\$51,80
3	10	Metros de cable gemelo #12 Incable	\$1,25	\$12,50
4	1	Repartidor 2 polos 125A	\$24,55	\$24,55
5	2	Fusible 10x38 380V 32A	\$0,53	\$1,06
6	2	Portafusible 10x38 32A 1 Polo	\$2,05	\$4,10
7	12	Termina de compresión para cable calibre #8	\$0,44	\$5,28
8	1	Breaker 40A Schneider	\$5,58	\$5,58

9	1	Caja térmica 1 punto	\$12,50	\$12,50
10	3	Conectores MC4 1-1	\$3,20	\$9,60
Subtotal				\$140,37
IVA				\$16,84
Total				\$157,21

Fuente: Autor

3.1.11.3 Costo de materiales adicionales

Tabla 20: Costo de materiales adicionales

Materiales adicionales				
No.	Cant.	Descripción	Costo unitario	Costo total
1	2	Cinta aislante	\$0,88	\$1,76
2	1	Grapas para cable(100 unidades)	\$0,88	\$0,88
3	2	Metros de tubo acordeón	\$0,44	\$0,88
4	1	Tairas de plástico(100 unidades)	\$1,32	\$1,32
5	25	Pernos 3/16"	\$2,64	\$2,64
Subtotal				\$7,48
IVA				\$0,90
Total				\$8,38

Fuente: Autor

3.1.11.4 Costo de mano de obra y gestión

Tabla 21: Costo de mano de obra y gestión

Mano de obra y gestión				
No.	Cant.	Descripción	Costo unitario	Costo total
1	3	Estructura metálica (soporte de paneles solares)	\$41,65	\$124,95
2	2	Mano de obra para instalaciones solares	\$430,00	\$860,00
3	5	Transporte fluvial	\$10,00	\$50,00
4	9	Alimentación	\$5,00	\$45,00
Subtotal				\$1079,95
IVA				\$129,60
Total				\$1209,55

Fuente: Autor

3.1.11.5 Costo total del proyecto implementado

Tabla 22: Costo total del proyecto implementado

Costo del proyecto		
No.	Descripción	Costo total
1	Costo de equipos del sistema fotovoltaico	\$1887,17
2	Costo de la instalación eléctrica	\$157,21
3	Costo de materiales adicionales	\$8,38
4	Costo de mano de obra y gestión	\$1209,55
	Total	\$3262,31

Fuente: Autor

3.1.11.6 Costo generado por el sistema fotovoltaico en kWh

Tomando en cuenta la inversión de \$ 3261.32, valor que está asegurado con el suministro del recurso energético durante 10 años de la vida útil del sistema fotovoltaico y considerando que está dimensionado para generar 2,932 kWh por día se calculó el costo de kWh obtenido del sistema fotovoltaico. [31]

$$\text{Costo kWh generado} = \frac{\$ 3261,32}{10 \text{ años}} * \frac{1 \text{ año}}{365 \text{ días}} * \frac{1 \text{ día}}{2,932 \text{ kWh}}$$

$$\text{Costo kWh generado} = \$ 0,305$$

El costo por kWh generado en este sistema es de \$0,305.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Los factores más importantes para la utilización del recurso energético solar para proyectos de sistemas fotovoltaicos son: la energía solar; la radiación solar; los paneles solares; la orientación y la inclinación de los paneles; el tipo de instalación solar fotovoltaica; el regulador solar; los acumuladores o banco de baterías y el inversor de voltaje.
- Los equipos seleccionados según los parámetros de diseño para el sistema fotovoltaico son: 3 paneles solares monocristalinos marca Jinko Solar de 405Wp, 4 baterías selladas marca Ritar DC12V-100Ah, un regulador solar PWM de 50A y un inversor de voltaje CEJ de 1500W de potencia y para las conexiones se ocuparon cables con calibre AWG 8 para la conexión entre las baterías con el regulador solar y el inversor de voltaje, cables calibre AWG 10 para la conexión entre los paneles solares y el regulador solar y cables calibre AWG 12 para la conexión entre el inversor de voltaje a las cargas de la vivienda.
- El sistema de generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos con una tensión del sistema de 12V esta implementado para encender pequeños equipos de baja potencia como televisores, computadores portátiles, lámparas y otros dispositivos que no requieran gran demanda de energía, es por esto que si se requiere incrementar la carga se debería utilizar un inversor cuyo diseño garantice la entrega necesaria de potencia.
- De acuerdo a la conclusión anterior, en ciertas pruebas de funcionamiento el inversor de voltaje CEJ de 12v DC a 110V AC con potencia de 1500W logró encender una laptop, un pequeño parlante, una licuadora y un taladro, estos dos últimos equipos tuvieron dificultades al arrancar pero después encenderse por completo, trabajaron con normalidad.

- La potencia que se midió en los paneles en los días soleado, parcialmente nublado y nublado, como era de esperarse, bajaron su intensidad a valores de potencia 607,72 W; 323,36 W y 210,88 W respectivamente.
- La eficiencia de uso del día nublado (31.5%) es mayor que en un día soleado (11%) y parcialmente nublado (20.5%) por la razón que en días nublados el sistema fotovoltaico está siendo más exigido; y la eficiencia nominal del sistema en el día soleado, parcialmente nublado y nublado son de 50%, 26.6% y 17.4% respectivamente.

4.2 Recomendaciones

- Para los sistemas fotovoltaicos aislados es preferible utilizar reguladores solares de tecnología MPPT, ya que estos pueden mejorar la eficiencia de los paneles solares considerablemente con un voltaje nominal del sistema de 24V ayudando a una mejor conservación del banco de baterías
- Realizar instalaciones solares con una tensión del sistema de 24V para que se pueda utilizar de mejor manera electrodomésticos como refrigerador, congelador, etc. que requieran una mayor potencia al encendido de los mismo, logrando que funcionen de una manera correcta.
- En la conexión entre equipos siempre verificar el polo de cada cable, ya que una conexión errónea podría causar un cortocircuito dañando los equipos importantes del sistema de generación de energía eléctrica y posiblemente sufrir quemaduras en el cuerpo.
- Verificar siempre el estado de la batería en el regulador solar, ya que si sufre descargas continuas, es decir tener un voltaje menor a 11V, las baterías podrían acortar su vida útil.
- Limpiar los paneles solares cada 3 o 4 veces al año para evitar que algún objeto extraño como hojas o ramas obstaculicen la proyección de la luz en la cara de los paneles con el fin de que funcione el sistema fotovoltaico de manera eficiente.

Referencias Bibliográficas

- [1] L. Moreta, “Diseño de un convertidor que permita transformar la energía eléctrica obtenida mediante un sistema de generación híbrido compuesto por paneles solares fotovoltaicos y un generador eólico en energía térmica,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2020.
- [2] A. Aldaz, “Diseño y construcción de un sistema de control para un generador de energía renovable híbrido eólico-fotovoltaico ubicado en el sector de Río Blanco comunidad de Yatzaputzán provincia de Tungurahua,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2020.
- [3] M. Guananga, “Diseño y construcción de un sistema fotovoltaico de baja potencia en el sector Río Blanco perteneciente a la comunidad Yatzaputzán,” Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2017.
- [4] G. González, J. Zambrano y E. Edison, “Estudio, diseño e implementación de un sistema de energía solar en la comuna Puerto Roma de la Isla Mondragón del Golfo de Guayaquil, provincia del Guayas,” Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2014.
- [5] V. González, “Replanteo de instalaciones solares térmicas:MF0601_2,” IC Editorial, Málaga, 2017.
- [6] C. O. d. I. d. Telecomunicación, Energía Solar Fotovoltaica, Madrid: Ibergraphi, 2002.
- [7] R. Guerrero, “Replanteo y funcionamiento de las instalaciones solares fotovoltaicas,” IC Editorial, Andalucía, 2017.
- [8] D. Vaca y F. Ordoñez, “Mapa Solar del Ecuador 2019,” Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2019.
- [9] C. d. C. Solar, “Radiación-irradiancia-insolación solar,” Centro de Capacitación solar, 20 Agosto 2020. [En línea]. Available: <https://centrodecapacitacionsolar.com/radiacion-irradiancia-insolacion-solar/#:~:text=A%20la%20Insolaci%C3%B3n%20se%20le,de%20permanencia%20sobre%20una%20superficie..>

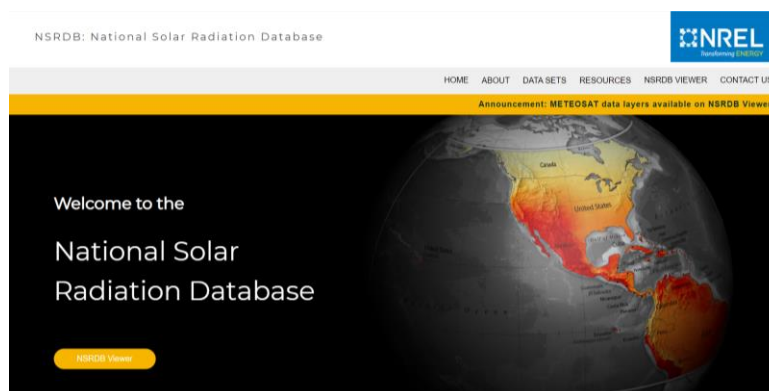
- [10] H. Ramos y R. Luna, “Diseño de un sistema fotovoltaico integrado a la red para el área de estacionamiento de la Universidad Tecnológica de Salamanca,” Universidades Tecnológicas y Politécnicas, Chihuahua, 2014.
- [11] CONELEC, “Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica,” CIE, Quito, 2008.
- [12] NSRDB, “NSRDB,” NREL, 15 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://nsrdb.nrel.gov/>.
- [13] NREL, “PVWatts Calculator,” NREL, 16 Enero 2021. [En línea]. Available: <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php>.
- [14] J. Romero, “Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró,” Universidad Politécnica de Catalunya, Catalunya, 2015.
- [15] A. Atayero y F. Morakinyo, “Design and construction of a solar powered streetlight system,” Covenant University, Barcelona, 2014.
- [16] Fraunhofer, “Photovoltaics Report,” Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems, Freiburg, 2020.
- [17] Irena, “Future of solar photovoltaic,” Irena, Abu Dhabi, 2019.
- [18] C. Tobajas, “Instalaciones Solares Fotovoltaicas,” Canopina, Barcelona, 2014.
- [19] T. Díaz y G. Carmona, “Componentes de una instalación solar fotovoltaica,” de Instalaciones Solares Fotovoltaicas.GM, Barcelona, McGraw-Hill, 2018, pp. 14-15.
- [20] A. López, “Clasificación de instalaciones solares fotovoltaicas,” de Necesidades energéticas y propuestas de instalaciones solares, Málaga, IC Editorial, 2013, pp. 227-229.
- [21] L. Jutglar, “Energía Solar”, Barcelona: ceac, 2004.
- [22] C. Osaretin y F. Edeko, “Design and implementation of a solar charge controller,” University of Benin, Benin City, 2015.

- [23] Prosumidores, “Módulo 4: reguladores, inversores y baterías,” Academia de las renovables, Santa Fe, 2019.
- [24] M. Ahmed, A. Zaman y S. Das, “Design of a 100 VA Power Inverter,” MAT Journals, Dhaka, 2016.
- [25] N. E. d. I. Construcción, “NEC-11, Capítulo 14; Energías Renovables,” MIDUVI, Quito, 2011.
- [26] J. Pelayo, A. Soto y F. Ramos, “Comparativa de la eficiencia entre un sistema fotovoltaico con seguimiento solar y un sistema fotovoltaico fijo,” Ciba, vol. 7, n° 13, pp. 12-13, 2018.
- [27] J. Vargas, “Cálculo de estructuras utilizando elementos finitos con cómputo en paralelo”, Guanajuato: Centro de investigación en matemáticas AC, 2010.
- [28] ANSYS, “Engineering data”, ANSYS, 2019.
- [29] N. J y E. Julios, “Reinforced Concreted design and detailing II”, 24 Marzo 2014. [En línea]. Available: <https://www.slideshare.net/machota2011/wind-load-calculation>.
- [30] W. Spark, “El clima promedio en Puerto Francisco de Orellana”, Weather Spark, 31 2016 2016. [En línea]. Available: <https://es.weatherspark.com/y/21456/Clima-promedio-en-Puerto-Francisco-de-Orellana-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>.
- [31] C. Guevara y C. Pérez, “Análisis de viabilidad del suministro de energía eléctrica a la Granja La Fortaleza ubicada en Melgar-Tolima mediante la implementación de un sistema fotovoltaico”, Bogotá: Universidad Libre, 2015.

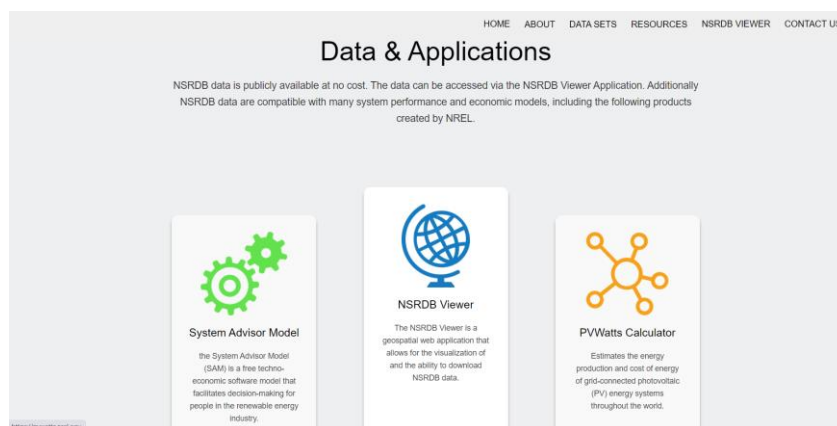
Anexos

Anexo I: Procedimiento para obtener los datos de radiación solar en la ciudad del Coca

Dirigirse a la página “<https://nsrdb.nrel.gov/>” de la NSRDB: National Solar Radiation Database (NREL).



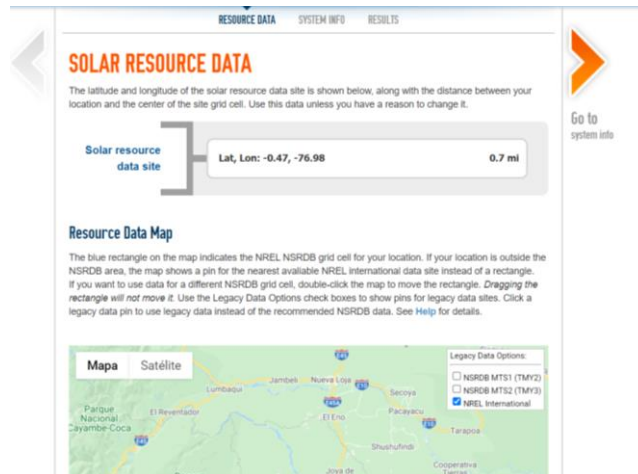
Buscar y seleccionar la aplicación PVWatts Calculator.



Buscamos la ciudad o país en el que desea buscar la información de la radiación solar.



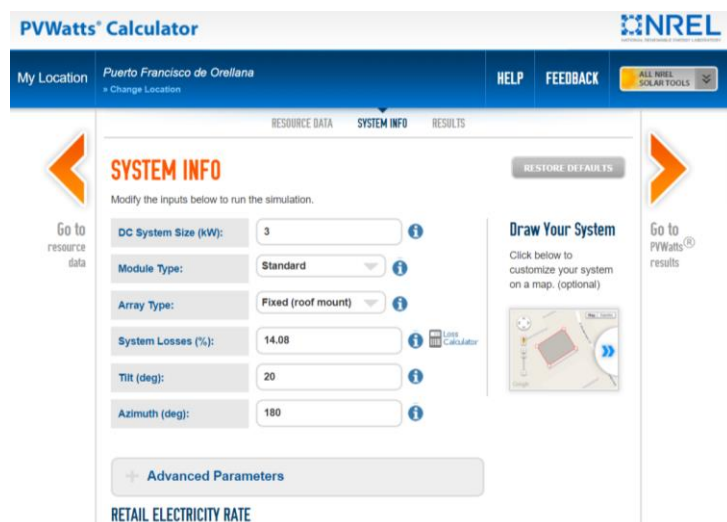
Aparecerá los datos de los recursos solares como la longitud y latitud de la zona.



Con ayuda del mapa podrá mover y señalar la zona exacta donde desea obtener la información sobre la radiación y después damos clic en “Go to”.



Llenar los datos de acuerdo a su ubicación y datos de su sistema y dar clic en “Go to”.



Finalmente nos dará los valores de la radiación solar que existe en la zona que se buscó.

My Location *Puerto Francisco de Orellana* [Change Location](#) **HELP** **FEEDBACK** ALL NREL SOLAR TOOLS

RESOURCE DATA SYSTEM INFO RESULTS

RESULTS **3,422 kWh/Year***

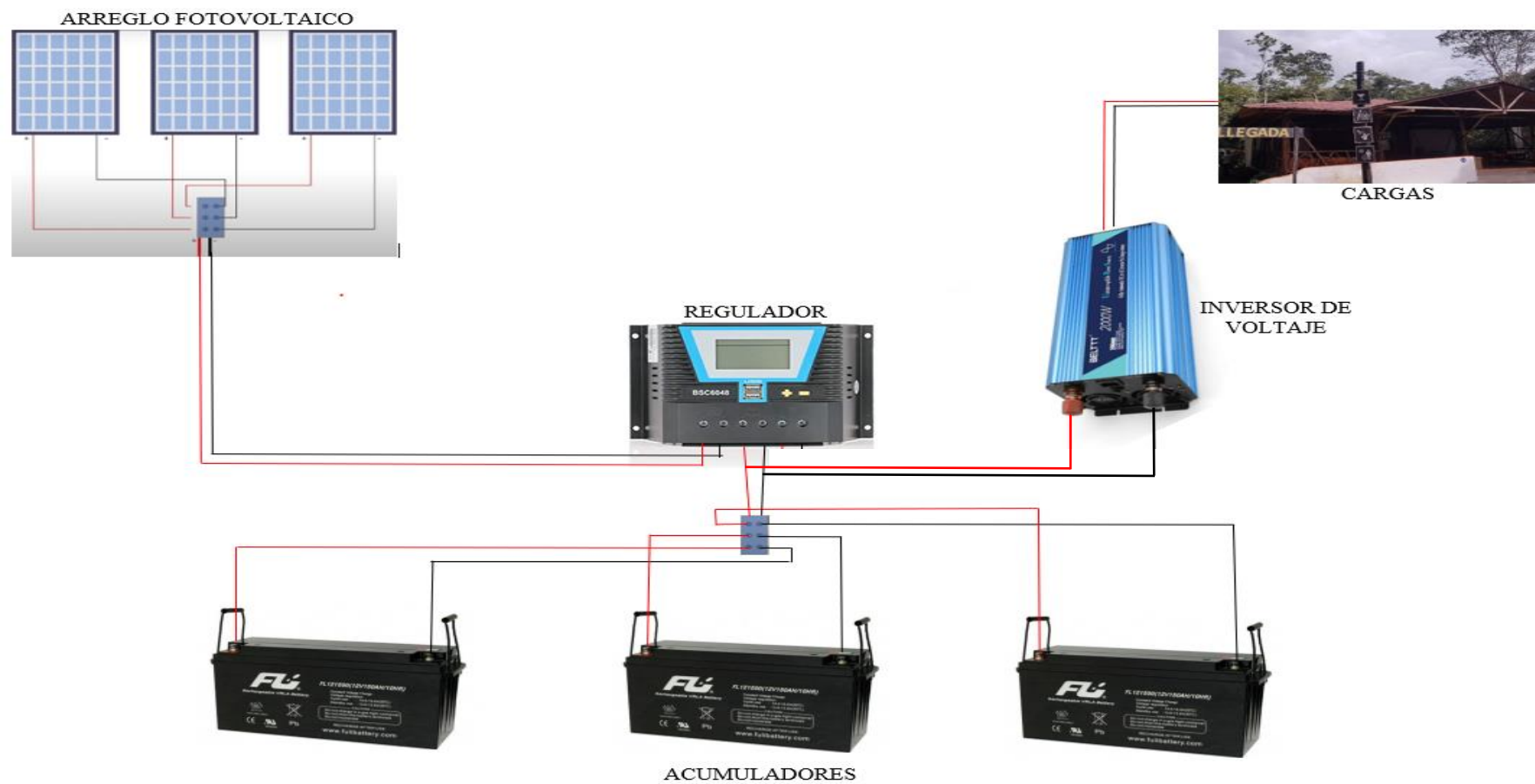
[Print Results](#)

Go to system info

Month	Solar Radiation (kWh / m ² / day)	AC Energy (kWh)	Value (\$)
January	5.13	334	N/A
February	4.52	270	N/A
March	4.27	281	N/A
April	4.08	263	N/A
May	3.60	243	N/A
June	3.22	211	N/A
July	3.47	233	N/A
August	4.16	273	N/A
September	4.79	301	N/A
October	5.23	334	N/A
November	5.33	334	N/A
December	5.31	345	N/A
Annual	4.43	3,422	0

Nota: los valores de la radiación solar es de un periodo histórico de varios años que ha calculado la NREL, siendo el 2019 el año mas reciente.

Anexo II: Diagrama de un sistema fotovoltaico con paneles y baterías con conexión en paralelo



Anexo III: Datos obtenidos de voltaje, amperaje y potencia de entrada y salida del regulador solar en un día soleado.

Entrada al Regulador				Salida del Regulador			
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia(W)	Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia(W)
9:00	44,30	8,90	394,27	9:00	11,61	5,43	63,04
9:05	44,30	6,60	292,38	9:05	11,49	5,36	61,59
9:10	44,30	5,30	234,79	9:10	11,53	5,34	61,57
9:15	43,80	5,30	232,14	9:15	11,54	5,33	61,51
9:20	43,80	12,30	538,74	9:20	11,72	5,45	63,87
9:25	43,80	4,80	210,24	9:25	11,56	5,32	61,50
9:30	42,90	4,10	175,89	9:30	11,53	5,44	62,72
9:35	42,90	15,30	656,37	9:35	11,68	5,48	64,01
9:40	42,90	14,10	604,89	9:40	11,87	5,46	64,81
9:45	44,20	5,30	234,26	9:45	11,63	5,45	63,38
9:50	44,20	10,80	477,36	9:50	11,72	5,67	66,45
9:55	44,20	16,90	746,98	9:55	11,59	5,68	65,83
10:00	43,80	15,80	692,04	10:00	11,75	6,04	70,97
10:05	43,80	16,30	713,94	10:05	11,79	5,92	69,80
10:10	43,80	17,10	748,98	10:10	11,52	5,94	68,43
10:15	43,20	9,20	397,44	10:15	11,77	5,77	67,91
10:20	43,20	4,60	198,72	10:20	11,97	5,79	69,31
10:25	43,20	10,20	440,64	10:25	11,55	5,78	66,76
10:30	44,10	13,50	595,35	10:30	11,52	5,80	66,82
10:35	44,10	21,50	948,15	10:35	11,51	5,82	66,99
10:40	44,10	21,20	934,92	10:40	11,89	5,70	67,77
10:45	42,50	5,10	216,75	10:45	11,45	5,68	65,04
10:50	42,50	17,40	739,50	10:50	11,78	5,96	70,21
10:55	42,50	21,00	892,50	10:55	11,95	5,88	70,27
11:00	43,50	19,90	865,65	11:00	11,72	5,75	67,39
11:05	43,50	9,40	408,90	11:05	11,85	5,84	69,20
11:10	43,50	18,20	791,70	11:10	11,88	5,82	69,14
11:15	43,20	18,70	807,84	11:15	11,94	5,84	69,73
11:20	43,20	20,20	872,64	11:20	11,71	5,73	67,10
11:25	43,20	18,70	807,84	11:25	11,95	5,72	68,35
11:30	43,10	18,40	793,04	11:30	11,92	5,69	67,82
11:35	43,10	19,20	827,52	11:35	11,97	5,82	69,67
11:40	43,10	19,70	849,07	11:40	11,98	5,85	70,08
11:45	42,70	19,40	828,38	11:45	11,99	5,88	70,50
11:50	42,70	19,40	828,38	11:50	12,01	5,77	69,30
11:55	42,70	19,40	828,38	11:55	12,02	5,80	69,72
12:00	42,50	20,70	879,75	12:00	12,04	5,82	70,07
12:05	42,50	19,90	845,75	12:05	12,04	5,80	69,83
12:10	42,50	20,20	858,50	12:10	12,06	5,65	68,14
12:15	42,10	15,10	635,71	12:15	11,89	5,80	68,96
12:20	42,10	22,30	938,83	12:20	12,02	5,85	70,32
12:25	42,10	17,10	719,91	12:25	12,03	5,79	69,65
12:30	41,70	17,10	713,07	12:30	11,95	5,66	67,64
12:35	41,70	14,80	617,16	12:35	11,95	5,60	66,92
12:40	41,70	21,20	884,04	12:40	12,07	5,55	66,99
12:45	42,30	19,50	824,85	12:45	12,02	5,67	68,15
12:50	42,30	19,20	812,16	12:50	12,02	5,50	66,11
12:55	42,30	19,70	833,31	12:55	12,04	5,64	67,91
13:00	42,20	21,00	886,20	13:00	12,09	5,58	67,46
13:05	42,20	4,80	202,56	13:05	11,57	5,53	63,98
13:10	42,20	5,30	223,66	13:10	11,41	5,30	60,47
13:15	42,90	7,40	317,46	13:15	11,64	5,44	63,32
13:20	42,90	5,80	248,82	13:20	11,58	5,45	63,11
13:25	42,90	6,40	274,56	13:25	11,58	5,39	62,42
13:30	42,30	9,20	389,16	13:30	11,76	5,41	63,62
13:35	42,30	5,60	236,88	13:35	11,58	5,45	63,11
13:40	42,30	5,80	245,34	13:40	11,86	5,43	64,40
13:45	44,10	17,60	776,16	13:45	12,05	5,54	66,76
13:50	44,10	18,20	802,62	13:50	11,95	5,54	66,20
13:55	44,10	6,60	291,06	13:55	11,65	5,48	63,84
14:00	43,00	11,20	481,60	14:00	11,84	5,53	65,48
		Promedio:	602,72			Promedio:	66,61

Anexo IV: Datos obtenidos de voltaje, amperaje y potencia de entrada y salida del regulador solar en un día parcialmente nublado.

Entrada al Regulador				Salida del Regulador			
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia(W)	Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia
9:00	42,90	2,80	120,12	9:00	12,03	4,81	57,86
9:05	43,00	2,90	124,70	9:05	12,09	4,68	56,58
9:10	43,00	2,90	124,70	9:10	12,08	4,59	55,45
9:15	43,10	3,00	129,30	9:15	12,12	4,62	55,99
9:20	43,10	2,90	124,99	9:20	12,16	4,71	57,27
9:25	43,20	3,10	133,92	9:25	12,13	4,75	57,62
9:30	43,20	3,10	133,92	9:30	12,08	4,79	57,86
9:35	43,10	3,80	163,78	9:35	12,19	4,87	59,37
9:40	43,10	4,60	198,26	9:40	12,19	4,81	58,63
9:45	43,30	5,10	220,83	9:45	12,20	4,91	59,90
9:50	43,30	5,30	229,49	9:50	12,01	4,85	58,25
9:55	43,10	4,30	185,33	9:55	11,98	4,86	58,22
10:00	43,20	4,60	198,72	10:00	12,26	4,80	58,85
10:05	43,20	4,80	207,36	10:05	12,20	4,90	59,78
10:10	43,20	6,40	276,48	10:10	12,29	5,00	61,45
10:15	43,40	8,20	355,88	10:15	12,32	5,10	62,83
10:20	43,20	7,10	306,72	10:20	12,19	5,40	65,83
10:25	43,30	6,60	285,78	10:25	12,16	4,79	58,25
10:30	43,30	6,40	277,12	10:30	12,00	5,42	65,04
10:35	43,50	6,60	287,10	10:35	12,00	5,23	62,76
10:40	43,30	6,40	277,12	10:40	12,01	5,32	63,89
10:45	43,10	5,80	249,98	10:45	12,02	5,15	61,90
10:50	43,00	5,30	227,90	10:50	11,99	5,35	64,15
10:55	43,00	5,10	219,30	10:55	11,99	5,22	62,59
11:00	42,60	4,10	174,66	11:00	12,00	5,30	63,60
11:05	42,60	3,80	161,88	11:05	11,99	5,10	61,15
11:10	42,90	3,50	150,15	11:10	12,03	5,40	64,96
11:15	43,20	4,70	203,04	11:15	12,00	4,90	58,80
11:20	43,50	5,10	221,85	11:20	12,05	5,28	63,62
11:25	43,40	5,30	230,02	11:25	12,02	5,17	62,14
11:30	43,90	5,30	232,67	11:30	12,04	5,30	63,81
11:35	44,20	6,90	304,98	11:35	12,05	5,10	61,46
11:40	44,00	6,90	303,60	11:40	12,08	5,35	64,63
11:45	44,00	8,90	391,60	11:45	12,07	5,15	62,16
11:50	43,90	10,20	447,78	11:50	12,28	4,80	58,94
11:55	43,60	11,00	479,60	11:55	12,24	4,62	56,55
12:00	43,20	9,70	419,04	12:00	12,20	5,40	65,88
12:05	43,30	8,90	385,37	12:05	12,13	5,10	61,86
12:10	43,00	7,90	339,70	12:10	12,14	5,45	66,16
12:15	43,30	7,60	329,08	12:15	12,08	5,21	62,94
12:20	43,30	6,90	298,77	12:20	12,10	5,35	64,74
12:25	43,20	5,60	241,92	12:25	12,07	5,10	61,56
12:30	43,20	5,60	241,92	12:30	12,11	5,51	66,73
12:35	43,50	19,20	835,20	12:35	12,67	5,46	69,18
12:40	43,60	22,30	972,28	12:40	12,26	4,82	59,09
12:45	43,30	17,30	749,09	12:45	12,41	4,79	59,44
12:50	43,10	21,70	935,27	12:50	12,36	5,66	69,96
12:55	41,50	19,90	825,85	12:55	12,36	5,66	69,96
13:00	41,40	8,20	339,48	13:00	12,31	5,10	62,78
13:05	43,70	7,60	332,12	13:05	12,36	5,18	64,02
13:10	43,80	7,90	346,02	13:10	12,24	5,16	63,16
13:15	43,80	7,60	332,88	13:15	12,24	5,30	64,87
13:20	44,60	13,20	588,72	13:20	12,27	5,10	62,58
13:25	43,60	12,50	545,00	13:25	12,04	5,05	60,80
13:30	42,90	7,90	338,91	13:30	12,08	5,25	63,42
13:35	42,40	5,60	237,44	13:35	12,02	5,21	62,62
13:40	42,32	7,40	313,17	13:40	12,03	5,22	62,80
13:45	42,71	9,30	397,20	13:45	12,05	5,29	63,74
13:50	42,41	8,40	356,24	13:50	12,04	5,31	63,93
13:55	42,29	7,90	334,09	13:55	12,01	5,17	62,09
14:00	42,22	7,80	329,32	14:00	12,02	5,15	61,90
		Promedio:	323,36			Promedio:	66,61

Anexo V: Datos obtenidos de voltaje, amperaje y potencia de entrada y salida del regulador solar en un día nublado.

Entrada al Regulador				Salida del Regulador			
Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia(W)	Hora	Voltaje (V)	Amperaje (A)	Potencia(W)
9:00	44,20	3,70	163,54	9:00	11,53	4,39	50,62
9:05	44,20	3,70	163,54	9:05	11,53	4,81	55,46
9:10	44,30	3,80	168,34	9:10	11,54	4,82	55,62
9:15	44,30	3,80	168,34	9:15	11,54	4,92	56,78
9:20	44,50	4,30	191,35	9:20	11,59	5,03	58,30
9:25	44,60	5,10	227,46	9:25	11,65	5,12	59,65
9:30	44,90	6,10	273,89	9:30	11,66	5,25	61,22
9:35	43,90	3,80	166,82	9:35	11,61	5,14	59,68
9:40	44,50	4,60	204,70	9:40	11,59	5,16	59,80
9:45	44,40	4,80	213,12	9:45	11,60	5,18	60,09
9:50	44,30	4,80	212,64	9:50	11,60	5,22	60,55
9:55	44,30	4,60	203,78	9:55	11,59	5,35	62,01
10:00	44,40	4,80	213,12	10:00	11,59	5,36	62,12
10:05	44,40	5,10	226,44	10:05	11,61	5,39	62,58
10:10	44,40	5,10	226,44	10:10	11,60	5,41	62,76
10:15	44,30	4,80	212,64	10:15	11,52	5,36	61,75
10:20	44,30	4,80	212,64	10:20	11,51	5,37	61,81
10:25	44,30	4,80	212,64	10:25	11,50	5,36	61,64
10:30	44,30	4,80	212,64	10:30	11,50	5,36	61,64
10:35	44,20	4,30	190,06	10:35	11,47	5,37	61,59
10:40	44,20	4,30	190,06	10:40	11,47	5,41	62,05
10:45	44,30	4,80	212,64	10:45	11,46	5,33	61,08
10:50	44,40	5,10	226,44	10:50	11,49	5,22	59,98
10:55	44,40	5,60	248,64	10:55	11,49	5,24	60,21
11:00	44,50	6,60	293,70	11:00	11,52	5,27	60,71
11:05	44,50	7,10	315,95	11:05	11,54	5,38	62,09
11:10	44,60	8,20	365,72	11:10	11,57	5,39	62,36
11:15	44,50	11,80	525,10	11:15	11,64	5,21	60,64
11:20	44,30	12,50	553,75	11:20	11,73	5,33	62,52
11:25	44,30	15,70	695,51	11:25	11,91	5,15	61,34
11:30	44,30	5,30	234,79	11:30	11,60	5,31	61,60
11:35	44,10	6,40	282,24	11:35	11,60	5,20	60,32
11:40	44,00	6,90	303,60	11:40	11,60	5,13	59,51
11:45	44,10	8,70	383,67	11:45	11,63	5,22	60,71
11:50	44,10	6,60	291,06	11:50	11,63	5,41	62,92
11:55	44,10	4,60	202,86	11:55	11,52	5,38	61,98
12:00	43,90	2,50	109,75	12:00	11,45	5,34	61,14
12:05	43,90	2,50	109,75	12:05	11,42	5,24	59,84
12:10	44,00	3,30	145,20	12:10	11,42	5,24	59,84
12:15	43,90	2,30	100,97	12:15	11,40	5,33	60,76
12:20	43,90	3,20	140,48	12:20	11,41	5,28	60,24
12:25	43,80	3,90	170,82	12:25	11,42	5,14	58,70
12:30	43,90	3,80	166,82	12:30	11,41	5,14	58,65
12:35	43,90	3,20	140,48	12:35	11,40	5,24	59,74
12:40	44,00	3,90	171,60	12:40	11,42	5,23	59,73
12:45	43,90	2,50	109,75	12:45	11,39	5,23	59,57
12:50	44,00	3,30	145,20	12:50	11,40	5,15	58,71
12:55	43,90	2,30	100,97	12:55	11,38	5,31	60,43
13:00	43,80	3,80	166,44	13:00	11,41	5,39	61,50
13:05	43,80	3,50	153,30	13:05	11,40	5,38	61,33
13:10	43,80	2,50	109,50	13:10	11,38	5,34	60,77
13:15	43,90	3,30	144,87	13:15	11,39	5,38	61,28
13:20	43,90	3,80	166,82	13:20	11,40	5,34	60,88
13:25	43,90	3,20	140,48	13:25	11,39	5,14	58,54
13:30	44,00	3,50	154,00	13:30	11,40	4,93	56,20
13:35	43,90	3,70	162,43	13:35	11,41	5,02	57,28
13:40	44,00	2,90	127,60	13:40	11,40	5,04	57,46
13:45	44,00	3,10	136,40	13:45	11,40	5,17	58,94
13:50	44,10	3,30	145,53	13:50	11,41	5,24	59,79
13:55	44,00	3,00	132,00	13:55	11,39	5,33	60,71
14:00	43,90	2,80	122,92	14:00	11,38	5,11	58,15
		PROMEDIO	210,88			PROMEDIO	66,61

Anexo VI: Ficha técnica de los paneles fotovoltaicos

www.jinkosolar.com

Cheetah HC 72M

390-410 Watt

MONO PERC HALF CELL MODULE

Positive power tolerance of 0~+3%

- Half Cell
- Mono PERC 72 Cell

KEY FEATURES

- 5 Busbar Solar Cell**
 5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.
- High Efficiency**
 Higher module conversion efficiency (up to 20.38%) benefit from half cell structure (low resistance characteristic).
- PID Resistance**
 Excellent Anti-PID performance guarantee limited power degradation for mass production.
- Low-light Performance**
 Advanced glass and cell surface textured design ensure excellent performance in low-light environment.
- Severe Weather Resilience**
 Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).
- Durability Against Extreme Environmental Conditions**
 High salt mist and ammonia resistance certified by TUV NORD.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

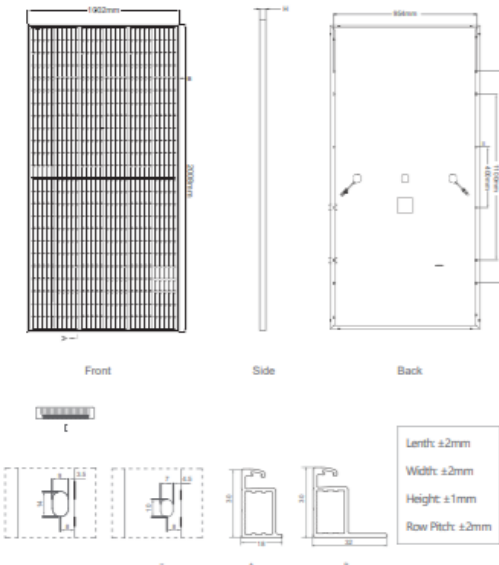
12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty

- ISO9001:2015, ISO14001:2015, ISO45001:2018 certified factory
- IEC61215, IEC61730, certified product

Nomenclature:
JKMxxxM-60/72H-V

Code	Cell	Code	Certification
null	Full	null	1000V
H	Half	V	1500V

Engineering Drawings

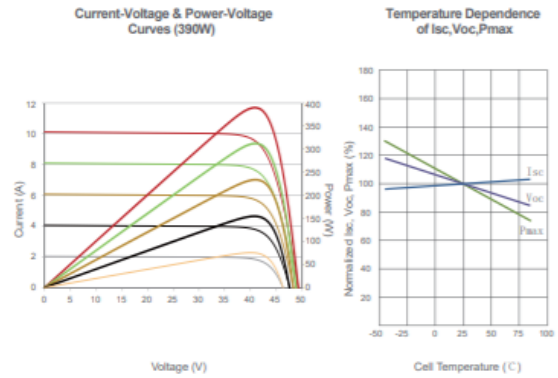


Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

35pcs/pallet, 70pcs/stack, 770pcs/40'HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono PERC 158.75×158.75mm
No. of Half-cells	144 (6×24)
Dimensions	2008×1002×30mm (79.06×39.45×1.18 inch)
Weight	22.0 kg (48.5 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TÜV 1x4.0mm ² , (+) 290mm, (-) 145mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM390M-72H		JKM395M-72H		JKM400M-72H		JKM405M-72H		JKM410M-72H	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	390Wp	287Wp	395Wp	291Wp	400Wp	294Wp	405Wp	298Wp	410Wp	302Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	39.64V	37.0V	39.90V	37.4V	40.16V	37.6V	40.42V	37.8V	40.68V	38.0V
Maximum Power Current (Imp)	9.84A	7.75A	9.90A	7.77A	9.96A	7.82A	10.02A	7.88A	10.08A	7.94A
Open-circuit Voltage (Voc)	48.6V	45.8V	48.8V	46.0V	49.1V	46.2V	49.4V	46.5V	49.6V	46.7V
Short-circuit Current (Isc)	10.46A	8.45A	10.54A	8.51A	10.61A	8.57A	10.69A	8.63A	10.76A	8.69A
Module Efficiency STC (%)	19.38%		19.63%		19.88%		20.13%		20.38%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum System Voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.29%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 🌡 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 🌡 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌬 Wind Speed 1m/s

Anexo VII: Ficha técnica de las baterías

DC12-100(12V100Ah)

Specification

Cells Per Unit	6
Voltage Per Unit	12
Capacity	100Ah@20hr-rate to 1.75V per cell @25°C
Weight	Approx. 29.0 Kg (Tolerance ± 3.0%)
Internal Resistance	Approx. 5.0 mΩ
Terminal	F12(M8)/F5(M8)
Max. Discharge Current	1000A (5 sec)
Design Life	12 years (floating charge)
Max. Charging Current	30.0 A
Reference Capacity	C3 76.4AH C5 86.1AH C10 95.2AH C20 100.0AH
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 charged 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 discharging. 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 and cable TV etc.

ISO 9001 ISO 14001 OHSAS 18001

MH 28539

Dimensions

F12 Terminal

Length	328±2mm (12.9 inches)
Width	172±2mm (6.77 inches)
Height	215±2mm (8.46 inches)
Total Height	220±2mm (8.66 inches)
Terminal	Value
M5	6~7 N*m
M6	8~10 N*m
M8	10~12 N*m

Unit: mm

Constant Current Discharge Characteristics : A(25°C)

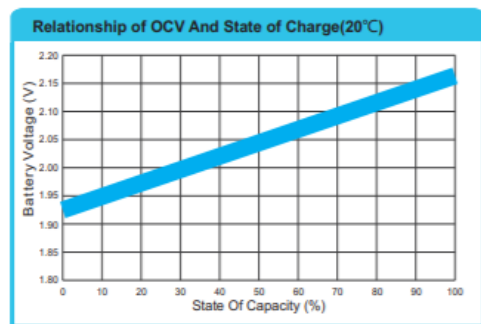
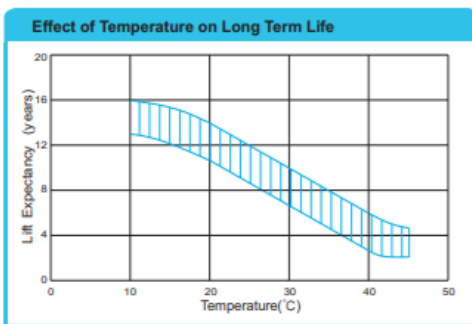
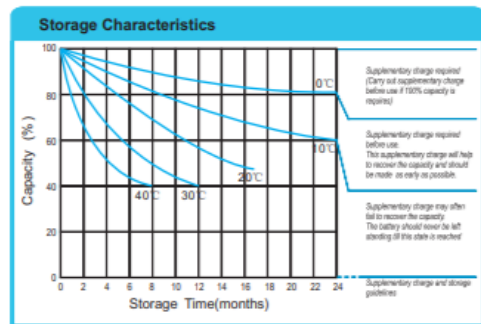
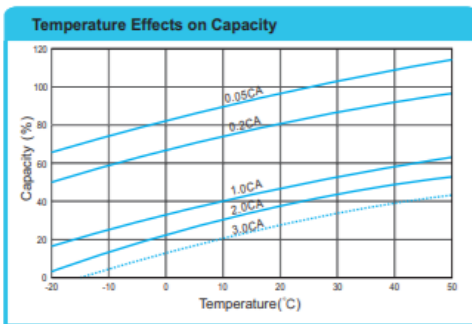
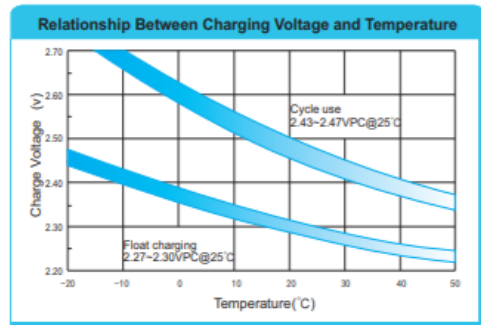
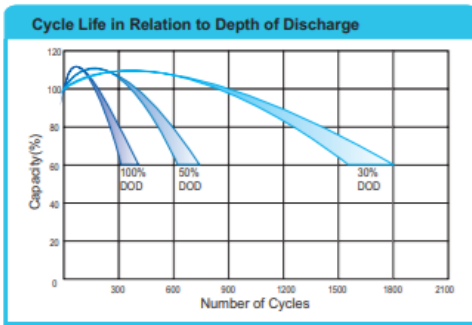
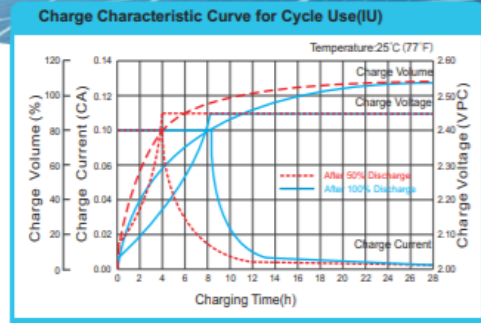
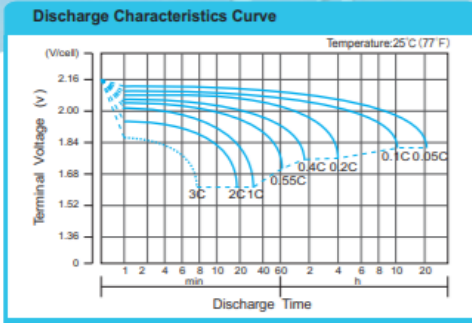
F.V/Time	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
1.60V	230.7	184.6	108.9	60.74	36.17	28.17	22.10	18.80	12.06	10.00	5.183
1.65V	212.5	172.6	103.2	58.67	34.96	27.31	21.44	18.21	11.96	9.905	5.155
1.70V	196.9	162.3	97.81	56.79	34.03	26.15	20.78	17.72	11.77	9.714	5.090
1.75V	180.7	152.0	93.95	55.00	32.72	25.48	20.21	17.22	11.58	9.619	5.000
1.80V	164.4	139.2	90.49	52.56	31.60	25.00	19.74	17.00	11.39	9.524	4.952
1.85V	128.6	115.2	76.73	46.91	28.90	23.27	18.51	15.65	10.73	8.952	4.905

Constant Power Discharge Characteristics : WPC(25°C)

F.V/Time	10MIN	15MIN	30MIN	1HR	2HR	3HR	4HR	5HR	8HR	10HR	20HR
1.60V	392.8	322.0	197.9	114.0	68.39	53.50	42.59	35.58	23.50	19.61	10.35
1.65V	378.2	313.0	193.2	112.1	66.54	52.17	41.56	34.62	23.31	19.42	10.25
1.70V	353.0	296.3	183.9	108.8	64.88	50.17	40.23	33.76	23.03	19.05	10.16
1.75V	328.5	279.7	177.5	105.8	62.57	48.93	39.29	32.99	22.65	18.86	9.977
1.80V	302.6	258.5	171.8	101.4	61.15	48.65	38.53	32.54	22.28	18.67	9.885
1.85V	240.1	217.2	147.3	91.10	56.31	45.38	36.27	30.10	21.05	17.63	9.792

(Note) The above characteristics data are average values obtained within three charge/discharge cycle not the minimum values.

DC12-100(12V100Ah)



(Note) All above information shall be changed without prior notice, Ritar reserves the right to explain and update the latest information.

HENGYANG RITAR POWER CO.,LTD.

Add: No.1 Huaqiang Road, Sonomu Industrial Park, Shiou District, Henoyano, Hunan, China 421001

Anexo VIII: Ficha técnica del regulador solar

Modelo		50A 12/24V	60A 12/24V	50A 48V	60A 48V
Entrada	Voltaje FV	≤50V		≤100V	
	Intensidad nominal	50A	60A	50A	60A
Salida	Voltaje sistema	12V/24V Auto		48V	
	Desconexión por alto voltaje (HVD)	16.00V x1 / x2		64V	
	Intensidad descarga nominal	50A	60A	50A	60A
	Autoconsumo	≤14mA		≤16mA	
	Caída de tensión circuito carga	≤0.22V		≤0.25V	
	Caída de tensión circuito descarga	≤0.12V		≤0.12V	
	Modo de carga	PWM Multi-etapas (carga, absorción, flotación, ecualización)			
	Voltaje Carga Flotación	13.8V (12.8V~14.2V) x1 / x2		55.2V (51.2V~56.8V)	
	Voltaje Carga Absorción	14.4V (13.6V~15.2V) x1 / x2		57.6V (54.4V~60.8V)	
	Voltaje Carga Ecualización	14.6V (13V~15.5V) x1 / x2		58.4V (52V~62V)	
	Protección Bajo Voltaje (LVD)	10.8V (10.5V~12V) x1 / x2		43.2V (42V~48V)	
Reconexión Bajo Voltaje (LVR)	12.6V (11.5V~13V) x1 / x2		50.4V (46V~52V)		
Características físicas	Sección cableado	25mm ²			
	Temperatura trabajo	-20 ~ +50°C			
	Tamaño (L x W x H)	188x125x48.5mm	187x125x56mm	188x125x48.5mm	187x125x56mm
	Peso neto	562g	701g	564g	703g

Tipo de batería:

Tipo batería	Voltaje flotación	Voltaje absorción	Tiempo absorción	Voltaje de ecualización	Tiempo de ecualización	Intervalo ecualizaciones
GEL	13.8	14.2	2 horas	-	-	-
Sellada (SLD)	13.8	14.4	2 horas	14.6	2 horas	28 días
Plomo abierto (FLD)	13.8	14.6	2 horas	14.8	2 horas	28 días
Personalizada (USR)	13.8	14.4	2 horas	14.6	2 horas	28 días

