UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL

PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DE:
INGENIERO ELÉCTRICO

CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA

TEMA:
DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ESCUELA DE EDUCACIÓN BÁSICA SIMÓN BOLÍVAR EN LA COMUNIDAD MASA 2, GOLFO DE GUAYAQUIL

AUTORÍA:
ESTEBAN SANTIAGO VILLEGAS TAPIA
LUIS ENRIQUE ALCIVAR TELLO

DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:
ING. GARY AMPUÑO

OCTUBRE 2020
GUAYAQUIL – ECUADOR

CERTIFICACIÓN

Yo Ing. Gary Ampuño A. M.Sc, declaro haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos de la tesis titulada "DISEÑO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA LA ESCUELA DE EDUCACIÓN BÁSICA SIMÓN BOLÍVAR EN LA COMUNIDAD MASA 2, GOLFO DE GUAYAQUIL", realizada por los estudiantes Esteban Santiago Villegas Tapia y Luis Enrique Alcívar Tello, y por cumplir los requisitos autorizo su presentación.

_____

Ing. Gary Ampuño A. M.Sc.

Director de tesis

UPS – SEDE GUAYAQUIL

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Esteban Santiago Villegas Tapia portador de la cédula de ciudadanía 175012463-6 y Luis Enrique Alcívar Tello portador de la cédula de ciudadanía 092268829-6, estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, certificamos que los conceptos desarrollados, así como los criterios vertidos en la totalidad del presente trabajo, son de exclusiva responsabilidad del autor.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.

Guayaquil, octubre del 2020

…….

Esteban Santiago Villegas Tapia

……..

Luis Enrique Alcívar Tello

DEDICATORIA

Agradezco en primer lugar a Dios por haberme guiado en toda mi carrera universitaria, brindándome el coraje necesario para cumplir mis sueños y no desistir, por haberme dado una familia que siempre me apoyará incondicionalmente.

Este trabajo es dedicado a mi madre que siempre ha sido mi motivación y orgullo por ser padre y madre en mi hogar, formo mi carácter y dedicación por ser un profesional y seguir esforzándote para ser alguien en la vida. Muchos de mis logros se lo debo a mi madre quien es y siempre será un pilar fundamental en mi vida para seguir adelante.

Agradezco muchísimo a mi abuelo quien me dio la oportunidad de aprender y desenvolverme en la parte profesional, técnica y en la vida con sus consejos para ser un buen profesional. Me siento orgulloso de seguir sus pasos y todo lo que he aprendido de él pude expresarlo en este trabajo.

A mis hermanos que me han apoyado incondicionalmente pese a los momentos duros que nos da la vida y poder ser ejemplo para mi hermano menor para que se refleje en mí y sepa que con arduo trabajo tendremos recompensas.

A lo largo del camino siempre llegan las personas correctas quienes son un motivo más para esforzarte, llegó a mí una persona muy especial que estuvo en cada momento bueno y malo, pero siempre motivándome a continuar, me siento muy agradecido y muy feliz por haberla conocido.

Agradezco mucho por la ayuda, consejos y conocimiento a los ingenieros, amigos y a mi compañero de tesis para poder culminar este trabajo y titularme.

Esteban Santiago Villegas Tapia

DEDICATORIA

Agradecer primero a Dios por guiarme a lo largo de este camino, por darme fuerzas en aquellos momentos de dificultad y debilidad, y por todo lo que me ha brindado en la vida para poder terminar este proyecto de titulación.

A mis padres que siempre han sido un pilar importante en vida y siempre me han apoyado en todo, a sus valores, a sus consejos que hoy me permiten estar terminando mis estudios. A mi abuela que desde pequeño me enseño que lo más importante para una persona es el estudio y que aún me sigue dando los mejores consejos para la vida.

A mi hijo que viene en camino que ya forma parte de mi vida y es mi inspiración para poder terminar este proyecto de titulación y ser un excelente profesional.

A la madre de mi hijo por toda la ayuda en los últimos años de mi carrera y que me brindó su apoyo incondicional en todo.

A mis amigos futuros colegas en especial a mi compañero de tesis que también fue de vital apoyo para terminar este proyecto de titulación con éxito.

A todos los docentes que tuve durante la carrera, que gracias a sus consejos y enseñanzas pude llegar a terminar mi carrera universitaria y ser un excelente profesional.

Luis Enrique Alcívar Tello

RESUMEN

El presente proyecto de titulación tiene como objetivo entregar energía eléctrica y dar a conocer la importancia de brindar energías renovables en lugares donde carecen de servicios básicos debido a la falta de recursos destinados para estas zonas, ya que por sus características geográficas son de difícil acceso o muy alejadas. El proyecto fue implementado en la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar ubicada en la comunidad de Masa 2 en la provincia del Guayas, donde su principal problema es la ausencia de energía eléctrica para brindar clases a niños y niñas de etapa inicial; a su vez al implementar este proyecto brindaremos herramientas que les permitan aprender con tecnologías como TICS y con la iluminación de sus aulas permitir más horas de estudio, más concentración y menor esfuerzo de lectura.

En este trabajo también se describe todo lo referente a la comunidad Masa 2, dar a conocer los datos de su población, cantidad de viviendas, las actividades que se dedican, religión, y como generan energía con la finalidad de establecer las necesidades que posee la comuna. Esta información se obtuvo a través de la investigación bibliográfica y de campo con el objetivo de generar nuevos trabajos que aporten con el desarrollo de la comunidad.

Finalmente se entrega un sistema fotovoltaico aislado funcional con su diseño, mediante el estudio de carga y demanda necesaria se hizo el dimensionamiento tanto del generador solar, acumulador y el controlador de carga e inversor que se realizó de forma tanto analítica como simulada mediante software; se determinó las horas de uso del sistema diarias con un total de 5 horas. También se entregó una computadora que fue brindada por la Universidad Politécnica Salesiana y que será de ayuda para facilitar el estudio de sus estudiantes.

ABSTRACT

This titling project aims to provide with electrical energy to communes where the lack of basic services is an issue due to the lack of resources, in order to raise awareness of the importance of renewable energy especially in places with difficult access due to their geographical conditions. this project was carried out at the Basic Education School Simón Bolívar located in Masa 2 commune at Guayas province, whom principal problem focuses on the absence of electrical energy at children classes, to allow them to have all the tools and give them a sustainable education through technologies as TICS and illumination of their classrooms.

This work describes population data, constructions amount, and the principal activities of Masa 2 commune through which they manage to adapt and obtain energy to solve the people need´s. The information was obtained with field research with the objective of provide new jobs in order to improve the community development.

Finally, an isolated photovoltaic system was deployed at the project school, through a charge and demand study, also, the dimensions of the solar generator, accumulator, load controller and inverter were analyzed as an analytical simulation with a software, the daily hours of system´s use was stablished within 5 hours. Furthermore, the Universidad Politécnica Salesiana delivered a computer in order to help the student´s development.

ÍNDICE

CAPÍTULO I 11
1.1 Introducción 11
1.2 Justificación 15
1.3 Objetivos 15
1.3.1 Objetivo General 15
1.3.2 Objetivos Específicos 16
1.4 Alcance de la tesis 16
2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO 17
2.1 Energías renovables 17
2.2 Aprovechamiento de energía solar 18
2.3 Recursos solares disponibles en el país 18
2.4 Aspectos generales de la energía solar fotovoltaica 19
2.5 Radiación solar 21
2.6 Tipos de sistemas fotovoltaicos 24
2.6.1 Sistema Fotovoltaico Aislado 24
2.6.2 Sistema Fotovoltaico conectado a la Red 25
2.6.3 Sistema Fotovoltaico Híbrido 25
2.7 Electrificación de viviendas 26
2.7.1 Elección de Topologías 26
2.8 Módulos Fotovoltaicos 28
2.8.1 Celda Fotovoltaica 28
2.8.2 Reacción Fotovoltaica 29
2.8.3 Características de los Módulos Fotovoltaicos 30
2.8.4 Características Eléctricas de los Módulos Fotovoltaicos 31
2.8.4.1 Punto de Máxima potencia 32
2.8.4.2 Voltaje de Circuito Abierto y Corriente de Cortocircuito 32
2.8.5 Tipos de Módulos Fotovoltaicos 33
2.8.5.1 Módulos Mono cristalinos 33
2.8.5.2 Módulos Poli cristalinos 34
2.8.5.3 Módulos de Silicio Amorfo 35
2.8.6 Intensidad de Radiación Solar 35
2.8.7 Temperatura de la Celda 36

2.8.8 Sombreado 38
2.9 Sistema Acumulador o Baterías 39
2.9.1 Tipos de Baterías 40
2.9.1.1 Baterías de Ácido-Plomo 40
2.9.1.2 Baterías Alcalinas 43
2.9.2 Características de Baterías 43
2.9.2.1 Días de Autonomía 43
2.9.2.2 Capacidad de las Baterías 44
2.9.2.3 Profundidad de Descarga 45
2.9.2.4 Condiciones Ambientales 46
2.10 Regulador de carga 47
2.10.1 Regulador por derivación 47
2.10.2 Regulador de una etapa 48
2.10.3 Regulador por desvío 48
2.10.4 Controlador PWM 49
2.10.5 Controlador MPPT 49
2.11 Inversores 50
2.11.1 Inversores de Onda Cuadrada 51
2.11.2 Inversores de Onda Cuadrada Modificada 51
2.11.3 Inversores de onda sinusoidal 51
2.12 Cableado del Sistema Fotovoltaico 52
2.12.1 Calibre de conductores 53
2.12.2 Protección contra sobre corrientes 53
2.12.3 Puesta a Tierra 54
CAPÍTULO III 55
3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO 55
3.1.1 Orientación e Inclinación 55
3.1.2 Coordenadas Geográficas del Sistema Fotovoltaico Aislado 56
3.1.3 Cálculo de Inclinación Óptima 56
3.1.4 Orientación 57
3.1.5 Cálculo de Pérdidas por Orientación e Inclinación 57
3.1.6 Base de Datos Online PVGIS 59
3.1.7 Extracción de Datos de PVGIS 59

3.1.7.1 Irradiación Global con Ángulo Óptimo a 5 grados 59
3.1.7.2 Temperatura Media 60
3.1.8 Condiciones estándares de medida 61
3.1.9 Irradiación Global con Angulo Óptimo de 5º y Temperatura 63
3.1.10 Condiciones Críticas de Funcionamiento 64
3.1.11 Cargas y Consumos Eléctricos 66
3.1.12 Cálculo de consumos 66
3.1.13 Cálculo del inversor 69
3.1.14 Cálculo de Módulos Fotovoltaicos 70
3.1.15 Cálculo del Acumulador 72
3.1.16 Cálculo del Sistema Regulador 74
3.1.17 Pérdidas y Eficiencia 76
3.1.18 Elementos de protección 78
3.1.18.1 Breakers en corriente continúa 78
3.1.18.2 Sistema de Puesta a Tierra 78
3.2 PVSYST PHOTOFOLTAIC SOFTWARE 79
3.3 Simulación en el SOFTWARE PVSYST 7.0 79
CAPITULO IV 82
4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO 82
4.1.1 Punto Geográfico de la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar 82
4.1.2 Plano Arquitectónico de la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar 82
4.1.3 Diseño de la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en AutoCAD 3D 85
4.1.4 Diseño del Sistema Fotovoltaico del Plantel en AutoCAD 3D 85
4.1.5 Plano Eléctrico de Iluminación y Tomacorriente 86
4.1.6 Diagrama Unifilar del Sistema Fotovoltaico Aislado 87
4.1.7 Informe Técnico del Montaje e Instalación del Sistema Fotovoltaico 88
4.2 PRESUPUESTO DEL PROYECTO 100
CONCLUSIONES 101
REFERENCIAS 102
ANEXOS 106

CAPÍTULO I

1.1 Introducción

En la actualidad la energía eléctrica es considerada un factor muy importante y necesario para el desarrollo del ser humano ya que permite gozar de los servicios básicos tales como: agua potable, energía eléctrica, alcantarillado, teléfono, etc.

Sin embargo, hay sectores y comunidades que carecen de estos privilegios debido a que se encuentran en zonas lejanas y de difícil acceso impidiendo la construcción de una red de distribución eléctrica donde intervienen subestaciones, elementos de trasformación, alumbrado público, entre otros.

Masa 2 es una de las comunidades no privilegiadas que carece de servicios básicos como electricidad, alcantarillado, recolección de residuos sólidos, redes telefónicas, internet, etc. Los habitantes de la comuna se dedican como única actividad a la captura de cangrejo, pesca y crianza de animales.

La falta de iluminación dentro de la comuna y sus alrededores es uno de los principales problemas que enfrentan sus habitantes, ya que los generadores con los que obtienen su principal energía son alquilados por horas con un valor de 25 dólares semanales.

La comuna cuenta con una población de 81 personas, 25 familias y 17 viviendas siendo la mayoría de caña y solo 3 de cemento. La población es de 48 varones de los cuales, 27 son mayores de edad (entre 18 a 60 años), dos adolescentes (13 y17) y 19 niños (entre 1 año y medio hasta los 10), de igual manera, cuenta con 33 mujeres, 20 mayores de edad (entre 18 a 60 años), 4 adolescentes (entre 12 a 16 años) y 9 niñas (entre 1 a 9 años).

Masa 2 es una comunidad situada en el Golfo de Guayaquil al sur de la ciudad, cuyo ingreso puede ser mediante vía marítima tomando como punto de partida el Muelle Caraguay con un recorrido de aproximadamente 45 minutos en lancha y por vía terrestre mediante la vía de acceso a la subestación eléctrica Las Exclusas, ingresando por la Camaronera Songa con la autorización de los dirigentes de la misma. El viaje vía terrestre tiene un recorrido de 15 kilómetros desde el punto de control, con una duración de 20 a 25 minutos.

Fig. 1 Ubicación GPS de la comuna con puntos de partidas (vía marítima y terrestre), Obtenido de Google Maps.

Fig. 2 Ubicación GPS de la comuna. Obtenido de Google Maps.

Se pretende diseñar e implementar un sistema fotovoltaico autónomo para la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en la Comunidad Masa 2, Golfo de Guayaquil, con el propósito de mejorar la calidad y rendimiento de la educación en los primeros años de la enseñanza básica.

El Centro de estudio Simón Bolívar ubicada en el cantón Guayaquil, Parroquia Puná, Recinto Isla del Golfo – Masa II tuvo sus inicios en enero del 2012, mediante un sistema fiscal y de modalidad presencial, bajo la dirección de la Licenciada en Educación Inicial Jenny Carol Villalba Cabezas. Este plantel consta de dos aulas sin ventilación e iluminación, en donde recibe a 22 estudiantes (10 niñas y 12 niños) con un rango de edad entre 7 y 17 años.

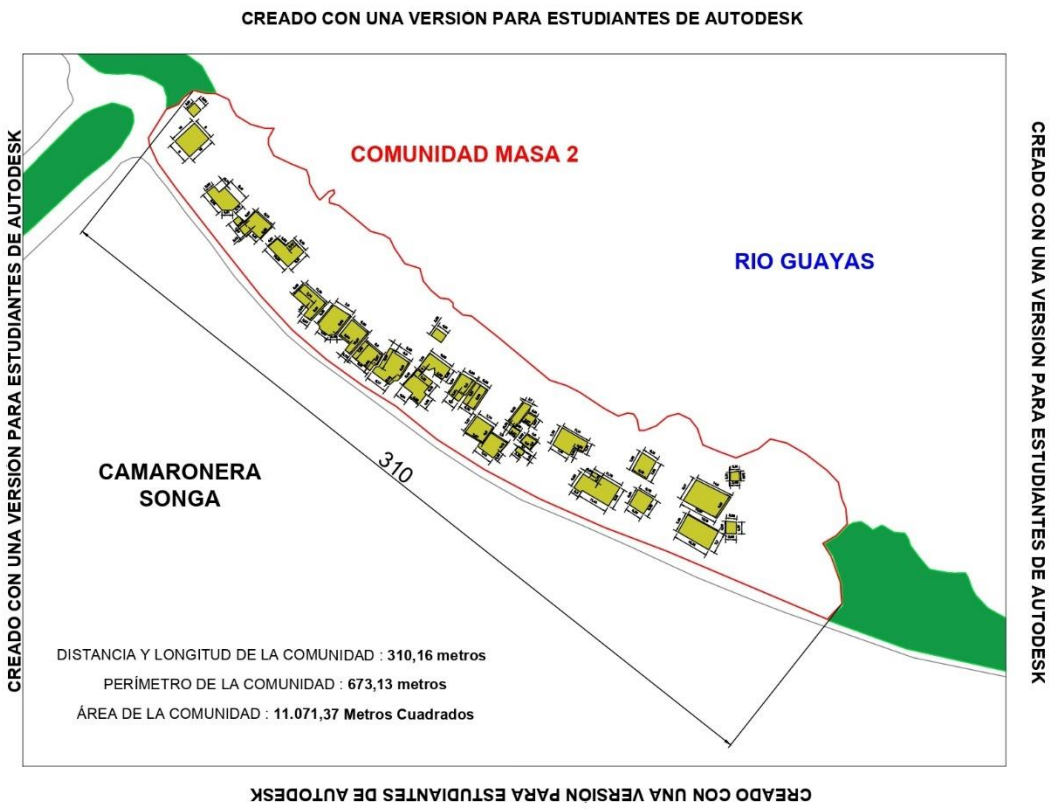


Fig. 3 Perímetro y longitud de la comuna Masa 2

Tabla 1 Escuela Simón Bolívar Masa 2, Isla del Golfo, Puná.

Inicial 2 (4 alumnos), 2do de básica (3 alumnos), 3ero de básica (2 alumnos), 6to de básica (5 alumnos), 7mo de básica (4 alumnos), 8vo de básica (1 alumno), 9no de básica (2 alumnos), 10mo de básica (1 alumno).

1.2 Justificación

La electricidad es considerada un servicio básico para todo ser vivo, sin embargo, no todos los sectores del país cuentan con el mismo, es por eso que la falta de energía eléctrica es uno de los principales problemas que se vive en las zonas rurales de nuestro país en la actualidad. Uno de los grandes retos es la electrificación de las comunidades aisladas del país y la selección de una correcta tecnología para brindar de esta energía a las poblaciones debido a su difícil acceso.

Se ha decidido hacer un estudio, diseño e implementación de un sistema fotovoltaico aislado en la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar para mejorar la calidad de educación aprendizaje y desenvolvimiento a sus estudiantes y docentes.

El presente proyecto realizó un estudio de análisis de carga mediante el cual se implementó iluminación y tomacorrientes en la escuela, mediante energía renovable brindando energía eléctrica libre y gratuita.

La implementación del sistema fotovoltaico aislado en la escuela facilitó la iluminación de sus interiores y consumo, permitiendo que alumnos y docentes utilicen computadoras, ventiladores, sirenas y otros dispositivos necesarios para su educación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar e implementar un sistema fotovoltaico aislado a la red para la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en la Comunidad Masa 2, Golfo de Guayaquil.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Analizar las necesidades eléctricas en la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar.
- Calcular la demanda total del sistema a instalar.
- Calcular la radiación solar y hora solar pico mediante software.
- Dimensionamiento de elementos para el sistema fotovoltaico aislado.
- Simulación mediante PVsyst Photovoltaic Software.

1.4 Alcance de la tesis

La Universidad Politécnica Salesiana en coordinación con el departamento de vinculación con la sociedad alineada a las necesidades de desarrollo local y nacional tuvo como iniciativa establecer métodos para mejorar la calidad de vida de los habitantes de la comuna Masa 2.

Esta investigación pretende diseñar e implementar un sistema fotovoltaico autónomo mediante el uso de métodos teóricos, analíticos y software, empleando como variable meteorológica la irradiación solar en la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en la Comunidad Masa 2.

La simulación en PVsyst Photovoltaic Software para determinar la producción total de energía esencial para la evaluación de la rentabilidad del sistema fotovoltaico y la relación de rendimiento para describir la calidad del sistema en sí.

CAPÍTULO II

2 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

2.1 Energías renovables

Las fuentes de energía renovable (ER) tienen un enorme potencial para contribuir al desarrollo energético sostenible de los países al brindarles una amplia variedad de beneficios ambientales, económicos y sociales. Los recursos RE representan aproximadamente el 28% de la capacidad de generación de energía en el mundo, creando una buena opción para tener soluciones no solo innovadoras, sino también sostenibles para satisfacer los requisitos energéticos futuros de la creciente población mundial (Abella, 2015).

Un desarrollo de energía sostenible generalmente involucra cuatro aspectos tecnológicos principales: una mejora de la eficiencia de la producción de energía, un programa de ahorro de energía (en el lado de la demanda) y la sustitución de tecnologías de combustibles fósiles por fuentes de ER con el beneficio de un entorno ambiental mucho mejor. Los proyectos de ER de mediana a gran escala deben contener estrategias sostenibles adecuadas para una mejor integración de estas fuentes en sistemas de energía simples y complejos, lo que tendrá un impacto en el ahorro de energía primaria y las medidas de eficiencia (Santoyo, Best y López de Haro, 2015).

Este tipo de energías se componen de primarias aquellas donde se aprovecha de forma natural como recursos hídricos, solares, eólicas y térmicas que se encuentran en cantidades ilimitadas. Las secundarias cuya energía es procesada por varios factores y las energías de uso final hacia los consumidores. (Abella, 2015).

2.2 Aprovechamiento de energía solar

El sol es el principal generador de energía para el planeta tierra. La energía producida por éste genera fotones los mismos que viajan a través del espacio en forma de propagación electromagnética a distintas frecuencias. El aprovechamiento de la energía solar se puede apreciar de diferentes formas como calefacción de edificaciones, calentamiento de agua, cocción de alimentos y proyectos de generación de energía termo solar y fotovoltaica (Tobajas, 2012).

2.3 Recursos solares disponibles en el país

El Ecuador al estar situado en la línea ecuatorial donde el aprovechamiento de energía solar es eficiente, con promedios de radiación diaria de 4.575 $\frac{W}{m^2}$ y radiación anual de 1.650 $\frac{W}{m^2}$. Con estos datos el territorio ecuatoriano es el ideal para el aprovechamiento energético solar de toda la jornada diurna evitando en cierto porcentaje el ángulo de inclinación. En las provincias de Manabí, Santo Domingo, Pichincha, Imbabura, Loja, Santa Elena y Galápagos según estudios cuentan con la mayor cantidad de radiación en el territorio ecuatoriano. (CIE, 2008).

El uso de energías renovables traerá como principal beneficio la reducción de consumo de combustible fósiles, dando una energía más limpia, al producir una disminución de gases de efecto de invernadero y el gasto para importar combustibles. La ubicación estratégica de los proyectos de energías renovables apropiada o termo solares, permitirán alcanzar una buena calidad y brindar un servicio en aquellas zonas alejadas de los grandes consumos y en las zonas urbanas (Smart grids y generación distribuida) mejorando el Sistema Eléctrico Nacional (CONELEC, 2013).

Toda la información que se recopiló para realizar y elaborar el Atlas Solar del Ecuador con fin de dar a conocer nuestra generación eléctrica, fue dada por el NREL de los EEUU. Su objetivo principal se basa en la investigación y desarrollo de energías renovables y eficiencia energética en nuestro país.

Los datos son recogidos y mejorados mediante evaluaciones que son tomadas usando superficies recolectoras móviles, que son ubicadas en aparatos que, automáticamente, siguen la trayectoria del sol (CONELEC, 2008).

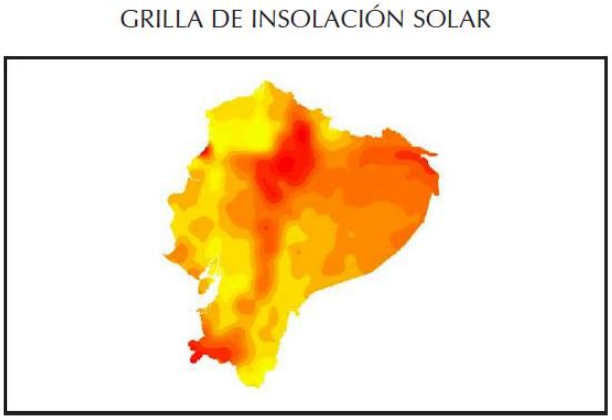


Fig. 4 Mapa Solar (CONELEC, 2008)

2.4 Aspectos generales de la energía solar fotovoltaica

El Sol es un reactor nuclear cuya masa es el orden de 330.000 veces la de la Tierra con un diámetro que es de 1.3927 millones de km, es considerado una fuente de energía formidable e ilimitada donde la masa se convierte en energía radiante continuamente. El sol compuesto por varios elementos gaseosos en especial hidrogeno posee cuatro capas concéntricas identificadas en una zona radiactiva donde las partículas transportar energía, una zona conectiva que produce gas caliente ascendente a la superficie produciendo el fenómeno de convección. La cromosfera donde

existen campos magnéticos sumamente fuertes y la capa corona donde se concentran las temperaturas más altas. El conjunto de éstas produce reacciones nucleares disipando una gran cantidad de potencia alrededor de $389\ x\ 10^{24}\ W$(CIE, 2008).

La energía solar al entrar a la superficie de la Tierra lo hace de manera parcial al presentarse factores alternos en la atmósfera reduciendo la radiación hacia la superficie, es decir, insignificante y de manera dispersa presentando oscilaciones. (CIE, 2008).

El frecuente solar es la distancia intermedia entre el Sol y la Tierra con un valor de $1.353\ \frac{W}{m^2}$ la misma que tiene por unidades la cantidad de energía por unidad de superficie entre unidad de tiempo de manera perpendicular a los rayos solares. (Méndez, Cuervo García, y Bureau, 2010).

La cantidad de radiación aprovechada en la superficie es de $900\ \frac{W}{m^2}$ ya que en la atmosfera es reflejada parte de la radiación que llega desde sol y es absorbida por factores atmosféricos (Méndez, Cuervo García, y Bureau, 2010).

La energía solar presenta un conjunto de modificaciones sea directa o indirecta estableciendo un efecto térmico y fotónico como se muestra en la tabla (Rújula, 2009).

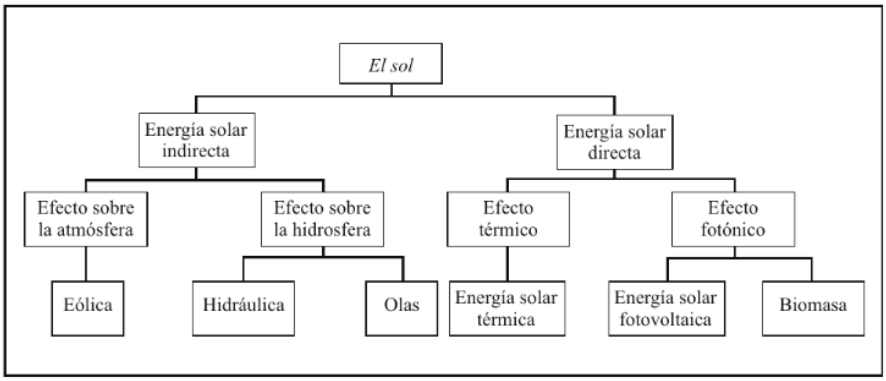


Fig. 5 Aspecto general de la Energía Solar

2.5 Radiación solar

2.5.1 Principio de radiación Solar

Radiación solar es un término designado a la energía solar que incide sobre una superficie determinada, momento y lugar particular. En varios países se lo conoce también como irradiación solar, cuando se la usa para determinar potencia se expresa como cantidad de vatios por metros cuadrado $\frac{W}{m^2}$ siendo esta su unidad de medida.

Cuando la radiación solar es recibida en la superficie de la Tierra sufre cambios causadas por la atmosfera disminuyendo la cantidad de radiación debido a moléculas de aire, vapor de agua y polvo. Una cantidad de luz absorbida por la atmosfera es debido al ozono, vapor de agua y dióxido de carbono; así mismo la dispersión de luz en la atmosfera se debe a las moléculas De aire, vapor de agua y polvo.

Las horas solares pico expresa la cantidad de horas que hay con una irradiación de $1000\frac{W}{m^2}$ en un día, esta cantidad de horas varía dependiendo de la radiación que se recibe ya que dependiendo de los hemisferios y latitudes se puede calcular la duración más extensa de los días en temporada de verano e inclinación adecuada para aprovechar la radiación solar (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

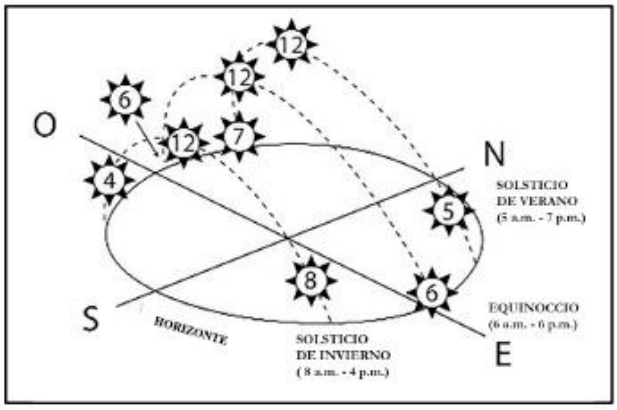


Fig. 6 Trayectoria Solar a lo largo del año, obtenido de (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007)

2.5.2 Orientación

El ángulo acimut es aquel que determina la localización aparente del sol direccionado hacia el este u oeste el sur, En la figura la circunferencia posee 360 grados y 24 horas en un día se determina que el sol se mueve 15 grados en acimut cada hora. Hay que recordar que el sur magnético marcado con una brújula no es el mismo que el sur verdadero ya que no está alineado con el eje de rotación de la Tierra. La desviación de Sur magnético con respecto al sur verdadero se lo conoce como declinación magnética.

El rendimiento diario de un sistema fotovoltaico depende de la trayectoria del sol buscando mantenerse perpendicular ya que se considera que sería óptimo colocar una instalación fija orientada al sur. Un arreglo fotovoltaico que se desvíe hasta el oeste o este del sur podrán captar un porcentaje bajo de la radiación (Monsolar, 2019).

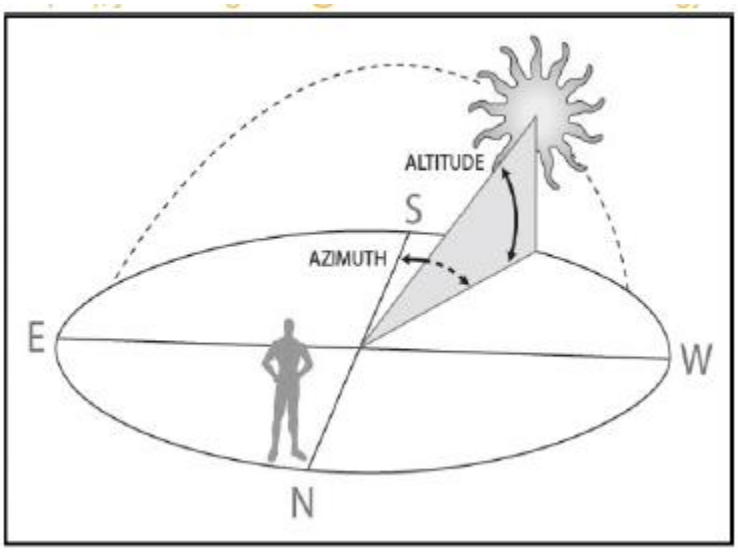


Fig. 7 Acimut y altitud en latitudes Septentrionales obtenido de (Monsolar, 2019)

2.5.3 Ángulo de Inclinación

El ángulo de altitud es aquel determina el ángulo medida por encima del horizonte con respecto a la altura del sol, el ángulo se considera cero grados cuando el sol está saliendo u ocultándose. Entonces cuando el sol se encuentra en el Sur verdadero y con un acimut de cero grados determínanos que está a una altitud máxima llamándolo medio día solar. Para mejorar el rendimiento con respecto al ángulo se inclinación se toma en cuenta lo siguiente:

Si el consumo es constante durante todo el año entonces el ángulo de inclinación es igual la latitud. Si el consumo es primordial en invierno entonces el ángulo de inclinación es igual a la latitud más 15 grados. Si el consumo es primordial en verano entonces el ángulo de inclinación es igual a la latitud menos 15 grados. Los módulos fotovoltaicos aprovecharan la radiación al encontrarse perpendiculares al sol siendo este un ángulo de incidencia normal de 90 grados (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

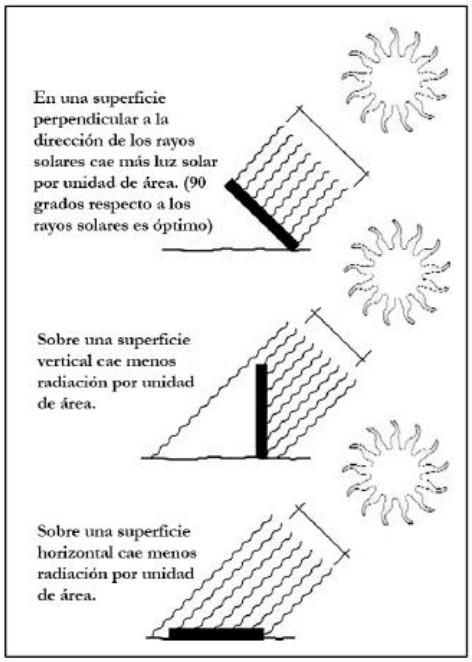


Fig. 8 Efecto del Ángulo de Inclinación (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

2.6 Tipos de sistemas fotovoltaicos

2.6.1 Sistema Fotovoltaico Aislado

Un sistema fotovoltaico autónomo es aquel que brinda energía eléctrica mediante un sistema de generación fotovoltaico compuesto por paneles con el objetivo de brindar energía eléctrica en sitios donde carecen de red eléctrica apoyados de un sistema acumulador o banco de baterías para almacenar energía eléctrica.

Estos sistemas autónomos posees varias aplicaciones entre las cuales se aplica la electrificación de viviendas, sistema de alumbrado, aplicaciones agropecuarias, bombeo y tratamiento de agua, señalización, comunicación, entre otros.

Se denomina electrificación rural a uso de sistemas fotovoltaicos autónomos en viviendas y edificios donde existe la necesidad de energía eléctrica o simplemente una generación de emergencia en caso de falla de la red. Este tipo de sistemas depende de las condiciones climatológicas y geográficas donde se requiere instalar para su correcta eficiencia y rendimiento (Bayod, 2009).

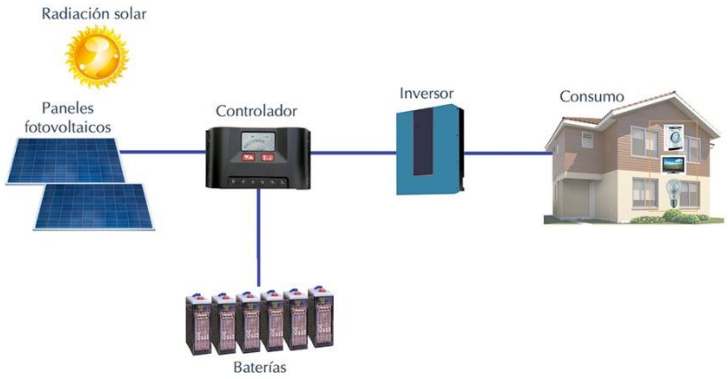


Fig. 9 Radiación solar (Bayod, 2009)

2.6.2 Sistema Fotovoltaico conectado a la Red

Los sistemas fotovoltaicos interconectados a la red eléctrica tienen como principal objetivo incrementar mensual o anualmente la producción de energía eléctrica que es transmitida a la red. Muchas de las aplicaciones se encuentran en viviendas o edificaciones donde prefieren un uso de energía limpia además de abaratar costos en el consumo por parte de la red (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

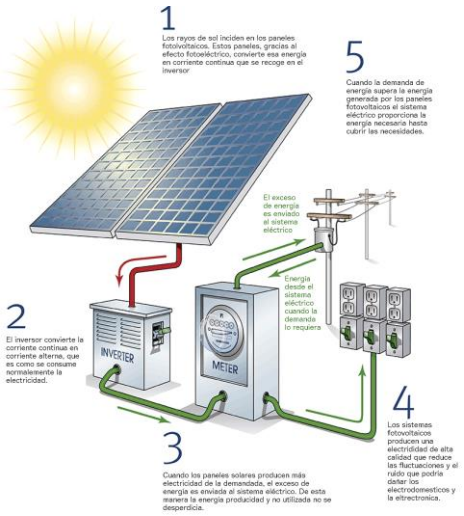


Fig. 10 Sistema fotovoltaico conectado a la red (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

2.6.3 Sistema Fotovoltaico Híbrido

Los sistemas fotovoltaicos híbridos son aquellos sistemas que poseen un apoyo adicional como fuente de energía como un generador de combustible fósil o un generador con energía renovable con la opción de estar o no conectado a la red eléctrica. Los sistemas híbridos tienen la posibilidad de aumentar su capacidad de generación añadiendo potencia adicional o aportando energía al sistema acumulador.

Hay sistemas híbridos los cuales cuentan con dos inversores bidireccionales donde uno de ellos tiene la función de convertir la corriente del sistema fotovoltaico en corriente alterna y otro inversor acoplado al sistema de apoyo como un generador de combustible fósil transformando la corriente alterna que genera en corriente continua para alimentar el sistema cumulador (Candial Benavente, 2015).

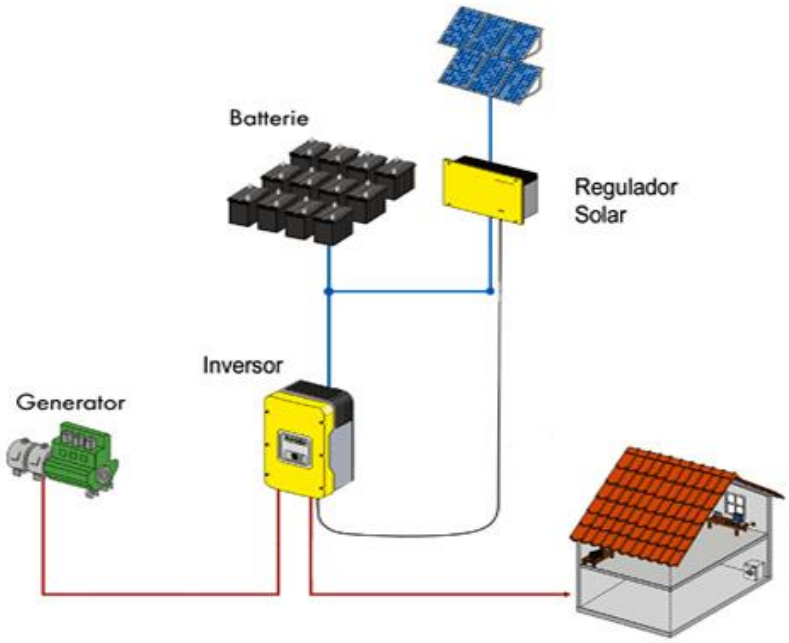


Fig. 11 Sistema fotovoltaico híbrido (Candial Benavente, 2015)

2.7 Electrificación de viviendas

2.7.1 Elección de Topologías

Cuando se planifica la electrificación de una vivienda se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones como si hay vivienda cercana para identificar el tipo de instalación necesaria como pueden ser:

Instalación Descentralizada: Se aplica cuando cada vivienda de un grupo posee un generador fotovoltaico independiente abasteciéndolo con la demanda específica. Este tipo de instalaciones tiene como ventaja un diseño e instalación independiente para más comodidad del usuario.

Instalación Centralizada: Tiene como objetivo distribuir energía a consumidores mediante un solo generador fotovoltaico, una de las ventajas es el diseñar un sistema fotovoltaico completo donde todos los consumidores aportarían disminuyendo los costes del sistema y la facilidad del mantenimiento preventivo abarataría costos.

Como inconveniente de una instalación descentralizada es el consumo innecesario de cargas por parte de cada usuario llevando al desgaste del sistema acumulador, así como inconvenientes interpersonales entere los usuarios (Bayod, 2009).

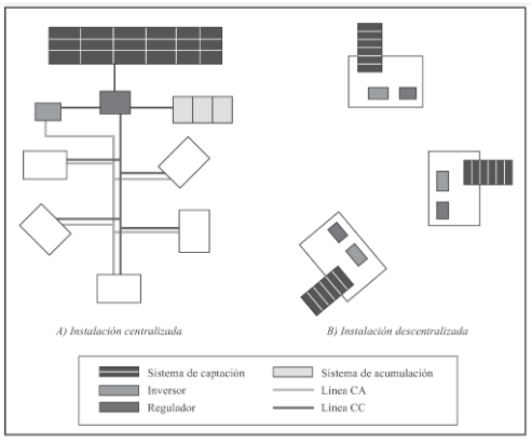


Fig. 12 Topología de Instalaciones (Bayod, 2009)

2.8 Módulos Fotovoltaicos

2.8.1 Celda Fotovoltaica

Todo material o dispositivo posee características fotovoltaicas al ser expuesto a la luz solar siendo capaz de trasformar los fotones recibidos en energía eléctrica, se considera al sol como un gran emisor de radiación con una temperatura de unos 5800°K y con una constante solar medida perpendicularmente hacia la atmosfera a una distancia de 1 unidad astronómica o también llamado espectro de Masa de aire con un promedio de 1366.1 $\frac{W}{m^2}$.

El ingreso de la radiación solar hacia la atmosfera sufre varios procesos de dispersión por selección de longitud de onda, vapor de agua y gases provocando la descomposición de la luz. Para la medición de características eléctricas de celdas solares en paneles fotovoltaicos planos se usa como patrón el espectro de Masa de aire a 1.5 la misma que está estandarizada y se forma de radiación directa y difusa con una densidad de potencia de 1000 $\frac{W}{m^2}$, al utilizar concentradores solares se toma en cuenta la radiación directa con una densidad de potencia de 900 $\frac{W}{m^2}$ (Huerta Mascotte et al., 2016).

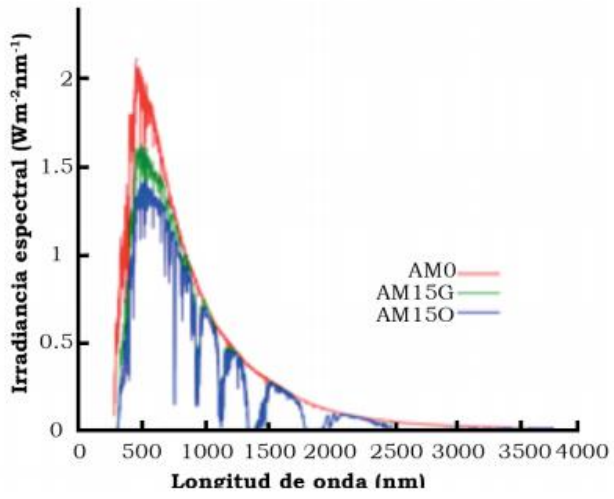


Fig. 13 Espectro de Masa de Aire (Huerta Mascotte et al., 2016)

2.8.2 Reacción Fotovoltaica

La celda fotovoltaica al ser expuesta a radiación solar excita a los electrones para generar voltaje y corriente desde la celda a un circuito eléctrico. Las celdas fotovoltaicas son fabricadas con silicio que es un material abundante de la Tierra de propiedades semiconductoras, el mismo que es purificado formando una estructura cristalina.

El silicio es sometido a un proceso de dopado con el uso de boro y fosforo disperso en este creando un desbalance en las cargas moleculares y aumentando la conducción de electrones donde se modifican sus propiedades naturales para un mejor flujo eléctrico.

Cuando la masa cristalina toma una forma cilíndrica se visualizan obleas las cuales son rebanadas y dopadas, entonces cuando el boro presente una deficiencia de electrones crea un material tipo P o positivamente cargado, y al tener un exceso de electrones en el fosforo este se difunde en el silicio creando un material tipo N o negativamente cargado. Por esta razón denominamos unión P-N a la región entre las capas positiva y negativa (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

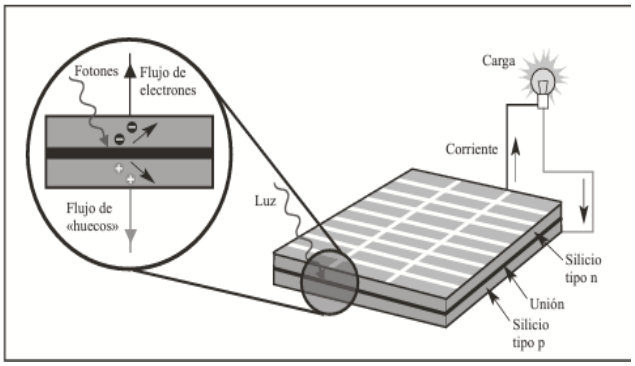


Fig. 24 Reacción en celda Fotovoltaicas (Galdiano ,2011)

2.8.3 Características de los Módulos Fotovoltaicos

Las celdas fotovoltaicas poseen un espesor de una centésima de pulgada y convierten la radiación solar en voltaje y corriente eléctrica gracias al efecto fotovoltaico con una durabilidad de 25 años.

Un Módulo fotovoltaico se considera al conjunto de celdas conectadas en serie aumentando su voltaje y manteniendo su corriente o serie-paralelo para aumentar o disminuir los voltajes y corrientes dependiendo de la cantidad de celdas.

Un panel Fotovoltaico es considerado al grupo de módulos fotovoltaicos interconectados y un arreglo Fotovoltaico es un grupo de paneles conectados e instalados en estructuras para generar niveles de voltaje elevados o específicos.

Cada módulo posees condiciones estándar de pruebas para medir, comparar y especificar las capacidades de los elementos de un sistema fotovoltaico tomando como datos la radiación con un valor de 1000 $\frac{W}{m^2}$. con una temperatura de 25 °C, dichos datos son empleados por fabricantes y colocados en catálogos (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

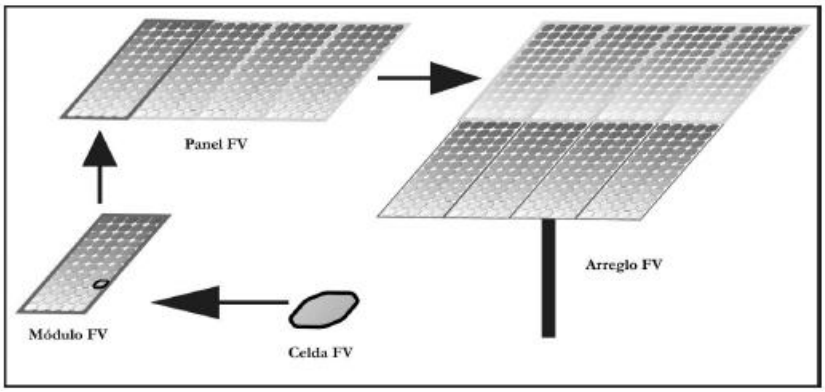


Fig. 35 Características de Módulos Fotovoltaicos

2.8.4 Características Eléctricas de los Módulos Fotovoltaicos

Un módulo fotovoltaico genera una potencia eléctrica la cual es representada en una curva por valores de voltaje e intensidad medidos con relación a la radiación y temperatura.

Las curvas de voltaje e intensidad suelen estar expresadas en condiciones estandarizadas de prueba, es decir, bajo una radiación de 1000 $\frac{W}{m^2}$ y 25°C de temperatura de la celda. El eje horizontal representa el voltaje operativo generado por el módulo y el eje vertical la corriente operativa del módulo dependiendo de los valores medidos experimentalmente, donde la potencia entregada por el panel dependerá de la cantidad de radiación que este reciba. Si aumenta el voltaje en el eje horizontal entonces la corriente disminuiría, y si el voltaje disminuye la corriente aumenta. El factor de Forma o FF es el cociente entre el área rectangular formada por los valores medidos experimentalmente y el área rectangular exterior formada por los valores de voltaje en circuito abierto y corriente de cortocircuito. Los valores del factor de forma es un parámetro muy útil y su valor es menor a la unidad situado en el rango de 0.7 a 0.8 (Energetika, 2011).

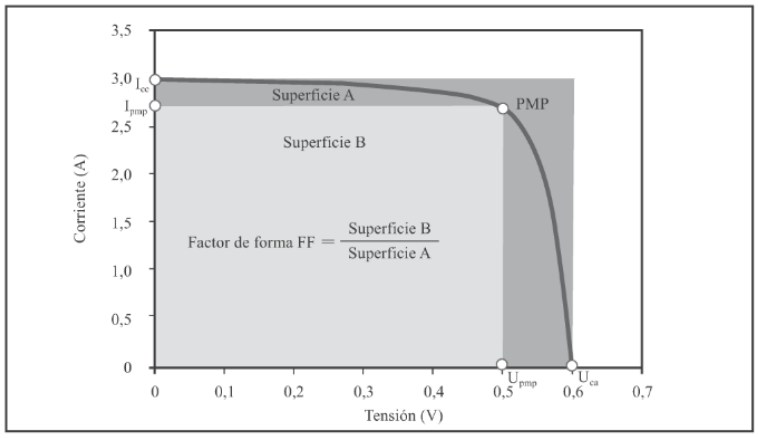


Fig. 46 Factor de Forma (Energetika, 2011)

2.8.4.1 Punto de Máxima potencia

El punto de máxima potencia (MP) se obtiene de las mediciones de voltajes Vmp y corriente Imp bajo las condiciones de operación real de carga, el aumento y decremento de los valores genera un nuevo punto de máxima potencia y para determinarlo se realiza el producto del voltaje Vmp por la corriente Imp. Como se puede apreciar en la figura tenemos un Vmp de 17 V donde trazamos una línea vertical hacia curva para determinar el valor Imp siendo este de 2.5 aproximadamente, es ahí donde determinamos que el punto de máxima potencia de 42.5 W entregados por el módulo (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

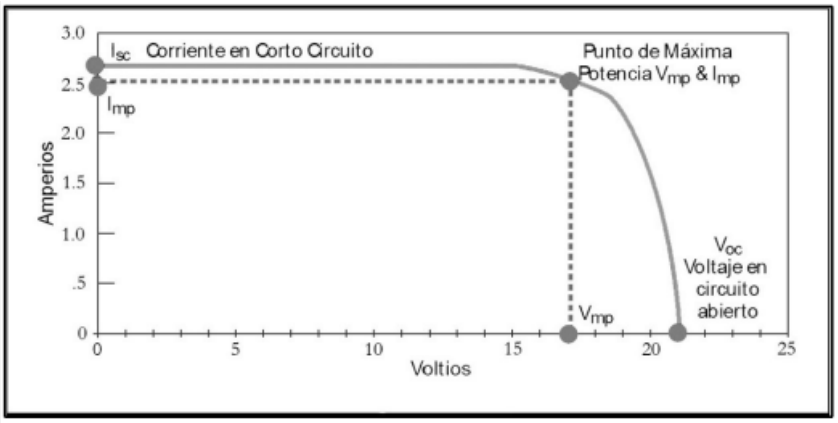


Fig. 17 Curva V-I Módulo Fotovoltaico (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

2.8.4.2 Voltaje de Circuito Abierto y Corriente de Cortocircuito

El voltaje de circuito abierto (V_{OC}) es la tensión obtenida cuando no se extrae corriente del módulo, es decir, una corriente de 0 A donde este auto polarizará con una cierta tensión que sería la máxima que puede soportar la región de generación siendo este un voltaje máximo en circuito abierto. El voltaje de circuito abierto viene dado en la placa de datos emitida por el fabricante y es muy útil para realizar pruebas de funcionamiento para verificar el estado del módulo.

La corriente de Cortocircuito (I_{SC}) determina la máxima corriente de entrega del módulo y se produce cuando se genera un cortocircuito. Este parámetro es muy útil para verificar la coincidencia con la hoja de características del módulo (Bayod, 2009).

2.8.5 Tipos de Módulos Fotovoltaicos

2.8.5.1 Módulos Mono cristalinos

Están formados en su totalidad por celdas de cristal de silicio y es muy comercializada, su fabricación consta de una oblea de silicio puro iniciando por la extracción del silicio de la arena.

El proceso de extracción tiene como propósito eliminar las impurezas no deseadas. El proceso de refinado posterior consta en la utilización de triclorosilano que es un compuesto líquido que purifica los sólidos dejándolo así con un grado de alta pureza. Pas por un último proceso de llamo Czochralski donde se obtiene una barra circular de silicio donde finalmente pasa por un sistema de cote extrayendo obleas de medidas necesarias y espesor para celdas solares mono cristalinas.

Los módulos mono cristalinos son considerados por su alto rendimiento de laboratorio con un 24 % y rendimiento directo entre un 15 - 18 % de eficacia siendo las más adecuadas para una instalación (Bayod, 2009).

Fig. 18 Módulo Fotovoltaico Mono cristalino

2.8.5.2 Módulos Poli cristalinos

El uso de módulos poli cristalinos tiene como principal objetivo una estrategia en la reducción de costos y por ende la reducción de obleas en la fabricación del mismo, es decir, la disminución del número de fases de cristalización. El principio de fabricación y procesos son los mismos al de las celdas mono cristalinas con ligeros cambios como es en la frontera de granos del silicio poli cristalino que esta modificada para reducir la eficiencia en comparación a las monos cristalinas (Bayod, 2009).

Estas celdas poseen menor tolerancia al calor reduciendo su eficiencia impidiendo usarlos en cual ambiente o lugar. Los módulos poli cristalinos poseen un rendimiento de laboratorio entre el 19 -20 % y rendimiento directo entre un 12 - 14 %. Tiene la característica visual de un color azulado (Sunfields, 2015)

Fig. 59 Modulo Fotovoltaico Poli cristalino (Villegas y Alcívar, 2020)

2.8.5.3 Módulos de Silicio Amorfo

Las celdas de silicio amorfo tienen como característica un proceso de fabricación sencillo utilizando silicio de mala calidad y en pocas cantidades lo que reduce la recolección de fotones, sim embargo son aptas para uso de interiores o en ambientes con demasiado polvo sin dejar de lado su flexibilidad.

Las celdas solares poseen láminas cortadas dando la forma de tiras delgadas para usarlas en la región de capas sobre un sustrato como vidrio o plástico. Tienen como particularidad un voltaje bajo de operación e ideales para sistemas de bombeo. Los módulos de silicio amorfo poseen un rendimiento de laboratorio entre el 16 % y rendimiento directo de un 10 % .Tiene la característica visual de un color azulado (Lazo, 2019).

Fig. 20 Modulo Fotovoltaico de Silicio Amorfo

2.8.6 Intensidad de Radiación Solar

La corriente entregada por el módulo es directamente proporcional a la cantidad e radiación al que es sometido. A mayor radiación obtendremos mayor corriente y por ende mayor potencia

ya que esta es determinada por el producto del voltaje y corriente. El voltaje comúnmente es poco afectado con respecto a la disminución de la radiación donde asumimos que el comportamiento se mantiene casi constante ante la variación de radiación (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

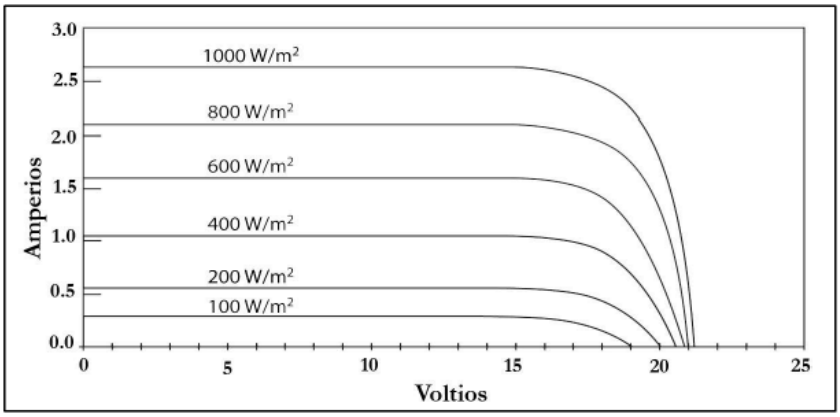


Fig. 21 Efecto en la Intensidad de Radiación

2.8.7 Temperatura de la Celda

La variación de temperatura se ve reflejada en la tensión, es decir, que la tensión del módulo es inversamente proporcional a la temperatura de la celda ya que el calor es considerado como resistencia eléctrica (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

El flujo de aire es esencial para evitar el aumento excesivo de temperatura ya que las celdas emiten de manera natural temperaturas elevadas es por eso que la estructura donde está sujeto el módulo ayudan a que la corriente de aire normalice la temperatura de las celdas. En algunos casos los módulos poseen un mayor número de celdas para compensar la caída de tensión emitida por altas temperaturas ya que como condiciones estándares de medida la temperatura de la celda

debería estar a 25 °C lo cual es imposible debido a que muchas veces los módulos están sobre techos calientes (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

Para el diseño del sistema se debe tomar en cuenta este factor ya que la potencia del módulo establecida por el fabricante se reduciría de manera considerable si la temperatura ambiente es elevada, según evaluaciones más realistas emitida por Estados Unidos considera que una temperatura real de media es 20 °C ambiente en lugar de considerar la temperatura de la celda.

Como resultado se obtiene que la potencia a condiciones estándares de medida a 20 °C equivale a un 88 % de potencia aprovechada, es decir, que un módulo de 100W se aprovechará 88 W de potencia nominal. Al analizar los efectos de la temperatura se dice que a medida que incremente o disminuye la temperatura de manera proporcional lo hace l voltaje lo cual el valor por cada grado centígrado superado seria de un ±0.5 (Fernández, 2018).

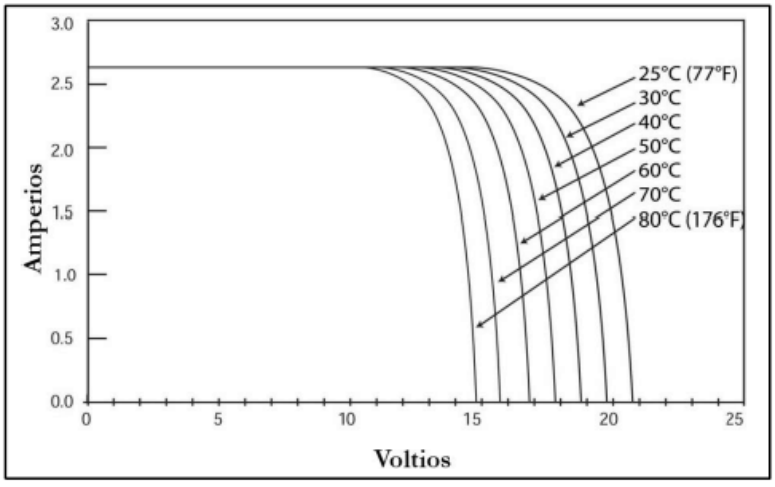


Fig. 22 Efecto de la Temperatura (Fernández, 2018)

2.8.8 Sombreado

El sombreado en un módulo o arreglo fotovoltaico tiene efectos negativos y en casos particulares peligros ya que la producción de potencia se ve afectado con la disminución de la misma e inversión de los elementos.

Dependiendo del tipo de modulo por sus características de fabricación pueden demostrar una reducción dramática donde el porcentaje de sombre de la celda es casi equivalente a la perdida porcentual de potencia en el módulo (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

Tabla 2 Efecto sombra de las celdas (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007)

Efecto de sombras de las celdas sobre la potencia del módulo	
Porcentaje de sombra de una celda	Pérdida porcentual de potencia en el módulo
0%	0%
25%	25%
50%	50%
75%	66%
100%	75%
3 celdas sombreadas	93%

Las conexiones de cada celda en el módulo pueden ser en un circuito serie obteniendo un recorrido de la corriente por todas las celdas, por esta razón se usan diodos llamados bypass cuya función es la de permitir el paso de corriente evitando la celda afectada y que el módulo deje de funcionar. Comúnmente en módulos de 60 celdas cuentan con 3 diodos bypass, distribuidos 1 diodo para 2 columnas lo cual representa un tercio de la potencia en caso de falla.

El efecto sombra posee dos tipos de sombreado uno regular y con un solo punto de máxima potencia donde establece que la afectación será igual a todas las cadenas del módulo obteniendo una potencia más baja, pero sin daños graves ya que, al contar con un regulador de carga, este identifica dos puntos de máxima potencia escogiendo el más apto, pero en caso de una mala elección únicamente se obtendría una baja potencia. Un sombreado irregular posee una afectación de manera irregular en módulos con conexiones de celdas en un circuito paralelo se producirá un punto caliente asumiendo que la afectación como una carga a alimentar.

El punto caliente no genera daños graves si es una conexión de dos cadenas en paralelo ya que podría soportar has 15 A sin ningún inconveniente, pero al ser conexiones de más de tres cadenas la corriente puede superar los límites de aceptación del módulo e incurrir a daños graves, perdida vida útil e incendio (CCEEA, 2019).

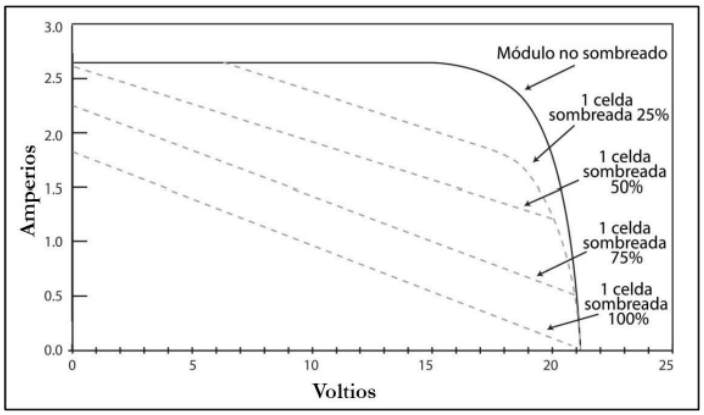


Fig. 63 Efecto de sombreado en Módulo (CCEEA, 2019)

2.9 Sistema Acumulador o Baterías

El sistema Acumulador o Baterías tienen la función de almacenar energía en corriente directa de manera química. Estas son usadas para proveer energía tanto diurna como nocturna y para días nublados donde la radiación es mínima.

El correcto diseño de un sistema acumulador tiene la capacidad de satisfacer las cargas requeridas incluyendo picos de arranque de motores, las baterías no poseen una eficiencia del 100% debido a que en las reacciones químicas se pierde energía en forma de calor durante la carga y descarga de la misma.

Existen varios tipos, tamaños, voltajes y capacidades de baterías siendo algunas desechables o recargables dependiendo del uso como las baterías de níquel-cadmio las cuales son ideales para aplicaciones industriales, instalaciones pequeñas o refrigeración ya que duran varios ciclos con profundidades de descarga grandes (Planas, 2015).

Fig. 24 Sistema Acumulador

2.9.1 Tipos de Baterías

2.9.1.1 Baterías de Ácido-Plomo

Estas baterías son las más utilizadas para sistemas fotovoltaicas residenciales la misma que tiene ciertas particularidades y similitudes con baterías de automóvil. Una batería de automóvil no se recomienda en sistemas fotovoltaicos ya que no están aptas para ciclos profundos, están diseñadas únicamente para descargar de corrientes elevadas en cortos lapsos de tiempo.

Estas baterías descargan pequeñas cantidades de corrientes en periodos largos de tiempo con una profundidad de descarga del 80% las cuales son ideales para estos sistemas. Estas baterías son de fácil mantenimiento, accesibles y con una extensa variedad de capacidades (Universidad Técnica Federico Santa María, 2014). Se dividen en dos categorías:

Baterías de Ácido-Plomo abiertas: Están construidas de una placa de plomo positiva y una negativa recubierta con aleación de plomo sumergidas en ácido sulfúrico y agua. Contienen celdas individuales dependiendo del voltaje de la batería, es decir, si es una batería de 12 V tendrá celdas de 2V. Al completar su ciclo de carga mediante un regulador la reacción química produce hidrogeno gaseoso la cual es expulsada de la batería.

Este gas emitido por la batería resulta ser explosivo si no se tiene la ventilación adecuada por eso se recomienda colocarlo en sitios donde no generen chispas o de productos inflamables.

La emisión de este gas reduce la cantidad de electrolito o agua en las celdas la cual debe ser repuesta en un tiempo de mantenimiento, algunas baterías poseen tapas de recombinación en cada celda cuya función es la de desviar los gases hacia la batería en forma de agua (Universidad Técnica Federico Santa María, 2014).

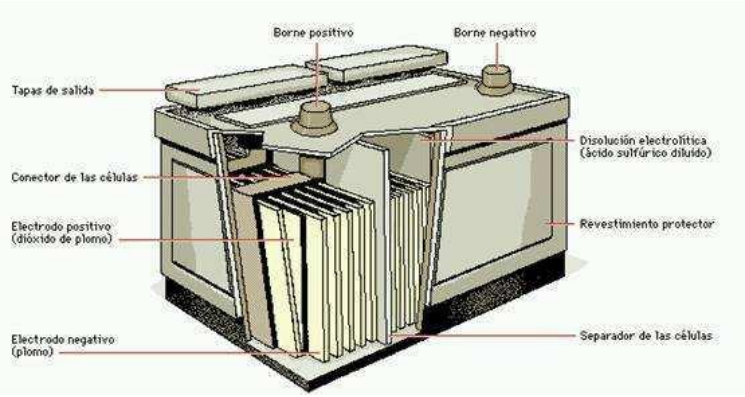


Fig. 75 Baterías de Ácido-Plomo abiertas

Baterías Selladas (VRLA): Estas baterías son también conocidas como baterías de ácido-plomo regulada por válvula cuya función es la disipar una sobrecarga de la batería ya que éstas no cuentan con tapas para acceso al electrolito es por eso que son baterías de libre mantenimiento.

Las baterías selladas usadas en sistemas fotovoltaicos son de gel o de esponja de vidrio absorbente AGM. El gel tiene una característica muy peculiar ya que convierte el electrolito a un estado de gel y la esponja tiene cavidades que ayudan a la recombinación de gases emitidos en la carga limitando la cantidad de hidrogeno gaseoso.

Poseen una ventaja de cero derrames aun cuando la batería está rota lo que la hace ideal para manipulación, transporte y mantenimientos poco periódicos.

Las baterías selladas representan un costo muy elevado y con condiciones detalladas de uso ya que deben ser cargadas con voltajes bajos y evitando ambientes calurosos ya que tienden a emitir más gases acortando su vida útil (Universidad Técnica Federico Santa María, 2014).

Fig. 26 Batería Sellada AGM

2.9.1.2 Baterías Alcalinas

Las baterías alcalinas se dividen por el material de sus placas positivas y negativas en níquel-cadmio y níquel-hierro con su solución electrolítica de hidróxido de potasio. Posee voltajes nominales de 1.2 V por celda y voltajes nominales de terminación de entre 1.65 - 1.8 V.

Tienen la particularidad de tener un precio elevado y no se afectan ante temperaturas extremas ya que pueden alcanzar -45°C o menos, es por eso que estas baterías son ideales para instalaciones comerciales o industriales (Bayod, 2009).

Fig. 87 Baterías Alcalinas

2.9.2 Características de Baterías

2.9.2.1 Días de Autonomía

Hace referente al número de días que puede suministrar al sistema acumulador o banco de baterías a una carga o demanda establecida sin recargado del panel fotovoltaico o de una fuente externa. Las consideraciones que se deben tomar son la localización del sistema, demanda total y tipos de carga.

Una variable muy importante es las condiciones climáticas a la que el sistema estará sometido como números de días nublados, lluvias, tormentas, climas demasiado húmedos o hasta épocas de nevado. Un sistema acumulador capaz de suministrar energía ante cualquier condición climática es inalcanzable y muy costoso por tal motivo se requiere brindar un apoyo de generación o solución hibrida como lo son generadores o turbinas eólicas.

El intervalo de días de autonomía está generalizado con base de 2 a 3 días cuando el sistema fotovoltaico cuenta con solución hibridas y de 5 a 7 días para sistemas fotovoltaicos aislados.

Siendo un caso en el que se aumenten las cargas diarias o las condiciones climáticas no favorecen por mucho tiempo es necesario un apoyo hibrido para poder recargar el sistema cumulador; o a su vez el aumento del arreglo fotovoltaico (Abella, 2017),

2.9.2.2 Capacidad de las Baterías

La capacidad de las baterías es medida en amperios hora (Ah) la misma que determinará la cantidad de energía necesaria para la demanda de carga establecida considerando las condiciones climáticas. Cada batería posee su hoja de especificaciones mostrando la capacidad que tiene por ejemplo 100 Ah sería igual al suministro de 1 amperio durante 100 horas hasta que se descargue totalmente.

Las baterías pueden asociarse en serie para aumentar su voltaje o en paralelo para aumentar su capacidad en Ah, las baterías tienden afectarse por el ritmo y profundidad de descarga, la temperatura de operación, el tiempo de vida útil inicial o restante de la batería y las características de recarga.

La capacidad de las baterías es proporcional a la demanda de carga necesaria, es decir, a mayor consumo de carga mayor será el banco de baterías. Hay que entender que en un sistema fotovoltaico es posible agregar módulos, pero incluir baterías es un método erróneo ya que los fabricantes advierten que las baterías que tengan mucho tiempo en servicio aumentan su resistencia interna degradando y consumiendo a las baterías nuevas ocasionando la reducción en el voltaje del sistema acumulador.

Otro método erróneo es colocar varias baterías en paralelo aumentando su capacidad debido a que al incrementarse la cantidad total de celdas ocasionando la falla por una celda defectuosa. Si se sobredimensiona el banco de baterías tiene como resultado la reducción de vida útil de las baterías, su capacidad y sulfatación excesiva (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

2.9.2.3 Profundidad de Descarga

La capacidad de la batería tiene relación con el ritmo al cual se descarga la misma, es decir, si se descarga rápidamente se tendría menos capacidad en cambio sí se descarga lentamente se tendrá una mayor capacidad.

Es recomendable revisar las especificaciones del fabricante de la batería que se está utilizando ya que puede tener descargas de 5, 10 y hasta 20 horas.

El proceso de carga también es muy importante ya que si tenemos un ritmo de descarga de 20 horas es necesario cargarla al mismo ritmo debido a que si el ritmo de carga es muy bajo la batería no se cargaría por completo.

Cuando se habla de profundidad de descarga se refiere a cuanta capacidad puede extraerse de la batería, usualmente están en el rango de 40 - 80%, si la profundidad de descarga está entre 10 - 20% se tiene mayor eficiencia ya que al descargarse en ese porcentaje aumenta su vida útil y se tendría la capacidad de energía suficiente para días nublados (Abella, 2017).

Tabla 3 Efecto de Ritmo de descarga en la capacidad e baterías (Abella, 2017).

Efecto del ritmo de descarga en la capacidad de la batería						
Modelo	Voltaje	Ah para 72 h de descarga	Ah para 24 h de descarga	Ah para 16 h de descarga	Ah para 12 h de descarga	Ah para 8 h de descarga
C2	2 V	288	270	259	245	230
B6	6 V	192	180	173	162	154
A12	12 V	105	100	95	90	85

2.9.2.4 Condiciones Ambientales

La capacidad de las baterías y vita útil se pueden ver afectadas por la temperatura ambiente. Las baterías al estar en un entorno frío requieren voltajes de carga más elevados para cumplir con el ciclo de carga en cambio al situarse en temperaturas demasiado cálidas los reguladores de carga pueden ajustar un valor bajo para cumplir su ciclo. Los fabricantes presentan evaluaciones de las baterías a condiciones estándares de medida, si las baterías exceden su capacidad de descarga seria entre 65 y 85% la cual reduciría su vida útil por otro lado la disminución de la temperatura tomara una profundidad de descarga del 50% o menos extendiendo su vida útil (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

2.10 Regulador de carga

Son dispositivos electrónicos con la función de controlar o regular el voltaje hacia el sistema acumulador. Este elemento evita la sobrecarga de las baterías proveniente del panel fotovoltaico, así como también protege las baterías contra una profundidad de descarga excesiva.

El regulador de carga monitorea todo el tiempo el voltaje del sistema acumulador encargándose de disminuir o detener la corriente de carga cuando las baterías están completamente cargadas, a su vez si las baterías sufren una descarga excesiva tiende a desconectar o abrir el paso de corriente.

Existen varios tipos, capacidades y amperaje donde pueden usarse dos o más reguladores cuando el sistema acumulador es muy amplio creando subsistemas o sub arreglos (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

Fig. 28 Regulador de carga

2.10.1 Regulador por derivación

También llamado controlador Shunt son diseñados únicamente para sistemas pequeños evitando la sobrecarga de las baterías desviando el exceso hacia un transistor de potencia, el mismo

que actúa como una resistencia disipándolo por medio del calor que emite. Estos controladores poseen disipadores de calor que ayudan a liberar el calor generado o suelen contar con un diodo para bloquear el sentido de la corriente hacia las baterías.

Los controladores Shunt son equipos muy simples y accesibles, por lo general están sellados pero deben tener una ventilación suficiente para evitar la concentración de calor (Bayod, 2009).

2.10.2 Regulador de una etapa

Estos reguladores evitan la sobrecarga de las baterías por medio de un circuito que abre e interrumpe la corriente hacia ellas. Normalmente se sitúa un límite o valor predeterminado para la desconexión y otro valor para la reanudación mediante voltaje.

Algunos fabricantes incorporan un temporizador para que entren de manera programa la conexión y desconexión de corriente, además los controladores usan un sensor en lugar de un diodo de bloqueo para evitar el retorno de corriente.

Estos controladores son de bajo costo y poseen capacidades mucho más amplias que los controladores shunt con la particularidad de no necesitar una ventilación estricta (Bayod, 2009).

2.10.3 Regulador por desvío

Estos controladores regulan de forma automática la corriente dependiendo del estado de carga en el que se encuentra la batería desviando el exceso mediante de manera parcial mediante una resistencia de disipación.

Estos controlares tienen la particularidad de trabajar con fuentes alternas como turbinas o generadores para cargar las baterías (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

2.10.4 Controlador PWM

Los controladores PWM también llamados controladores por modulación de amplitud de pulso son aquellos que reducen la corriente de carga y descarga de manera cíclica tomando en cuenta la amplitud, es decir, la duración o amplitud de la corriente disminuirá de forma parcial el voltaje hasta una carga ideal o desconectarla si tiene carga completa (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007).

2.10.5 Controlador MPPT

Los controladores MPPT son elementos electrónicos más modernos donde cuentan con reductores de voltaje asegurando un beneficio para el arreglo fotovoltaico. Estos controlares tiene la función de aprovechar el exceso de voltaje mostrada en la curva de voltaje y corriente del módulo para convertirlo en corriente con la particularidad de que el voltaje y corriente será diferente al de salida.

Para un correcto dimensionamiento se toma en cuenta el voltaje del banco de baterías que normalmente es autoajustable, el voltaje máximo del arreglo fotovoltaico para establecer los rangos permisibles de voltajes, la corriente máxima de salida que deberá ajustarse y soportar la corriente que se dirige a las baterías una potencia máxima el arreglo para aprovechar el voltaje excedente y otros parámetros que el diseñador puede aumentar (Hoyos et al., 2011).

2.11 Inversores

Los inversores son elementos electrónicos cuya función es la convertir la energía de corriente directa en energía de corriente alterna a una frecuencia de 50 o 60 HZ. Es un elemento muy necesario en instalaciones fotovoltaicas ya que la mayoría de cargas a las que están sujetas funcionan con corriente alterna.

Los inversores que alimentan a la red eléctrica s denominan inversores interactivos los mismos que se encuentran en plantas de generación como en zonas residenciales.

El principio de método de conversión se realizaba mediante un transistor básico para el cambio de polaridad de corriente continua positiva a negativa con una duración de 60 veces por segundo creando una onda cuadrada simulando una onda sinusoidal. Luego se utilizaba un transformador para aumentar o reducir el voltaje considerando el número de vueltas necesarias hasta proporcionar el voltaje alterno requerido para la instalación.

Al modernizarse los inversores con circuitos integrados, transistores de efecto campo y transformadores de alta frecuencia producen una onda muy similar a la verdadera.

Existen varios tipos de inversores según du tipo de onda como onda cuadrada, onda cuadrada modificada y onda sinusoidal (*Componentes de Una Instalación Solar Fotovoltaica*, 2014).

Fig. 29 Inversor

2.11.1 Inversores de Onda Cuadrada

Estos inversores convierten la entrada de corriente directa en alterna mediante señal cuadrada, pero carece de control en la salida, posee una capacidad muy baja y es apta para cargas simples como dispositivos eléctricos pequeños o focos, si se conectan cargas de uso residencial tiende a quemarlos. Además, soporta una cantidad límite pequeña para picos de arranque y una distorsión armónica considerable (Ingeteam Power Technology, 2014).

2.11.2 Inversores de Onda Cuadrada Modificada

Los inversores de onda cuadrada modificada usan transistores tipo FET o rectificadores controlados por silicio también llamados SCR para la conversión de corriente directa en alterna. Estos soportan más variedad de carga como motores, iluminación y televisores pequeños con capacidad de picos de corriente con un bajo porcentaje de distorsión (Ingeteam Power Technology, 2014).

2.11.3 Inversores de onda sinusoidal

Estos inversores son mucho más modernos y están diseñados para soportar cargas residenciales incluso equipos con alta sensibilidad, poseen una gran capacidad para soportar arranques pico de cargas al mismo tiempo y generar muy poca distorsión (Ingeteam Power Technology, 2014).

2.12 Cableado del Sistema Fotovoltaico

El cableado de un Sistema Fotovoltaico es importante ya que se debe acatar las normativas pertinentes y normativas locales como requisitos tanto se seguridad como para verificar su funcionalidad y seguridad. El sistema de cableado en corriente continua es muy diferente al de corriente alterna ya que en corriente continua se utilizan bajos voltajes y en una sola dirección además de usar calibre de conductores más grandes.

Se conoce que los conductores de cobre son los más utilizados por su conductividad y comercialización al igual que los conductores de aluminio por ende y por normativa no es recomendable usar conductores de aluminio ya que estos son útiles para entradas de servicio aéreo o subterráneos (Díaz, s.f.).

El aislamiento de los conductores a utilizar por normativa puede ser la siguiente:

THHN dirigida a interiores y en condiciones secas

THW, THWN y TW dirigido a interiores o exterior húmedos

UF y USE para aplicaciones subterráneas o húmedas

Con respecto a cables y conductos se recomienda por normativa poseen la siguiente nomenclatura:

NM utilizado para interiores y sitios secos

NMC utilizado para sitios secos, húmedos o mojados

UF utilizado y permitido para cableados interiores en sitios húmedos, secos o corrosivos

2.12.1 Calibre de conductores

El calibre de conductor es dimensionado tomando en cuenta como parámetros la capacidad de corriente y caída de voltaje.

La ampacidad o capacidad de corriente se refiere a la habilidad que posee conductor para transportar la corriente necesaria sin producir sobrecalentamiento y previniendo riegos de fuego.

Para determinar los conductores que van desde los módulos fotovoltaicos al controlador o al sistema acumulador se lo hace tomando la corriente máxima de cortocircuito por el número de módulos en paralelo.

Si se utilizan cargas en corrientes continuas y están dirigidos a un tablero de cargas, los conductores son determinados aplicando la corriente máxima de las cargas tomando en cuenta dos factores de seguridad. El primer factor es un margen de seguridad del 125% para evitar que el conductor sobrepase los 80% de su capacidad bajo condiciones continuas. El segundo factor es un margen de seguridad del 125% para los conductores que conectan los módulos fotovoltaicos con el inversor, controlador o baterías.

Estos factores protegen al sistema cuando la temperatura ambiente es excesiva permitiendo que el conductor maneje la corriente de forma segura (Enríquez, Fernandez y Gonzalez, 2007)

2.12.2 Protección contra sobre corrientes

Las normativas eléctricas especifican de manera obligatoria que todo circuito eléctrico debe estar protegido contra sobre voltajes, sobre corrientes y cortocircuitos o falla a tierra brindando seguridad a la vida humana y a sus elementos.

Los interruptores o disyuntores termo magnéticos deben ser aprobados por la normativa respectiva y diferenciados del tipo de corriente a utilizar ya que la corriente directa tiende a crear arcos eléctricos cuando se suspende el circuito, en cambio los interruptores termo magnéticos de corriente alternan tienden a quemar sus contactos para protección.

Los elementos de protección contra sobre corrientes vienen en nominales estandarizados y se debe dimensionar siendo menor o igual a la ampacidad del conductor a usarse (Díaz, s.f.).

2.12.3 Puesta a Tierra

El sistema de puesta a tierra es obligatorio para limitar los voltajes ocasionados por descargas atmosféricas, sobretensión en líneas o contactos eléctricos, estabilización voltajes y usar tierra como punto de referencia común.

Consideramos una puesta a tierra de quipos aquella que brinda protección cintra descargas eléctricas por una falla tierra, normalmente ocurre cuando un contacto energizado entra en contacto a tierra mediante una estructura metálica.

La puesta a tierra del sistema se realiza mediante una conexión eléctrica entre un conductor y puesta a tierra sobre todo en instalaciones que superan los 50 V, en un circuito de corriente continua es necesario conectar un conductor negativo a tierra en un solo punto del sistema además este punto de conexión debe estar cerca del arreglo fotovoltaico para evitar descargas atmosféricas y daño en los equipos (Díaz, s.f.).

CAPÍTULO III
3.1 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO

Se diseñó un sistema fotovoltaico autónomo para la Unidad Educativa Simón Bolívar en la comunidad Masa 2 con las siguientes características:

3.1.1 Orientación e Inclinación

Para la correcta Orientación e Inclinación Optima de los Módulos Fotovoltaicos hay que tener en cuenta que la posición está determinada por dos ángulos, el ángulo de inclinación y el ángulo de orientación.

Analizando la orientación del módulo fotovoltaico sabemos que la trayectoria del sol inicia en el este y termina en el oeste en cualquier punto del planeta, dicho esto los módulos deben ser orientados con dirección al Ecuador, es decir, al sur si nos situamos en Países como México o España o hacia el norte si nos encontramos en países como Argentina o Chile (Udemy, 2020).

Si se orientan los módulos hacia el Este u Oeste únicamente se tendría un buen aprovechamiento en las mañanas, pero se tendrían perdidas en las tardes por lo que al orientar los módulos hacia el Ecuador tendríamos un buen aprovechamiento homogéneo. En relación a esto, se considera que la Unidad Educativa Simón Bolívar en el Ecuador presenta un ángulo de orientación (α) a 0º teniendo un buen aprovechamiento.

Con respecto al ángulo de Inclinación (β) el punto del planeta donde la irradiación solar impacta más perpendicularmente es el Ecuador, por esta razón no se deben inclinar los módulos, únicamente se los debe colocar de manera horizontal con vista al cielo.

Al considerar que los módulos se colocaron con vista al cielo se debe tomar en cuenta que, por factores ambientales como lluvia, polvo, ceniza, entre otros se recomienda inclinar los módulos levemente como se calcula a continuación.

3.1.2 Coordenadas Geográficas del Sistema Fotovoltaico Aislado

Coordenadas Masa 2: -2.38; -79.86

Elevación: 6 msnm

3.1.3 Cálculo de Inclinación Óptima

Tabla 4 Valores de inclinación óptima (IDAE, 2009)

TIPO DE INSTALACIÓN	PERÍODO DE USO	INCLINACIÓN ÓPTIMA
Instalación para Vivienda	Principalmente en Verano	B= Lat. -10º
Instalación para Vivienda	Principalmente en Invierno	B= Lat. +10º
Bombeo de Agua	Principalmente en Verano	B= Lat. -20º
Instalación para Vivienda	Anual	B= 3.7 +0.69*(Lat.)

Para calcular la Inclinación Óptima en un período de uso anual aplicamos la ecuación **(1):**

$$\beta = 3.7 + 0.69 * (Lat.) \qquad \textbf{(1)}$$

Donde:

$$\beta = Inclinación\ Óptima$$

$$Lat = Latitud$$

Entonces:

$$\beta = 3.7 + 0.69 * (2.38°)$$

$$\beta = 5.3422° \approx 5.34°$$

3.1.4 Orientación

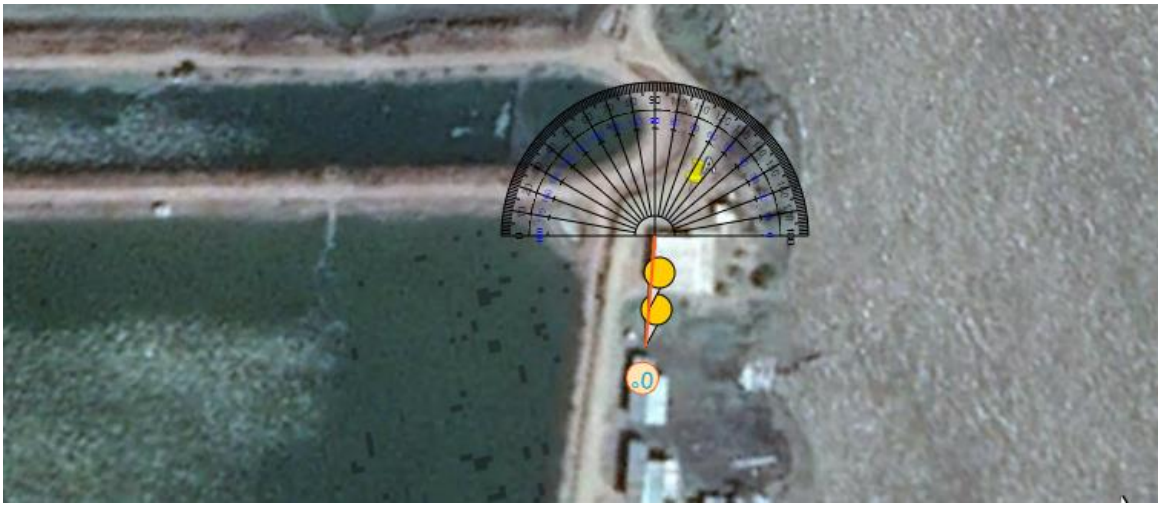


Fig. 30 Obtenido de Google Maps, editado por (Villegas, 2020)

Con fines de demostración se ha utilizado un graduador digital para determinar la orientación y la posición de los módulos sobre el tejado de la escuela se puede apreciar que α = 0º.

3.1.5 Cálculo de Pérdidas por Orientación e Inclinación

Según el código Técnico de Edificación dictado por el Gobierno de España, (2019) se ha establecido que dependiendo el caso se puede tener desde el 10 a 40% de pérdidas. El caso general cubre el 10% y se considera cuando se quieren instalar módulos fotovoltaicos sobre una losa, el caso se superposición nos permite el 20% cuando se tienen techos muy inclinados y en el caso de integración arquitectónica se refiere a sustituir ciertos elementos estructurales como ventanas solares para unir a las edificaciones.

Tabla 5 Datos de orientación e inclinación (Gobierno de España, 2019).

PÉRDIDAS LÍMITE	
CASO	ORIENTACIÓN E INCLINACIÓN
General	10%
Superposición	20%
Integración Arquitectónica	40%

Para calcular las pérdidas por Orientación e Inclinación aplicamos la ecuación **(2)** o **(3):**

$$P_{OI} = 1.2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{Optima})^2) \quad ; \quad \beta \leq 15\,^\circ \qquad \textbf{(2)}$$

$$P_{OI} = 1.2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{Optima})^2) + 3.5 * 10^{-5} * \alpha^2 \; ; \quad 15\,^\circ \leq \beta \leq 90^\circ \textbf{(3)}$$

Donde:

$$P_{OI} = Pérdidas\ por\ Orientación\ e\ Inclinación$$

$$\beta_{Optima} = Inclinación\ Óptima$$

$$\beta = Inclinación$$

Entonces:

$$P_{OI} = 1.2 * 10^{-4} * (\beta - \beta_{Optima})^2) \quad ; \quad \beta \leq 15\,^\circ \qquad \textbf{(2)}$$

$$P_{OI} = 1.2 * 10^{-4} * (0 - 5)^2)$$

$$P_{OI} = 0.003 \approx 3\%$$

3.1.6 Base de Datos Online PVGIS

PVGIS es un sitio web que le brinda información sobre la radiación solar y el rendimiento del sistema fotovoltaico (PV). Puede usar PVGIS para calcular cuánta energía puede obtener de diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos en casi cualquier lugar del mundo. Proporciona acceso a potencial fotovoltaico para diferentes tecnologías y configuraciones de sistemas conectados a la red e independientes. Radiación solar y temperatura, como promedios mensuales o perfiles diarios.

Serie de tiempo completo de valores horarios de radiación solar, rendimiento fotovoltaico datos típicos del año meteorológico para nueve variables climáticas. (ec.europa.eu).

3.1.7 Extracción de Datos de PVGIS

3.1.7.1 Irradiación Global con Ángulo Óptimo a 5 grados

Tabla 6 Irradiación global con ángulo óptimo. Obtenido de re.jrc.ec.europa.eu

Año	Mes	H(i)_m
2015	Ene	151.26
2015	Feb	148.11
2015	Mar.	165.41
2015	Abr.	165.17
2015	May.	167.41
2015	Jun.	160.19
2015	Jul.	154.86
2015	Ago.	159.3
2015	Sep.	174.6
2015	Oct.	155.67
2015	Nov.	160.25
2015	Dic.	177.19

Latitud: -2.380
Longitud: -79.860
Base de Datos de Radiación: PVGIS-NSRDB
H(i)_m: Irradiación en Ángulo (kWh/m2/mes)
PVGIS (c) Comunidades Europeas, 2001-2020

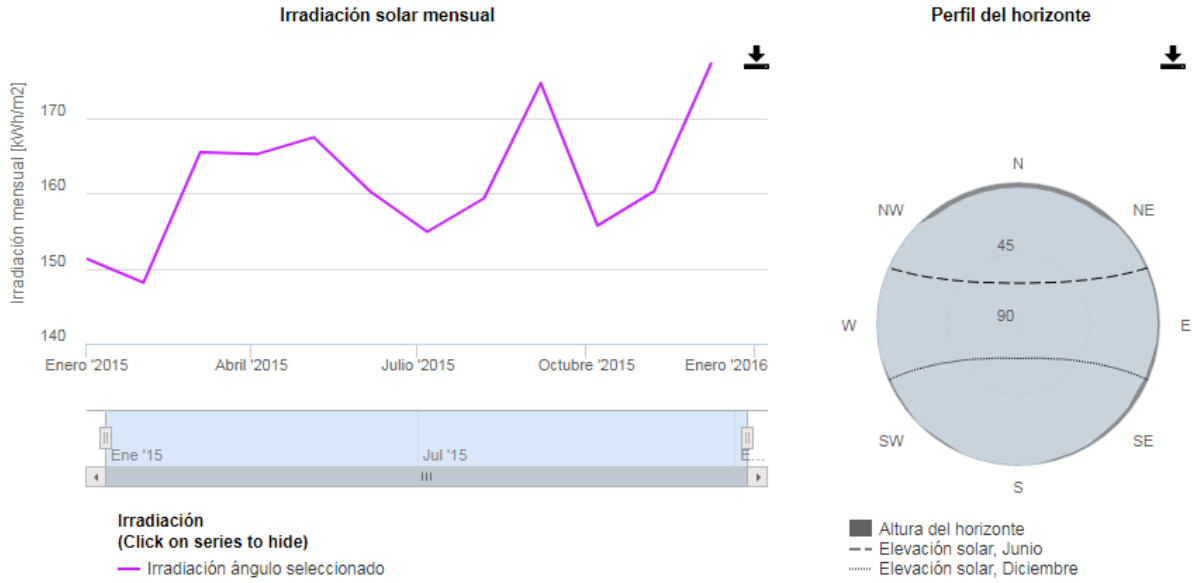


Fig. 31 Irradiación solar mensual. Obtenido de re.jrc.ec.europa.eu

3.1.7.2 Temperatura Media

Tabla 7 Temperatura media. Obtenido de re.jrc.ec.europa.eu

Año	Mes	Tm
2015	Ene	24.9
2015	Feb	24.5
2015	Mar.	24.8
2015	Abr.	25.4
2015	May.	25.7
2015	Jun.	25.1
2015	Jul.	24.4
2015	Ago.	23.3
2015	Sep.	23.4
2015	Oct.	23.5
2015	Nov.	23.7
2015	Dic.	24.4

Latitud: -2.380
Longitud: -79.860
Base de Datos de Radiación: PVGIS-NSRDB
Tm: Promedio de Temperatura 24 horas (Grados Celsius)
PVGIS (c) Comunidades Europeas, 2001-2020

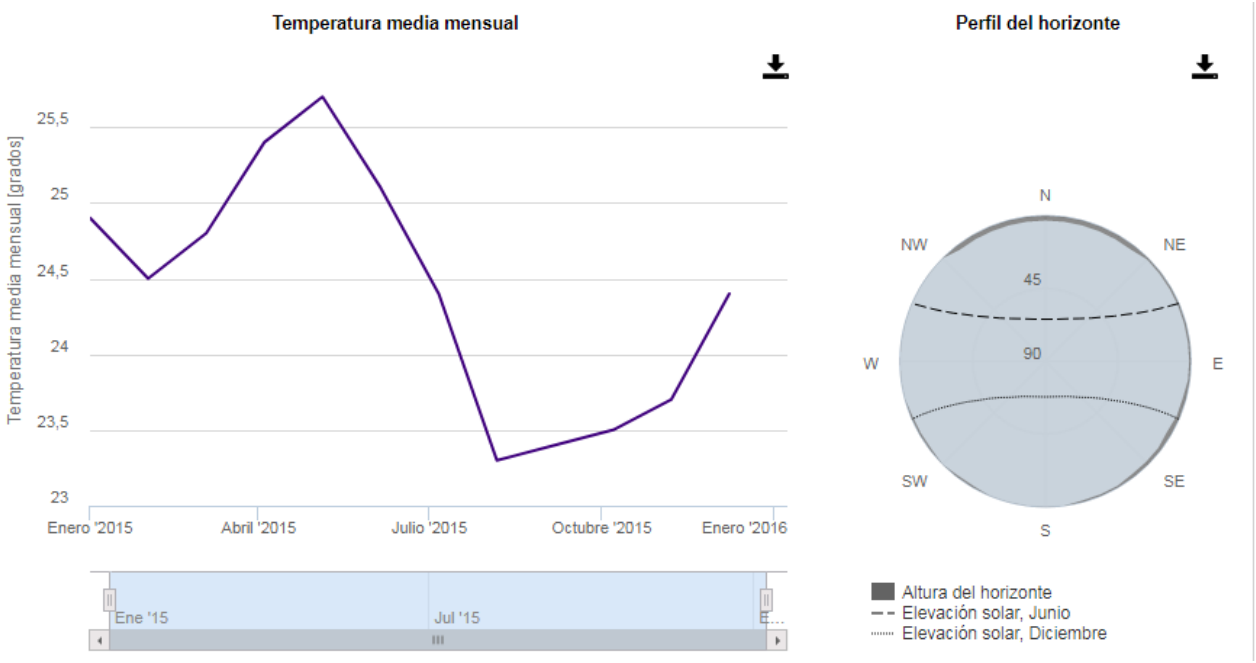


Fig. 32 Temperatura media mensual. Obtenido de re.jrc.ec.europa.eu

3.1.8 Condiciones estándares de medida

Se analizaron las condiciones estándares de medida bajo las cuales trabajan los módulos fotovoltaicos tomando en cuenta las características de las células fotovoltaicas para determinar el comportamiento eléctrico bajo diferentes condiciones de irradiancia y temperatura. Se definen los siguientes parámetros:

$$Irradiancia = \ 1000 \ \frac{W}{m^2}$$

$$Temperatura\ de\ trabajo\ de\ la\ célula = \ 25\ °C$$

$$Distribucion\ espectral\ o\ Masa\ de\ Aire = \ 1.5$$

Estos tres parámetros indican que el módulo fotovoltaico al trabajar bajo estas condiciones ideales entregará la potencia pico definida por el fabricante en el catálogo. Si cualquiera de estos parámetros es distinto provocará perdidas energéticas; hay que entender que es muy difícil cumplir estos parámetros simultáneamente.

$$T_C = T_A + \frac{T_{ONC} - 20^\circ}{800 \frac{W}{m^2}} * G_{STC} \qquad \textbf{(4)}$$

Donde:

$$T_C = \ Temperatura\ de\ la\ Célula$$

$$T_A = \ Temperatura\ Ambiente$$

$$G_{STC} = \ Irradiancia\ en\ STC$$

$$T_{ONC} = \ Temperatura\ de\ Operación\ Nominal\ de\ la\ Célula$$

La masa de aire se denomina a la distancia que tiene que recorrer el haz de luz o rayo solar desde el momento que ingresa a la atmósfera hasta que llega a un punto determinado en el planeta que sería nuestra instalación. El Ecuador se encuentra en una posición perpendicular, por lo tanto, la masa de aire en el sitio de estudio es de 1 ya que su recorrido del haz de luz es más corto. Para su cálculo tenemos la ecuación **(5):**

$$Masa\ de\ Aire = AM = \frac{1}{\cos(\theta)} \qquad \textbf{(5)}$$

Donde:

$$\theta = \ Altura\ Solar \ \ ; \ \ \theta = 90^\circ - Lat. - 23.45^\circ$$

En este caso se utiliza únicamente la latitud debido a la posición perpendicular:

$$Masa\ de\ Aire = \ AM = \ \frac{1}{\cos(2.38°)} = \frac{1}{0.99913} = 1$$

3.1.9 Irradiación Global con Angulo Óptimo de 5º y Temperatura

La tabla especifica irradiancia, la temperatura ambiente en el punto geográfico y la Temperatura de Operación Nominal de la Célula especificada en el catálogo del módulo fotovoltaico. Calculamos la temperatura de la célula:

Tabla 8 Datos de catálogo - Panel Jinko Solar de 280 Wp. Obtenido de (JinkoSolar, 2008).

Power tolerance	0~+3%
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/℃
Temperature coefficients of Voc	-0.31%/℃
Temperature coefficients of Isc	0.06%/℃
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2℃

Para el mes de enero obtenemos aplicamos la ecuación **(4):**

$$T_C = \ T_A + \frac{T_{ONC} - 20°}{800\ \frac{W}{m^2}} * \ G_{STC} \qquad \textbf{(4)}$$

Entonces:

$$T_C = \ 24.9° + \frac{45° - 20°}{800\ \frac{W}{m^2}} * \ 1000\ \frac{W}{m^2}$$

$$T_C = \ 56.15°$$

Para el mes de febrero obtenemos:

$$T_C = T_A + \frac{T_{ONC} - 20°}{800 \frac{W}{m^2}} * G_{STC} \qquad \textbf{(4)}$$

Entonces:

$$T_C = 24.5° + \frac{45° - 20°}{800 \frac{W}{m^2}} * 1000 \frac{W}{m^2}$$

$$T_C = 55.75°$$

Tabla 9 Datos año 2015. Obtenido de (re.jrc.ec.europa.eu)

Año	Mes	H(i)_m	Tm (°C)	TONC (°C)	Tc (°C)
2015	Ene	151.26	24.9	45	56.15
2015	Feb	148.11	24.5	45	55.75
2015	Mar.	165.41	24.8	45	56.05
2015	Abr.	165.17	25.4	45	56.65
2015	May.	167.41	25.7	45	56.95
2015	Jun.	160.19	25.1	45	56.35
2015	Jul.	154.86	24.4	45	55.65
2015	Ago.	159.3	23.3	45	54.55
2015	Sep.	174.6	23.4	45	54.65
2015	Oct.	155.67	23.5	45	54.75
2015	Nov.	160.25	23.7	45	54.95
2015	Dic.	177.19	24.4	45	55.65

3.1.10 Condiciones Críticas de Funcionamiento

El objetivo de los sistemas fotovoltaicos autónomos es garantizar un buen suministro energético incluso en los meses más críticos, estos suelen ser en verano ya que el momento donde

ese da mayores pérdidas debido a las temperaturas altas de trabajo y en invierno donde hay menor irradiación.

Para el estudio se utilizó el mes con mayor temperatura que corresponde a mayo con 25.7 °

$$T_C = T_A + \frac{T_{ONC} - 20°}{800 \frac{W}{m^2}} * G_{STC} \qquad \textbf{(4)}$$

$$T_C = 25.7° + \frac{45° - 20°}{800 \frac{W}{m^2}} * 1000 \frac{W}{m^2}$$

$$T_C = 56.95°$$

Calculamos con la ecuación **(6)** la eficiencia de los módulos:

$$\eta_{Temp} = 100 + (T_C - T_{stc}) * Coef_{Temp} \quad \textbf{(6)}$$

Donde:

$$\eta_{Temp} = Eficinecia\ de\ Temperatura$$

$$T_{stc} = Temperatura\ stándar\ de\ la\ célula\ (catálogo\ del\ proveedor)$$

$$Coef_{Temp} = Coeficiente\ de\ Temperatura\ del\ módulo\ (catálogo\ del\ proveedor)$$

$$T_C = Temperatura\ de\ la\ Célula$$

Entonces:

$$\eta_{Temp} = 100 + (56.95° - 25°) * (-0.38)$$

$$\eta_{Temp} = 87.859\ \%$$

3.1.11 Cargas y Consumos Eléctricos

Para un correcto funcionamiento de los equipos de consumo se debe sobredimensionar el sistema de generación y acumulación, para dimensionar correctamente debemos definir primero los consumos a utilizar, luego se dimensiona el tamaño del inversor y por último el sistema generador. El regulador y sistema de acumulación se dimensionará a partir de esos tres cálculos.

Tabla 10 Cargas y consumos eléctricos

CANTIDAD	EQUIPO	POTENCIA INDVIDUAL	POTENCIA ACUMULADA	TIEMPO	ENERGIA
#	DESCRIPCIÓN	[W]	[W]	[horas]	[Wh]
1	ventilador	60	60	4	240
1	PC	55	55	4	220
2	focos	15	30	4	120
1	varios	100	100	4	400
TOTALES			245		980

3.1.12 Cálculo de consumos

Para dimensionar correctamente debemos establecer el peor escenario, es decir, seleccionamos el mes donde tengamos menor cantidad de horas solares pico

Tabla 11 Cálculo de consumos. Obtenido de re.jrc.ec.europa.eu

Año	Mes	H(i)_m	Días	HSP	Tm
2015	Ene	151.26	31	4.88	24.9
2015	Feb	148.11	29	5.11	24.5
2015	Mar.	165.41	31	5.34	24.8
2015	Abr.	165.17	30	5.51	25.4
2015	May.	167.41	31	5.40	25.7
2015	Jun.	160.19	30	5.34	25.1
2015	Jul.	154.86	31	5.00	24.4
2015	Ago.	159.3	31	5.14	23.3
2015	Sep.	174.6	30	5.82	23.4
2015	Oct.	155.67	31	5.02	23.5
2015	Nov.	160.25	30	5.34	23.7
2015	Dic.	177.19	30	5.91	24.4

Definimos la energía de consumo máximo con la ecuación **(7)**:

$$E_{CM} = \ 1.2 * C \qquad \textbf{(7)}$$

Donde:

$$E_{CM} = \ Energía\ de\ Consumo\ Máximo$$

$$C = \ Consumo$$

Entonces:

$$E_{CM} = \ 1.2 * C = 1.2 * 980\ Wh$$

$$E_{CM} = \ 1176\ Wh$$

Definimos la Potencia Nominal con la ecuación **(8)**:

$$E = \ P_n * t * \ PR \qquad \textbf{(8)}$$

Donde:

$$P_n = \ Potencia\ Nominal$$

$$E = \ Energía$$

$$t = \ tiempo\ de\ uso\ (Hora\ solar\ pico)$$

$$PR = \ Eficiencia\ del\ sistema$$

Entonces:

$$E = \ P_n * t * \ PR \qquad \textbf{(8)}$$

$$P_n = \ \frac{E}{t * PR}$$

$$P_n = \frac{1176\ Wh}{4.88\ * 0.6570} = 366.79\ W$$

Definimos la Potencia Pico con la ecuación **(9)**:

$$P_p = 1.2 * Pn \qquad \textbf{(9)}$$

Donde:

$$P_p = Potencia\ Pico$$

Entonces:

$$P_p = 1.2 * 366.79\ W = 440.15\ W$$

Definimos el número de módulos Fotovoltaicos con la ecuación **(10)**:

$$No._{Mod} = \frac{P_p}{P_{mod}} \qquad \textbf{(10)}$$

Donde:

$$No._{Mod} = Número\ de\ módulos\ fotovoltaicos$$

$$P_{mod} = Potencia\ del\ módulo\ fotovoltaico$$

Entonces:

$$No._{Mod} = \frac{440.15\ W}{280\ W} = 1.57 \approx 2\ módulos\ fotovoltaicos$$

3.1.13 Cálculo del inversor

Para hallar el dimensionamiento del inversor consideramos que la potencia pico será la cantidad de paneles calculados por la capacidad del módulo fotovoltaico así determinaremos la potencia necesaria del inversor, aplicando la ecuación **(11):**

$$Pp = No._{Mod} * Capacidad\ del\ Módulo \qquad \textbf{(11)}$$

Entonces

$$Pp = 2 * 280\ Wp = 560\ W$$

Si se requiere verificar que el Inversor que se va a seleccionar sea el ideal para el sistema fotovoltaico se realiza un cálculo para determinar el rango de aceptación entre 1.1 y 1.3 evitando la falta de capacidad o sobredimensionamiento.

Para este cálculo se utilizan todas las capacidades del Inversor Phoenix Marca Victron Energy Blue Power dividiéndola entre la Potencia total de los Módulos.

Tabla 12 Rango admisible del inversor

POTENCIA DEL INVERSOR	POTENCIA TOTAL DE MÓDULOS	RANGO 1.1 - 1.3
250 VA	560 W	2.240
375 VA	560 W	1.493
500 VA	560 W	1.120
800 VA	560 W	0.700
1200 VA	560 W	0.467

Se ha considerado instalar un Inversor Phoenix Marca Victron Energy Blue Power con voltaje regulable a 12 VDC / 500 VA con salida a 120 VAC - 60 HZ

Inversor Phoenix	12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont a 25°C (1)		250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia		400W	700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)		230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada		9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V				
Desconexión por CC baja (ajustable)		9,3 / 18,6 / 37,2V				
Dinámica (dependiente de la carga) Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)		Desconexión dinámica, ver https://www.victronenergy.com/live/ve.direct: phoenix-inverters-dynamic-cutoff				
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)		10,9 / 21,8 / 43,6V				
Detector de batería cargada (ajustable)		14,0 / 28,0 / 56,0V				
Eficacia máx.		87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Consumo en vacío		4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reintento: 2,5 s, ajustable)		0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO		Ajustable				
Protección (2)		a - f				
Rango de temperatura de trabajo		-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)				
Humedad (sin condensación)		máx. 95%				

Fig. 33 Datos inversor Phoenix (Victron Energy, s.f.)

3.1.14 Cálculo de Módulos Fotovoltaicos

Utilizaremos la siguiente tabla para definir el voltaje del sistema

Tabla 13 Voltaje del sistema por potencia

VOLTAJE DEL SISTEMA POR POTENCIA	
POTENCIA	**VOLTAJE**
< 1000 W	12 V DC
1000 W ≤ P ≤ 2500 W	24 VDC
2500 W ≤ P ≤ 5000 W	48 VDC
P > 5000 W	120 VDC

Para calcular el número de módulos fotovoltaicos en serie utilizaremos la ecuación **(12):**

$$N_S = \frac{V_{SB}}{V_{MPP}} \qquad \textbf{(12)}$$

Donde:

$$N_S = \textit{Número de Módulos en Serie}$$

$$V_{SB} = \textit{Voltaje del Sistema de Baterías}$$

$$V_{MPP} = \textit{Voltaje MPP del módulo}$$

Entonces:

$$N_S = \frac{12\ V}{32.3\ V} = 0.37 \ \longrightarrow \ 1$$

Como se observa el número de paneles en serie es 0.37 se debe considerar como mínimo un panel en "serie" para efectuar los cálculos del número de módulos en paralelo.

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM265PP-60		JKM270PP-60		JKM275PP-60		JKM280PP-60		JKM285PP-60	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	265Wp	197Wp	270Wp	200Wp	275Wp	204Wp	280Wp	208Wp	285Wp	212Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	31.4V	29.0V	31.7V	29.4V	32.0V	29.8V	32.3V	30.1V	32.5V	30.4V
Maximum Power Current (Imp)	8.44A	6.78A	8.52A	6.80A	8.61A	6.85A	8.69A	6.91A	8.77A	6.97A
Open-circuit Voltage (Voc)	38.6V	35.3V	38.8V	35.4V	39.1V	35.4V	39.4V	35.6V	39.6V	35.7V
Short-circuit Current (Isc)	9.03A	7.36A	9.09A	7.38A	9.15A	7.44A	9.20A	7.99A	9.26A	8.05A
Module Efficiency STC (%)	16.19%		16.50%		16.80%		17.11%		17.41%	
Operating Temperature(℃)	-40℃~+85℃									
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.38%/℃									
Temperature coefficients of Voc	-0.31%/℃									
Temperature coefficients of Isc	0.06%/℃									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2℃									

Fig. 34 Especificaciones Panel Jinko Solar (JinkoSolar, 2008).

Para calcular el número de módulos fotovoltaicos en paralelo utilizaremos la ecuación **(13)**:

$$N_P = \frac{N_T}{N_S} \qquad \textbf{(13)}$$

Donde:

$$N_P = \text{Número de Módulos en Paralelo}$$

$$N_T = \text{Número Total de Módulos}$$

$$N_S = \text{Número de Módulos en Serie}$$

Entonces:

$$N_P = \frac{2\ módulos}{1\ módulo} = 2\ \text{Módulos en Paralelo}$$

3.1.15 Cálculo del Acumulador

Para determinar el tamaño del sistema acumulador o banco de baterías utilizaremos la ecuación **(14)** definiendo los siguientes parámetros:

$$C_{SB} = \frac{E_{CM} * D_{AUT}}{V_{SB} * MPD} \qquad \textbf{(14)}$$

Donde:

$$C_{SB} = \text{Capacidad del Sistema de Baterías}$$

$$E_{CM} = \text{Energía de Consumo Máximo}$$

$$D_{AUT} = \text{Días de Autonomía}$$

$$V_{SB} = \ Voltaje\ del\ Sistema\ de\ Baterías$$

$$MPD = \ Maxima\ profundidad\ de\ descarga\ (\%)$$

Entonces:

$$C_{SB} = \ \frac{E_{CM} * \ D_{AUT}}{V_{SB} * \ MPD} = \frac{1176\ Wh * \ 3\ días}{12\ VDC * \ 70\ \%} = 420\ Ah$$

Calcularemos el número de Baterías en serie con la ecuación **(15)**:

$$V_{SB} = \ N_S * \ V_B \qquad \textbf{(15)}$$

Despejando:

$$N_S = \ \frac{V_{SB}}{V_B} \qquad \textbf{(16)}$$

Donde:

$$V_{SB} = \ Voltaje\ del\ Sistema\ de\ Baterías$$

$$N_S = \ Número\ de\ Baterías\ en\ Serie$$

$$V_B = \ Voltaje\ de\ la\ Batería$$

Entonces:

$$N_S = \ \frac{V_{SB}}{V_B} = \frac{12\ VDC}{12\ VDC} = 1$$

Calcularemos el número de Baterías en paralelo con la ecuación **(17)**:

$$C_{SB} = \ N_P * \ C_B \qquad \textbf{(17)}$$

Despejando:

$$N_p = \frac{C_{SB}}{C_B} \qquad \textbf{(18)}$$

Donde:

$$C_{SB} = \ Capacidad\ del\ Sistema\ de\ Baterías$$

$$N_p = \ Número\ de\ Baterías\ en\ Paralelo$$

$$C_B = \ Capacidad\ de\ la\ Batería$$

Entonces:

$$N_p = \frac{C_{SB}}{C_B} = \frac{420Ah}{105\ Ah} = 4\ Baterías\ en\ Paralelo$$

Código			N1.0.092.P58.050
Modelo	P5200	**Aplicación**	Estacionaria
Código de Barras	4047024349049	**Polo**	+ -
Capacidad	105 Ah	**Largo**	330 mm.
CCA (-18C)		**Ancho**	172 mm.
Tipo	Sellada	**Alto**	240 mm.
RC		**Borne**	Tuerca
Placas		**Peso**	27.10 Kg.

BOSCH

Fig.35 Características batería BOSCH (Autorex, 2017)

3.1.16 Cálculo del Sistema Regulador

Al realizar el cálculo del regulador se lo hace con el objetivo de controlar los procesos de carga y descarga de la batería y poder proteger el sistema fotovoltaico, tomamos como datos la

corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico ISC= 9.2 A, número de paneles, potencia y eficiencia del inversor.

Corriente de entrada al Regulador utilizaremos la ecuación **(19)**:

$$I_n = 1.25 * I_{sc} * N_p \qquad \textbf{(19)}$$

Donde:

$$I_n = \ Corriente\ de\ entrada\ al\ Regulador$$

$$I_{sc} = \ Corrinte\ de\ Cortocircuito\ del\ Módulo$$

$$N_p = \ Número\ de\ paneles$$

Calculando:

$$I_n = 1.25 * 9.2\ A * 2 = 23\ A$$

Corriente de salida del Regulador utilizaremos la ecuación **(20)**:

:

$$I_{out} = 1.25 * \frac{\frac{P_{INV}}{n_{INV}}}{V_{SB}} \qquad \textbf{(20)}$$

Donde:

$$I_{out} = \ Corriente\ de\ salida\ del\ Regulador$$

$$P_{INV} = \ Potencia\ del\ Inversor$$

$$n_{INV} = \ Eficiencia\ del\ Inversor$$

$$V_{SB} = Voltaje\ del\ Sistema\ de\ Baterías$$

Calculando:

$$I_{out} = 1.25 * \frac{\frac{400\ W}{90\%}}{12VDC} = 46.29\ A$$

Controlador de carga BlueSolar	MPPT 100/30	MPPT 100/50
Tensión de la batería	Selección automática: 12/24V	
Corriente de carga nominal	30A	50A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	440W	700W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	880W	1400W
Tensión máxima del circuito abierto FV	100V	100V
Max. corriente de cortocircuito PV 2)	35A	60A
Eficacia máxima	98%	98%
Autoconsumo	12V: 30 mA 24V: 20 mA	
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 V / 28,8 V (ajustable)	
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 V / 27,6 V (ajustable)	
Algoritmo de carga	variable multietapas	
Compensación de temperatura	-16 mV / °C, -32 mV / °C resp.	
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)	
Humedad	95 %, sin condensación	
Puerto de comunicación de datos	VE.Direct Consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web	

Fig. 36 Controlador de carga BlueSolar. (Victron Energy, s.f.)

3.1.17 Pérdidas y Eficiencia

El Performance Ratio (PR) permite analizar las pérdidas y eficiencias del sistema Fotovoltaico autónomo siendo un para metro adimensional indicando un factor de rendimiento, para simplificar el performance ratio expresa el efecto global de pérdidas en el sistema. Pare determinarlo se aplica la ecuación **(21):**

$$PR = \left(n_{INV} * n_{Temp} * n_{REG} * n_{BAT} * n_{AC} * n_{DC} * n_{SS} * n_{OI} * n_{MM}\right) * \left[1 - \left(\frac{P_{DESC} * D_{AUT}}{MPD}\right)\right] \quad \textbf{(21)}$$

Donde

$$n_{INV} = \ Eficiencia\ del\ Inversor$$

$$\eta_{Temp} = \ Eficiencia\ por\ temperatura$$

$$n_{REG} = \ Eficinecia\ del\ Regulador$$

$$n_{BAT} = \ Eficinecia\ de\ Batería$$

$$n_{AC} = \ Eficinecia\ de\ Cables\ AC$$

$$n_{DC} = \ Eficinecia\ de\ Cables\ DC$$

$$n_{SS} = \ Eficinecia\ de\ Suciedad\ y\ Sombra$$

$$n_{OI} = \ Eficinecia\ de\ Orientación\ e\ Inclinación$$

$$n_{MM} = \ Eficinecia\ de\ interconectado\ (MISS\ MATCH)$$

$$P_{DESC} = \ Pérdida\ por\ Descarga\ de\ Baterías$$

$$D_{AUT} = \ Días\ de\ Autonomía$$

$$MPD = \ Máxima\ Profundidad\ de\ Descarga$$

Calculamos:

$$PR = (0.9 * 0.8785 * 0.98 * 0.95 * 0.99 * 0.99 * 0.96 * 0.97 * 0.98) * \left[1 - \left(\frac{0.005 * 3}{0.7}\right)\right]$$

$$PR = 65.70\ \%$$

3.1.18 Elementos de protección

3.1.18.1 Breakers en corriente continúa

Los elementos de protección en corriente continua son de vital importancia evitando el daño desde módulos fotovoltaicos, conductores, elementos electrónicos como regulador e inversor es por eso que deben cumplir con especificaciones técnicas que aseguren la correcta protección del sistema evitando daños al ser humano. Al estar conectados nuestros paneles en paralelo por medio de conectores especiales hacia la caja de elementos se conoce que la corriente de cortocircuito en paralelo se duplicará llegando a superar los 25 A es por eso que se colocó una caja de paso con una protección de alta definición de 25 A MARCA Schneider Electric IC60N.

3.1.18.2 Sistema de Puesta a Tierra

Los sistemas de puesta a tierra están diseñados para evitar que el ser humano sea sometido a descargas fuertes ante contactos eléctricos superando los umbrales que soporta el cuerpo humano, tiene como objetivo garantizar la seguridad de las personas, proteger las instalaciones y equipos eléctricos y generar un circuito de falla permitiendo la apertura de elementos de protección.

Al ser una instalación en baja tensión todos los tomacorrientes y circuitos electrónicos están conectados a tierra mediante una varilla de acero recubierta con cobre de 16 milímetros de diámetro y con longitud de 1.8 metros y con un conductor de puesta a tierra de No. 8 AWG de cobre (Poveda et al., 2018).

3.2 PVSYST PHOTOFOLTAIC SOFTWARE

Dados los escenarios futuros, las fuentes de energía renovables, en particular la tecnología fotovoltaica, se desarrollarán rápidamente. Esto debe hacerse de manera sostenible utilizando las mejores soluciones técnicas económicas.

Es fundamental desarrollar la tecnología fotovoltaica de forma óptima y fiable. Persiguiendo este objetivo, el software PVsyst es una herramienta que permite a su usuario analizar con precisión diferentes configuraciones y evaluar los resultados e identificar la mejor solución posible.
El equipo de PVsyst se compromete a desarrollar el software de manera que garantice su sostenibilidad.

El desarrollo de la tecnología fotovoltaica depende de la existencia de un gran grupo de profesionales altamente cualificados. Para satisfacer las necesidades de ingenieros profesionales cualificados, PVsyst ofrece formación específica sobre tecnologías fotovoltaicas y el software PVsyst. Las energías renovables son de gran importancia para el planeta y los países en desarrollo: apoyaremos proyectos energéticos que estén enfocados a la adquisición de autonomía (PVsyst, 2019).

3.3 Simulación en el SOFTWARE PVSYST 7.0

El software PVsyst es un software que nos ha ayudado de manera eficiente, óptima y confiable al momento de simular nuestro sistema fotovoltaico autónomo con múltiples funciones y características que nos ayudan a tener más detalles de radiación, funcionamiento, pérdidas, entre otros.

El software nos ha proporcionado el diseño del sistema mediante la potencia deseada o el área disponible introduciendo datos de cantidad de elementos, potencias unitarias, horas de funcionamiento, un horario de 24 horas para especificar las cargas que se van a usar, así como los días que funcionara el sistema. Podemos también posicionar los módulos fotovoltaicos en orientación y ángulos óptimos para la generación con la opción de escoger si la simulación será en temporada de invierno o verano, se puede colocar la opción de sombreado que nos ayuda cuando el sistema generador posee obstáculo para la recepción de la irradiancia al panel. En nuestro caso es una edificación que no tiene obstáculos alrededor lo cual se aprovecha mucho más la generación.

El sistema nos exige un punto geográfico para determinar la cantidad de radiación, temperatura, radiaciones global, difusa, normal de manera automática por medio del programa Meteonorm 7.2 para realizar el procedimiento de simulación, los datos también pueden ser exportados desde otra plataforma de radiación como POWER NASA o PVGIS. En nuestro caso hemos exportado nuestros datos mediante PVGIS para una mejor simulación y comparación con los datos analíticos realizados.

Para el dimensionamiento de los módulos fotovoltaicos el programa posee un amplio catálogo de elementos con todo tipo y características como son marca, potencia, voltajes, tipo de panel ya sea mono cristalino o poli cristalina con las características de voltajes y corrientes necesarias para el dimensionamiento. Con respecto a regulador de carga o controlador tiene un gran catálogo y nos ayuda a ver la cantidad de reguladores en serie o paralelo que se pueden utilizar con la frecuencia requerida sea 60 HZ o 50 HZ. Se puede escoger el diseño de strings para los módulos fotovoltaicos, es decir, poder armar el conjunto PV en serie o paralelo con los módulos que sean posibles dándonos también un cuadro de visualización de los voltajes y corrientes en cada string.

El software posee un sistema de mensajes de advertencia o errores previos a la simulación, así como recomendaciones y observaciones cada que el sistema esté sobredimensionado o muy limitado, una vez realizada la corrección de fallas u observaciones simulamos dándonos la opción guardado automático. El software proporciona un informe detallado de todos los aspectos considerados en la simulación como son:

Orientación e inclinación del sistema fotovoltaico

Características del conjunto de módulos, Capacidad del sistema acumulador y Características del regulador de carga o controlador.

Cuadro de consumo de carga

Diagrama de barras de Proporción de rendimiento PR

Balances y resultados de radiación anual

Diagrama de entrada/salida diaria

Diagrama de pérdidas durante todo el año

Energía incidente de referencia en el plano colector

Distribución de irradiación incidente

Distribución diaria del estado de carga

El Software ha resultado de gran ayuda para el dimensionamiento, simulación y comparación con los datos analíticos calculados teniendo resultados positivos.

CAPITULO IV

4.1 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO AISLADO

4.1.1 Punto Geográfico de la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar

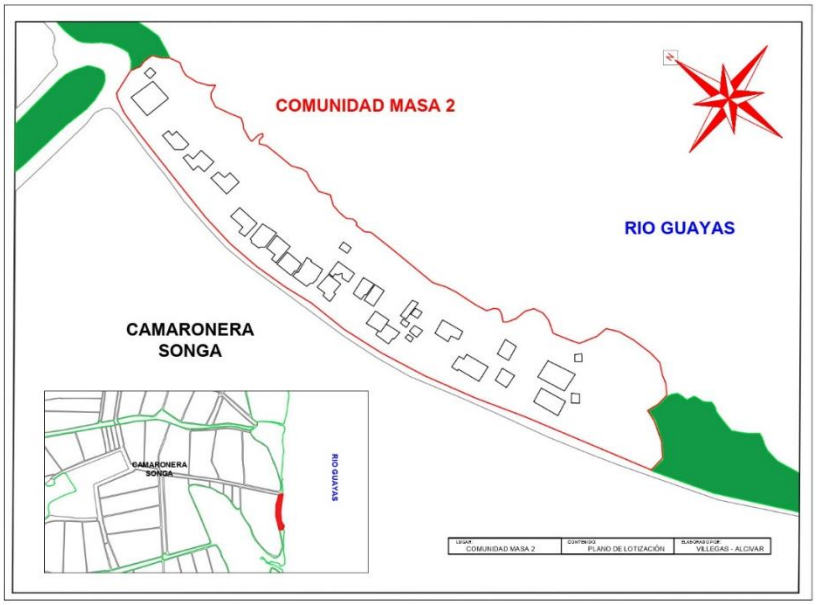


Fig. 37 Punto geográfico de la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar

4.1.2 Plano Arquitectónico de la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar

4.1.2.1 Vista Frontal del Plantel

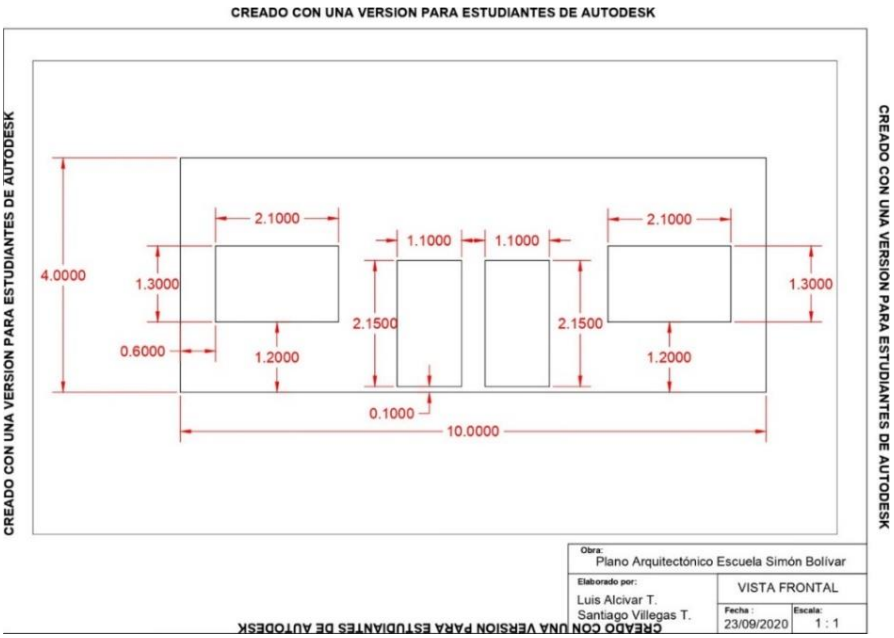


Fig. 38 Vista frontal del plantel

4.1.2.2 Vista Lateral Izquierda del Plantel

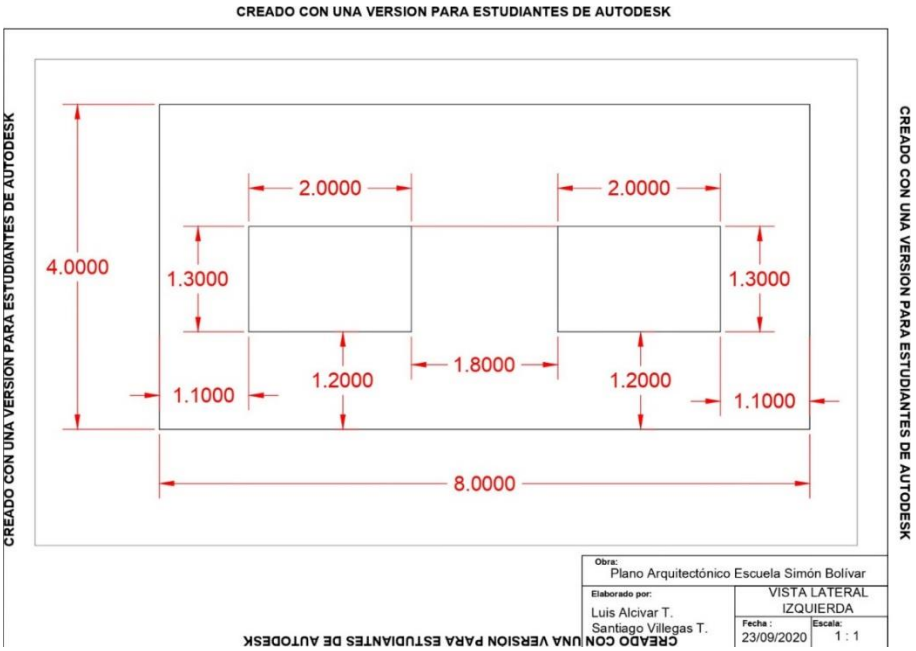


Fig. 39 Vista lateral izquierda del plantel

4.1.2.3 Vista Lateral Derecha del Plantel

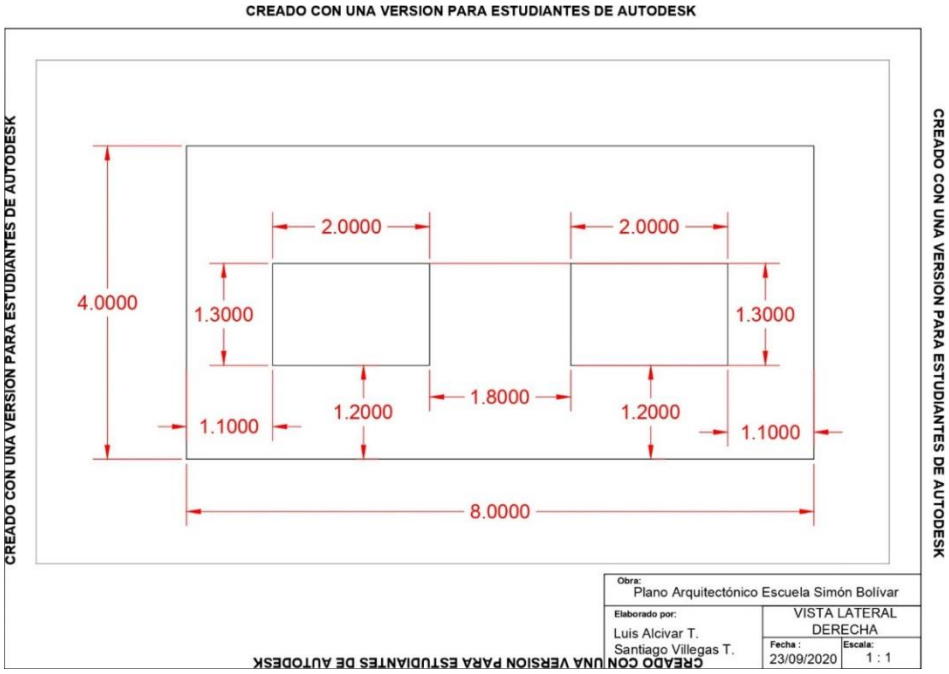


Fig. 40 Vista lateral derecha del plantel

4.1.2.4 Vista Posterior del Plantel

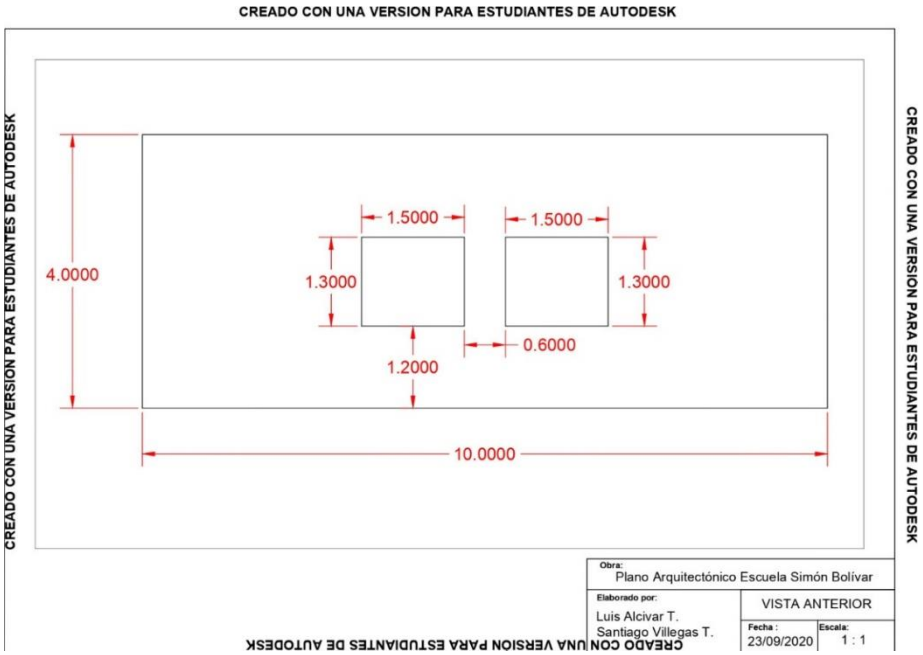


Fig. 41 Vista posterior del plantel

4.1.2.5 Vista Superior del Plantel

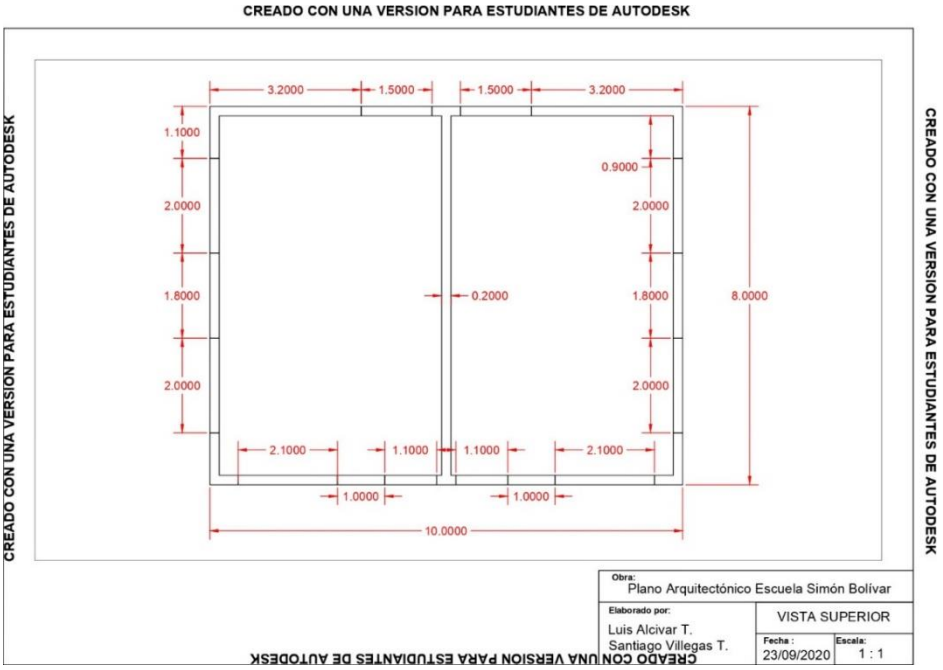


Fig. 42 Vista superior del plantel

4.1.3 Diseño de la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en AutoCAD 3D

Fig. 43 Diseño de la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar en AutoCAD 3D

4.1.4 Diseño del Sistema Fotovoltaico del Plantel en AutoCAD 3D

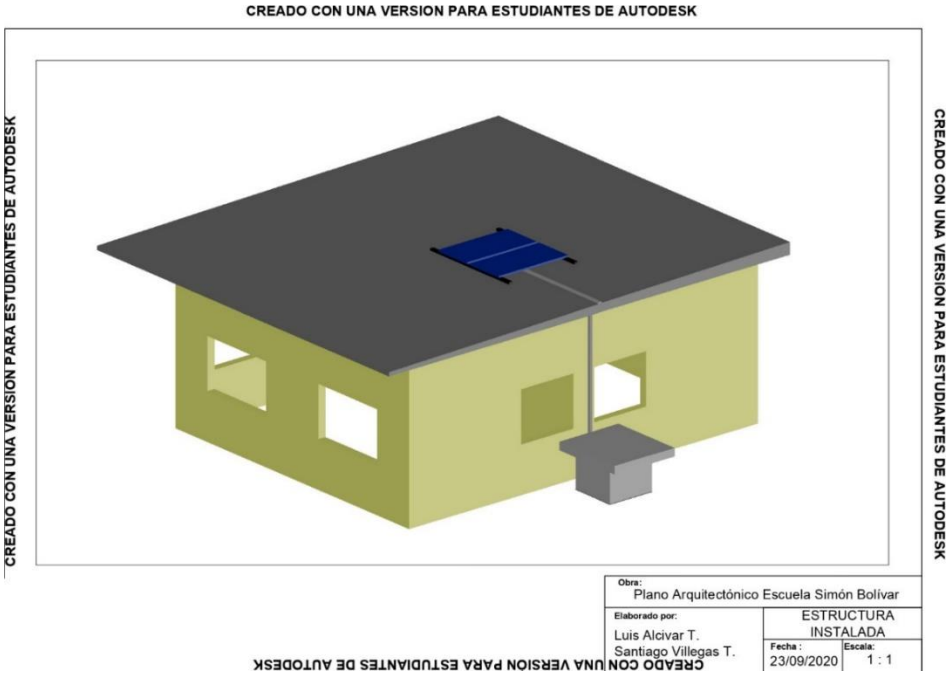


Fig. 44 Diseño del sistema fotovoltaico del plantel en AutoCAD 3D

4.1.5 Plano Eléctrico de Iluminación y Tomacorriente

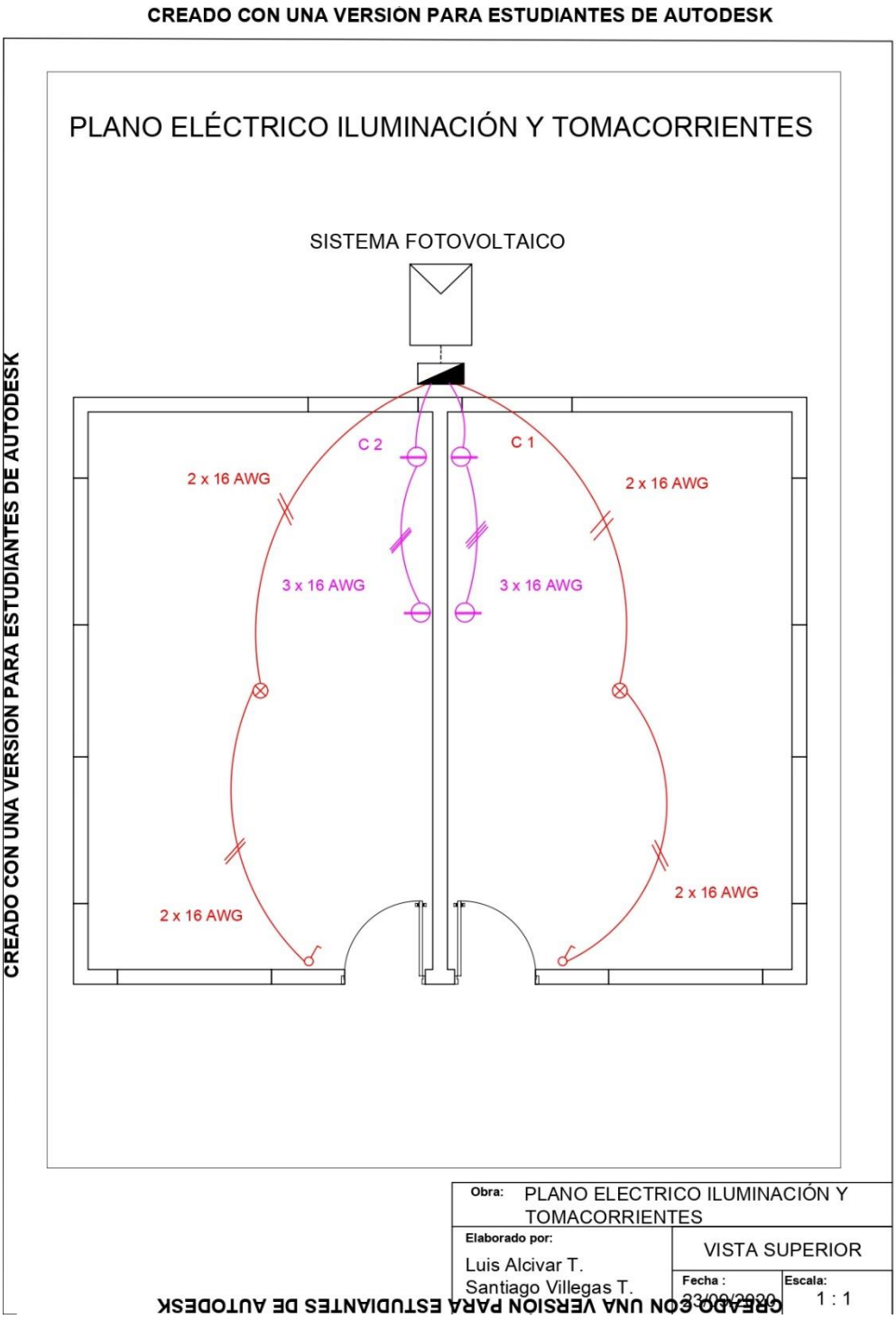


Fig. 45 Plano Eléctrico de Iluminación y Tomacorriente

4.1.6 Diagrama Unifilar del Sistema Fotovoltaico Aislado

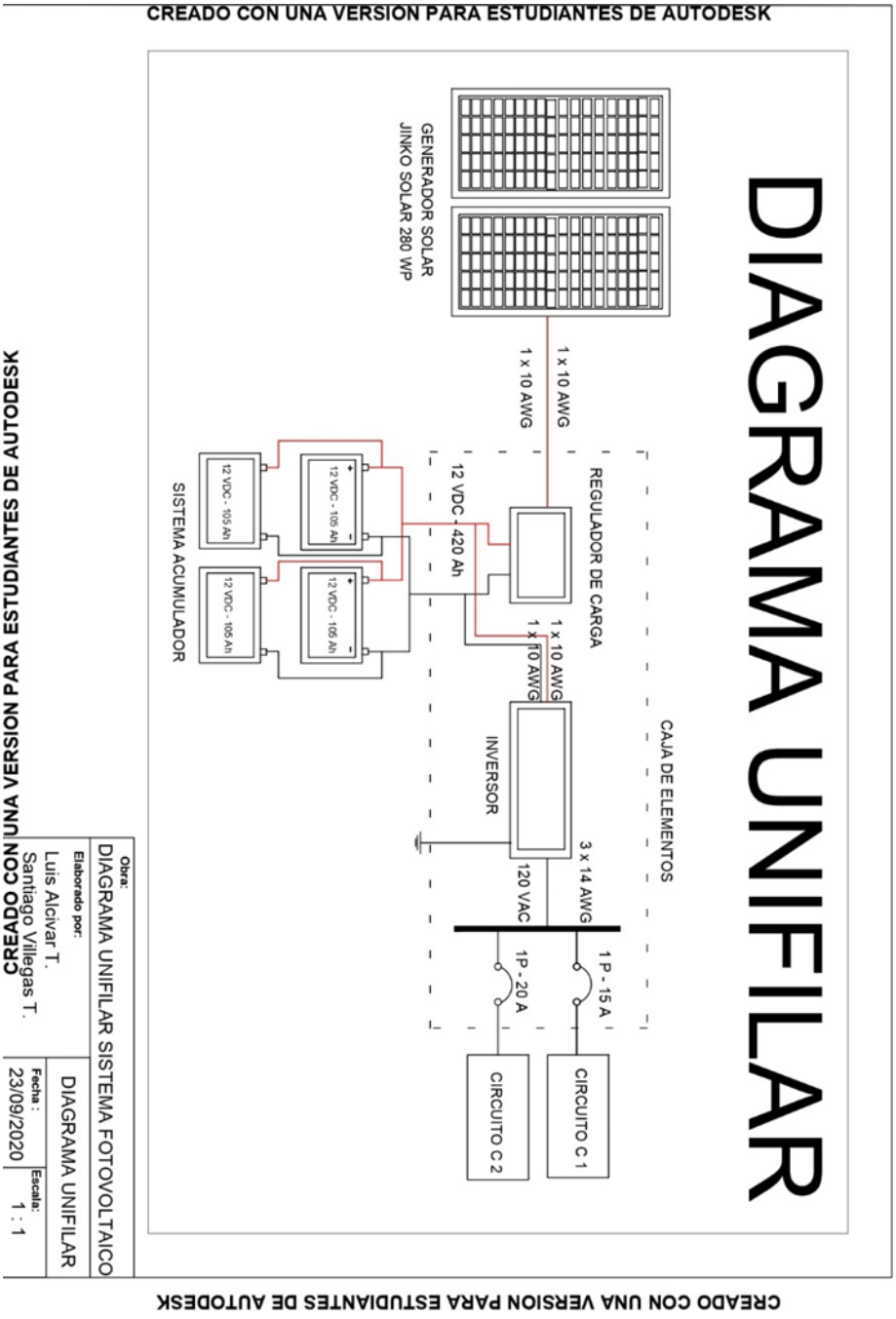


Fig. 46 Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico aislado

4.1.7 Informe Técnico del Montaje e Instalación del Sistema Fotovoltaico

4.1.7.1 Diseño, Montaje de la Estructura y Paneles Solares

Se diseñó una estructura metálica que servirá de soporte a los paneles solares que están situados en el tejado del plantel, dicha estructura está construida con dos perfiles perforados de hierro con 2.45 m de longitud, 0.5 mm de espesor y 3.5 cm de ancho los mismos que cuenta con una protección de pintura anticorrosiva a prueba de temperatura, humedad y salinidad.

Cada perfil cuenta con 4 ángulos metálicos de 15 cm distribuidos equitativamente al peso de los paneles los mismos que están sujetos con pernos de ¼ para elevar los perfiles a 10 cm evitando el contacto directo del panel con el tejado. Para la sujeción de cada panel a los perfiles se hace uso de cuatro ángulos metálicos de 3 cm en cada esquina del panel sujetándolos con pernos de ¼ evitando el desplazamiento horizontal de los paneles.

La estructura metálica para los paneles solares fue montada en el tejado del plantel a unos 4 metros de altura con la ayuda de una escalera telescópica, la estructura está sujeta al tejado con 16 pernos auto perforantes adicionando un recubrimiento de silicón negro para evitar el ingreso de agua.

En primer lugar, se instaló uno de los perfiles con 8 pernos auto perforantes, conociendo las dimensiones del panel solar se calculó la distancia necesaria para colocar el otro perfil de manera correcta, finalmente se aseguró el perfil con los pernos auto perforantes restantes.

Fig. 47 Estructura de Soporte Paneles Solares (Villegas y Alcívar, 2020)

Se analizó que el tejado del plantel tiene una inclinación de 5 grados aportando de manera positiva a la inclinación óptima del panel solar como se demostró analíticamente tomando en consideración que dicha inclinación aporta como caída ante lluvia, suciedad u otros factores que interfieran con la captación de radiación solar.

Para la conexión de los paneles solares en paralelo se utilizó conectores dobles MC4 de 2 a 1 con 10 metros de cable #10 AWG resistente a altas temperaturas, para evitar el desgaste por factores ambientales se decidió colocar tubo conduit de 1 pulgada sujetada a la pared con abrazaderas y tornillos hasta llegar a la caja de elementos.

Fig. 48 Estructura de Paneles Solares instalada (Villegas y Alcívar, 2020)

4.1.7.2 Diseño, Montaje e Instalación de la Caja de Elementos

Se diseñó una estructura metálica cuadrada que servirá como caja de elementos para alojar los componentes eléctricos y electrónicos del sistema fotovoltaico protegiéndolos de factores ambientales. La caja de elementos se construyó con perfiles perforados de hierro con 2.45 m de longitud, 0.5 mm de espesor y 3.5 cm de ancho, las dimensiones de la caja son de 80 x 80 x 80 cm adicionando una tapa de 80 x 80 cm sujetada con tres bisagras y pernos de ¼ para toda la estructura.

Las paredes de la caja de elementos están construidas con láminas metálicas de 3 m de largo x 1.25 de ancho y 2 mm de espesor, se recortó la lámina metálica con las medidas necesarias de cada lado para cubrir la parte externa de la caja incluyendo la tapa.

Internamente en cada lado de la caja se colocó un aislante térmico conocido como lana de vidrio utilizada comúnmente en sistemas de acondicionamiento y refrigeración, Se procedió a recortar nuevamente la lámina metálica con las medidas internas de la caja para sujetar el aislante térmico adicionando espuma aislante térmica en cada esquina de la caja para evitar el ingreso de calor o humedad.

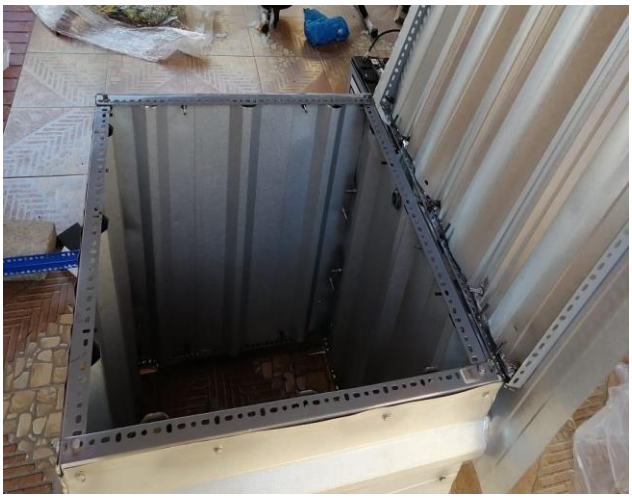


Fig. 49 Caja de Elementos (Villegas y Alcívar, 2020)

En la parte posterior de la caja se colocaron dos codos de 1 pulgada para tubo conduit que servirán para la entrada de los conductores provenientes de los paneles solares en la parte superior y como salida hacia la instalación interna del plantel en la parte inferior.

La caja de elementos fue montada en la parte posterior del plantel sujetada internamente por pernos de anclaje por motivos de seguridad o manipulación por terceros.

En el interior de la caja de elementos se colocó el regulador de carga e inversor sujetos a rieles de anclaje de 30 cm con pernos de 1/8 y luego montarlos mediante pernos auto perforantes a las paredes de la caja. Adicionalmente se colocó una caja de conexión para la protección del sistema generador y el centro de carga monofásica sujetos con pernos auto perforantes, y el sistema de acumulador situado en la parte inferior de la caja de elementos.

Fig.50 Caja de elementos (Villegas y Alcívar, 2020).

4.1.7.3 Instalación de Elementos Electrónicos

4.1.7.3.1 Instalación de Regulador de Carga o Controlador

El controlador de carga está sujeto a rieles de anclaje de 30cm con pernos de 1/8 y montado mediante pernos auto perforantes a las paredes de la caja.

El Regulador de Carga utilizado es un Smart Solar Charge Controllers, marca Victron Energy Blue Power y modelo MPPT 100/30 con las siguientes características:

Permite la selección automática de tensión nominal hacia baterías a 12 o 24 V

Posee un seguimiento ultrarrápido del punto de máxima potencia denominada MPPT para efectos de nubosidad mejorando la recogida de energía hasta en un 30% y al tener efectos de nubosidad parcial utiliza un algoritmo que maximiza la recogida de energía en dos o más puntos de máxima potencia escogiendo el más eficaz.

Posee protecciones electrónicas para sobre temperatura y reducción de potencia en casos de alta temperatura, protecciones contra cortocircuito y polaridad inversa de voltaje y corrientes en los paneles solares.

El controlador está configurado con procesos de carga adaptativa en 3 fases, la fase Inicial donde el controlador suministra tanta corriente de carga como le es posible para recargar las baterías rápidamente, la fase de Absorción se da cuando las baterías están cargadas en su totalidad y el controlador cambia a modo de tensión constante hasta que ocurre una descarga superficial acortando el tiempo de absorción evitando una sobrecarga de la batería, al ser una descarga profunda el tiempo de carga de absorción aumenta automáticamente para garantizar una recarga completa de la batería.

La fase de Flotación se da cuando el controlador aplica una tensión para mantener la batería completamente cargada, cuando la tensión de batería cae por debajo de la tensión de flotación durante 1 minuto se inicia un nuevo ciclo de carga.

El Regalador de carga se instaló de manera horizontal con los terminales de conexión hacia abajo como lo dicta el manual, se utilizó un cable #10 AWG con terminales y se debe seguir una secuencia de conexión de cables para evitar la polaridad invertida, sobrecalentamiento y daño del equipo.

Primero se procedió a conectar la batería en los terminales del controlador y finalmente la conexión del conjunto de paneles solares.

Fig. 51 Regulador de carga (Villegas y Alcívar, 2020).

4.1.7.3.2 Instalación de Sistema Acumulador

El Sistema Acumulador está situado dentro de la caja de elementos con la función de proteger las baterías ante factores medio ambientales como lluvia, humedad, ente otros que llegan afectar su vida útil y reducen su capacidad de carga. Las baterías fueron colocadas encima de una

base de madera de 3 cm de espesor forrada con plástico y un caucho resistente de 5 cm de espesor para evitar la descarga de la batería al suelo.

La batería utilizada es Marca Bosch estacionaria de ciclo profundo, modelo P5200 de tipo sellada con una capacidad de 105Ah y sus bornes son roscados para utilizar tuerca. Las dimensiones son de 330mm de largo, 172 mm de ancho y 240mm de alto, con estas medidas se diseñó la base de madera de 60 cm de ancho x 60 de largo teniendo el espacio suficiente para aumentar la capacidad del sistema acumulador.

Las baterías están conectadas en paralelo formando un banco de baterías de 12 v a 420 Ah unidos por puentes, los mismos que son cables #4 AWG con terminales tipo ojo aislados con cinta auto fundente para mejor aislamiento y se colocó protector de baterías en spray para evitar el sulfato en los bornes.

Fig. 52 Sistema Acumulador en Paralelo (Villegas y Alcívar, 2020)

4.1.7.3.3 Instalación del Inversor

El Inversor utilizado es un Phoenix Inverter VE.Direct, marca Victron Energy Blue Power y modelo 12 / 500 VA con las siguientes características:

Es un equipo totalmente configurable con niveles de disparo de alarma y restablecimiento por baja tensión de batería, niveles de desconexión y reinicio con baja tensión de batería.

Tensión de salida de 120 hasta 210 Voltios a una frecuencia de 50 o 60 Hz.

El inversor posee protecciones contra cortocircuitos y sobrecalentamiento ya sea por una sobrecarga o temperatura ambiente elevada.

Pose tres puntos de funcionamiento que son ON donde el equipo trabaja de manera permanente, OFF para la desconexión del equipo y ECO donde el equipo se pondrá en espera cunado la carga descienda por debajo de un valor determinado, activándose en intervalos de segundos comprobando si la carga ha aumentado. El equipo se instaló de manera horizontal como lo dicta el manual para un mejor rendimiento y centrado en la pared de la caja de elementos evitando la obstrucción de paso de aire al inversor, dejando un espacio de 10cm alrededor del mismo.

El Inversor está sujeto a rieles de anclaje de 30cm con pernos de 1/8 y montado mediante pernos auto perforantes a las paredes de la caja.

La alimentación del Inversor es de 12 v tomados del sistema acumulador por medio de cables #10 AWG respetando estrictamente la polaridad caso contrario resultaría en daño del equipo y el cable del sistema de puesta a tierra va tendrá la misma sección, recomendación brindada por el fabricante.

Fig. 533 Inversor (Villegas y Alcívar, 2020).

4.1.7.3.4 Instalación de Centro de Carga

Se colocó un Centro de Carga sujeto mediante pernos auto perforantes a una de las paredes de la caja de elementos cerca del Inversor donde se tomará la alimentación. Se energizó el Centro de Carga mediante un conductor #10 AWG de 3 hilos para fase, neutro y tierras provenientes de la salida del Inversor por medio de un enchufe.

El Centro de Carga está diseñada para una alimentación monofásica de 120 V a 60 Hz con dos circuitos:

- El circuito número 1 para la conexión de iluminación a los dos cursos del plantel con un disyuntor de 15 A.
- El circuito número 2 para la conexión de tomacorrientes a los dos cursos del plantel con un disyuntor de 20 A.

Fig. 54 Centro de Carga 120 V - 60 HZ (Villegas y Alcívar, 2020)

4.1.7.3.5 Elementos para Instalación Interna del Plantel

Para la instalación interna de la iluminación y tomacorrientes se necesitó lo siguiente:

1 caja de conexión de 130 x 100 x 70 mm donde se encontrarán los conductores provenientes del circuito 1, circuito 2, neutro y tierra, la misma que se encuentra detrás de la caja de elementos sujeta a la pared del plantel mediante tacos Fisher y tornillos.

Fig. 55 Caja de conexión (Villegas y Alcívar, 2020)

2 cajas de paso de 85 x 85 x 50 mm para los dos cursos del plantel donde se encontrarán los conductores provenientes del circuito 1, circuito 2, neutro y tierra, las mismas que están sujetas a la pared del plantel mediante tacos Fisher y tornillos.

Fig. 56 Caja de paso externa (Villegas y Alcívar, 2020)

Las cajas mencionadas anteriormente se encuentran en la parte externa del plantel donde se realizó una perforación en la pared de cada curso con una broca de ¾ para cemento y poder ingresar los conductores al interior de cada curso y realizar el cableado interno donde se necesitó:

2 cajas de paso de 85 x 85 x 50 mm para los dos cursos del plantel donde se encontrarán los conductores del circuito 1, circuito 2, neutro y tierras provenientes de las cajas de paso externas las mismas que están sujetas a la pared del plantel mediante tacos Fisher y tornillos.

Fig. 57 Caja de paso interna (Villegas y Alcívar, 2020)

Se utilizaron 5 m de canaleta blanca en cada curso para los circuitos de tomacorriente y 6m de canaleta blanca en cada curso para los circuitos de iluminación.

Se adquirió 4 tomacorrientes, 2 interruptores, 2 boquillas, 2 focos de 15w tipo ahorrador led y un rollo de cable #12 AWG.

4.2 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

PRESUPUESTO

Fecha: 20 / 08 / 2020
Precio total: $ 3,069.49
Nº presupuesto: *0001*

DESCRIPCIÓN DE LA REFORMA Y PRESUPUESTO: Proyecto Comunidad Masa 2 - Diseño e Implementación de Sistema Fotovoltaico Aislado para la Escuela de Educación Básica Simón Bolívar

ID	DESCRIPCIÓN	UDS	PRECIO	TOTAL
1	Panel MD094 - JINKO SOLAR JKM280PP-60,280Wp 24Vdc nominal 24 V 280 W	2	$ 207.07	$ 414.14
2	Regulador RP044 - Victron Energy Blue Solar MPPT 100/30 (12/24V-30A) SCC010030200 12 /24 V 30A	1	$ 382.73	$ 382.73
3	IN074 - Victron Energy Phoenix Inverter 12/500 120V VE.Direct NEMA 5-15R PIN125010500 12V 500 VA	1	$ 393.75	$ 393.75
4	Batería Bosch P5 S200 Ciclo Profundo	4	$ 265.00	$ 1,060.00
5	Estructura de Soporte para paneles solares	1	$ 70.00	$ 70.00
6	Caja Metálica de Elementos	1	$ 300.00	$ 300.00
7	Material eléctrico para instalación interna (cable, cajas de conexión,interruptores,tomacorrientes,focos,canaleta,disyuntores)	1	$ 90.00	$ 90.00
8	Centro de Carga 127/240 V - 60Hz	1	$ 30.00	$ 30.00

SUBTOTAL	$ 2,740.62
IVA	0.12
IMPORTE IVA	$ 328.87
TOTAL	**$ 3,069.49**

CONCLUSIONES

Mediante este proyecto de titulación se determinó que el sol es una fuente inagotable de recursos para los seres humanos, por tanto, es una alternativa sustentable para generar energía limpia que permite aprovechar ventajas tanto económicas como ecológicas. Las necesidades eléctricas que la institución requiere para mejorar la calidad en la educación y aprendizaje de los estudiantes fueron analizadas mediante el cálculo de la potencia nominal en base a la energía de consumo máximo diario y la potencia pico para determinar la cantidad de paneles fotovoltaicos en serie y paralelo.

Se concluyó que los paneles al estar en una orientación e inclinación óptima aprovechan toda la radiación solar, también se determinó que el inversor es suficiente para la potencia nominal de cada aparato eléctrico; es importante recalcar que la cantidad de baterías en serie y paralelo soportan de manera efectiva toda la carga en las horas de consumo establecidas y que el regulador es el correcto en voltaje y corriente para compensar la descarga de las baterías.

Por último, se determinó que el sistema fotovoltaico aislado puede aprovechar eficientemente la radiación con elementos ideales para su instalación en el sitio, ya que los cálculos y dimensionamiento de manera analítica corroboran la simulación con resultados positivos.

REFERENCIAS

Abella, M. (2015). Master en Energías Renovables y Mercado Energético Energía Solar Fotovoltaica Escuela de Organización Industrial Sistemas Fotovoltaicos. Ciemat, pp. 1–59.

Abella, M. (2017). Dimensionado de sistemas fotovoltaicos. *CIEMAT*, *1*(1), 73.

Aguirre, Daniel. (2006). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación Previo a la obtención del Título de : INGENIERO EN ELECTRICIDAD , ESPECIALIZACIÓN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL.

Alvares Orlando, M. y Montano Thuesman, Q. (2013). La radiación solar global en la región sur del Ecuador. Reanálisis de la nubosidad diurna. no. November. doi: 10.13140/RG.2.1.4101.9282.

Arrieta Paternina, M., Olmos Villalba, L., Izquierdo Nuñez, J y Álvarez López, R. (2012). Diseño de prototipo de sistema solar fotovoltaico optimizando el ángulo de inclinación de los paneles solares. Prospectiva, vol. 10, no. 1, pp. 97–107. doi: 10.15665/rp.v10i1.401.

[Características - PVSyst]. (Sin fecha). Obtenido de: https://www.pvsyst.com/features/. [Accessed: 16-Feb-2020].

Carreras, M. (2019). Instalaciones solares fotovoltaicas. Módulos fotovoltaicos (ISF). Editex. Madrid. pp. 71-72.

Castro, R. (2009). Introdução à Energia Eólica, Energias Renováveis e Produção Descentralizada. Energias Renov. e Produção Descent., vol. 2009, no. edição 4, p. 94.

CCEEA. (2019). Efecto de las sombras en un sistema fotovoltaico. https://cceea.mx/blog/energia-solar-fotovoltaica/efecto-de-las-sombras-en-un-sistema-fotovoltaico

CIE. (2017). EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA RENOVABLE EN EL ECUADOR – CIE. Obtenido de: http://energia.org.ec/cie/el-desarrollo-de-la-energia-renovable-en-el-ecuador/. [Accessed: 09-Feb-2020].

Commission, E. (Sin Fecha). Comenzando con PVGIS | Centro de Ciencia de la UE. Obtenido de: https://ec.europa.eu/jrc/en/PVGIS/docs/starting. [Accessed: 18-May-2020].

Componentes de una instalación solar fotovoltaica. (2014).

CONELEC. (2008). ATLAS SOLAR DEL ECUADOR CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA Corporación para la Investigación Energética.

CONELEC. (2013). Aspects of Sustainability and Social and Environmental Sustainability, Master Plan Electrif. p. 380, 2013.

Díaz, N. G. (n.d.). ARTÍCULO 690 - SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS. Retrieved October 28, 2020, obtenido de https://www.academia.edu/11821375/ARTÍCULO_690_SISTEMAS_SOLARES_FOTOVOLTAICOS

Energetika. (2011). Curva I-V de un panel fotovoltaico. Obtenido de http://www.energetika.com.ar/Curva I-V.html

Enríquez, Bruno; Fernandez, Karolina;Gonzalez, R. (2007). Manual_de_Diseño_e_Instalacion_Sistemas_FV_eBook_V19-ES.pdf. Solar Energy International.

[Estimación radiación solar - CALCULATIONSOLAR BLOG]. (Sin Fecha), Obtenido de: http://calculationsolar.com/blog/?cat=2. [Accessed: 18-May-2020].

Fernández, I. (2018). Informática y Caracterización espectral del aumento de temperatura en células solares fotovoltaicas Máster Universitario.

Fernández, J. (1994). La energía de la biomasa. La energía la biomasa, no. 012, pp. 21–29. doi: 10.26439/ing.ind1994.n012.2791.

Gobierno de España. (2019). *Código técnico de la edificación*. https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/parte1.html

Hoyos, D., Villena, M., Serrano, V. H., Farfán, F., & Cadena, C. (2011). Controlador de carga para un sistema fotovoltaico aislado. Congreso Argentino de Sistemas Embebidos, 158–162.

IDAE. (2009). *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica*.

Ingeteam Power Technology. (2014). Inversores fotovoltaicos que están marcando hitos históricos. Energetica, XXI.

Lazo, N. (2019). CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA CON PANELES DE SILICIO DE AMORFO (CAPA FINA). INSTITUTO TECNOLÓGICO SUPERIOR VIDA NUEVA.

Monsolar. (2019). Orientación placas solares Este-Oeste.

https://www.monsolar.com/blog/orientacion-placas-solares-este-oeste/

Planas, O. (2015). Paneles de energía solar fotovoltaica. https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/baterias-solares

Poveda;, P. C. O. A. I. M. P. C. R. B. T. (2018). *Norma Ecuatoriana de la Construcción 2018*. 25. https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf

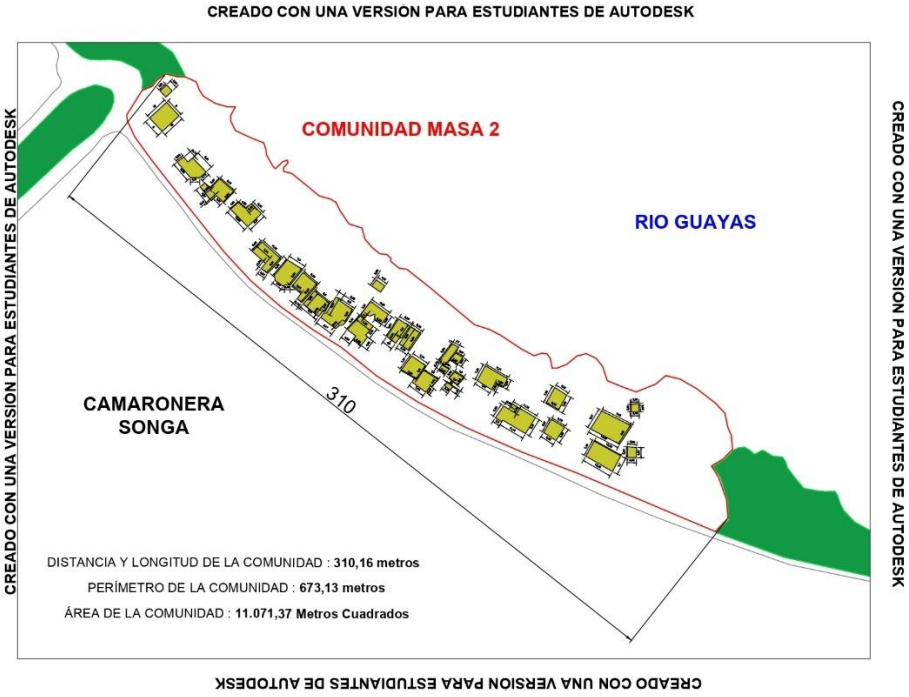
PVsyst. (2019). *Photovoltaic software*. https://www.pvsyst.com/about-us/

Sunfields. (2015). Tipos de Placas Solares | Según Tecnología y Aplicaciones. https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/tipos/#Paneles_Fotovoltaicos_monocristalinos

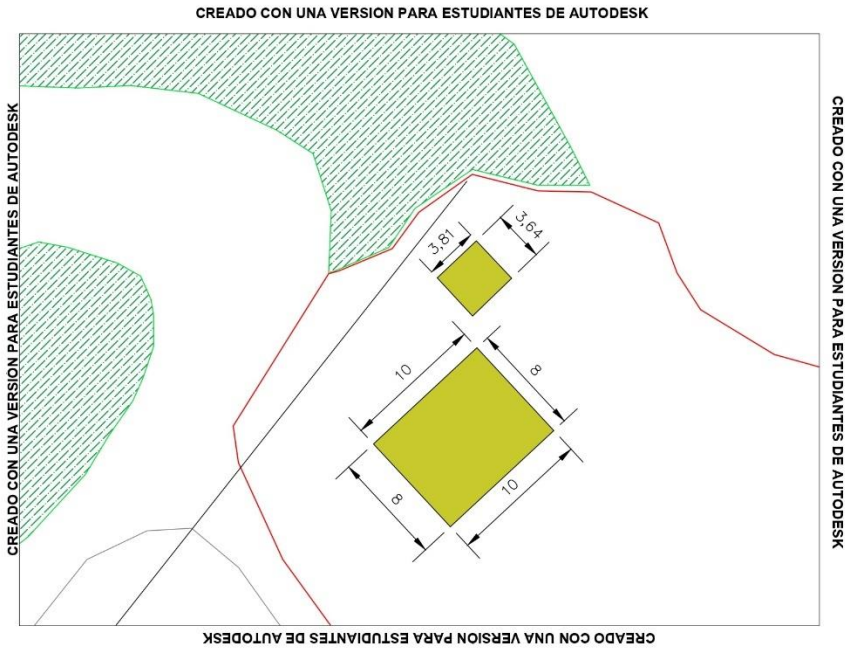
Udemy. (2020). *Diseño de Sistemas Fotovoltaicos Aislados de Red (Off-Grid).* | *Udemy*. https://www.udemy.com/course/tumundorenovable_instalacionesaisladas/learn/lecture/14439564#overview

Universidad Técnica Federico Santa María. (2014). Tecnología de las baterías Definición y Clasificación .www2.elo.utfsm.cl/~elo383/apuntes/PresentacionBaterias.pdf%5Cn

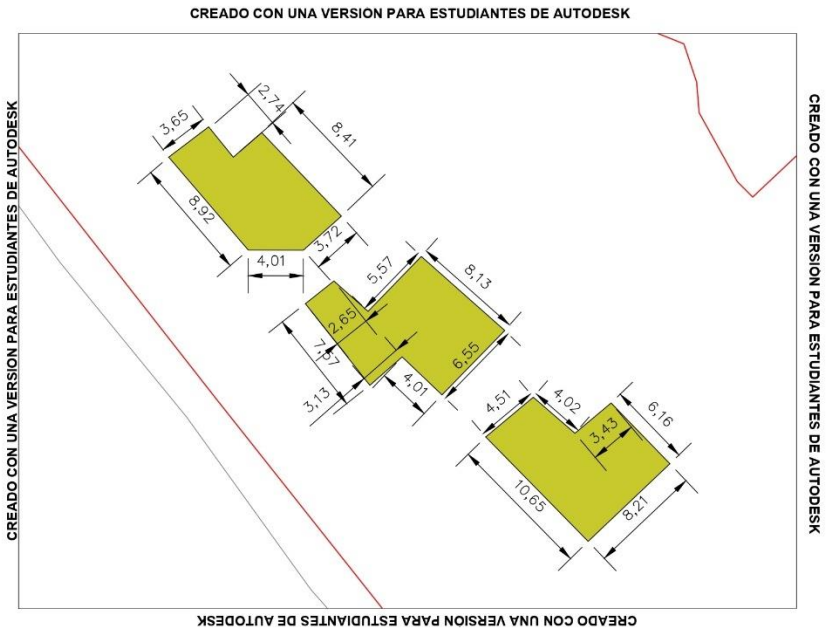
ANEXOS
ANEXO. 1 PLANO ARQUITECTÓNICO



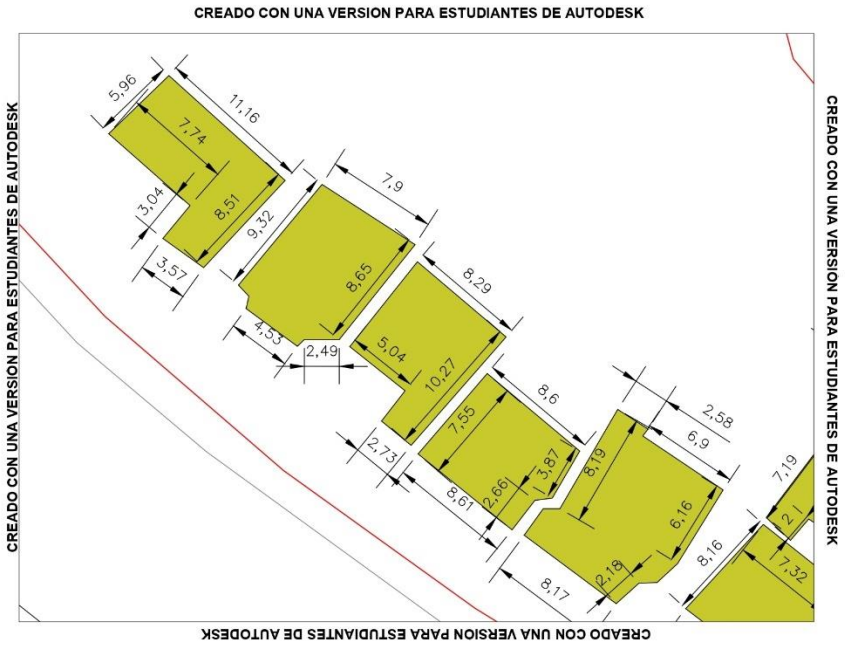
Toma 1 (Perímetro y Longitud de la Comunidad Masa 2)



Toma 2 (Perímetro y área Escuela de Educación Básica Simón Bolívar)



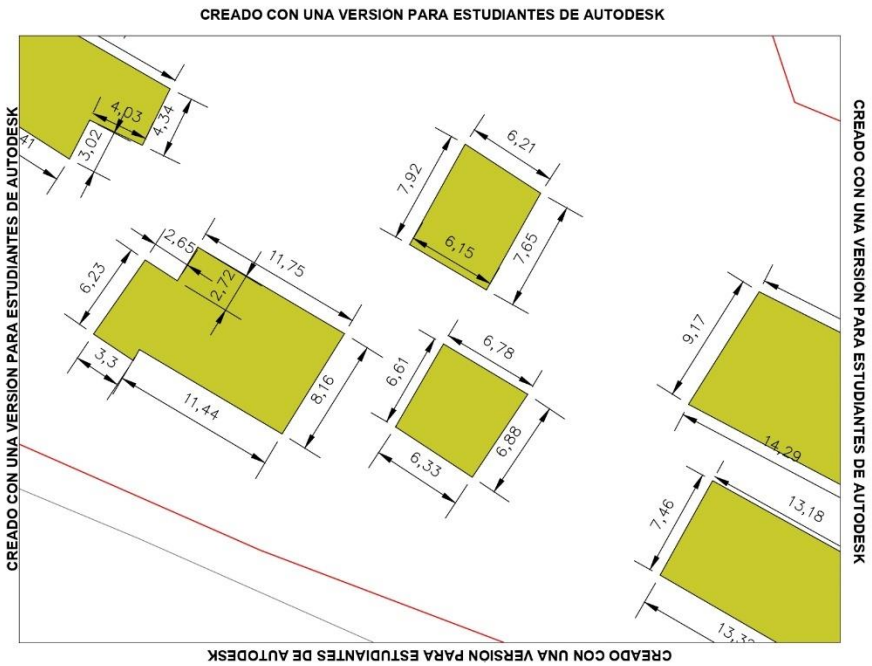
Toma 3 (Perímetro y área viviendas)



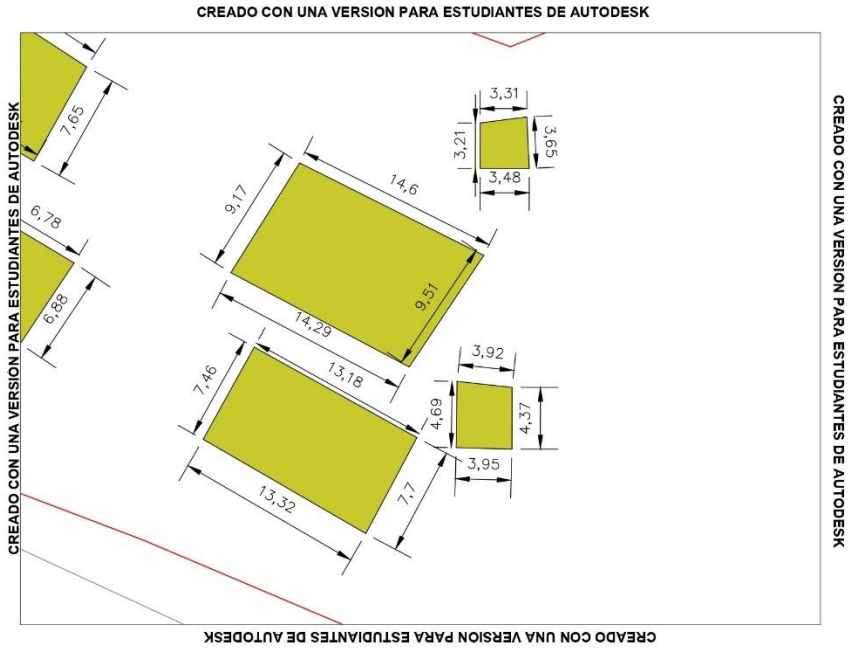
Toma 4 (Perímetro y área viviendas)

Toma 5 (Perímetro y área viviendas)

Toma 6 (Perímetro y área viviendas)



Toma 7 (Perímetro y área viviendas)



Toma 8 (Perímetro y área viviendas)

ANEXO. 2 DATOS DEMOGRÁFICOS EN LA COMUNIDAD MASA DOS

Familia 1		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Manuel Alejandro	Bonilla Bonilla	32
Ignacia Ángela	Zuñiga Ferrazola	36
Oscar Eduardo	Bonilla Zuñiga	16
Mike Damián	Bonilla Zuñiga	10
Daniela Alejandra	Bonilla Zuñiga	8

Familia 2		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
José Gabriel	Bonilla Rodríguez	29
Mercedes Yaneth	Espinoza Bohórquez	31
Adam Gabriel	Bonilla Espinoza	8
José Gabriel	Bonilla Espinoza	5

Familia 3		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Bayron José	Zuñiga Ferrazola	37
Cecilia de Jesús	Espinoza Bohórquez	32
Luis Enrique	Zuñiga Espinoza	9
José de Jesús	Zuñiga Espinoza	6

Familia 4		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Julio Alfredo	Espinoza Bohórquez	35
Carlos David	Mendoza Espinoza	27
Norma Angélica	Espinoza Bohórquez	13

Familia 5		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Manuel Enrique	Rodríguez Bonilla	47
Ana Josefina	Valverde Moncada	51
Francisco Javier	Soriana Valverde	14
Joel Leonardo	Rodríguez Valverde	8
Josué Manuel	Rodríguez Valverde	6
Ana Paula	Rodríguez Valverde	11

Familia 10		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Juan Carlos	Bonilla Zuñiga	33
Betsy Nayeli	Reina Herrera	27
Elkin Andrés	Mecías Reina	7
Carlos Damián	Bonilla Reina	4

Familia 11		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Gerardo Miguel	Bonilla Gainza	32
Rosa Ramona	Zuñiga Jiménez	28

Familia 12		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Kevin Rubén	Herrera Valverde	29
Roxana Marisol	Ferruzola Bonilla	32
Ketsia Paola	Herrera Ferruzola	8
Elvin Gilman	Herrera Ferruzola	5

Familia 13		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Sixto Amado	Ferrruzola Chalen	40
Viviana Marina	Bonilla Gainza	36
Jessica Verónica	Ferruzola Bonilla	16
Sonia Carolina	Ferruzola Bonilla	13
Fernando Javier	Ferruzola Bonilla	8

Familia 14		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Juan Lupo	Espinoza Ferruzola	32
Duval Michael	Espinoza Ferruzola	28
Andreina Sofía	Espinoza Ferruzola	10
Alejandro Josué	Espinoza Ferruzola	7

Familia 15		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
José Daniel	Bonilla Gainza	61

Familia 6		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Mario Enrique	Romero Bonilla	36
Ángela Mercedes	Reina Herrera	30
Shirley Vanessa	Romero Herrera	9
Ericka Virginia	Romero Reina	3
Ángelo Gregorio	Romero Reina	6

Familia 7		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Manuel de Jesús	Rodríguez Bonilla	41
Andrea Estefanía	Reina Herrera	38
Nixon Andrés	Rodríguez Reina	14
Erick de Jesús	Rodríguez Reina	7
José Andrés	Rodríguez Reina	4

Familia 8		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Ángela Cecilia	Bonilla Gainza	54

Familia 9		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
José Alfredo	Rodríguez Bonilla	24
Laura Isabel	Valverde Moncada	26
Carlos Alfredo	Rodríguez Valverde	11
Ronald Vicente	Rodríguez Valverde	7
Orlando Alfredo	Rodríguez Valverde	3

Familia 16		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Ariel Enrique	Bonilla Zúñiga	29
Heidy Nalleli	Torre Moreno	27
Heidy Estefanía	Bonillo Torre	7

Familia 17		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Manuel José	Rodríguez Zúñiga	36
Isabel Victoria	Bonilla Gainza	31

Familia 18		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Pepe Gerardo	Rodríguez Bonilla	37
Alejandra Lisbeth	Ceme Chevez	41

Familia 19		
Nombres	**Apellidos**	**Edad**
Gilson Miguel	Rodríguez Bonilla	34
Leiddy Alejandra	Chamaidan Alcívar	29

ANEXO. 3 SIMULACIÓN PVSYST

PVSYST 7.0.2				24/09/20	Página 1/9

Sistema independiente: Parámetros de simulación

Proyecto : **MASA 2**

Sitio geográfico	**MASA 2**		País	**Ecuador**
Situación	Latitud	-2.38° S	Longitud	-79.86° W
Tiempo definido como	Hora Legal	Zona horaria UT-5	Altitud	2 m
	Albedo	0.20		
Datos meteo:	**MASA 2**	Meteonorm 7.3, Sat=100% - Sintético		

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

	Fecha de simulación	24/09/20 14h55

Parámetros de simulación	Tipo de sistema	**Sistema independiente con baterías**		
Orientación plano de colector	Inclinación	5°	Azimut	0°
Modelos usados	Transposición	Perez	Difuso	Perez, Meteonorm
			Circunsolar	separado
Necesidades del usuario	Consumidores domésticos diarios	Constante durante el año		
	promedio	0.7 kWh/Día		

Características del conjunto FV

Módulo FV	Si-poly	Modelo	**JKMS280PP-60V Maxim**		
Base de datos PVsyst original		Fabricante	Jinkosolar		
Número de módulos FV		En series	1 módulos	En paralelo	2 cadenas
Número total de módulos FV		núm. de módulos	2	Unidad Nom. Potencia	280 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC)	**560 Wp**	En cond. de funcionam.	506 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp	28 V	I mpp	18 A
Área total		Área del módulo	**3.3 m²**	Área celular	2.9 m²

Parámetro del sistema		Tipo de sistema	**Sistema independiente**		
Batería		Modelo	**6Y9 - Starting**		
		Fabricante	Electrona		
Características del paquete de baterías		Núm. de unidades	4 en paralelo		
		Voltaje	12 V	Capacidad nominal	416 Ah
		Descarga mín. SOC	19.5%	Energía almacenada	4.0 kWh
		Temperatura	Temperatura ambiente exterior		
Controlador		Modelo	SmartSolar MPPT 100/30 12V		
		Fabricante	Victron		
		Tecnología	MPPT converter	Coef. temp.	-2.7 mV/°C/Elem..
Convertidor		Eficiencias máxi y EURO	98.0 / 96.0%		
Control de gestión de la batería		Comandos de umbral como	Voltaje de batería		
		Cargando	14.4 / 12.5 V	SOC corresp.	0.95 / 0.75
		Descarga	11.8 / 12.2 V	SOC corresp.	0.19 / 0.45

Factores de pérdida del conjunto FV

Factor de pérdida térmica		Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s
Pérdida óhmica en el cableado		Res. conjunto global	26 mΩ	Fracción de pérdida	1.5 % en STC
Pérdida diodos serie		Caída de voltaje	0.7 V	Fracción de pérdida	2.2 % en STC
Pérdida de calidad módulo				Fracción de pérdida	-0.8 %
Pérdidas de desajuste de módulo				Fracción de pérdida	1.0 % en MPP
Pérdidas de desajuste de cadenas				Fracción de pérdida	0.10 %
Efecto de incidencia, parametrización	ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parám. bo	0.05

Sistema independiente: Necesidades detalladas del usuario

Proyecto : **MASA 2**

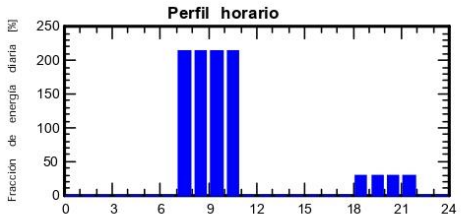
Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	**Sistema independiente con baterías**			
Orientación campo FV	inclinación	5°	azimut	0°	
Módulos FV	Modelo	JKMS280PP-60V Maxim	Pnom	280 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	2	Pnom total	**560 Wp**	
Batería	Modelo	6Y9 - Starting	Tecnología	Plomo-ácido, ventilado, arranqu	
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	**12 V / 416 Ah**	
Necesidades del usuario	Consumidores domésticos diarios	Constante durante el año	Global	256 kWh/año	

Consumidores domésticos diarios, Constante durante el año, promedio = 0.7 kWh/día

Valores anuales

Uso 5 días por semana	Número	Potencia	Uso	Energía
Lámparas (LED o fluo)	2	15W/lámpara	4H/día	120Wh/día
TV / PC / móvil	1	115W/apar.	4H/día	460Wh/día
Otros usos	1	100W tot	4H/día	400Wh/día
Energía diaria total				980Wh/día



Sistema independiente: Resultados principales

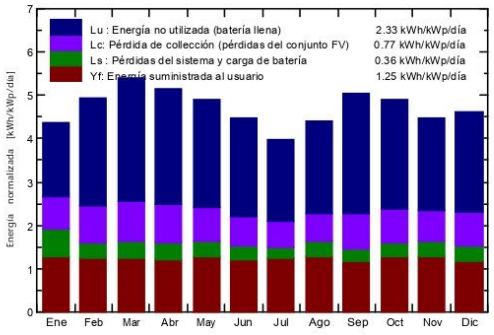
Proyecto : **MASA 2**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

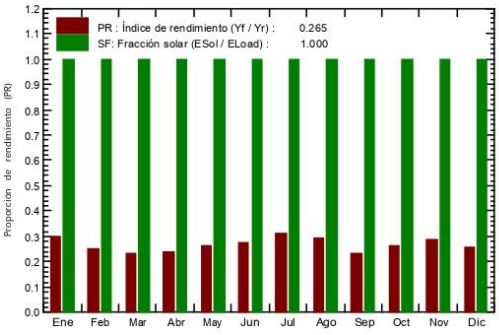
Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	**Sistema independiente con baterías**		
Orientación campo FV	inclinación	5°	azimut	0°
Módulos FV	Modelo	JKMS280PP-60V Maxim	Pnom	280 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	2	Pnom total	**560 Wp**
Batería	Modelo	6Y9 - Starting	Tecnología	Plomo-ácido, ventilado, arranqu
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	**12 V / 416 Ah**
Necesidades del usuario	Consumidores domésticos diarios	Constante durante el año	Global	256 kWh/año

Resultados principales de simulación				
Producción del sistema	**Energía disponible**	**793.9 kWh/año**	Prod. específica	1418 kWh/kWp/año
	Energía usada	255.8 kWh/año	Exceso (sin usar)	477.3 kWh/año
	Proporción de rendimiento (PR)	26.55 %	Fracción solar (SF)	100.00 %
Pérdida de carga	Fracción de tiempo	0.0 %	Energía faltante	0.0 kWh/año
Envejecimiento de la batería (Estado de desgaste)	Ciclos SOW	88.6%	SOW estático	79.4%
	Duración de vida de batería	4.9 años		

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 560 Wp



Proporción de rendimiento (PR) y Fracción solar (SF)



Nueva variante de simulación

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m²	GlobEff kWh/m²	E_Avail kWh	EUnused kWh	E_Miss kWh	E_User kWh	E_Load kWh	SolFrac proporción
Enero	139.1	130.7	62.00	29.57	0.000	22.54	22.54	1.000
Febrero	140.6	134.1	63.16	39.20	0.000	19.60	19.60	1.000
Marzo	167.2	162.0	76.27	48.69	0.000	21.56	21.56	1.000
Abril	152.0	149.6	70.58	44.37	0.000	20.58	20.58	1.000
Mayo	147.5	147.2	69.98	42.66	0.000	22.54	22.54	1.000
Junio	129.4	129.6	62.37	37.83	0.000	20.58	20.58	1.000
Julio	120.3	119.5	57.73	32.62	0.000	21.56	21.56	1.000
Agosto	134.5	132.4	63.96	36.68	0.000	22.54	22.54	1.000
Septiembre	150.9	147.2	70.35	46.64	0.000	19.60	19.60	1.000
Octubre	153.1	146.5	69.87	43.35	0.000	22.54	22.54	1.000
Noviembre	137.9	130.0	61.87	35.59	0.000	21.56	21.56	1.000
Diciembre	147.4	138.2	65.78	40.04	0.000	20.58	20.58	1.000
Año	1719.7	1667.2	793.92	477.25	0.000	255.78	255.78	1.000

Leyendas:

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

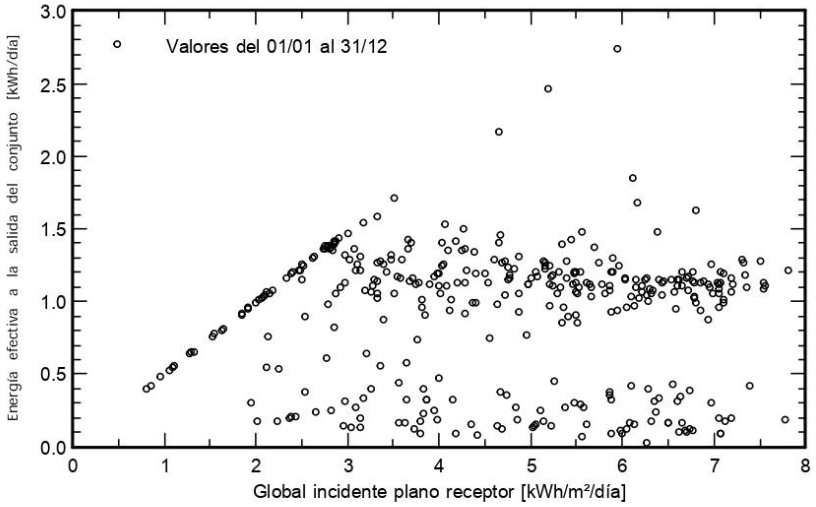
Sistema independiente: Gráficos especiales

Proyecto : **MASA 2**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	**Sistema independiente con baterías**		
Orientación campo FV	inclinación	5°	azimut	0°
Módulos FV	Modelo	JKMS280PP-60V Maxim	Pnom	280 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	2	Pnom total	**560 Wp**
Batería	Modelo	6Y9 - Starting	Tecnología	Plomo-ácido, ventilado, arranqu
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	**12 V / 416 Ah**
Necesidades del usuario	Consumidores domésticos diarios	Constante durante el año	Global	256 kWh/año

Diagrama entrada/salida diaria



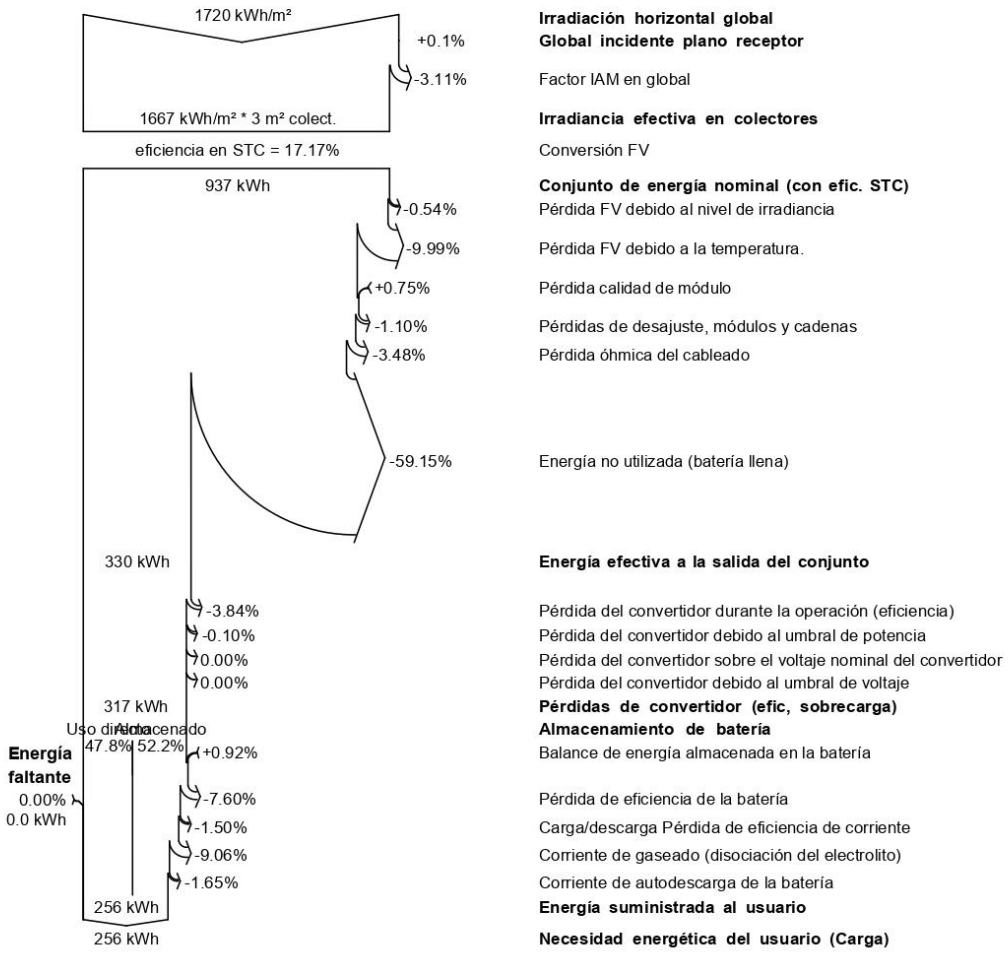
Sistema independiente: Diagrama de pérdida

Proyecto : **MASA 2**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	**Sistema independiente con baterías**			
Orientación campo FV	inclinación	5°	azimut	0°	
Módulos FV	Modelo	JKMS280PP-60V Maxim	Pnom	280 Wp	
Conjunto FV	Núm. de módulos	2	Pnom total	**560 Wp**	
Batería	Modelo	6Y9 - Starting	Tecnología	Plomo-ácido, ventilado, arranqu	
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	**12 V / 416 Ah**	
Necesidades del usuario	Consumidores domésticos diarios	Constante durante el año	Global	256 kWh/año	

Diagrama de pérdida durante todo el año



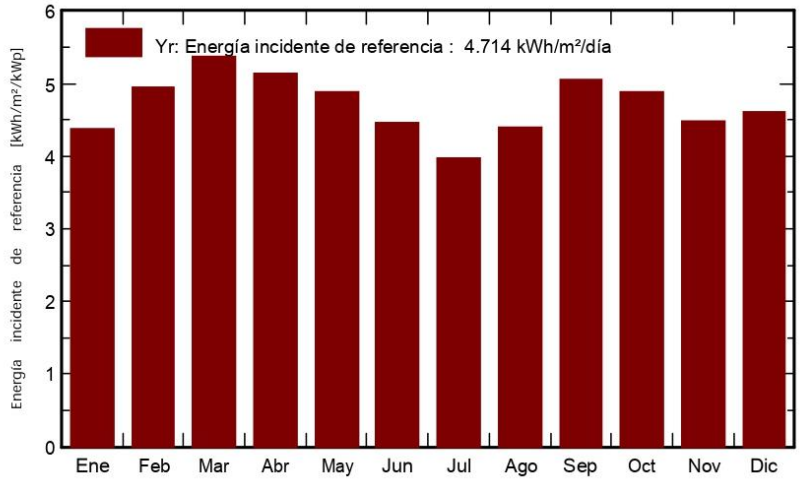
Sistema independiente: Gráficos predefinidos

Proyecto : **MASA 2**

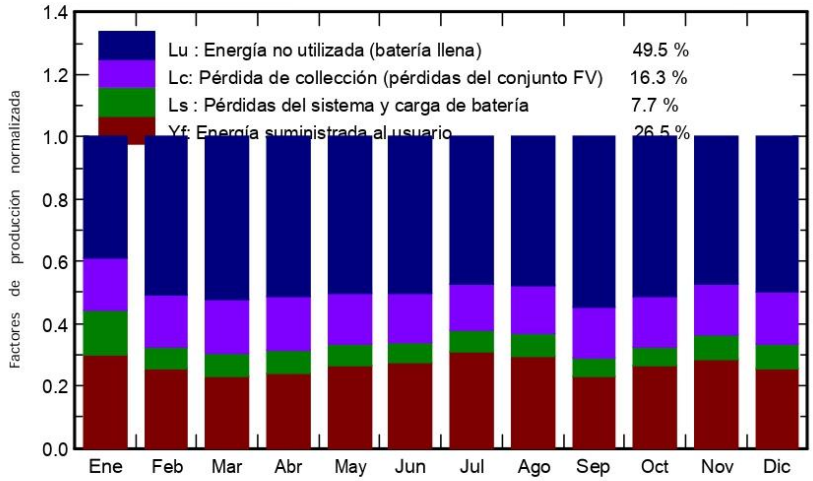
Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	**Sistema independiente con baterías**		
Orientación campo FV	inclinación	5°	azimut	0°
Módulos FV	Modelo	JKMS280PP-60V Maxim	Pnom	280 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	2	Pnom total	**560 Wp**
Batería	Modelo	6Y9 - Starting	Tecnología	Plomo-ácido, ventilado, arranqu
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	**12 V / 416 Ah**
Necesidades del usuario	Consumidores domésticos diarios	Constante durante el año	Global	256 kWh/año

Energía incidente de referencia en el plano colector



Producción normalizada y factores de pérdida: Potencia nominal 560 Wp



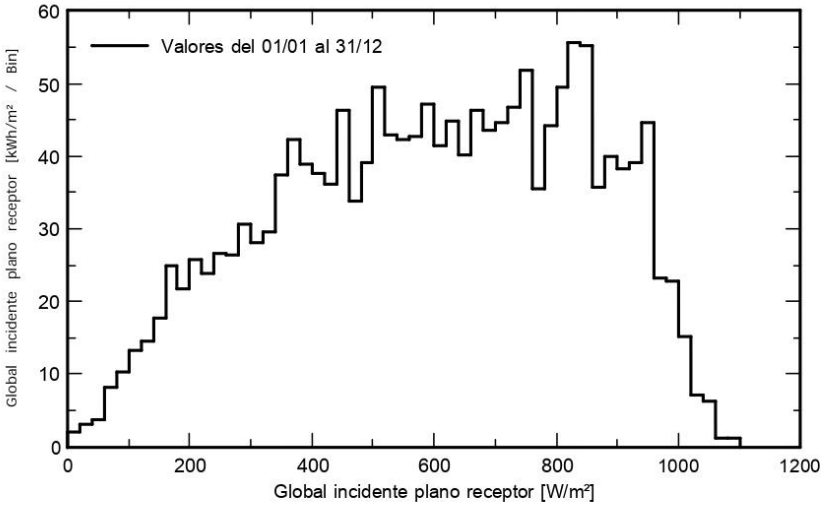
Sistema independiente: Gráficos predefinidos

Proyecto : **MASA 2**

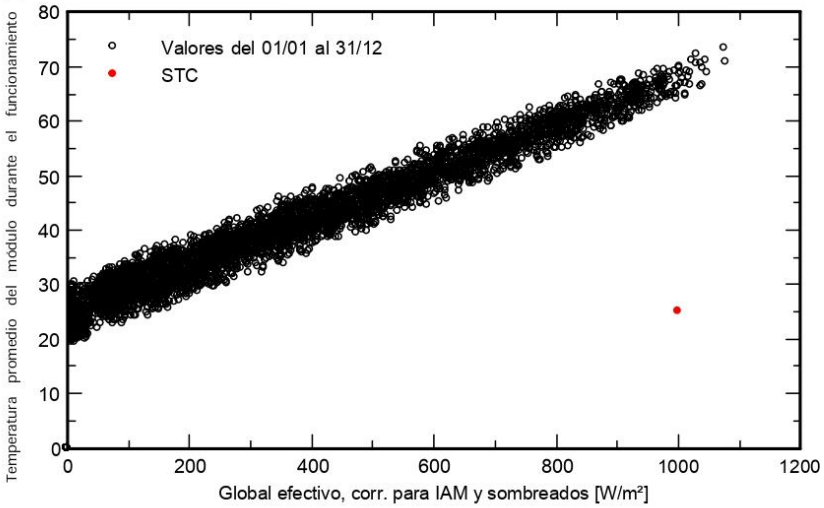
Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	**Sistema independiente con baterías**		
Orientación campo FV	inclinación	5°	azimut	0°
Módulos FV	Modelo	JKMS280PP-60V Maxim	Pnom	280 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	2	Pnom total	**560 Wp**
Batería	Modelo	6Y9 - Starting	Tecnología	Plomo-ácido, ventilado, arranqu
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	**12 V / 416 Ah**
Necesidades del usuario	Consumidores domésticos diarios	Constante durante el año	Global	256 kWh/año

Distribución de irradiación incidente



Temperatura del conjunto vs irradiancia efectiva



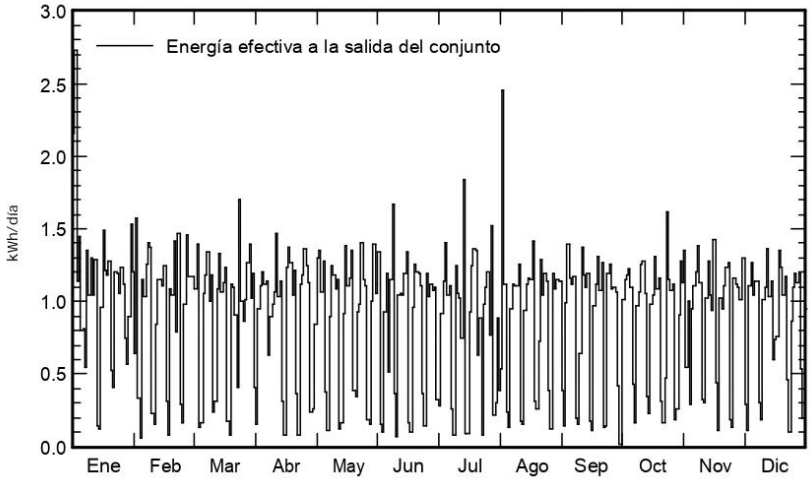
Sistema independiente: Gráficos predefinidos

Proyecto : **MASA 2**

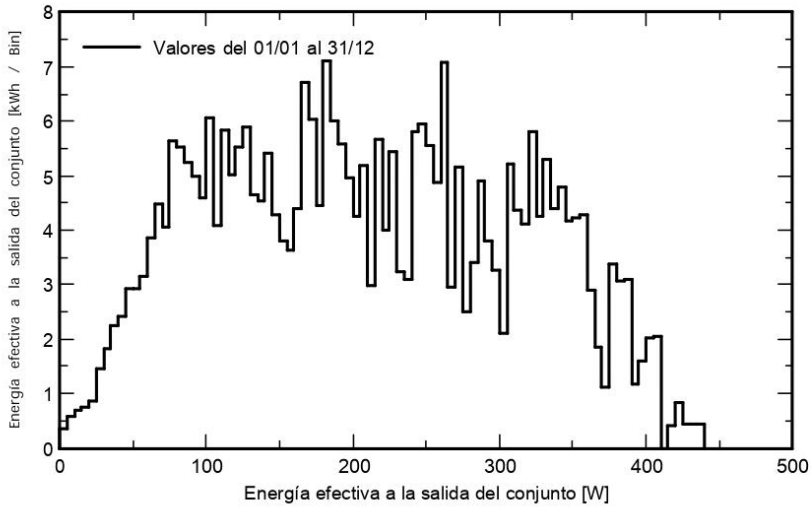
Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	**Sistema independiente con baterías**		
Orientación campo FV	inclinación	5°	azimut	0°
Módulos FV	Modelo	JKMS280PP-60V Maxim	Pnom	280 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	2	Pnom total	**560 Wp**
Batería	Modelo	6Y9 - Starting	Tecnología	Plomo-ácido, ventilado, arranqu
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	**12 V / 416 Ah**
Necesidades del usuario	Consumidores domésticos diarios	Constante durante el año	Global	256 kWh/año

Energía diaria a la salida del conjunto



Distribución de la potencia del conjunto



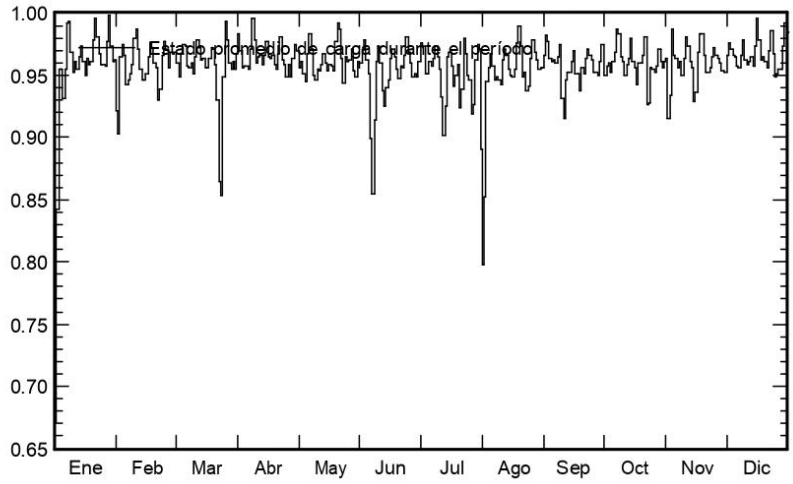
Sistema independiente: Gráficos predefinidos

Proyecto : **MASA 2**

Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

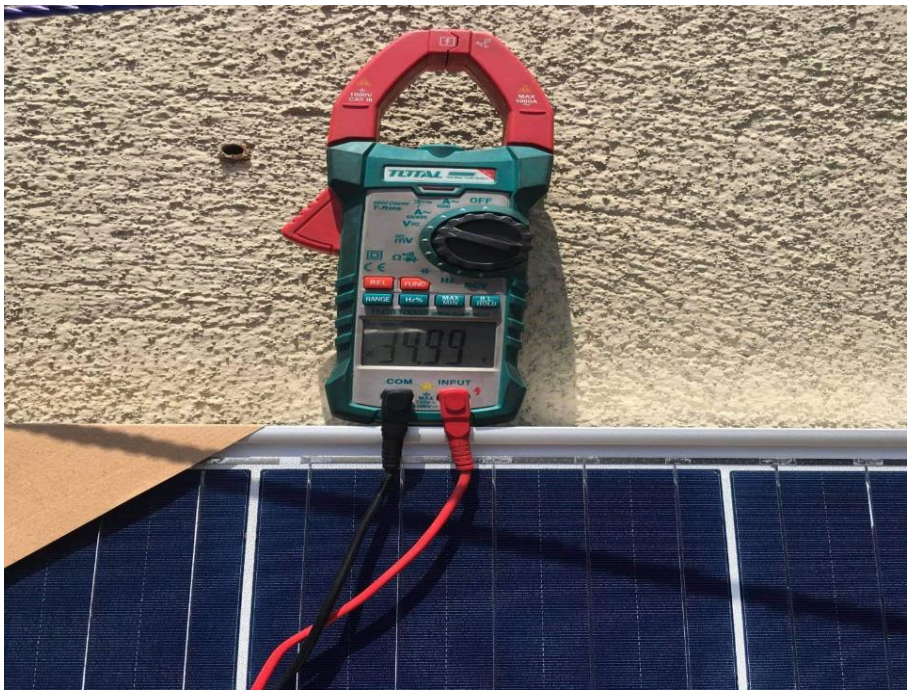
Principales parámetros del sistema	Tipo de sistema	**Sistema independiente con baterías**		
Orientación campo FV	inclinación	5°	azimut	0°
Módulos FV	Modelo	JKMS280PP-60V Maxim	Pnom	280 Wp
Conjunto FV	Núm. de módulos	2	Pnom total	**560 Wp**
Batería	Modelo	6Y9 - Starting	Tecnología	Plomo-ácido, ventilado, arranqu
Paquete de baterías	Núm. de unidades	4	Voltaje / Capacidad	**12 V / 416 Ah**
Necesidades del usuario	Consumidores domésticos diarios	Constante durante el año	Global	256 kWh/año

Distribución diaria del estado de carga



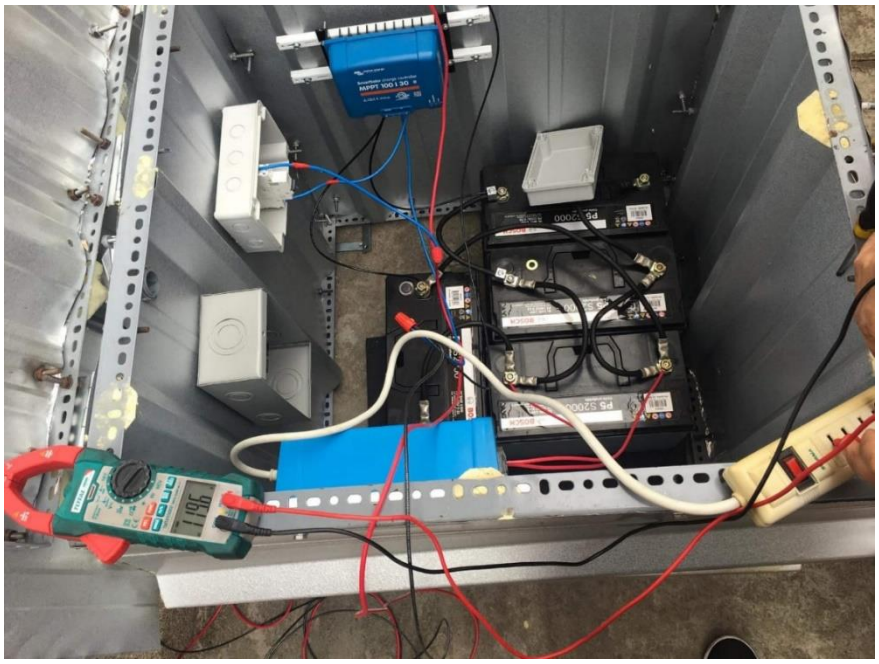
ANEXO.4 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Prueba de Funcionamiento de Paneles Solares



Prueba de Funcionamiento Banco de Baterías

Prueba de Funcionamiento Sistema Fotovoltaico



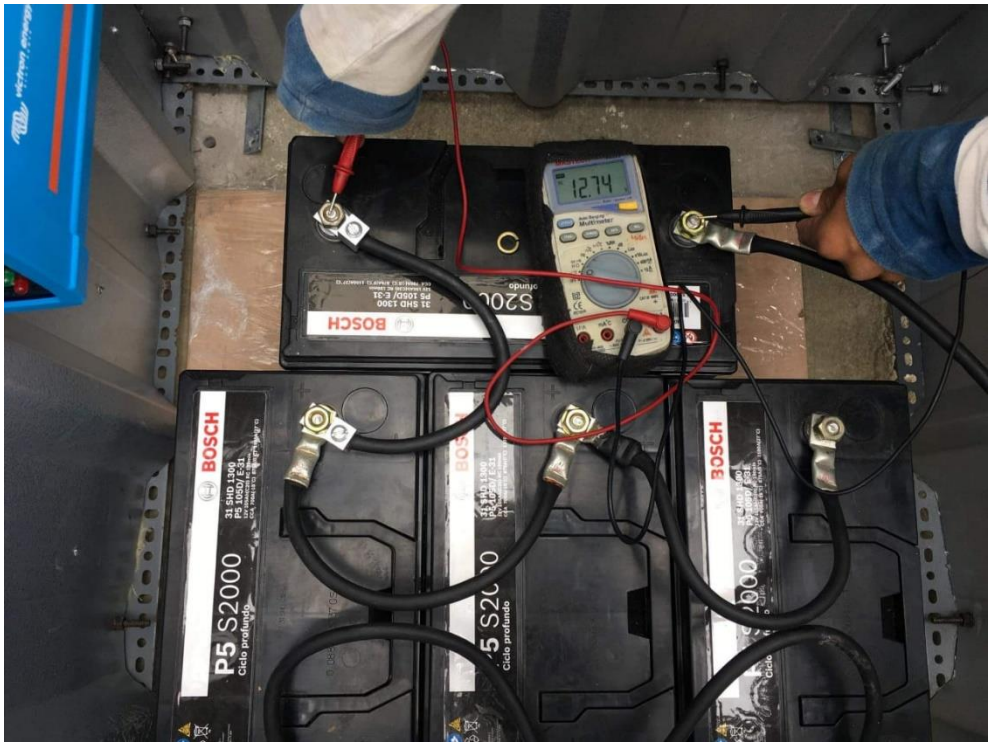
Elementos del Sistema Fotovoltaico

Montaje de Estructura

Montaje de Caja de Elementos

Instalación de Regulador, Inversor, Sistema Acumulador y Centro de Carga

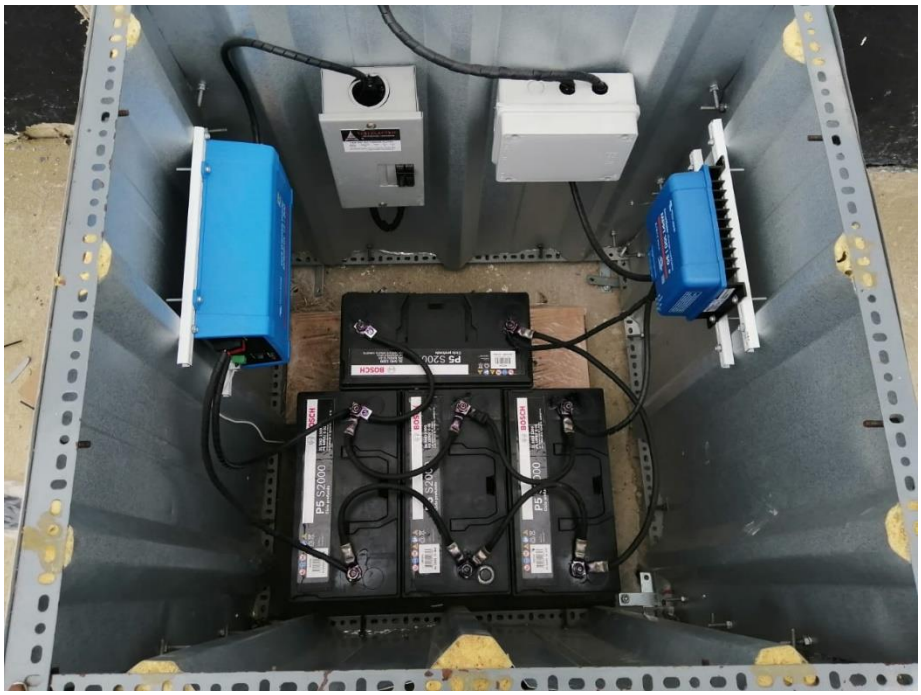
Instalación del Sistema Acumulador y Pruebas



Instalación del Inversor y Pruebas

Cableado de Conexiones Internas

Sistema Fotovoltaico Aislado Instalado



Encuesta que se realizó a los comuneros y autoridades de la Escuela Simón Bolívar

Preguntas:

1. ¿Conoce el beneficio de tener paneles solares y generar energía mediante el sol?

SI

NO

2. ¿Cree que la energía eléctrica en nuestro país es muy cara y con estos proyectos ayudaran a un mejor vivir?

SI

NO

3. ¿Cree que el sistema instalado beneficiara tanto a los docentes como alumnos?

SI

NO

4. ¿Cree que con sistemas instalados como estos ayudan al medio ambiente?

SI

NO

5. ¿Desearía cambiar en su vivienda el uso de generadores por sistemas fotovoltaico?

SI

NO

6. ¿Cuánto gasta semanal en combustible diésel para su generador?

7. ¿Cree que el gobierno debe invertir más en paneles solares y así brindar energía limpia sin contaminar el medio ambiente?

SI

NO

8. ¿Se sienten seguro tanto ustedes como sus representados al tener un sistema fotovoltaico en la Escuela?

SI

NO

9. ¿Se comprometen a cuidar las instalaciones hechas tanto internas como externas para una larga vida útil?

SI

NO

10. ¿La capacitación que se brindó ayudo a despegar dudas sobre el proyecto que se realizó?

SI

NO