

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**DISEÑO DE PROTOTIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS
AUTÓNOMOS PARA USO EN APLICACIONES DE ACUICULTURA**

**DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE GENERACIÓN
FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA OPERACIÓN DE UN
AIREADOR TIPO PALETA**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

ERWIN JAIR DOMÍNGUEZ ALCÍVAR

erwin.dominguez@epn.edu.ec

DIRECTOR: PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES

patricia.otero@epn.edu.ec

DMQ, Septiembre 2023

CERTIFICACIONES

Yo, ERWIN JAIR DOMÍNGUEZ ALCÍVAR declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

ERWIN JAIR DOMÍNGUEZ ALCÍVAR

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por ERWIN JAIR DOMÍNGUEZ ALCÍVAR, bajo mi supervisión.

PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

ERWIN JAIR DOMÍNGUZ ALCÍVAR

PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES

DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de integración curricular a todos aquellos que han confiado en mis capacidades para alcanzar las metas propuestas. Dedico este trabajo especialmente a mi madre, Mirian Alcivar, quien con infinito amor, paciencia, y sin importar lo largo y difícil del camino, siempre supo que lo lograría.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios nuestro creador, quien ha iluminado mi camino y no me ha dejado solo en ningún instante de mi vida. A mi madre, Mirian, por su gran sacrificio, quien siempre me ha ofrecido más de lo necesario. A mi padre, Ulbio, quien con mano firme supo inculcarme valores importantes para siempre sobresalir en cualquier aspecto de la vida. A mi hermana, Cynthia, quien siempre me ofreció palabras de aliento para continuar mi carrera a la excelencia. A mi hermano, Vladimir, quien nunca dejó que mis ganas de conseguir mis metas decaigan. A mi novia, Vanessa, quien me llena de energía cuando siento que ya no puedo más, y quien ha sabido entender el tiempo que requiere estudiar en la EPN. A mis amigos, compañeros y profesores que durante cinco años han tenido la paciencia para caminar junto a mí durante la carrera.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO.....	1
1.1 Objetivo general	1
1.2 Objetivos específicos	1
1.3 Alcance	2
1.4 Marco teórico	2
1.4.1 Aireación forzada en la acuicultura.....	2
1.4.2 Aireador tipo paleta.....	3
1.4.3 Energía solar	5
1.4.4 Sistemas eléctricos fotovoltaicos	6
1.4.5 Partes del sistema eléctrico fotovoltaico aislado.....	8
1.4.6 Análisis económico	12
2 METODOLOGÍA.....	14
2.1 Diseño de sistemas fotovoltaicos	14
2.1.1 Diseño o dimensionamiento del arreglo de paneles solares.....	14
2.1.2 Diseño o dimensionamiento del banco de baterías	16
2.1.3 Diseño o dimensionamiento del controlador de carga	18
2.1.4 Diseño o dimensionamiento del inversor	19
2.1.5 Dimensionamiento de protecciones.....	19
2.1.6 Dimensionamiento del cableado.....	19
2.2 Análisis económico.....	20
3 PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES....	22
3.1 Diseño del sistema fotovoltaico.....	22
3.1.1 Diseño o dimensionamiento del arreglo de paneles solares.....	22
3.1.2 Diseño o dimensionamiento del banco de baterías	24
3.1.3 Diseño o dimensionamiento del controlador de carga	25

3.1.4	Diseño o dimensionamiento del inversor	26
3.1.5	Dimensionamiento de Protecciones	27
3.1.6	Dimensionamiento del cableado.....	28
3.1.7	Resultados de diseño	29
3.2	Simulación del diseño con PVsyst	29
3.3	Evaluación Económica PVsyst.....	35
3.4	Validación del sistema fotovoltaico diseñado	40
3.5	Análisis económico.....	43
3.6	Conclusiones.....	45
3.7	Recomendaciones.....	45
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	47
5	ANEXOS.....	50

RESUMEN

En el presente trabajo de integración curricular se analiza la posibilidad de implementar un sistema fotovoltaico aislado con sistema de almacenamiento para alimentar el sistema de aireación tipo paleta de 2 [HP] y así suplir el consumo de diésel en la industria camaronera. Se pretende aprovechar el recurso solar que posee Ecuador implementando el sistema en el cantón Daule, en la provincia del Guayas que presenta un promedio de radiación solar de 4.62 horas pico de sol. Esto debido a que tanto Daule como la provincia del Guayas presentan un crecimiento representativo en la producción acuícola (especialmente en camarones) dentro de los índices de producción acuícola nacionales.

Se realiza un estudio técnico y económico con la finalidad de conocer si el proyecto es viable. En la parte técnica se realiza la investigación bibliográfica necesaria para diseñar el sistema de generación fotovoltaico y los resultados del diseño son simulados mediante el software PVsyst que se especializa en sistemas fotovoltaicos. Se comprueba el correcto funcionamiento del sistema en el cantón Daule determinando si el sistema genera la suficiente energía para alimentar el aireador cada año durante la vida útil del proyecto. En la parte económica, mediante un estudio de mercado se realiza una comparación del costo de generación de energía entre: el sistema fotovoltaico y el uso de generadores a diésel. Se toma en cuenta el precio del diésel sin ninguna clase de subsidio. La comparación será de utilidad para determinar la viabilidad de inversión en el proyecto fotovoltaico y evitar el uso de diésel para la aireación de piscinas camaroneras. Dicho análisis se realiza de igual manera mediante el software PVsyst.

PALABRAS CLAVE: Sistema fotovoltaico aislado, aireador tipo paleta, almacenamiento de energía, costo nivelado de energía.

ABSTRACT

The following document presents and analyze the possibility of implementing an isolated photovoltaic system with a storage system to feed the 2 [HP] paddle-type aeration system to stop the diesel consumption in the shrimp industry. The system designed seeks to take advantage of the Ecuadorian solar resources. The system is to be implemented in Daule, located in Guayas province, which has an average solar radiation of 4.62 peak hours, but also because both Daule and the province of Guayas present quite representative aquaculture production and growth (especially in shrimp) within the national aquaculture production indices.

In addition, a technical and economic study is carried out to know if the project is viable. In the technical part, the bibliographic research is conducted to design the photovoltaic generation system, this design is simulated in PVsyst software which is specialized in photovoltaic systems. The correct operation of the system in Daule and the possibility of generating enough energy to feed the aerator throughout each year during the useful life of the project are verified. In the economic part, through a market study, an economic comparison is made to determine the economic feasibility of investing in the photovoltaic system and put aside diesel use for the aeration of shrimp pools. The diesel price is considered without any kind of subsidy. The analysis is carried out in the same way using the PVsyst software.

KEYWORDS: Stand-alone photovoltaic systems, paddle wheel aerator, energy storage, levelized cost of energy.

1 DESCRIPCIÓN DEL COMPONENTE DESARROLLADO

En Ecuador, el cultivo y la exportación de especies marinas como: camarón, tilapia y trucha representan un ingreso económico de gran relevancia territorial. Al ser un aspecto importante para la economía del país, existen políticas nacionales de eficiencia energética desarrolladas con el fin de impulsar proyectos de electrificación confiables y con enfoque sostenible. Los proyectos impulsados tienen como objetivo incrementar la eficiencia energética, aumentar la producción y competitividad, acrecentar la cadena de valor, incorporar energías renovables no contaminantes a la industria acuícola y sustituir el uso de combustibles fósiles como diésel y búnker los cuales se han utilizado para suplir la demanda de energía en el sector [1], [2].

Tomando en cuenta el crecimiento del 51% en el sector acuícola del país durante el primer semestre del 2022, se considera de vital importancia aumentar la productividad del sector [3]. Por ejemplo, se ha determinado que el uso de aireadores mecánicos para oxigenar las piscinas incrementa el rendimiento de los cultivos del sector acuícola. Actualmente, se emplean combustibles como el diésel o búnker para que los aireadores funcionen, lo que representa un gasto mayor y produce una considerable contaminación ambiental [2].

Para solucionar el problema del uso de combustibles fósiles en la aireación, se plantea el diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para la operación de aireadores mecánicos de paleta. El sistema fotovoltaico que se diseñará, incluirá un sistema de almacenamiento de energía en baterías que pueda suplir las necesidades de los cultivos en horas donde no se expongan a la radiación solar, es decir durante la noche o en días nublados [4].

1.1 Objetivo general

Diseñar un prototipo de sistema de generación fotovoltaico autónomo para alimentar un aireador eléctrico tipo paleta que inyecte oxígeno a piscinas usadas en procesos de acuicultura.

1.2 Objetivos específicos

1. Realizar una investigación bibliográfica de las características operativas y de consumo de energía del aireador tipo paleta y sistemas fotovoltaicos autónomos.
2. Determinar la demanda de energía del aireador tipo paleta.
3. Diseñar el sistema fotovoltaico autónomo para alimentar la necesidad energética del aireador tipo paleta.

4. Realizar un análisis económico de la implementación de sistemas fotovoltaicos para alimentar el aireador tipo paleta.

1.3 Alcance

Se parte de una investigación bibliográfica referente a los sistemas de aireación en acuicultura, y se considera el consumo de energía de un sistema típico. Además, se investiga la radiación solar disponible en el Ecuador y los componentes que conforman un sistema fotovoltaico autónomo. En base a los resultados obtenidos de la investigación bibliográfica se establece la potencia junto con la demanda de energía de un aireador de paleta típico, y se diseña el sistema fotovoltaico autónomo.

El diseño aporta la selección adecuada de componentes y los parámetros que se introducen a un software especializado que permitirá simular la producción de energía. Con la simulación se comprueba que el sistema produce suficiente energía para alimentar el aireador tipo paleta seleccionado.

Se establece un presupuesto preliminar del sistema fotovoltaico autónomo y se realiza una comparación entre el costo de la energía producida por combustibles fósiles y por el sistema fotovoltaico, con el objetivo de establecer la viabilidad del diseño propuesto.

1.4 Marco teórico

En el año 2018, en Ecuador se evidenció un crecimiento acuícola considerable del 7.4% durante los meses de julio, agosto y septiembre comparado con los meses abril, mayo y junio [5]. Este dato señala que el sector acuícola en el Ecuador representa un importante ingreso económico para el país, por lo que se considera de gran importancia aumentar la productividad y eficiencia del sector. Es pertinente tener en consideración que la mayor parte del sector emplea combustibles fósiles en los procesos de producción de las especies marinas y que desde el 2019, el gobierno nacional ha tomado la decisión de eliminar el subsidio de combustibles en el sector acuícola [5]. Por este motivo, es necesaria la implementación de sistemas eléctricos confiables que suplan los procesos que hacen uso de combustibles fósiles, y de esta manera impulsar el crecimiento eficiente y sostenible de la producción acuícola.

1.4.1 Aireación forzada en la acuicultura

Para la industria acuícola es de vital importancia mantener óptimos niveles de oxígeno en las piscinas con el fin de asegurar el correcto desarrollo de las especies acuáticas. Por el contrario, una inadecuada cantidad de oxígeno podría desencadenar altos niveles de

estrés, bajo consumo de alimentos, baja inmunidad, lento crecimiento y una alta tasa de mortalidad en los diferentes tipos de organismos acuáticos [6].

De acuerdo con [7] es posible aumentar la producción acuícola ya sea de peces o crustáceos en aproximadamente 500 kg por kW de aireación. Adicionalmente [7] establece que es imperativo tener una aireación adecuada para evitar un déficit o superávit de oxígeno en las piscinas.

Existen cuatro tipos o grados de cultivo en la industria acuícola los cuales son: extensivo, semi-intensivo, intensivo y super-intensivo (con o sin renovación de agua). De los tipos de cultivo existentes es necesario un sistema de aeración para tres de ellos: semi-intensivo, intensivo y super-intensivo. Para el tipo de cultivo semi-intensivo se emplea aeración en ciertas horas del día y la noche, pero especialmente en las noches. En cambio, el tipo de cultivo intensivo y super-intensivo sin renovación de agua necesita aeración continua entre 6 a 24 horas en todo el ciclo de producción [6], [8].

El cultivo semi-intensivo emplea aireación mecánica nocturna debido a que durante el día los organismos vegetales que se encuentran en el interior de las piscinas inyectan oxígeno mediante el proceso de fotosíntesis. De esta manera, la piscina mantiene los niveles de oxígeno necesarios para el adecuado desarrollo de las especies cultivadas [6].

Entre los tipos principales de sistemas de aeración forzada se encuentran bombas verticales, splash, difusores o inyectores de hélice, paletas y bombas de aire difuso (blowers) [6], [7]; siendo el aireador tipo paleta el más utilizado por su mayor eficiencia, rentabilidad y mejora de la circulación del agua [9], [10].

1.4.2 Aireador tipo paleta

Los aireadores tipo paleta son equipos que ayudan a la oxigenación del agua en la industria acuícola para aumentar la producción y crecimiento de las especies. Los aireadores tipo paleta inyectan oxígeno en las piscinas usando la interfaz líquido-gas. La interfaz líquido-gas consiste en expulsar gotas de agua al aire para que se oxigenen (saturándose de oxígeno) y al momento que las gotas regresen a la piscina, se transfiera este elemento. En la Figura 1.1 se muestran dos aireadores tipo paleta de diferente tamaño. Los aireadores tipo paleta son más utilizados en piscinas rectangulares de gran tamaño y son ubicados en medio de uno de los extremos largos del estanque para ayudar a la circulación del agua [9] [10] [11].

El aireador tipo paleta está conformado por: carcasa, flotadores, motor, mecanismo de reducción de velocidad y paletas[12].

Carcasa: Conformado por las partes que cubren el equipo, formando la parte externa del sistema en su totalidad. Está compuesto de una cubierta para motor, la armadura o marco que sostiene el equipo, el eje y acoples mecánicos para la unión del motor y las paletas [12].



Figura 1.1 Aireador tipo paleta [12]

Flotadores: Parte del sistema de aeración hecha de plástico para que el sistema pueda ser colocada sobre el agua [12].

Mecanismo de reducción de velocidad: Consiste en un engranaje mecánico que disminuye la velocidad de las paletas. Se conecta entre el motor y el eje de las paletas para obtener una velocidad de alrededor de 90 –100 rpm, que es la velocidad adecuada para salpicar el agua sin averiar ninguno de los componentes del sistema [12].

Paletas: Su función es salpicar el agua para oxigenarla, posee 6 u 8 paletas y pueden ser de plástico o metálicas [12].

Motor: Es el elemento que permite que las paletas se muevan para salpicar el agua. Pueden ser de combustión interna o eléctricos [11]. Los motores empleados con mayor frecuencia son los motores eléctricos de inducción debido a su menor costo, mayor eficiencia y menor mantenimiento. Los motores eléctricos de inducción usados pueden ser monofásicos o trifásicos pero los más usados son los motores trifásicos debido a su mayor eficiencia energética, mayor rendimiento y facilidad de control. Los motores de inducción trifásicos generan una corriente de arranque o inrush mucho menor que un motor de inducción monofásico de la misma potencia. La corriente de arranque en motores monofásicos usados en los aireadores tipo paleta es de alrededor de tres veces la corriente a plena carga, mientras que para un motor trifásico de la misma potencia, la corriente de arranque es de alrededor de dos veces la corriente a plena carga [8].

Los aireadores tipo paleta que son usados en la industria acuícola tienen un consumo entre 1 y 10 kW. Los aireadores usados para aguas salubres son pequeños con paletas de

plástico y tienen un consumo entre 0,75 a 1,5 kW y los aireadores usados para agua dulce emplean paletas de acero con una potencia entre 3,7 a 7,5 kW [11].

El tiempo de utilización del aireador depende de varios factores como la especie que se está cultivando, el tamaño de la piscina, la cantidad, el periodo del año y la fase del ciclo de crianza en que se encuentre la especie cultivada. Según [8], de acuerdo a varios experimentos realizados en Asia para piscinas de cultivo de una tonelada de camarones o 1000 kg en cultivo intensivo se tiene un promedio de funcionamiento de 16 horas para aireadores tipo paleta de 2.5hp [8], y para el cultivo de 5000 kg en una hectárea de bagre o pez gato se necesita de 3 a 6 horas de aireación con un aireador tipo paleta de 3 KW [13].

1.4.3 Energía solar

La energía solar aprovecha la energía de la radiación de ondas electromagnéticas provenientes del sol para generar energía limpia y renovable. Ecuador al estar localizado en latitud cero, posee un promedio de luz solar de 12 horas al día durante todo el año, lo que demuestra el potencial energético solar que posee y que puede ser aprovechado para la generación de energía. Considerando los periodos lluviosos, nublados o con poca presencia de luz solar, Ecuador tiene un promedio total de 4,3780 horas pico de sol que pueden ser aprovechados para generar energía. En la Figura 1.2 y Figura 1.3 se puede observar los mapas solares del Ecuador, lo que muestra la capacidad solar que posee el territorio. En la región costa, sierra y oriente existe un promedio de horas de sol pico de 4.32, 4.50 y 3.80 respectivamente que pueden ser aprovechados para generar electricidad a través de sistemas eléctricos fotovoltaicos o centrales de generación térmica concentrada [14].

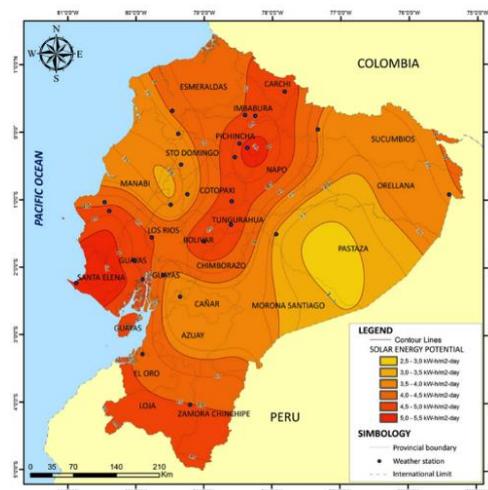


Figura 1.2 Mapa del potencial de energía solar promedio de Ecuador [14]

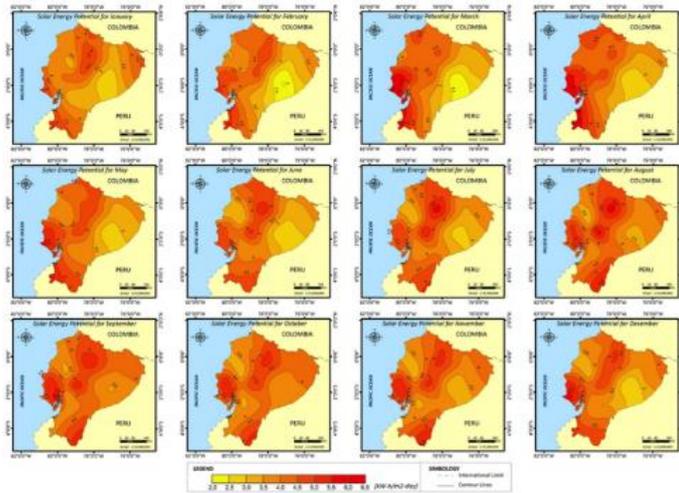


Figura 1.3 Mapa mensual del potencial de energía solar de Ecuador [14]

1.4.4 Sistemas eléctricos fotovoltaicos

Es la energía eléctrica generada a través de paneles solares con celdas fotovoltaicas compuestas de material semiconductor. Los paneles solares generan electricidad debido al efecto fotovoltaico que consiste en aprovechar la energía de los fotones que posee la luz solar. Al momento de colisionar los fotones con las celdas, se liberan electrones de la capa de valencia del material semiconductor generando una corriente eléctrica continua o directa [15].

1.4.4.1 Sistema fotovoltaico conectado a la red

El sistema fotovoltaico conectado a la red está conectado a una red eléctrica convencional que funciona como un soporte para alimentar la carga cuando la potencia instalada en el sistema fotovoltaico no es suficiente o cuando no existe presencia de sol. Además, es posible vender energía al sistema cuando se tenga exceso de generación fotovoltaica. La Figura 1.4 muestra el esquema del sistema conectado a la red [16].

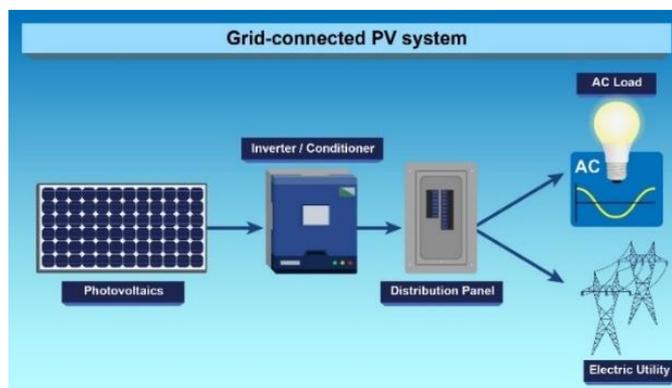


Figura 1.4 Sistema fotovoltaico conectados a la red [17]

1.4.4.2 Sistema eléctrico fotovoltaico aislado

También es conocido como sistema eléctrico autónomo debido a que no depende del suministro eléctrico que ofrece una red eléctrica convencional [18]. El sistema fotovoltaico aislado puede ser de dos tipos: con respaldo de baterías o sin respaldo de baterías. El respaldo de baterías permite almacenar energía en horas de gran radiación solar y poco consumo para ser usado en horas del día cuando exista poca o nula radiación solar. La Figura 1.5 muestra el esquema del sistema autónomo con baterías. El sistema sin baterías abastece la carga directamente con los paneles fotovoltaicos y no es muy utilizado debido a que no posee una gran confiabilidad [16].

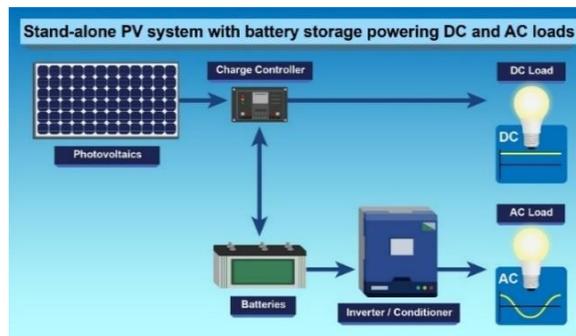


Figura 1.5 Sistema eléctrico fotovoltaico aislado [17]

1.4.4.3 Sistemas mixtos o híbridos

Los sistemas mixtos son sistemas fotovoltaicos aislados con baterías de respaldo conectados a la red auxiliar ya sea convencional o cualquier sistema de generación renovable (Figura 1.6). Si el sistema auxiliar es la red convencional, los sistemas mixtos permiten que exista un flujo bidireccional en el sistema de distribución para poder recibir energía de la red cuando el sistema fotovoltaico no sea suficiente para abastecer la carga y para dar energía al sistema en caso de exceso mientras la carga sea abastecida [16].

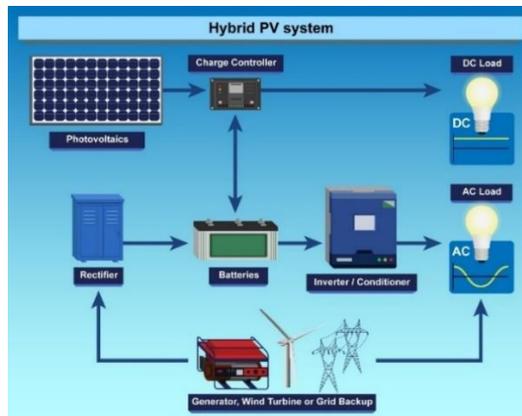


Figura 1.6. Sistemas fotovoltaicos mixtos o híbridos [17]

1.4.5 Partes del sistema eléctrico fotovoltaico aislado

El sistema eléctrico fotovoltaico aislado está compuesto por:

1. Paneles solares o Arreglo fotovoltaico
2. Controlador de carga
3. Baterías (Depende del diseño)
4. Inversor
5. Componentes de balance del sistema

La Figura 1.5 muestra las partes que conforman el sistema fotovoltaico aislado.

1.4.5.1 Paneles solares o arreglo fotovoltaico

El panel solar fotovoltaico es un conjunto de celdas fotovoltaicas ordenadas y organizadas para poder producir mayor cantidad de energía. Las celdas o células fotovoltaicas son las encargadas de generar energía eléctrica en forma de corriente continua a través de material semiconductor. Los fotones que posee la luz solar colisionan con el material semiconductor y generan una diferencia de potencial entre dos extremos del material semiconductor produciendo un flujo de electrones a través del mismo. La célula fotovoltaica debe estar conformada por dos tipos de semiconductor, debe tener semiconductores extrínsecos tipo P y N. Dependiendo del material semiconductor, cada célula fotovoltaica es capaz de producir entre 2 - 4 Amperios y 0.46 - 0.48 Voltios por este motivo se deben unir varias células para formar un panel fotovoltaico. Para la mayoría de las aplicaciones de generación eléctrica fotovoltaica se emplean varios paneles solares conectados entre sí, ya sea en serie o paralelo para suplir la energía necesaria [15], [17].

Las células fotovoltaicas son clasificadas de acuerdo al tipo de material semiconductor con el cual están fabricados y su eficiencia en conversión de energía luminosa en energía eléctrica. Se pueden encontrar 4 tipos principales de celdas fotovoltaicas [15]:

Silicio monocristalino (mono-Si): Es una célula fotovoltaica hecha de silicio (Si), extraída o cortada por completo en una pieza de un lingote de silicio. La célula fotovoltaica tiene una apariencia negra y es más eficiente que la célula de silicio policristalino. Posee una eficiencia de alrededor de 24% [15].

Silicio policristalino (poli-Si): Es una célula fotovoltaica hecha de silicio, creada a través de pequeñas partes de silicio fundido. La célula fotovoltaica tiene una apariencia azulada y es menos eficiente que la célula de silicio mono cristalino, pero es más económica y

mayormente usada en la industria de sistemas eléctricos aislados. Posee una eficiencia de alrededor de 20.4% [10].

Película delgada o capa fina: También conocidos como paneles solares de segunda generación, es un tipo de celda delgada que está compuesta de telururo de cadmio (CdTe), silicio amorfo (a-Si) y seleniuro de cobre, indio y galio (CuInGaSe₂). Es menos eficiente que los paneles de silicio, sin embargo, no se necesita una cantidad grande de material para su fabricación, son livianos y flexibles ideales para superficies no planas. Posee una eficiencia de alrededor de 19% [10]

Multiunión: Es una célula fotovoltaica hecha de varias capas de materiales semiconductores y uniones P-N. Los materiales de los que puede estar conformado puede ser fosfuro de galio-indio (InGaP), arseniuro de indio-galio (InGaAs) y germanio (Ge). Es la celda más eficiente que existe hoy en la actualidad con una eficiencia de 40.7%. Tiene un costo más elevado que los otros tipos de celdas fotovoltaicas y es usado principalmente en satélites espaciales [15].

Los paneles solares más utilizados en sistemas eléctricos fotovoltaicos aislados son los de silicio monocristalino o silicio policristalino [15].

1.4.5.2 Controlador de carga o regulador de voltaje.

Su función es controlar el flujo de potencia entre el sistema y la carga manteniendo el voltaje DC en un rango establecido. Está conectado entre los paneles fotovoltaicos y las baterías. Es el encargado de proteger de sobrecarga y descarga excesiva del banco de baterías del sistema. Existen 2 tipos de reguladores de carga de voltaje más usados, estos son los reguladores PWM (Pulse Width Modulation) y MPPT (Maximum Power Point Tracking) [18], [19].

Regulador PWM: Posee una eficiencia de 90-95 % y carga las baterías mediante pulsos. Cuando la batería está descargada envía pulsos anchos y continuos, en cambio, cuando está cargada envía pulsos delgados ocasionalmente como se muestra en la Figura 1.7. Esta manera de carga es más segura para preservar la vida útil de las baterías debido a que controla de manera adecuada la sobrecarga y descarga masiva de las mismas [18], [19].

Regulador de carga MPPT: El regulador de carga MPPT por sus siglas es un seguidor del punto de máxima potencia. Emplea algoritmos de apertura/cierre de controladores para ajustar de manera continua el voltaje, encontrando el punto óptimo y tener la máxima energía que puede entregar el arreglo de paneles para una carga ideal de las baterías.

Después de encontrar el punto óptimo se realiza una conversión DC/DC para tener el nivel de voltaje requerido por las baterías o la carga. Estos reguladores se emplean para sistemas que tienden a producir una descarga profunda en las baterías y además en sistemas en los cuales se desea tener una eficacia de 93 -97% [16], [19]. La Figura 1.8 muestra el control generado por el regulador MPPT.

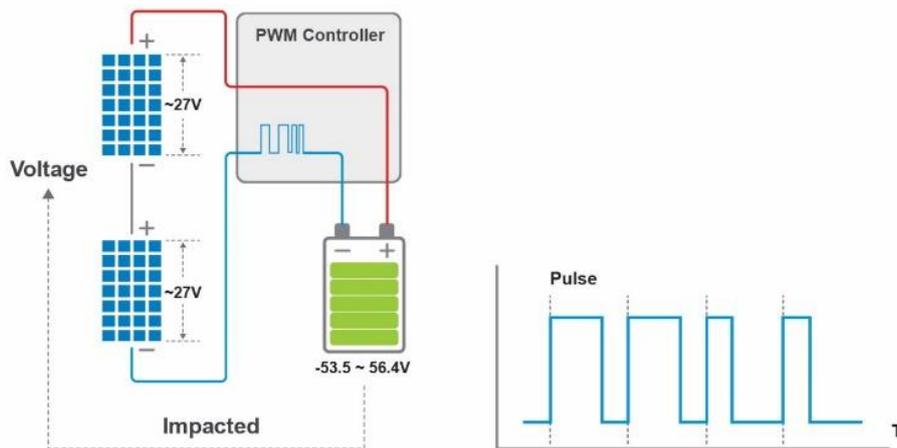


Figura 1.7 Regulador PWM [20]

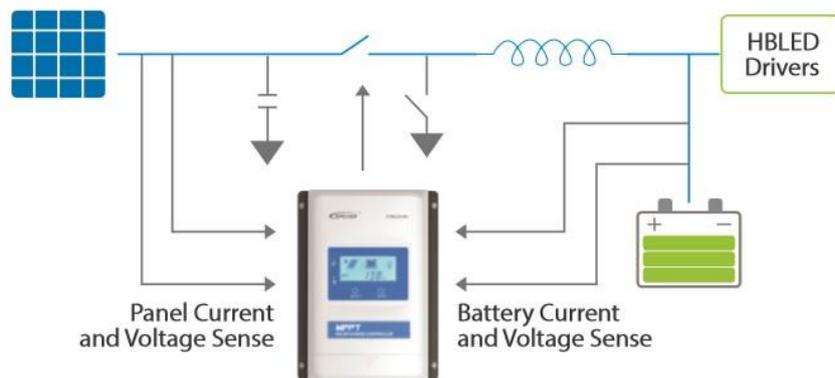


Figura 1.8. Regulador de carga MPPT [20]

1.4.5.3 Baterías

Son elementos de almacenamiento de energía que se cargan durante días con bastante radiación solar y suplen la demanda durante periodos de tiempo donde no exista la presencia de luz solar (noches, días nublados, días lluviosos). Las baterías son usadas como estabilizadores de corriente y voltaje además son usadas para suministrar picos de corriente por ejemplo en el arranque de motores[21].

Para poder seleccionar de manera adecuada el tipo de batería que se emplea en el sistema fotovoltaico aislado se debe tener en cuenta características como: rendimiento, profundidad

de descarga, ciclos vida útil o de carga y descarga. El rendimiento de baterías es la relación de energía que entra y sale de las mismas. La profundidad de descarga es el porcentaje de energía que se debe extraer de las baterías para preservar la vida útil del equipo. Los ciclos de carga/descarga representan las veces que la batería puede ser cargada y descargada [22].

Los sistemas de baterías más usados son:

Plomo-ácido: Son el tipo de baterías más utilizadas en los sistemas aislados debido a su costo y su disponibilidad. Son de descarga profunda y pueden descargarse hasta un 80%. No tienen gran capacidad de almacenamiento de energía, además su carga y descarga es lenta. Tienen la capacidad de entregar pequeñas cantidades de energía por grandes periodos de tiempo. Pueden ser de plomo-calcio (Pb-Ca) o plomo-antimonio (Pb-Sb) y poseen un número de ciclos mayor a 3000 [18], [22].

Alcalinas: No tienen gran capacidad de almacenamiento de energía, son de carga y descarga rápida, pueden soportar altas temperaturas. Pueden ser de níquel-cadmio (NiCd), níquel-zinc (alcalinas) o níquel-hidruros metálicos (Ni-MH). Poseen un número de ciclos mayor a las baterías de plomo ácido de entre 6000-8000 [22].

Litio: Poseen una gran capacidad de almacenamiento de energía, son de carga y descarga rápida, soportan ciclos de carga y descarga profundos mayores a 5000. Pueden ser ion litio o litio-polímero [22].

Flujo redox: Emplea electrolitos líquidos almacenados en tanques separados, los electrolitos circulan en sus propios tanques y el intercambio de iones se produce a través de una membrana que separa ambos tanques. Tienen una gran capacidad de almacenamiento, pero son más costosas y requieren un mayor espacio para su instalación. Poseen un número de ciclos mayor a 30000 [22].

Las baterías recomendadas para sistemas aislados son las baterías de plomo-ácido de ciclo profundo [18].

1.4.5.4 Inversor

Es un elemento electrónico que permite transformar corriente directa que genera los paneles solares o que almacenan las baterías en corriente alterna para suplir la demanda. Además de realizar la conversión de energía, el dispositivo brinda protecciones contra sobretensiones para garantizar un suministro confiable y seguro. En los sistemas fotovoltaicos se puede utilizar dos tipos de inversores tomando en consideración el tipo de onda que se produce. Existen inversores de onda sinusoidal pura y de onda cuasi –

sinusoidal. Los inversores de onda sinusoidal pura generan una onda de corriente alterna idéntica a la obtenida por la red, lo que la hace más estable, eficiente y no causa interferencia con otros dispositivos electrónicos. Los inversores de onda cuasi – sinusoidal producen una onda parecida a una sinusoidal pura, pero con valles y picos profundos los cuales afectan a la estabilidad y eficiencia del inversor, además, pueden causar interferencias con otros dispositivos [18], [19].

Los inversores también pueden ser clasificados de acuerdo al número de fases que se necesiten en el lado de corriente alterna. Los inversores pueden ser monofásicos o trifásicos. Los inversores monofásicos son usados en sistemas pequeños o de baja potencia. Los inversores trifásicos son empleados para sistemas de alta potencia. La elección del inversor monofásico o trifásico va a depender de la demanda de potencia y corriente que la carga necesite. El uso de un sistema trifásico permite que la corriente sea menor [18], [19].

1.4.6 Análisis económico

Es el análisis que permite conocer información cuantitativa de la rentabilidad y viabilidad de un proyecto. Para poder realizar de manera adecuada un análisis económico de un proyecto de generación fotovoltaica se debe utilizar herramientas cuantitativas que permiten conocer de manera numérica la factibilidad de realizar el proyecto [23].

Costos de instalación: Son los valores económicos directos e indirectos que incluye los costos de: elementos, estudios, análisis, administrativos, créditos y subsidios del proyecto [23], [24].

Costos de mantenimiento y operación: Son los valores o costos anuales definidos para que el proyecto funcione de manera adecuada durante la vida útil del proyecto [23], [24].

Vida útil: Tiempo de correcto funcionamiento de los elementos o de la totalidad del proyecto. Para sistemas fotovoltaicos el tiempo de vida útil está entre 25 y 30 años [23], [24].

Inflación: Es un valor porcentual anual que representa el aumento continuo del valor de bienes y servicios [23], [24].

LCOE (Levelized Energy Cost): En español es el costo nivelado de energía, es un valor que representa el costo kwh de un sistema de generación eléctrico tomando en cuenta la inversión, operación, mantenimiento y el tiempo de vida útil del proyecto [24].

Financiamiento: Son montos económicos otorgados por una institución financiera para ayudar a realizar un proyecto. Está sujeto a tasas, porcentajes e intereses puestos por dichas instituciones sobre el capital requerido [24].

Incentivos y subsidios: Valor o monto económico que otorga una institución pública para la realización del proyecto. Depende de la normativa de cada región [24].

Tasa de descuento: Es el valor porcentual impuesto por los inversionistas o dueños del proyecto en función del rendimiento esperado del proyecto. Da a conocer el valor presente del dinero que se estima obtener en el futuro. Se designa una tasa de descuento baja a proyectos con gran inversión en tecnología y mayor tiempo de obtener beneficios económicos. El valor de la tasa de descuento es impuesto de acuerdo a la rentabilidad que genera la inversión en otros proyectos similares o la rentabilidad que genera la inversión en el banco [23]–[25].

Valor actual neto (VAN): Es el valor calculado que representa el valor presente del flujo de dinero proyectados para el futuro, lo que ayuda a determinar si la inversión será rentable o no. Si el valor es positivo significa que el proyecto es rentable [23], [24].

Tasa interna de retorno (TIR): Es el valor de la tasa de descuento para que el valor actual neto se vuelva cero, por lo tanto un TIR alto significa que el proyecto posee mayor rentabilidad [23], [24].

Recuperación o retorno de la inversión (ROI): Es la relación entre el beneficio neto al final del proyecto y su costo de inversión. Mientras este valor sea positivo significa que el proyecto es rentable [23], [24].

2 METODOLOGÍA

El mayor producto de exportación acuícola en Ecuador es el camarón, y su mayor producción se ubica en la zona costera del país. La provincia del Guayas posee un 66% de la producción nacional de camarón en la industria acuícola [26]. El cantón Daule se ha designado como una ubicación idónea para la instalación del presente sistema de aireación ya que conforme a [26], este cantón cuenta con una gran producción de camarones. Además, es importante mencionar que el cantón Daule recibe un promedio de radiación solar de 4.62 horas pico de sol [27].

En el presente proyecto, se usa un aireador tipo paleta de 2 HP o 1.5 KW trifásico a 380 V y se planea usarlo para un cultivo semi intensivo, con un tiempo de operación promedio de 8 horas. En los ANEXO II y ANEXO III se muestra la hoja de datos del aireador y la hoja de datos del motor respectivamente que se pretende emplear para el diseño del sistema fotovoltaico aislado. Se empleará tres sistemas monofásicos interconectados mediante los inversores para formar un sistema trifásico. La Tabla 2.1 muestra los parámetros y los valores a usar para el diseño del sistema fotovoltaico aislado planteado.

Tabla 2.1 Valores de los parámetros usados para el diseño del sistema planteado

Parámetro	Sistema Trifásico	Sistema monofásico
Potencia [W]	1500	500
Voltaje [V]	380	219.39
Corriente Nominal [A]	3.23	3.23
Corriente de Arranque [A]	22.3	22.3

2.1 Diseño de sistemas fotovoltaicos

Consiste en el proceso de dimensionar adecuadamente cada uno de los elementos utilizados en el sistema fotovoltaico aislado. El dimensionamiento considera la capacidad de corriente, voltaje, potencia, la configuración o arreglo de los elementos y el número de elementos a usar con la finalidad de abastecer la demanda [18].

2.1.1 Diseño o dimensionamiento del arreglo de paneles solares

Consiste en determinar el número total de paneles solares que serán conectados ya sea en serie o en paralelo para poder suplir la demanda. Se debe conocer el panel que se va a instalar y sus características técnicas [18], [28].

Para el diseño del arreglo de paneles solares se debe conocer el voltaje de DC del sistema (Vdc), el promedio de horas de sol pico del sitio de instalación por día (Tsh) y la demanda de energía promedio diaria en vatios-hora (Ed) [18].

El Vdc es determinado por quien diseña el sistema y depende de la potencia del equipo o sistema que se vaya a alimentar. Como se indica en la Tabla 2.2, mientras más potencia se requiere mayor debe ser el voltaje para disminuir la corriente en el arreglo de paneles solares [18].

Tabla 2.2. Voltaje DC del sistema fotovoltaico dependiente de la carga [29]

Potencia de la carga [W]	Voltaje DC del sistema [Vdc]
<1500	12
1500-5000	24-48
>5000	120-300

El promedio de horas de sol pico por día (Tsh) viene dado por la ubicación geográfica en donde se instala el sistema. La demanda de energía promedio diaria en vatios-hora (Ed) viene dada por la potencia y el tiempo en el que los elementos se conectan al sistema fotovoltaico diseñado [18].

El diseño del arreglo de paneles solares se desarrolla bajo los siguientes lineamientos:

Se calcula la demanda de energía promedio diaria en vatios-hora (Ed).

$$E_d = P_{nom} * t_f \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

P_{nom} Potencia nominal del aireador

t_f Tiempo promedio de utilización del equipo

Después se calcula la demanda de energía promedio diaria requerida (Erd).

$$E_{rd} = \frac{E_d}{\eta_b \eta_i \eta_c} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

η_b Eficiencia de la batería

η_i Eficiencia del inversor

η_c Eficiencia del controlador de carga

Luego se obtiene la potencia promedio pico (Pave,peak).

$$P_{ave,peak} = \frac{E_{rd}}{T_{sh}} \quad \text{Ecuación 2.3}$$

Posteriormente se calcula la corriente dc (I_{dc}) de los paneles.

$$I_{dc} = \frac{P_{ave,peak}}{V_{dc}} \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Para el diseño del arreglo de paneles se determina el número de paneles en serie necesarios para alcanzar el voltaje requerido del sistema y después se encuentra el número de paneles en paralelo para poder obtener la corriente deseada [18].

Se calcula el número de módulos en serie (N_{sm}).

$$N_{sm} = \frac{V_{dc}}{V_{rm}} \quad \text{Ecuación 2.5}$$

Donde:

V_{rm} Voltaje nominal del módulo o panel solar a usar

Después se calcula el número de módulos en paralelo (N_{pm}).

$$N_{pm} = \frac{I_{dc}}{I_{rm}} \quad \text{Ecuación 2.6}$$

Donde:

I_{rm} Corriente nominal del módulo o panel sola a usar

Finalmente, para calcular el número total de módulos (N_{tm}) se multiplica los módulos en serie y paralelo.

$$N_{tm} = N_{sm} \times N_{pm} \quad \text{Ecuación 2.7}$$

2.1.2 Diseño o dimensionamiento del banco de baterías

El diseño del banco de baterías se desarrolla bajo los siguientes lineamientos:

Primero se determina la energía almacenada promedio estimada (E_{est}) que deben almacenar las baterías.

$$E_{est} = E_d \times D_{aut} \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde:

D_{aut} Número de días de autonomía

Número de días de autonomía es el número promedio de días consecutivos donde se estima que no va a existir radiación solar para alimentar la carga. Por lo tanto, las baterías deben suplir la demanda durante dichos días. Se recomienda tener al menos dos o tres días de autonomía para sistemas fotovoltaicos aislados [18].

Después se determina el almacenamiento seguro de energía (E_{safe}). Este valor es el nivel de energía que asegura el correcto funcionamiento del banco de baterías y del sistema fotovoltaico [18].

$$E_{safe} = \frac{E_{est}}{D_{disch}} \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Donde:

D_{disch} Profundidad de descarga máxima permitida

Profundidad de descarga máxima permitida es el índice de seguridad en las baterías que indica el nivel porcentual al cual se recomienda descargarla con el fin de mantener y postergar la vida útil de la misma. Dicho valor depende del tipo de batería y es determinado por el fabricante [18].

Después se debe determinar la capacidad total del banco de baterías en amperios-hora (C_{tb}). La capacidad total del banco de baterías se define como la cantidad de tiempo que las baterías pueden suministrar la energía necesaria antes de que necesiten ser recargadas [18].

$$C_{tb} = \frac{E_{safe}}{V_b} \quad \text{Ecuación 2.10}$$

Donde:

V_b Voltaje nominal de una batería

Una vez obtenidos estos valores, se calcula el número total de batería (N_{tb}) necesarias.

$$N_{tb} = \frac{C_{tb}}{C_b} \quad \text{Ecuación 2.11}$$

Donde:

C_b Capacidad de una batería en amperio horas (Dado por el fabricante)

Seguidamente se calcula el número de baterías en serie (N_{sb}).

$$N_{sb} = \frac{V_{dc}}{V_b} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

Finalmente se calcula el número de módulos en paralelo (N_{pm}).

$$N_{pb} = \frac{N_{tb}}{N_{sb}} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

2.1.3 Diseño o dimensionamiento del controlador de carga

El controlador de carga es dimensionado de acuerdo con la corriente que va a manejar. Dicha corriente se calcula empleando el voltaje de baterías y la corriente de cortocircuito del arreglo de paneles fotovoltaicos. Debido a que el voltaje ya es seleccionado en el diseño del sistema, el controlador de carga se lo diseña tomando en cuenta la corriente máxima del sistema. Se calcula como:

$$I_{rcc}^A = I_{sc}^M \times N_{pm} \times F_{safe} \quad \text{Ecuación 2.14}$$

Donde:

I_{rcc}^A Corriente requerida por el controlador

I_{sc}^M Corriente de cortocircuito del panel seleccionado

F_{safe} Factor de seguridad

El factor de seguridad se agrega para aumentar el valor de corriente que puede soportar el controlador con el fin de asegurar y garantizar la vida útil del equipo y el sistema fotovoltaico. El factor de seguridad es mayor a 1, dicho valor puede estar entre 1.25 y 2. Sin embargo, para sistemas pequeños se usa como referencia un valor de 1.25 [18].

Es posible acoplar controladores en paralelo para poder controlar de manera adecuada la corriente que el sistema necesita mediante la implementación de controladores pequeños. Acoplar controladores pequeños puede disminuir el costo del sistema fotovoltaico aislado [18]. En este sentido, el número de controladores necesario se calcula como:

$$N_{pb} = \frac{I_{rcc}}{I_{cc}} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

Donde:

N_{pb} Numero de controladores necesarios

I_{cc} Corriente máxima de cortocircuito el controlador seleccionado

2.1.4 Diseño o dimensionamiento del inversor

Para dimensionar el inversor se debe conocer el voltaje del sistema fotovoltaico dc, el voltaje y la potencia de la carga. Los voltajes son seleccionados por el diseñador y la potencia de la carga se calcula como la suma de todas las potencias individuales de los elementos no inductivos e inductivos que funcionan simultáneamente. La potencia de los elementos inductivos es multiplicada por 3 como factor de seguridad debido a las corrientes de sobretensión en su arranque. Además, la potencia encontrada a través de la suma es multiplicada por 1.25 como factor de protección extra para asegurar un adecuado funcionamiento del sistema [18].

$$P_{inv} = 1.25(P_{sum} + 3P_{ind}) \quad \text{Ecuación 2.16}$$

2.1.5 Dimensionamiento de protecciones

Son los elementos que le permiten dar seguridad, fiabilidad y confianza a la correcta operación del sistema, protegiendo a personas y los elementos del mismo [18]. Las protecciones usadas en sistemas fotovoltaicos son DC y AC. La parte DC del sistema está conformada por los paneles, baterías, controlador e inversor, de dichos componentes se debe proteger el regulador de voltaje, el inversor y las baterías. En la parte AC se protege la carga que se va a conectar al sistema [30]. Para proteger las baterías se encuentra el regulador de voltaje o controlador de carga el cual ha sido dimensionado previamente. Sin embargo, se necesita colocar interruptores para desconectar o aislar el sistema de baterías y facilitar el mantenimiento del sistema [31].

En cuanto a la protección del regulador, para su dimensionamiento se emplea como referencia la corriente máxima de cortocircuito que puede soportar el equipo. Dicho elemento protege tanto a las baterías como al inversor. Por otro lado, para proteger la carga, se emplea como referencia la corriente pico del sistema AC, que en el caso particular del aireador es la corriente máxima de arranque del motor [31].

2.1.6 Dimensionamiento del cableado

En los sistemas eléctricos fotovoltaicos se emplea el cable solar o cable fotovoltaico que está diseñado exclusivamente para este tipo de sistemas. Los cables solares están formados por hilos de cobre electrolítico estañado, con doble aislamiento para proporcionar rigidez y aumentar su resistencia física a condiciones de la intemperie. Estos cables poseen mayor resistencia a rayos ultravioleta, ozono, humedad y altas temperaturas [32].

Para el dimensionamiento del cableado de la parte DC del sistema se toma la corriente empleada para el dimensionamiento del controlador ya que es la máxima corriente que el

sistema DC soporta. Para el dimensionamiento del conductor AC, se toma la corriente máxima de arranque del aireador [18], [33].

2.2 Análisis económico

El análisis económico de este proyecto tiene como objetivo proveer información cuantitativa para determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto, analizando financieramente valores mediante el software de simulación de sistemas fotovoltaicos PVsyst. Para dicho análisis se toma en cuenta la inversión, operación, mantenimiento, financiamiento, tasa de descuento, flujo de caja y costos de energía actualmente utilizados en los sistemas de aireación.

PVsyst

Es un software de diseño de producción energético de sistemas fotovoltaicos. Ayuda con la simulación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red ya sea instalados en techos de viviendas, sectores comerciales a pequeña o gran escala. Además, se puede modelar sistemas fotovoltaicos aislados con un sistema de baterías o sistemas solares para bombas de agua. Su principal función es la simulación y cálculo del comportamiento de la generación de energía anual incluyendo pérdidas así como la evaluación económica-financiera del sistema simulado [24].

Continuación se presentan las fórmulas usadas por el programa PVsyst para realizar el cálculo de: costo nivelado de energía (LCOE), valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR) y recuperación o retorno de la inversión (ROI). Dichos valores son de gran importancia para realizar el análisis económico adecuado del sistema diseñado [24].

LCOE

LCOE se calcula como:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Donde:

- t Año del sistema
- n Vida útil del sistema en años
- I_t Inversiones y gastos del año
- M_t Gastos de operación y mantenimiento del año

E_t Producción de electricidad del año

r Tasa de descuento

VAN

El VAN se calcula como:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{R_t}{(1+r)^t} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

Donde:

R_t Saldo neto (ingresos - gastos) del ejercicio

TIR

El TIR se calcula al igualar el VAN a cero y despejar r (tasa de descuento) de la Ecuación 2.18.

ROI

El ROI se calcula como:

$$ROI = \frac{\text{Beneficio neto al final de la vida}}{\text{Inversión total}} \quad \text{Ecuación 2.19}$$

3 PRUEBAS, RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El siguiente apartado explica los resultados obtenidos durante las pruebas y ensayos del presente proyecto. Se aborda de manera detallada el diseño de cada componente que conforma el sistema fotovoltaico monofásico requerido, la simulación del diseño del sistema trifásico en el programa PVsyst y se evalúan los resultados obtenidos.

3.1 Diseño del sistema fotovoltaico

A continuación, se muestra el diseño detallado de cada componente del sistema fotovoltaico aislado para alimentar el aireador tipo paleta.

3.1.1 Diseño o dimensionamiento del arreglo de paneles solares

En el diseño del arreglo de paneles solares se emplea valores en condiciones estándar (STC) ya que proporcionan datos en condiciones comunes lo que ayuda a realizar una elección adecuada del panel fotovoltaico que se debe emplear. Para el diseño del arreglo se selecciona el módulo solar “JASolar 375W PERC Module JAM72S09 375-395/PR” debido a su composición monocristalina el cual ofrece mayor producción, eficiencia, y un tiempo de vida útil de 25 años, además cuenta con tecnología PERC (Passive Emitter Rear Cell) que permite aprovechar de mejor manera la radiación solar gracias a la presencia de su placa reflectante. En la Tabla 3.1 se encuentran los valores de los parámetros necesarios para el diseño del arreglo de paneles solares de acuerdo con lo mencionado en el apartado 2.1.1, dichos valores son obtenidos de las hojas de datos de los fabricantes los cuales se encuentran en los ANEXO IV, ANEXO V y ANEXO VII.

Tabla 3.1 Parámetros empleados para el diseño del arreglo de paneles solares

Parámetro	Valor
Módulo solar	JASolar 375W PERC
Voltaje de DC (Vdc)	48 [V]
Promedio de horas de sol pico por día (Tsh)	4,62
Eficiencia de la batería (η_b)	0,8
Eficiencia del inversor (η_i)	0,95
Eficiencia del controlador de carga (η_c)	0,98
Voltaje nominal del módulo a usar (V _{rm})	39,27 [V]
Corriente nominal del módulo a usar (I _{rm})	9,55 [A]

En la Tabla 3.2 se muestra los cálculos y resultados del diseño del arreglo de paneles solares de acuerdo con lo explicado en el apartado 2.1.1. Se obtiene como resultado que

para alimentar el aireador tipo paleta de 2 [Hp] cada fase del sistema necesita cuatro paneles solares: dos en paralelo y dos en serie.

Tabla 3.2 Cálculos para el dimensionamiento del arreglo de paneles solares por fase

Parámetro	Fórmula	Valor
Demanda de energía promedio diaria	$E_d = P_{nom} * t_f$	3978.67[Wh]
Demanda de energía promedio diaria requerida	$E_{rd} = \frac{E_d}{\eta_b \eta_i \eta_c}$	5341.9262 [Wh]
Potencia promedio pico	$P_{ave,peak} = \frac{E_{rd}}{T_{sh}}$	1156.261092 [W]
Corriente dc (Idc) de los paneles	$I_{dc} = \frac{P_{ave,peak}}{V_{dc}}$	24.09 [A]
Número de módulos en serie (Nsm)	$N_{sm} = \frac{V_{dc}}{V_{rm}}$	1.22 ≈ 2
Número de módulos en paralelo	$N_{pm} = \frac{I_{dc}}{I_{rm}}$	2.52 ≈ 2
Número total de módulos (Ntm)	$N_{tm} = N_{sm} \times N_{pm}$	4

En la Tabla 3.3 se encuentran los parámetros eléctricos en condiciones estándar del módulo “JASolar 375W PERC Module JAM72S09 375-395/PR”, tomados de la hoja de datos del fabricante del panel. La hoja de datos del panel seleccionado se encuentra en el ANEXO IV.

Tabla 3.3 Parámetros Eléctricos en STC del Panel JAM72S09 -375/PR

Parámetros Eléctricos en STC del Panel JAM72S09 -375/PR	
Potencia máxima nominal (Pmax) [W]	375
Voltaje de circuito abierto (Voc) [V]	48.47
Tensión de alimentación máxima (Vmp) [V]	39.27
Corriente de cortocircuito (Isc) [A]	10.06
Corriente de potencia máxima (Imp) [A]	9.55
Eficiencia del módulo [%]	19.0
Tolerancia de potencia	0~+5W
Coeficiente de temperatura de Isc(α_{Isc})	+0.060%/°C
Coeficiente de temperatura de Voc(β_{Voc})	-0.300%/°C
Coeficiente de temperatura de Pmax(γ_{Pmp})	-0.370%/°C
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G

3.1.2 Diseño o dimensionamiento del banco de baterías

Para el diseño del banco de baterías del sistema fotovoltaico se selecciona la batería Narada MPG12V200, debido a: tipo de tecnología usada (Plomo-acido), puede ser descargada de manera profunda hasta el 80% y su precio en el mercado. En la Tabla 3.4 se encuentran los valores de los parámetros necesarios para el diseño del banco de baterías de acuerdo con lo mencionado en el apartado 2.1.2. Los valores son obtenidos de las necesidades del sistema y de la hoja de datos del fabricante de la batería el cual se encuentra en el ANEXO V.

Tabla 3.4 Parámetros empleados para el diseño del banco de baterías

Parámetro	Valor
Modelo de Batería	Narada MPG12V200
Número de días de autonomía (D _{aut})	2
Profundidad de descarga máxima permitida (D _{disch})	80%
Voltaje nominal de una batería V _b	12
Capacidad de la batería en amperio horas C _b	200 [Ah]

En la Tabla 3.5 se muestra los cálculos y resultados del diseño del banco de baterías de acuerdo con lo explicado en el apartado 2.1.2. Se obtiene como resultado que para el sistema fotovoltaico aislado monofásico es necesario cuatro baterías conectadas en serie.

Tabla 3.5 Cálculos para el dimensionamiento del banco de baterías por fase

Parámetro	Fórmula	Valor
La energía almacenada promedio estimada	$E_{est} = E_d \times D_{aut}$	7957.34 [Wh]
Almacenamiento seguro de energía	$E_{safe} = \frac{E_{est}}{D_{disch}}$	9946.675 [Wh]
Capacidad total del banco de baterías	$C_{tb} = \frac{E_{safe}}{V_b}$	828.8895 [Ah]
Número total de batería	$N_{tb} = \frac{C_{tb}}{C_b}$	4.144 ≈ 4
Número de baterías en serie	$N_{sb} = \frac{V_{dc}}{V_b}$	4
Número de módulos en paralelo	$N_{pb} = \frac{N_{tb}}{N_{sb}}$	1

En la Tabla 3.6 se encuentran los parámetros de la batería “Narada MPG12V200”, tomados de la hoja de datos del fabricante de la batería. La hoja de datos de la batería seleccionada se encuentra en el ANEXO V.

Tabla 3.6 Parámetros de la batería “Narada MPG12V200”,

Parámetros de la batería “Narada MPG12V200”	
Voltaje nominal [V]	12
Capacidad nominal [Ah]	200
Peso típico [kg]	67
Resistencia interna [mOhm]	3
Voltaje en vacío [V]	2,25
Máxima corriente de carga [A]	50

3.1.3 Diseño o dimensionamiento del controlador de carga

Como se especifica en el apartado 2.1.3, para el dimensionamiento y posterior selección del controlador de carga para el sistema se debe conocer el voltaje del sistema, las características de los paneles y baterías seleccionados. Dichos datos se mencionan a detalla en los apartados anteriores y adicionalmente a estos datos se selecciona un factor de seguridad de 1.25 por ser un sistema pequeño. En la Tabla 3.7 se muestra los cálculos y resultados obtenidos del dimensionamiento del controlador de carga de acuerdo con el apartado 2.1.3. Con los resultados obtenidos de la corriente requerida y el valor de carga máximo de la batería se selecciona el controlador de carga “TriStar MPPT TS-MPPT-30” que posee una corriente de carga máxima de 30 [A] y un voltaje nominal de 48 [V]. El controlador de carga soporta la corriente máxima que el conjunto de paneles fotovoltaicos puede generar y no dañará a las baterías. Además, se selecciona el controlador TriStar MPPT por sus características: maximiza el aprovechamiento de energía, fiabilidad alta, eficiencia del 99% y posee 4 etapas de carga (en masa, absorción, flotación, equalización).

Tabla 3.7 Cálculos para el dimensionamiento del controlador de carga por fase

Parámetro	Fórmula	Valor
Corriente requerida del controlador de carga	$I_{rcc}^A = I_{sc}^M \times N_{pm} \times F_{safe}$	25.15 [A]
Número de controladores de carga	$N_{pb} = \frac{I_{rcc}}{I_{cc}}$	0.8035 ≈ 1

En la Tabla 3.6 se encuentran los parámetros del controlador de carga “TriStar MPPT TS-MPPT-30”, tomados de la hoja de datos del fabricante. La hoja de datos del controlador seleccionado se encuentra en el ANEXO VI.

Tabla 3.8 Especificaciones técnicas Controlador TriStar MPPT TS-MPPT-30

Especificaciones técnicas Controlador TriStar MPPT TS-MPPT-30	
Corriente máxima de la batería [A]	30
Potencia de salida máxima nominal [W]	1600
Entrada solar FV máxima recomendada	130 % de potencia máxima nominal
Eficiencia	99%
Voltaje nominal del sistema [V]	48
Voltaje máximo del circuito abierto solar FV [V]	150 Vcc (sin daños a la unidad)
Intervalo de voltaje de la batería [V]	8-72
Autoconsumo máximo [W]	2,7
Protección de sobretensión transitoria [W]	4500

3.1.4 Diseño o dimensionamiento del inversor

Se toma en consideración la corriente de arranque del motor del aireador tipo paleta de 2 [HP] para conocer la potencia que se requiere para el dimensionamiento del inversor. En el ANEXO III se encuentra la hoja de datos del motor usado en el aireador, en donde se especifica la corriente de arranque del motor. En la Tabla 3.9 se encuentran los cálculos realizados de acuerdo con el apartado 2.1.4 y adicionalmente se calcula la potencia de arranque del motor para el dimensionamiento del inversor. La corriente nominal del motor es 3.23 [A], y la corriente de arranque es de 22.3 [A] que es 6.9 veces la corriente nominal del motor.

Tabla 3.9 Cálculos para el dimensionamiento del inversor por fase

Parámetro	Fórmula	Valor
Potencia del inversor	$P_{inv} = 1.25 * 3P_{ind}$	1864.988 [W]
Potencia pico al arranque	$P_{arran} = I_{Arra} * V_{nom}$	4892.466 [W]

Con los valores calculados se selecciona el inversor “Phoenix C48/3000 Victron Energy”, el cual es un inversor de onda sinusoidal pura que permite su conexión en paralelo gracias a su interfaz de comunicación avanzada. La conexión en paralelo de los inversores permite aumentar la potencia de los inversores o tener un inversor trifásico, en el ANEXO VII, se muestra la conexión en paralelo de los inversores para obtener una red trifásica. El inversor seleccionado funciona en un rango de 38-66 [Vdc], 210-245 [Vac] con una potencia nominal de 2400 [W] y una potencia pico de 6000 [W], por lo tanto, el inversor seleccionado es el ideal para el correcto funcionamiento del sistema. El inversor seleccionado puede funcionar con una corriente nominal de 13.62 [A] y una corriente pico de 27.27 [A]. En la Tabla 3.10 se muestra las especificaciones técnicas inversor “Phoenix C48/3000 Victron Energy” tomadas de la hoja de datos del fabricante que se encuentra en el ANEXO VII.

Tabla 3.10 Especificaciones técnicas inversor “Phoenix C48/3000 Victron Energy”

Especificaciones técnicas inversor “Phoenix C48/3000 Victron Energy”	
Rango de voltaje de entrada [V _{DC}]	38-66
Rango de voltaje de Salida [V _{AC}]	210-245
Potencia cont. de salida 25°C [W]	2400
Pico de potencia [W]	6000
Eficacia máx. 48V [%]	95
Consumo en vacío [W]	25

3.1.5 Dimensionamiento de Protecciones

Se usa fusibles DC para proteger la parte del sistema DC. De acuerdo con los cálculos realizados, el sistema DC puede soportar de manera adecuada hasta 25.15 A, aunque la corriente nominal del sistema es mucho menor que este valor. Debido a lo antes mencionado, se pretende colocar fusibles de 30 [A_{DC}]. Dicho fusible debe colocarse tanto en el polo positivo como en el polo negativo del circuito DC, y debe ser colocado específicamente entre los paneles y el controlador de carga. El fusible seleccionado es de la marca “DC solar energy” que posee la clase de operación gPV. La clase de operación gPV es la clase de funcionamiento de fusibles de protección exclusiva para los módulos de sistemas fotovoltaico. Pueden ser colocados como protección dentro de las cadenas de paneles o en los terminales de salida del arreglo de paneles [34]. La hoja de datos del fusible “DC solar energy” se encuentra en el ANEXO VIII. Por ser un sistema fotovoltaico pequeño se coloca los fusibles como protección del arreglo o banco fotovoltaico. La ubicación de los fusibles se puede evidenciar en el esquema eléctrico del sistema que se encuentra en el ANEXO I.

En cuanto a las baterías se coloca un interruptor de 300 [A_{DC}] y 48 [Vdc], que cumplirá la función de: desconexión de emergencia, desconexión para mantenimiento/servicio, protección contra sobrecarga y optimización de rendimiento. En la Figura 3.1 se muestra la gráfica del interruptor de baterías seleccionado. Además, como elemento de protección de las baterías se encuentra el regulador de voltaje o controlador de carga que incluye protección para los módulos fotovoltaicos contra sobrecarga, cortocircuito y alto voltaje. Esta información del controlador de carga se encuentra en la hoja de datos que se puede observar en el ANEXO VI.



Figura 3.1 Desconectador de baterías DC de 300 [A] [35]

Para proteger el aireador se emplea una protección termomagnética de 25 [A_{AC}], ya que el motor tiene una corriente de arranque máxima de 22.3 [A_{AC}], dicha protección cumple la función de proteger el equipo y proporciona un método de desconexión para asilar y realizar el mantenimiento necesario del equipo. Se emplea el interruptor magnetotérmico Schneider “Acti 9 iC60 RCBO” que posee tipo de curva D, de 25 [A_{AC}] con capacidad de corte 10 [kA] para un voltaje de 380-415 [V]. La hoja de datos del magnetotérmico Schneider “Acti 9 iC60 RCBO” se encuentra en el ANEXO IX.

3.1.6 Dimensionamiento del cableado

Para el sistema DC se emplea cable solar o cable fotovoltaico debido a su mayor resistencia a: rayos ultravioletas, ozono, humedad y altas temperaturas. Para el sistema AC se utiliza cable flexible THWN (termoplástico, resistente al calor, resistente al agua y recubierto de nailon). Se emplea ambos tipos de cables debido a sus características de resistencia a distintas condiciones ambientales, lo que es necesario debido a que la instalación del sistema fotovoltaico se realiza en lugares cercanos a las piscinas de camarones.

Para la selección del cable solar se considera la corriente empleada para el dimensionamiento del controlador, debido a que es la máxima corriente que se espera que el sistema DC soporte. Para la selección del cable THWN, se considera la corriente máxima de arranque del aireador. Tomando en consideración las corrientes del sistema y las corrientes que soportan los cables, en la Tabla 3.11 se presenta los conductores a usar en el proyecto. En el ANEXO X se encuentra la hoja de datos del cable solar que se planea usar.

Tabla 3.11 Dimensionamiento del cableado

Sistema	Corriente del sistema	Conductor
DC	$I_{rcc}^A = 25.15 [A]$	PV Wire AWG 12 (30 [A])
AC	$I_{Arrq} = 22.3 [A]$	THWN AWG 12 (30 [A])

En el ANEXO I se muestra el diagrama del sistema fotovoltaico aislado diseñado en el presente apartado.

3.1.7 Resultados de diseño

A continuación, en la Tabla 3.12 se presenta un resumen del diseño realizado. Se muestra el número y las características principales de los componentes que se necesitan para el sistema fotovoltaico aislado trifásico que alimenta el aireador tipo paleta de 2 [Hp].

Tabla 3.12 Resultados sistema fotovoltaico aislado trifásico para alimentar el aireador tipo paleta de 2 [Hp]

Resultados sistema fotovoltaico aislado trifásico	
Energía anual requerida por el aireador de 2 HP [kWh]	4356.64
Número de paneles monocristalinos JASolar 375W PERC	12
Número de paneles serie	2
Número de paneles paralelo	6
Potencia máxima nominal (Pmax) [W]	4500
Número de baterías Plomo-ácido Narada MPG12V200	12
Voltaje nominal del banco de baterías [V]	48
Número de baterías en serie	4
Número de baterías en paralelo	3
Capacidad de la batería [Ah]	2400
Número de controladores de carga TriStar MPPT en paralelo	3
Potencia max. del controlador de carga [W]	1600
Rango de voltaje de batería [V]	8-72
Número de inversores Phoenix C48/3000 en paralelo	3
Rango de voltaje de entrada [V _{DC}]	38-66
Rango de voltaje de Salida [V _{AC}]	210-245
Potencia de salida 25°C [W]	2400
Potencia pico [W]	6000

3.2 Simulación del diseño con PVsyst

El diseño realizado es simulado mediante el software PVsyst. A continuación, se muestra los pasos para realizar la simulación en el programa.

1. Iniciar el programa y dirigirse a la pestaña “Proyecto”, seleccionar “Nuevo proyecto independiente” como se muestra en la Figura 3.2.

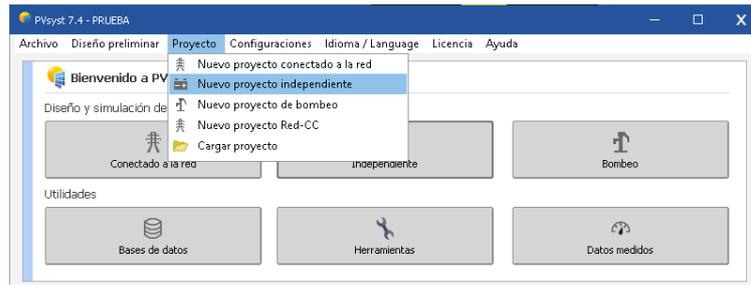


Figura 3.2 Nuevo proyecto independiente

2. Se coloca la ubicación del proyecto seleccionando en “Nuevo sitio” como se muestra en la Figura 3.3. Se debe buscar “Daule” que es el cantón en la cual se va a instalar el proyecto, como se muestra en la Figura 3.4. Después se debe importar y guardar los datos de la ubicación geográfica junto con los datos meteorológicos de la ciudad.



Figura 3.3 Nuevo sitio

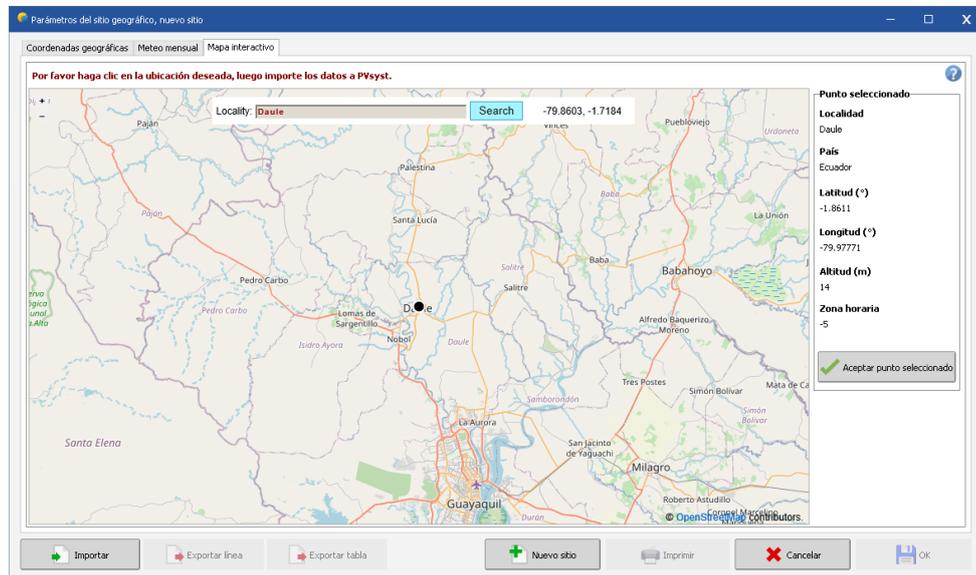


Figura 3.4 Buscar el cantón Daule.

3. Se debe nombrar y guardar el proyecto para poder continuar. En la Figura 3.5 se muestra la sección en la cual se debe realizar lo antes mencionado.



Figura 3.5 Nombrar y guardar el proyecto

4. Después de guardar el archivo del proyecto se habilitan las pestañas para poder ingresar los parámetros del proyecto y poder simularlo. En la Figura 3.6 se muestra la habilitación de las pestañas de “orientación” y “necesidad de usuario”, una vez ingresados los parámetros de estas secciones las demás secciones se habilitarán. Se configura la orientación de los paneles solares, colocando la “Inclinación del plano” y “Azimut” como se indica en la Figura 3.7. Se coloca un plano inclinado fijo en “tipo de campo”. Los valores de inclinación y azimut son cero debido a que Ecuador se encuentra en la latitud cero, pero debido a cuestiones de mantenimiento y limpieza de los paneles solares, la inclinación del plano será de 5°.



Figura 3.6 Orientación del plano

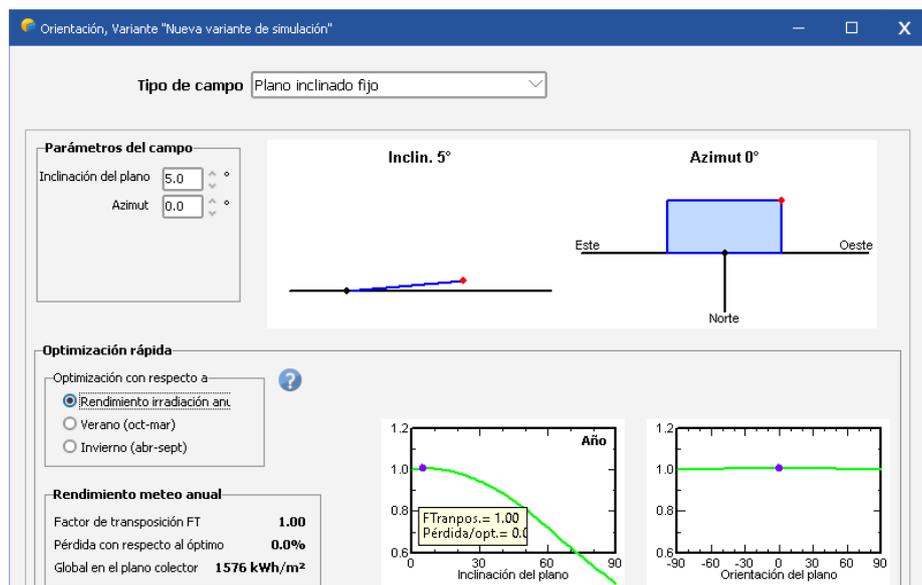


Figura 3.7 Inclinación del plano y el azimut del diseño

5. Se configura “Necesidades usuario”. Se coloca el valor de potencia del aireador (1500 [W]) y el número de horas que va a funcionar (8h). Se selecciona el consumo por “Años”, debido a que se requiere que el sistema funcione durante todo el año. Adicionalmente se mantiene el valor del consumo por stand-by de 1 [W] (valor sugerido por el programa). En la Figura 3.8 se muestra los datos colocados en la ventana de definición de carga. Después se distribuyen las 8 horas diarias de funcionamiento del aireador de manera proporcional para que la piscina mantenga niveles de oxígeno adecuados durante todo el día como se indica en Figura 3.9.

Número	Aparato	Potencia	Uso diario	Distrib. por hora	Daily energy
0	Lámparas (LED o fluo)	0	W/lámpara	0.0 h/día	0 Wh
0	TV / PC / móvil	0	W/apar.	0.0 h/día	0 Wh
0	Electrodomésticos	0	W/apar.	0.0 h/día	0 Wh
0	Nevera / congelación profunda	0.00	kWh/día	0.0	0 Wh
0	Lavaplatos y lavadora	0.0	W prom	0.0 h/día	0 Wh
1	Otros usos	1500	W/apar.	8.0 h/día	12000 Wh
0	Otros usos	0	W/apar.	0.0 h/día	0 Wh
Consumidores en espera		1	W tot	24 h/día	24 Wh
Energía diaria total					12024 Wh/día
Energía mensual					360.7 kWh/mes

Figura 3.8 Definición de la carga

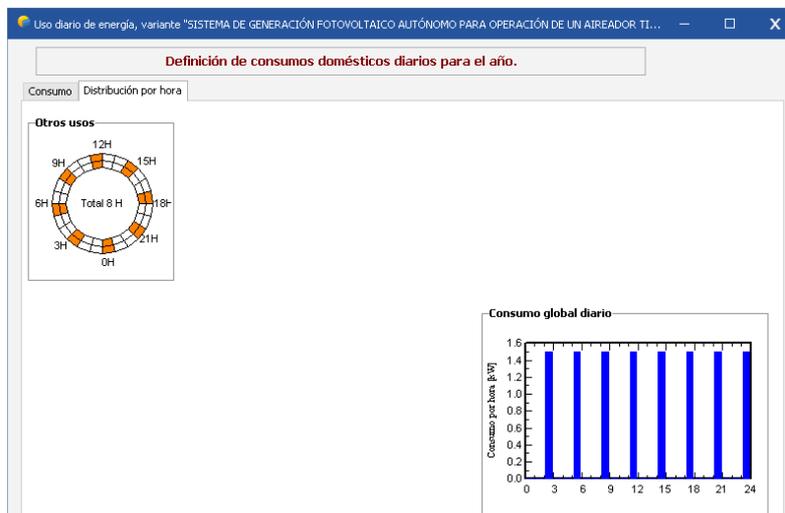


Figura 3.9 Distribución horaria de la carga

6. Se modifica los componentes del sistema fotovoltaico que se desea simular en la pestaña “Sistema”. En la Figura 3.10 se muestra cómo se encuentra habilitada la pestaña antes mencionada. Debido a que se simula el sistema trifásico se colocan tres sistemas monofásicos en paralelo. Primero se configura las baterías del

sistema, se coloca la batería usada para el diseño, junto con el número de unidades en serie y en paralelo. En el apartado de “temperatura de funcionamiento de la batería” se selecciona “temperatura ambiente exterior”, con la finalidad de calcular de manera precisa el correcto envejecimiento de las baterías. El proceso de configurar la batería del sistema se muestra en la Figura 3.11. De igual manera, se configura el generador fotovoltaico en donde se coloca los paneles y controladores usados, así como las configuraciones en serie y en paralelo de los mismos. En la Figura 3.12 se muestra la configuración del “Generador FV”.



Figura 3.10 Definir el Sistema

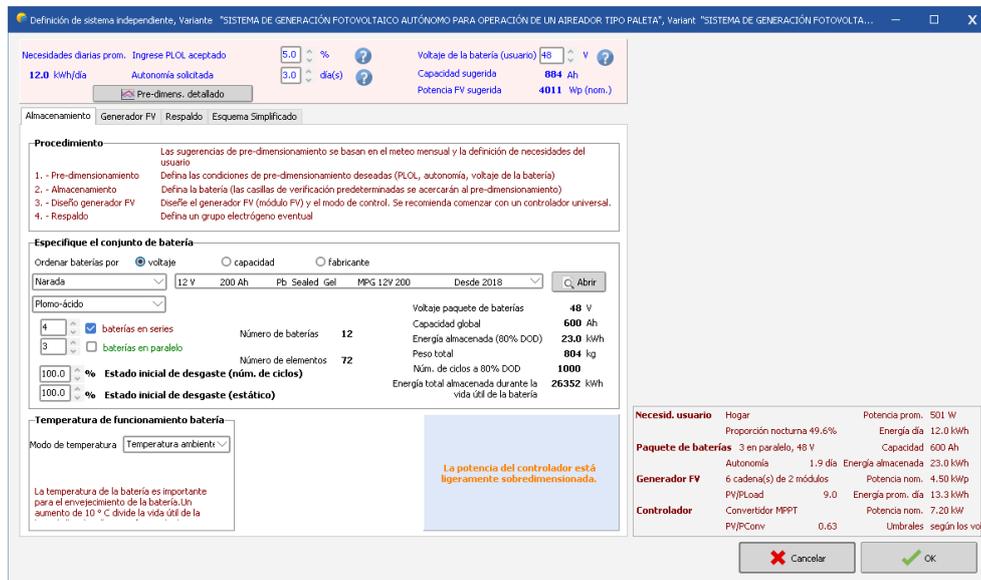


Figura 3.11 Configuración de las baterías del sistema

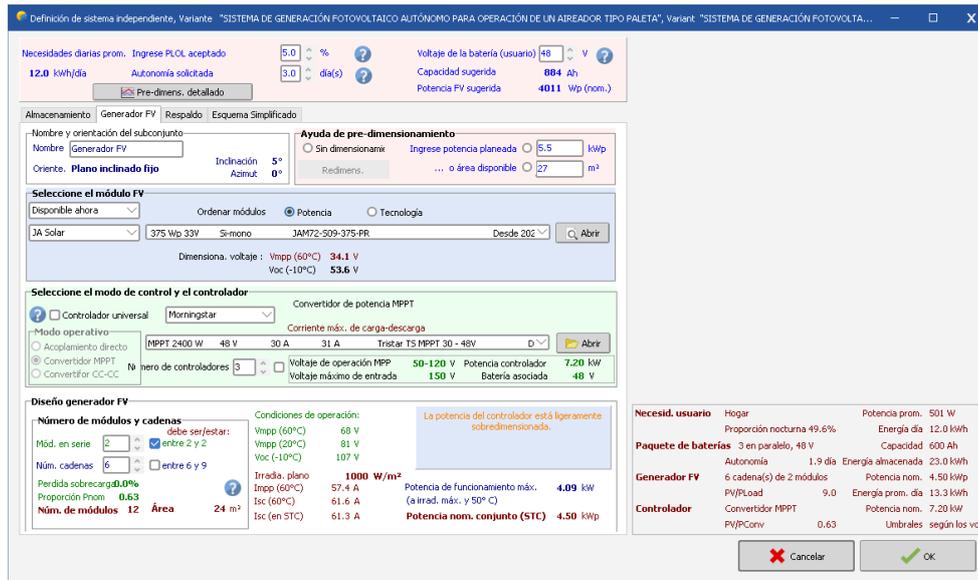


Figura 3.12 Configuración del generador fotovoltaico, paneles solares y controladores del sistema

- Se configura la sección de “pérdidas detalladas”. En la parte de “Parámetro térmico” se selecciona “Módulos montados libres con circulación de aire” que llenará el “factor de pérdida térmica” como se muestra en Figura 3.13. El programa llena los valores tomando en consideración su base de datos que es obtenida de varias simulaciones y configuración realizadas. Para el resto de los factores de pérdidas que se presentan, se mantienen los valores por defecto señalados por el programa. Se mantiene dichos factores por defecto debido a que todos los elementos seleccionados para el sistema son cargados desde las bases de datos propuestas por los mismos fabricantes y en dichos datos se encuentran los valores de pérdidas que recomiendan los fabricantes.

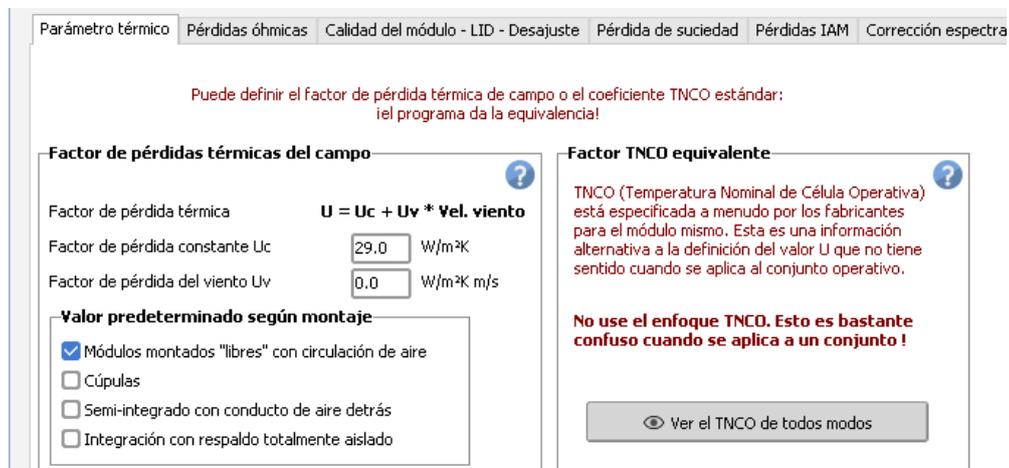


Figura 3.13 Perdidas térmicas

- Se procede a “Ejecutar simulación”. Cuando se llenan todos los parámetros se habilita la posibilidad de ejecutar la simulación como se muestra en la Figura 3.14



Figura 3.14 Ejecutar simulación.

3.3 Evaluación Económica PVsyst

Una vez realizada la simulación del sistema fotovoltaico aislado, es posible realizar la evaluación económica del proyecto, para conocer su viabilidad. Para poder realizar la evaluación económica en PVsyst se debe seguir los pasos que se describen a continuación.

- En la sección de “Inversión y cargos” se debe colocar los valores globales de los componentes usados, en dólares americanos (USD) para el sistema fotovoltaico aislado. Esta sección consta de los valores de cada elemento, estructura, y mano de obra necesarios para realizar la instalación fotovoltaica requerida. Los elementos necesarios para la instalación del sistema serán importados debido al escaso mercado fotovoltaico actual en el país, por tanto, se incluye un aumento del 15 % por aranceles de importación a los valores de los elementos. El costo de la instalación del sistema fotovoltaico es aproximadamente 0.12 ctvs. por W pico instalado [23], que para el sistema analizado resulta ser de \$540. En la Tabla 3.13 se muestran las cantidades y valores unitarios totales sumado el 15%, antes mencionado de cada elemento. Los datos son obtenidos mediante un estudio económico en diversas plataformas que manejan elementos para sistemas fotovoltaicos, como resultado del estudio se determina que la plataforma de “Alibaba” posee todos los elementos requeridos con los precios más accesibles del mercado [36]. En la Figura 3.15, se muestra los datos ingresados. En la parte de “Costes de instalación”, se ingresa los valores por unidad. En la sección del “Controlador” se suman los valores de controlador e inversor. Las protecciones se suman y se colocan como “Accesorios”. El costo de los cables se suma y se colocan en la sección de “Cableado”, finalmente se coloca el valor de la “Instalación”.

Tabla 3.13 Costo inicial de la inversión del sistema fotovoltaico [36]

Nombre de elemento	Cantidad	Costo Total Unitario
Panel 375 W	12	241,50
Batería 12V 200 Ah Plomo Acido	12	397,79
Controlador MPPT 150/35 48V	3	515,20
Inversor 48V 3000VA Victron Energy	3	1460,31
Desconectador de Baterías 300A	3	12,16
Fusible 30A 10x38	6	1,94
Porta Fusible 10x38	6	9,70
Magnetotérmico 4P 25A	1	71,69
Cable PV AWG 12 rojo Rollo 500 pies	1	178,25
Cable PV AWG 12 negro Rollo 500 pies	1	178,25
Cable THWN AWG 12 Rojo [m]	20	0,61
Cable THWN AWG 12 Azul [m]	20	0,61
Cable THWN AWG 12 Negro [m]	20	0,61
Cable THWN AWG 12 Blanco [m]	20	0,61
Costo de instalación		540

Valores: Global por Wp por m²

Moneda: USD - United States Dollar

Costos de instalación

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total	
Módulos FV			2.898,00	USD
JAM72-509-375-PR	12,00	241,50	2.898,00	USD
Soportes para módulos	12,00	0,00	0,00	USD
Baterías	12,00	397,79	4.773,42	USD
Controladores	3,00	1.975,51	5.926,54	USD
Otros componentes			583,30	USD
Estudios y análisis			0,00	USD
Instalación			540,00	USD
Seguro			0,00	USD
Costos del terreno			0,00	USD
Cargos bancarios del préstamo	0,00	0,00	0,00	USD
Impuestos			n nn	USD
Costo total de instalación			14.721,26	USD
Activo amortizable			13.776,00	USD

Figura 3.15 Costos de instalación

- Se ingresan los costos de operación y mantenimiento. El costo del mantenimiento anual de los sistemas fotovoltaicos viene dado en relación con la inversión del proyecto y un valor anual destinado para reemplazar elementos del sistema deteriorados. De acuerdo con [25], el costo de los trabajos de mantenimiento corresponde al 5% de la inversión del sistema. El manteniendo de los sistemas

fotovoltaicos consiste mayormente en trabajos de limpieza de los elementos que conforman el sistema, por lo tanto, el valor obtenido para el costo de mantenimiento de limpieza es de \$ 736.07. Dicho valor se coloca en el apartado de "Mantenimiento" en la sección de "Limpieza" como se puede observar en la Figura 3.16. Los elementos de los sistemas fotovoltaicos en general presentan un gran tiempo de vida útil, a excepción de las baterías las cuales deben ser reemplazadas cada cierto tiempo. Se considera un monto anual para el reemplazo de las baterías el cual entra en los costos de mantenimiento. Para obtener el valor de "provisión para reemplazo de baterías" se debe ingresar a la configuración de dicha sección, representada gráficamente por una tuerca ubicada en la parte derecha del nombre. En dicha sección de configuración se coloca el tiempo de vida de las baterías, que es de 9.8 años como se muestra en la Figura 3.17. El tiempo de vida de las baterías se calcula directamente en el programa y se encuentra la página 6 del informe que otorga el programa en el apartado "Battery aging (state of wear)". En el ANEXO XI se encuentra el informe dado por el programa. Automáticamente se calcula el valor requerido y se obtiene el costo anual de mantenimiento

Descripción	Costo anual	
Mantenimiento	1.223.15	USD
Salarios	0.00	USD
Reparaciones	0.00	USD
Limpieza	736.07	USD
Provisión para reemplazo ...	487.08	USD
Fondo de seguridad	0.00	USD
Alquiler de terrenos	0.00	USD
Seguro	0.00	USD
Cargos bancarios	0.00	USD
Administrativo, contabili...	0.00	USD
Impuestos	0.00	USD
Subsidios	- 0.00	USD
Costos de operación (OPEX)	1.223.15	USD/año

Figura 3.16 Costos de operación anual del sistema fotovoltaico aislado

Costo de baterías	Toda la vida	Monto de la provisión
4.773 USD	9.80 años	487 USD/año

Figura 3.17 Provisión para el reemplazo de baterías

3. Se modifica la sección de “Parámetros financieros” como se muestra en la Figura 3.18. Se coloca los años de vida que se espera que el sistema funcione de manera adecuada, dicho valor es determinado por la vida útil de cada elemento del sistema. De acuerdo con [25], los sistemas fotovoltaicos tienen una vida útil entre 25 a 30 años y dependen principalmente del periodo de vida útil del panel fotovoltaico. Se usa el valor de 25 años que se encuentra en la hoja de datos del panel seleccionado. Para el “año de inicio” del proyecto se considera el año 2024. La tasa de descuento es la tasa pasiva referencial de julio del 2023 dada por el Banco Central del Ecuador, misma que es de 7.13% [37]. Para llenar el valor de la “variación de producción (envejecimiento)” se considera el valor de envejecimiento establecido por el fabricante de los paneles solares, el valor se encuentra en la hoja de datos del elemento y es de -0.56 [%/año]. En la sección de “financiamiento” se coloca que toda la inversión es realizada con fondos propios.

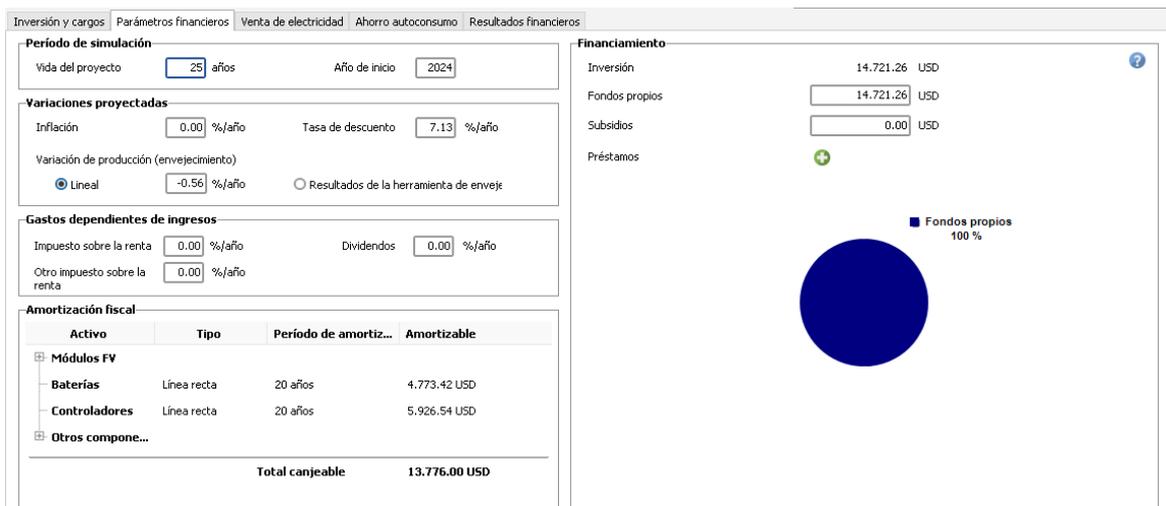


Figura 3.18 Parámetros financieros

4. El apartado de “venta de electricidad” no se modifica debido a que no se vende energía a la red eléctrica convencional. En la sección de “ahorro autoconsumo” se coloca los costos de energía que resultan del uso del sistema de generación a diésel, esto se puede observar en la Figura 3.19. Se modifica para que sea una tarifa fija, sin variación de tarifa anual y con una tarifa de consumo que viene dado por el precio de diésel requerido para tener 1 kWh sin subsidio económico. Se tiene dicho valor tomando un generador/alternador que puede ser usado para alimentar la carga. Un generador “Excalibur” a diésel de 2 [KVA], 1.6 [kW] tiene un consumo de 1,1468 L/h [38]. De acuerdo con [39] el precio del galón de diésel sin subsidio es de \$3,1549, por lo tanto, el valor del litro de diésel sin subsidio sería de \$0,8384.

Una vez obtenidos estos datos se determina que la producción de energía mediante el generador a diésel posee una tarifa energética de 0,5974 USD/kwh.

Tipo de tarifa

Tarifa fija Tarifa variable

Tarifa horaria horas de punta/horas valle

Tarifa estacional

Tarifa del archivo CSV

Tarifa de consumo

Tarifa fija de consumo USD/kWh

Variación de tarifa anual %/año

Figura 3.19 Tarifa eléctrica de un generador a diésel

- Finalmente, se generan los resultados financieros los cuales aparecen en la pantalla de “Resultados financieros”. En la Figura 3.20 se puede observar el resumen de los resultados financieros otorgados por el programa.

Resultados económicos detallados (USD)

Año	Fondos propios	Costos de func.	Ahorro de autoconsumo	Cumul lucro	% amorti.
4	0	1.223	2.536	-10.215	30.6%
5	0	1.223	2.520	-8.296	36.9%
6	0	1.223	2.506	-6.447	42.6%
7	0	1.223	2.492	-4.663	47.9%
8	0	1.223	2.478	-2.940	52.9%
9	0	1.223	2.464	-1.272	57.4%
10	0	1.223	2.451	3.856	61.6%
11	0	1.223	2.437	8.086	65.4%
12	0	1.223	2.423	12.561	69.0%
13	0	1.223	2.410	17.238	72.3%
14	0	1.223	2.396	22.169	75.3%
15	0	1.223	2.383	27.317	78.1%
16	0	1.223	2.369	32.636	80.7%
17	0	1.223	2.356	38.180	83.1%
18	0	1.223	2.343	43.903	85.3%
19	0	1.223	2.330	49.761	87.4%
20	0	1.223	2.317	55.720	89.2%
21	0	1.223	2.304	61.757	91.0%
22	0	1.223	2.291	67.849	92.6%
23	0	1.223	2.278	73.973	94.0%
24	0	1.223	2.265	80.107	95.4%
25	0	1.223	2.252	86.329	96.6%
Total	14.721	26.909	60.293	-496	96.6%

Figura 3.20 Resultados financieros

Al culminar la simulación tanto del sistema como del parte económico en el programa, se obtiene el informe completo que contiene gráficas y tablas necesarias para realizar el análisis pertinente del sistema. En el ANEXO XI se puede observar el informe dado por el programa en su totalidad.

3.4 Validación del sistema fotovoltaico diseñado

Con el sistema fotovoltaico diseñado y simulado en PVsyst se procede a analizar los resultados obtenidos. En la Tabla 3.14 se presenta los balances y resultados principales del sistema de generación fotovoltaico autónomo para la operación de un aireador tipo paleta. En dicha tabla se muestran los valores promedios mensuales de los resultados del diseño fotovoltaico. Se evidencia que los meses en los cuales el sistema puede alimentar de forma permanente el aireador tipo paleta son: febrero, marzo, abril, mayo, junio, septiembre y diciembre. Por otro lado, en los meses restantes existe un déficit de generación y almacenamiento de energía. La deficiencia de energía se encuentra en un rango aceptable siendo menor al 10%. La deficiencia de energía en los meses de enero, julio y agosto se encuentra en un rango de 4.4% y el mes de noviembre presenta una mayor deficiencia de energía con un valor de 9%. Anualmente, el sistema presenta una deficiencia de energía del 1.6%, que indica que el sistema requiere una generación extra de 71.03 kWh anuales para abastecer el aireador. También es importante señalar que el sistema pierde 928,9 kWh anuales debido a que no se puede almacenar dicha energía debido a que las baterías se encuentran completamente cargadas y el aireador no se encuentra en funcionamiento.

Tabla 3.14 Balances y resultados principales

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Eus/Ecarg
En	140,7	128	501,8	85,3	12,65	360,1	372,7	0,966
Feb	127,7	117,7	462	74	0	336,7	336,7	1
Mar	152,3	142,7	558,4	151,6	0	372,7	372,7	1
Abr	152,6	145,9	573,4	155,4	0	360,7	360,7	1
May	140,6	135,5	533,8	107,6	0	372,7	372,7	1
Jun	123,3	119,2	472,1	82,4	0	360,7	360,7	1
Jul	124,4	119,2	472,6	45,5	11,83	360,9	372,7	0,968
Ago	124,7	118,7	471	47,3	3,38	369,4	372,7	0,991
Sep	121,9	114,4	452,6	67,8	0	360,7	360,7	1
Oct	112,8	104,4	410,1	20,7	10,73	362	372,7	0,971
Nov	116,1	105,8	416,5	39,5	32,44	328,3	360,7	0,91
Dic	131,8	119,6	470,2	51,7	0	372,7	372,7	1
Anual	1569	1471,2	5794,4	928,9	71,03	4317,7	4388,8	0,984

Leyenda

- GlobHor: Irradiación horizontal global
- GlobEff: Irradiación horizontal efectivo

- E-Avail: Energía solar disponible
- Eunused: Energía no utilizada (batería llena)
- E_Miss: Energía faltante
- E_User: Energía suministrada al usuario
- E_Load: Necesidad energética del usuario (Carga)
- SolFrac: Fracción solar (Eutilizada / Ecarga)

En la Figura 3.21 se muestra el gráfico de barras con periodicidad mensual referente a las producciones normalizadas por kW pico instalado de: la energía suministrada al usuario, energía no utilizada por baterías llenas, perdidas por colección de energía en los paneles fotovoltaicos y perdidas en el sistema incluyendo perdidas en la carga de las baterías. En el cantón Daule, el mes de abril se caracteriza por poseer un mayor potencial energético fotovoltaico donde la energía solar es menos aprovechada por el sistema. Por otro lado, octubre es el mes con menor potencial energético pero el sistema fotovoltaico diseñado aprovecha de manera óptima el recurso solar para alimentar el aireador.

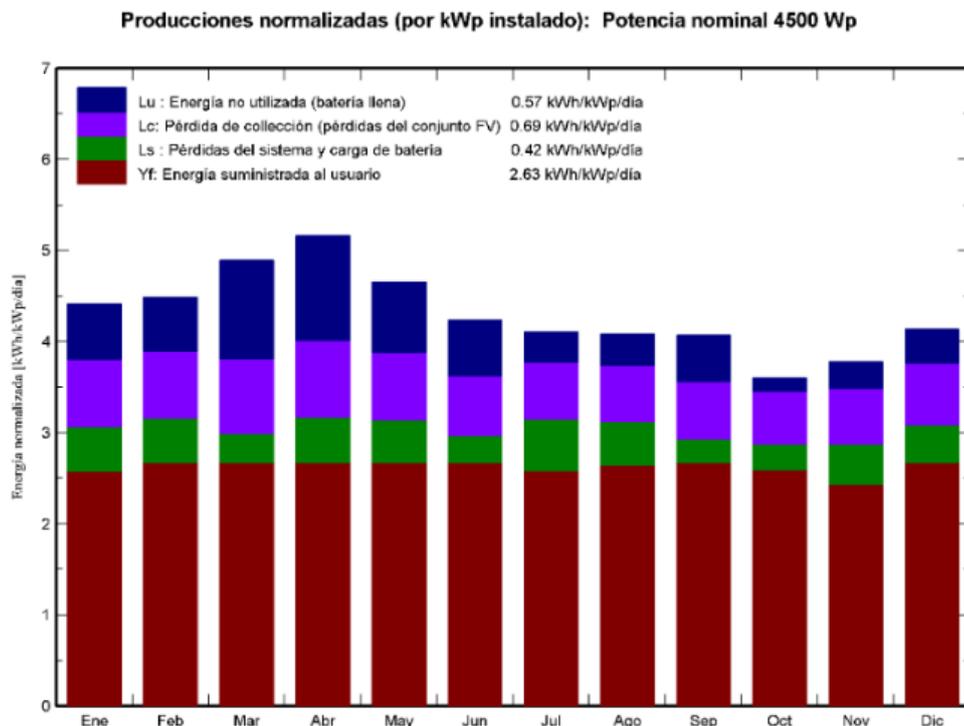


Figura 3.21 Producciones normalizadas

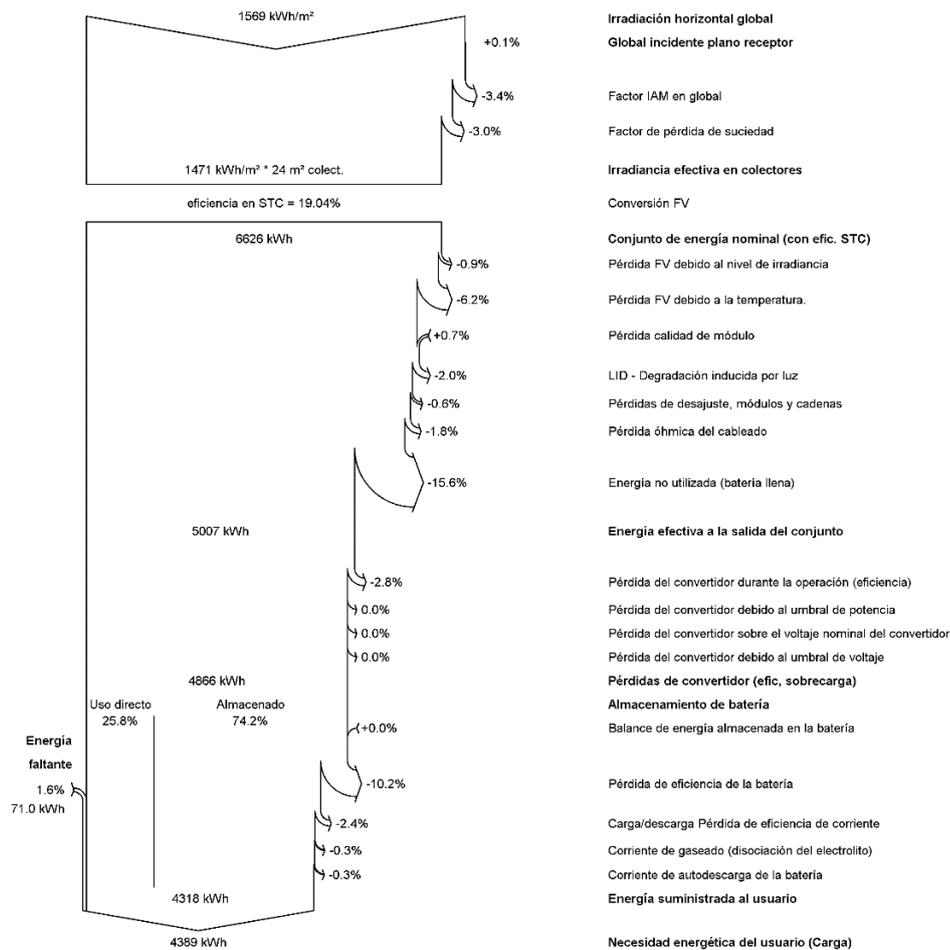


Figura 3.22 Diagrama de pérdidas sistema de generación fotovoltaico autónomo

La Figura 3.22 muestra el diagrama de las pérdidas anuales del sistema mientras que la Tabla 3.15 muestra el resumen de pérdidas más representativas del sistema. La mayoría de las pérdidas del sistema se encuentran por debajo del 5% que es considerado como un valor aceptable dentro de los sistemas fotovoltaicos. Los valores indican que el mayor número de pérdidas se debe a factores como temperatura, energía no utilizada y pérdidas por la eficiencia de la batería, siendo que la mayor pérdida se presenta por el desperdicio de energía debido a que las baterías se encuentran llenas.

Tabla 3.15 Resumen Pérdidas del Sistema

Pérdidas	% anual
FV por nivel de irradiancia	0,9
FV por temperatura	6,2
Óhmicas del cableado	1,8
Energía no utilizada (batería llena)	15,6
Convertidor durante la operación	2,8
Pérdidas de eficiencia de batería	10,2

3.5 Análisis económico

El programa PVsyst, ayuda de manera automática a realizar el análisis económico del sistema diseñado. En la Figura 3.23 se muestran los valores con respecto a los gastos y el retorno de inversión del sistema. En cuanto a los gastos, se observa que el valor del costo energético (LCOE) es superior al valor del costo de producción energético de un generador a diésel. En este contexto, el costo de generación de 1 kW con el sistema fotovoltaico aislado es de 0.6075 ctvs mientras que el costo de generación con diésel de 1 kW es 0.5974 ctvs. Además, se muestra que el valor presente neto (VPN) y el retorno de la inversión (ROI) son negativos, lo que indica como resultado que el proyecto no es económicamente viable para los objetivos planteados.

Gastos	
Costos de operación(OPEX)	1.223.15 USD/año
Anualidades del préstamo	0.00 USD/año
Total	1.223.15 USD/año
LCOE	0.6075 USD/kWh

Retorno de la inversión	
Valor presente neto (VPN)	-496.29 USD
Tasa de rendimiento interno (TRI)	0.00 %
Período de recuperación	Improductivo
Retorno de la inversión (ROI)	-3.4 %

Figura 3.23 Resumen de resultados financieros

En la Figura 3.24 se muestra la tabla de los resultados del proyecto que otorga el programa PVsyst. Se observa de manera detallada que el proyecto no es viable en términos económicos. Se evidencia que, a pesar de que existe un ahorro de dinero por el consumo de energía anual de \$2578, que restándole los costos de operación y mantenimiento de \$1223, se tienen una ganancia anual de \$1030, dicho valor no es suficiente para justificar la inversión requerida en el sistema fotovoltaico. En la Figura 3.25 y la Figura 3.26 se presentan gráficos de barras anuales en los que se puede observar de igual manera que existen ingresos económicos favorables por año, sin embargo, estos valores no cumplen con las expectativas financieras del proyecto con la tasa de descuento seleccionada.

Year	Own funds	Run. costs	Self-cons. saving	Cumul. profit	% amorti.
0	14.721	0	0	-14.721	0.0%
1	0	1.223	2.578	-13.457	8.6%
2	0	1.223	2.563	-12.289	16.5%
3	0	1.223	2.549	-11.211	23.8%
4	0	1.223	2.535	-10.215	30.6%
5	0	1.223	2.520	-9.296	36.9%
6	0	1.223	2.506	-8.447	42.6%
7	0	1.223	2.492	-7.663	47.9%
8	0	1.223	2.478	-6.940	52.9%
9	0	1.223	2.464	-6.272	57.4%
10	0	1.223	2.451	-5.656	61.6%
11	0	1.223	2.437	-5.086	65.4%
12	0	1.223	2.423	-4.561	69.0%
13	0	1.223	2.410	-4.077	72.3%
14	0	1.223	2.396	-3.629	75.3%
15	0	1.223	2.383	-3.217	78.1%
16	0	1.223	2.369	-2.836	80.7%
17	0	1.223	2.356	-2.484	83.1%
18	0	1.223	2.343	-2.160	85.3%
19	0	1.223	2.330	-1.861	87.4%
20	0	1.223	2.317	-1.585	89.2%
21	0	1.223	2.304	-1.331	91.0%
22	0	1.223	2.291	-1.096	92.6%
23	0	1.223	2.278	-880	94.0%
24	0	1.223	2.265	-680	95.4%
25	0	1.223	2.253	-496	96.6%
Total	14.721	30.579	60.293	-496	96.6%

Figura 3.24 Tabla de resultados económicos detallados

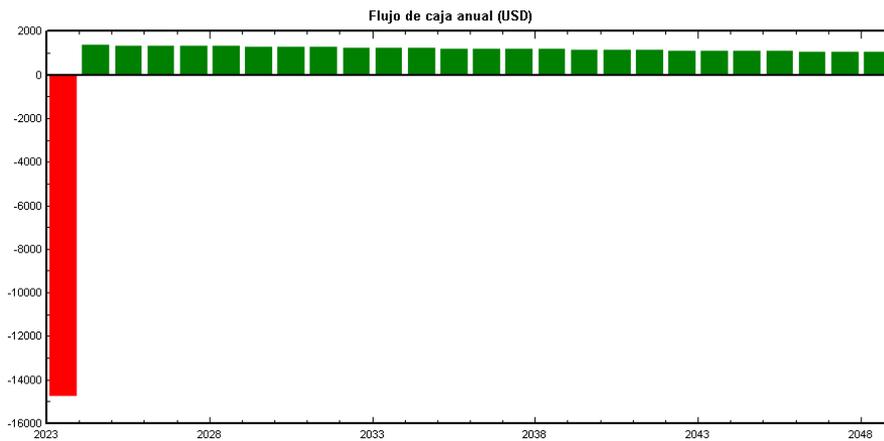


Figura 3.25 Flujo de caja anual

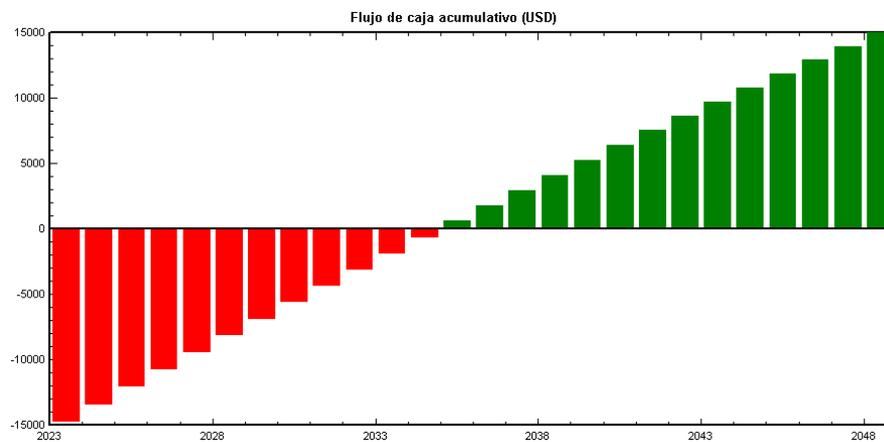


Figura 3.26 Flujo de caja acumulativo

3.6 Conclusiones

Con la investigación realizada de las características operativas y el consumo energético del aireador tipo paleta se logró determinar que dicho aireador es el más usado por su eficiencia, consumo energético, facilidad de instalación y beneficios en el crecimiento y desarrollo de varias especies acuícolas. La potencia de los aireadores tipo paleta más usados en la industria acuícola es baja y se encuentra entre valores de 0.75 y 1.5 kW.

En el presente proyecto se logró determinar de manera adecuada la demanda energética del aireador tipo paleta de 2 [hp] para realizar el diseño del sistema fotovoltaico requerido. Esto se logró mediante la investigación del número de horas necesarias de aireación en piscinas de cultivo semi intensivo de camarón. Se determinó que el tiempo promedio operación del aireador es de 8 horas, la demanda de energía diaria es de 11.936 [kWh] y la demanda de energía anual es de 456.644 [kWh].

El software de simulación PVsyst es una herramienta que permite determinar técnica y económicamente la viabilidad de proyectos fotovoltaicos aislados. Posee librerías de equipos comerciales con características reales en su base de datos lo que permiten un análisis exhaustivo, preciso y confiable del sistema fotovoltaico aislado diseñado para alimentar el aireador tipo paleta de 2 [HP].

Se concluye que el sistema puede suplir la necesidad energética del aireador seleccionado, y que el proyecto es técnicamente viable, ya que de acuerdo con la simulación en el programa PVsyst, el sistema fotovoltaico aislado diseñado tiene la capacidad de generar el 98.38 % de la energía anual requerida para alimentar el aireador tipo paleta de 2 [HP].

El análisis económico del proyecto muestra que el proyecto no es viable debido a que los valores de VPN y ROI son negativos, dando como resultado que la inversión no es recuperada. Para este caso de estudio, no es viable debido al costo de componentes. En este contexto, es más rentable permanecer con la operación de los sistemas de aireación mediante el uso de generadores a diésel en la industria acuícola, aun cuando se elimine por completo el subsidio de combustibles en el país.

3.7 Recomendaciones

Realizar un análisis de impacto ambiental y comparar la reducción de emisiones de gases de invernadero con la implementación del sistema fotovoltaico diseñado y reevaluar la viabilidad del proyecto considerando dicho análisis.

Realizar análisis de sensibilidad variando la tasa de descuento a valores menores para obtener una ganancia menor a la planteada y determinar la viabilidad del sistema diseñado. Esto debido a que la tasa de retorno de la inversión es de -3.4% que es un valor pequeño.

Analizar la viabilidad del sistema cuando el precio de los combustibles aumente o cuando se reduzca el costo de inversión de los sistemas fotovoltaicos aislados principalmente de los sistemas de almacenamiento de energía (baterías).

Instalar sistemas de arranque suave de motores para reducir la corriente y la potencia requerida del controlador e inversor y de esa manera reducir el costo de inversión del sistema fotovoltaico aislado.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] “Crédito de la CAF servirá para llevar electricidad a camaroneras”, *Primicias*. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/credito-caf-servira-para-llevar-electricidad-camaroneras/> (consultado el 22 de enero de 2023).
- [2] E. E. I. A. FARMS, “EFICIENCIA ENERGÉTICA EN GRANJAS ACUICOLAS”, *Investig. Científicas Agrotecnológicas Para Segur. Aliment.*, p. 658.
- [3] “52% de exportaciones de Ecuador proviene del sector acuícola”, *DATASUR*, el 22 de septiembre de 2022. <https://www.datasur.com/52-de-exportaciones-de-ecuador-proviene-del-sector-acuicola/> (consultado el 22 de enero de 2023).
- [4] P. Salazar, E. Delfini, y R. Delfini, “Eficiencia energética en sistemas de bombeo en granjas acuícolas”, *Global Seafood Alliance*, el 14 de enero de 2019. <https://www.globalseafood.org/advocate/eficiencia-energetica-en-sistemas-de-bombeo-en-granjas-acuicola/> (consultado el 22 de enero de 2023).
- [5] J.-P. Pesantez, A. Ríos-Villacorta, y J. González-Redrován, “Integración de Sistemas Solares Fotovoltaicos en el Sector Camaronero Intensivo y Extensivo del Ecuador: Caso de Estudio en la Provincia de El Oro”, *Rev. Politécnica*, vol. 47, núm. 2, Art. núm. 2, abr. 2021, doi: 10.33333/rp.vol47n2.01.
- [6] J. Piñeros, M. Gutiérrez, M. Coelho, y M. Lapa, “Aireación En La Tecnología Biofloc (bft): Principios Básicos, Aplicaciones Y Perspectivas”, *Rev. Politécnica*, vol. 16, núm. 31, pp. 29–40, 2020.
- [7] C. Boyd, “Pond water aeration systems”, *Aquac. Eng.*, vol. 18, núm. 1, pp. 9–40, 1998.
- [8] C. Boyd, “Energy use in aquaculture pond aeration, Part 1 - Responsible Seafood Advocate”, *Global Seafood Alliance*, el 6 de enero de 2020. <https://www.globalseafood.org/advocate/energy-use-in-aquaculture-pond-aeration-part-1/> (consultado el 19 de abril de 2023).
- [9] C. Boyd, “Water quality management and aeration in shrimp farming”, 1989.
- [10] C. Jamroen, P. Kotchprapa, S. Chotchuang, R. Phoket, y P. Vongkoon, “Design and performance analysis of a standalone floating photovoltaic/battery energy-powered paddlewheel aerator”, *Energy Rep.*, vol. 9, pp. 539–548, mar. 2023, doi: 10.1016/j.egy.2022.11.096.
- [11] C. E. Boyd y C. S. Tucker, *Pond aquaculture water quality management*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [12] C. Torasa y N. Sermsri, “SOLAR ENERGY PADDLE WHEEL AERATOR”, *Int. Acad. Multidiscip. Res. Conf. Switz. 2019*, pp. 1–9, 2019.

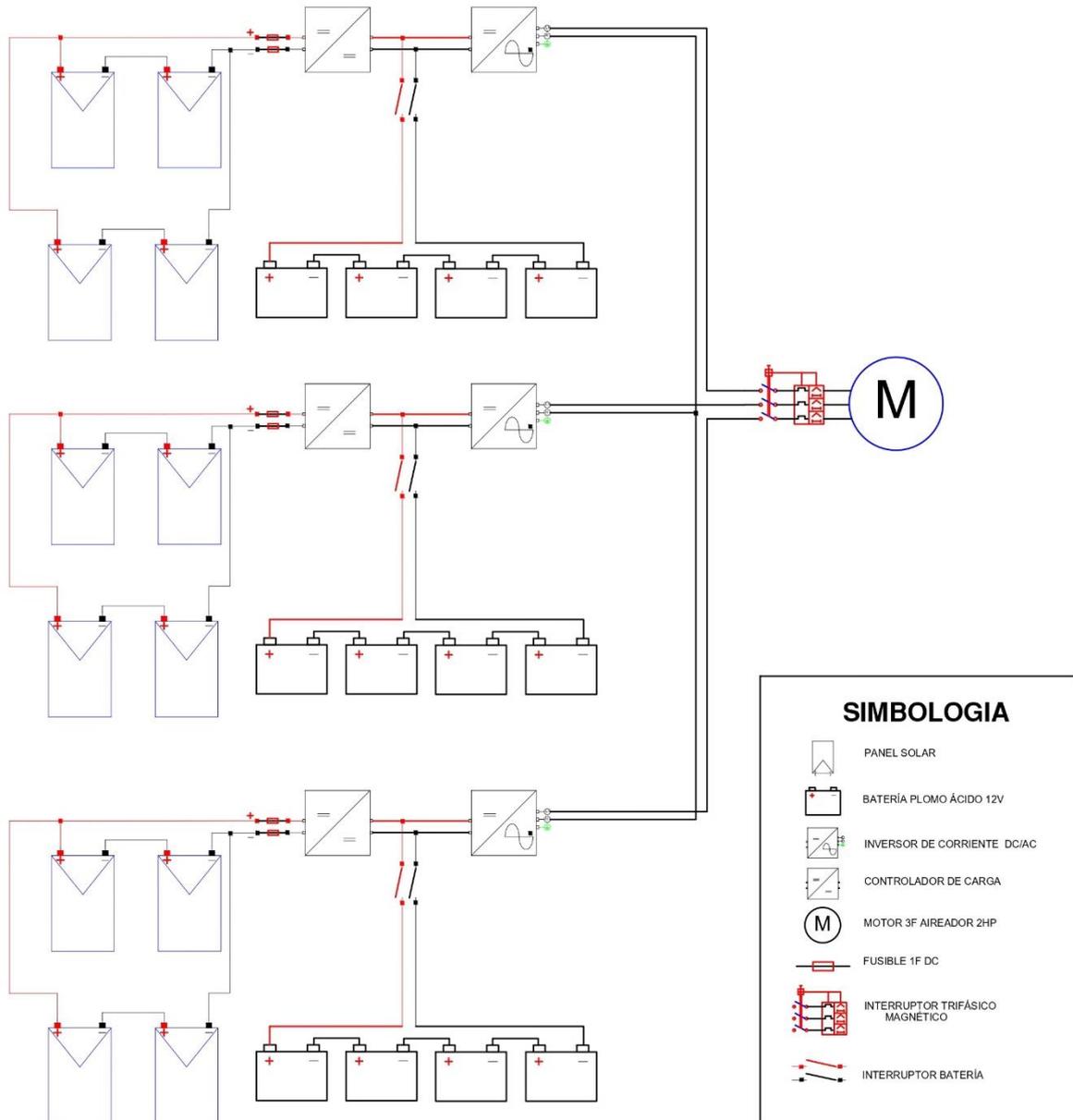
- [13] C. E. Boyd y C. S. Tucker, "Pond Aquaculture Water Quality Management., 1998", *Norwell Mass.*, vol. 2061, pp. 144–147.
- [14] C. Echegaray, M. Masabanda, F. Rodriguez, T. Toulkeridis, F. Mato, y A. Alegria, "Solar Energy Potential in Ecuador", presentado en Proceedings of the IEEE, abr. 2018, pp. 46–51. doi: 10.1109/ICEDEG.2018.8372318.
- [15] S. Torres, F. Jurado, D. Granados, y A. Lozano, "Eficiencia en paneles solares Efficiency in solar panels", *Diseño*, p. 9.
- [16] J. Aguilera, L. Hontoria, y F. J. Muñoz, "Dimensionado de sistemas fotovoltaicos autónomos".
- [17] A. Bagher, M. Abadi, y M. Mohsen, "Types of solar cells and application", *Am. J. Opt. Photonics*, vol. 3, núm. 5, pp. 94–113, 2015.
- [18] H. A. Guda y U. O. Aliyu, "Design of a stand-alone photovoltaic system for a residence in Bauchi", *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 5, núm. 1, pp. 34–44, 2015.
- [19] S. Qazi, *Standalone photovoltaic (PV) systems for disaster relief and remote areas*. Elsevier, 2016.
- [20] "MPPT vs PWM Solar Charge Controllers – EPEVER Blog". <https://blog.epever.com/mppt-vs-pwm-solar-charge-controllers/> (consultado el 25 de junio de 2023).
- [21] M. Abella, "Sistemas fotovoltaicos", *SAPT Publicaciones Téc. SL*, 2005.
- [22] A. Santillán Tituaña, "Estudio de la incorporación de baterías en sistemas fotovoltaicos", 2016.
- [23] L. Herrera y G. Solórzano, "Planteamiento de una alternativa energética renovable para el sistema de bombeo de agua en las camaroneras del Ecuador enfocado en el consumo de diésel y su impacto ambiental", bachelorThesis, Quito, 2017., 2017. Consultado: el 13 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17480>
- [24] "Support – PVsyst". <https://www.pvsyst.com/support/> (consultado el 13 de julio de 2023).
- [25] D. Orozco y M. Arias, "Estudio de la rentabilidad de una instalación fotovoltaica considerando pérdidas de potencia activa", 2016, Consultado: el 13 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/11059/7216>
- [26] G. Lizarzaburo, "El camarón se adentra en los cantones", *Expreso*, el 24 de octubre de 2021. <https://www.expreso.ec/actualidad/economia/camaron-adentra-cantones-114271.html> (consultado el 15 de mayo de 2023).
- [27] "Calculadora PVWatts". <https://pvwatts.nrel.gov/pvwatts.php> (consultado el 15 de mayo de 2023).

- [28] A. Abu-Jasser, "A Stand-Alone Photovoltaic System, Case Study: A Residence in Gaza", *J. Appl. Sci. Environ. Sanit.*, vol. 5, ene. 2010.
- [29] A. Ríos, J. Guaman, C. Vargas, M. García, y A. Rios Villacorta, "Design, Dimensioning, and Installation of Isolated Photovoltaic Solar Charging Station in Tungurahua, Ecuador", *Int. J. Renew. Energy Res.*, vol. 7, mar. 2017.
- [30] N. I. Ahmad *et al.*, "Lightning protection on photovoltaic systems: A review on current and recommended practices", *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 82, pp. 1611–1619, 2018.
- [31] "PV System: how to ensure safety during normal operation - Electrical Installation Guide". https://www.electrical-installation.org/enwiki/PV_System:_how_to_ensure_safety_during_normal_operation (consultado el 25 de junio de 2023).
- [32] "¿Qué cables se utilizan en las instalaciones solares? | AutoSolar Blog". <https://autosolar.co/aspectos-tecnicos/que-cables-se-utilizan-en-las-instalaciones-solares> (consultado el 3 de julio de 2023).
- [33] A. D. Mosheer y C. K. Gan, "Optimal solar cable selection for photovoltaic systems", *Int. J. Renew. Energy Resour.*, vol. 5, núm. 2, pp. 28–37, 2015.
- [34] J. C. Gomez, "Protección de Celdas Fotovoltaicas Mediante Fusibles Clase gPV".
- [35] "Desconectador de Baterías 300A | al Mejor Precio". <https://autosolar.es/accesorios-baterias/desconectador-de-baterias-300a> (consultado el 19 de agosto de 2023).
- [36] "Alibaba compra venta por mayor". <https://m.spanish.alibaba.com/?tab=all&InAS=y> (consultado el 26 de julio de 2023).
- [37] "Banco Central del Ecuador - BCE". <https://www.bce.fin.ec/> (consultado el 16 de julio de 2023).
- [38] "Excalibur-generador Diésel De Un Solo Cilindro 1.6kW", *Excalibur-generador diésel de un solo cilindro, 7000w, S9800de, refrigerado por aire, 2kw, 3kw, 4kw, 6kw, 4kw, 5kw, 6kw, 7kw, 8kw.* <https://spanish.alibaba.com/p-detail/Excalibur-1600394111475.html?spm=a2700.details.0.0.3b3277073Mljwk> (consultado el 16 de julio de 2023).
- [39] D. Serrano, "Este es el precio real del diésel y las gasolinas", *El Comercio*, el 25 de julio de 2022. <https://www.elcomercio.com/actualidad/negocios/este-es-precio-real-del-diesel-gasolinas.html> (consultado el 16 de julio de 2023).

5 ANEXOS

ANEXO I

Sistema Fotovoltaico 48/380 [V] 2 [HP] 1.5 [kW]



ANEXO II



FEATURES

- HCP unprecedentedly set up a standardized 8 meter DO testing pool with measured depth at 1.26-2.0m, volume at 63-100 m³, equipped with sophisticated instrument to gauge the DO and power consumption of our paddlewheels under development. With such advanced facility, we are able to develop a new generation of highly efficient and power-saving paddlewheel aerators.
- HCP Paddlewheel Aerators are certified by Certification for High-Efficiency and Power-Saving Paddlewheel Aerators and recommended by National Fishery Bureau as the best choice of high-efficiency and power-saving products due to its excellent performance and superior quality.
- Based on our professional and rich experience in design, we re-engineered the traditional paddlewheel aerators by upgrading their power. The high-efficiency design of our paddlewheel aerators aims for saving your electricity bill noticeably. The standardized structure and superior material are utilized on our paddlewheel aerators to ensure the longevity of each component.
- Please purchase the complete set of our paddlewheel aerators to ensure the best performance.



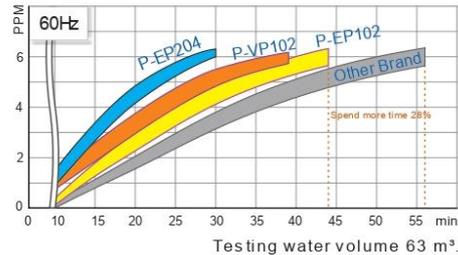
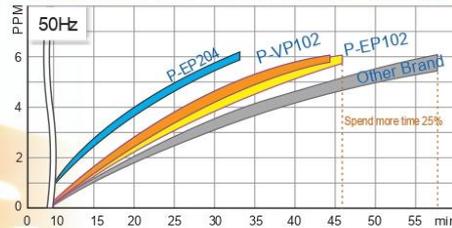
PRODUCT NOMENCLATURE

P	—	V/E	P	1	02
Type		Float/Pontoon	Paddle Material	HP	Paddle Units

APPLICATIONS

- Oxygen supply for breeding ponds.
- Generates current and circulation.
- Improve the quality of water.

DISSOLVED OXYGEN CURVE



PERFORMANCE SPECIFICATION

Model	Power HP(kW)	Input power kW	3Ø 220V Amperage	3Ø 380V Amperage	Float	Ratio	Paddle Submersion Depth(cm)	Weight kg(lb)	Dimension cm	Container Load	
										40 ft	20 ft
P-EP102	1(0.75)	0.71-0.75	-	1.4-1.5	Pontoon	14: 1	11	75(165)	170*160*87	160	80
P-EP204	2(1.5)	1.03-1.06	-	2.3-2.4	Pontoon	14: 1	8	91(201)	210*220*87	106	53
P-VP102	1(0.75)	0.76-0.79	-	1.5-1.6	Pipe	14: 1	11.5	94(207)	210*194*87	106	53
P-EP102	1(0.75)	0.69-0.72	2.3-2.4	1.3-1.4	Pontoon	17: 1	11	74(163)	170*160*87	160	80
P-EP204	2(1.5)	1.04-1.07	3.6-3.7	2.0-2.1	Pontoon	17: 1	8	90(198)	210*220*87	106	53
P-VP102	1(0.75)	0.74-0.76	2.4-2.6	1.4-1.5	Pipe	17: 1	11.5	93(205)	210*194*87	106	53

ANEXO III

HOJA DE DATOS						
Motor Trifásico de Inducción - Rotor de Jaula						
Cliente : _____						
Línea del producto : W22Xec IE2 Trifásico				Código del producto :		12977465
Carcasa : 80 Potencia : 1.5 kW (2 HP) Polos : 2 Frecuencia : 60 Hz Tensión nominal : 220/380 V Corriente nominal : 5.58/3.23 A Corriente de arranque : 38.5/22.3 A Ip/In : 6.9 Corriente en vacío : 2.80/1.62 A Rotación nominal : 3385 rpm Resbalamiento : 5.97 % Torque nominal : 0.432 kgfm Torque de arranque : 350 % Torque máximo : 310 % Clase de aislamiento : F Factor de servicio : 1.00 Momento de inercia (J) : 0.0009 kgm² Categoría : N			Tiempo de rotor bloqueado : 23s (frío) 13s (caliente) Elevación de temperatura : 80 K Régimen de servicio : S1 Temperatura ambiente : -20°C hasta +40°C Altitud : 1000 m Grado de protección : IP55 Método de refrigeración : IC411 - TEFC Forma constructiva : B3T Sentido de giro¹ : Ambos Nivel de ruido² : 62.0 dB(A) Método de Arranque : Partida directa Masa aproximada³ : 14.0 kg			
Potencia 50% 75% 100% Rendimiento (%) 81.0 83.2 84.0 Cos Φ 0.66 0.78 0.84			Fuerzas en la fundación Tracción máxima : 35 kgf Compresión máxima : 49 kgf			
Pérdidas en puntos de funcionamiento estándar (velocidad; par), en porcentaje de la potencia nominal						
P1 (0,9;1,0)	P2 (0,5;1,0)	P3 (0,25;1,0)	P4 (0,9;0,5)	P5 (0,5;0,5)	P6 (0,5;0,25)	P7 (0,25;0,25)
18.2	15.7	15.4	9.3	6.2	4.2	2.8
Tipo de cojinete : Sello : Intervalo de lubricación : Cantidad de lubricante : Tipo de lubricante :			Delantero 6204 ZZ V'Ring - - Mobil Polyrex EM		Trasero 6203 ZZ V'Ring - -	
Notas						
Esta revisión reemplaza y cancela la anterior, la cual deberá ser eliminada. (1) Mirando la punta delantera del eje del motor. (2) Medido a 1m y con tolerancia de +3dB(A). (3) Masa aproximada sujetos a cambios después del proceso de fabricación. (4) Al 100% de la carga completa.				Los valores indicados son valores promedio con base en ensayos y para alimentación en red senoidal, sujetos a las tolerancias de la norma IEC 60034-1.		
Rev.	Resumen de los cambios			Ejecutado	Verificado	Fecha
Ejecutor						
Verificador				Pagina		Revisión
Fecha	23/05/2023			1 / 2		

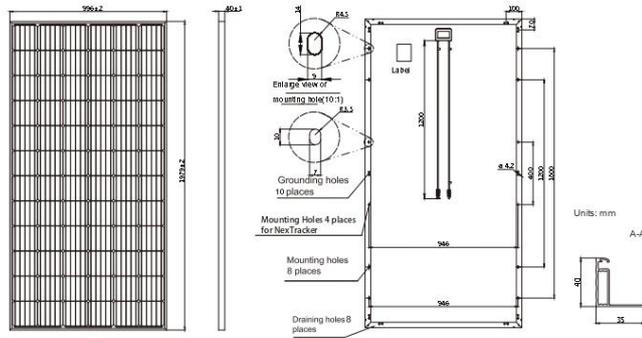
Propiedad de WEG S/A. Prohibida la reproducción sin permiso.
Sujeto a cambios sin previo aviso

ANEXO IV



JAM72S09 375-395/PR Series

MECHANICAL DIAGRAMS



SPECIFICATIONS

Cell	Mono
Weight	22.3kg±3%
Dimensions	1979±2mm×996±2mm×40±1mm
Cable Cross Section Size	4mm ²
No. of cells	72 (6x12)
Junction Box	1P67, 3 diodes
Connector	QC 4.10-35
Packaging Configuration	27 Per Pallet

Remark: customized frame color and cable length available upon request

ELECTRICAL PARAMETERS AT STC

TYPE	JAM72S09 -375/PR	JAM72S09 -380/PR	JAM72S09 -385/PR	JAM72S09 -390/PR	JAM72S09 -395/PR
Rated Maximum Power(Pmax) [W]	375	380	385	390	395
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	48.47	48.75	49.04	49.35	49.64
Maximum Power Voltage(Vmp) [V]	39.27	39.59	39.90	40.21	40.48
Short Circuit Current(Isc) [A]	10.06	10.12	10.17	10.22	10.27
Maximum Power Current(Imp) [A]	9.55	9.60	9.65	9.70	9.76
Module Efficiency [%]	19.0	19.3	19.5	19.8	20.0
Power Tolerance	0~+5W				
Temperature Coefficient of Isc(α _{Isc})	+0.060%/°C				
Temperature Coefficient of Voc(β _{Voc})	-0.300%/°C				
Temperature Coefficient of Pmax(γ _{Pmp})	-0.370%/°C				
STC	Irradiance 1000W/m ² , cell temperature 25°C, AM1.5G				

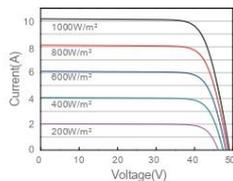
Remark: Electrical data in this catalog do not refer to a single module and they are not part of the offer. They only serve for comparison among different module types.
*For NexTracker installations static loading performance: front load measures 2400Pa, while back load measures 2400Pa.

ELECTRICAL PARAMETERS AT NOCT

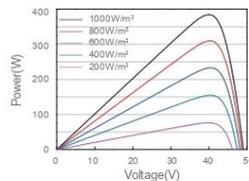
TYPE	JAM72S09 -375/PR	JAM72S09 -380/PR	JAM72S09 -385/PR	JAM72S09 -390/PR	JAM72S09 -395/PR	OPERATING CONDITIONS
Rated Max Power(Pmax) [W]	278	281	285	289	292	Maximum System Voltage 1000V/1500V DC(IEC)
Open Circuit Voltage(Voc) [V]	45.86	46.15	46.47	46.78	47.09	Operating Temperature -40°C~+85°C
Max Power Voltage(Vmp) [V]	37.05	37.34	37.64	37.92	38.21	Maximum Series Fuse 20A
Short Circuit Current(Isc) [A]	7.95	7.99	8.03	8.07	8.11	Maximum Static Load,Front* 5400Pa
Max Power Current(Imp) [A]	7.49	7.53	7.57	7.61	7.65	Maximum Static Load,Back* 2400Pa
NOCT	Irradiance 800W/m ² , ambient temperature 20°C, wind speed 1m/s, AM1.5G					NOCT 45±2°C
						Application Class Class A

CHARACTERISTICS

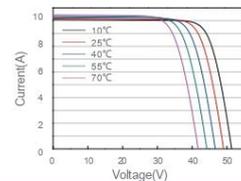
Current-Voltage Curve JAM72S09-385/PR



Power-Voltage Curve JAM72S09-385/PR



Current-Voltage Curve JAM72S09-385/PR



Premium Cells, Premium Modules

Version No. : Global_EN_20190515A

ANEXO V

stored energy solutions for a demanding world

Narada

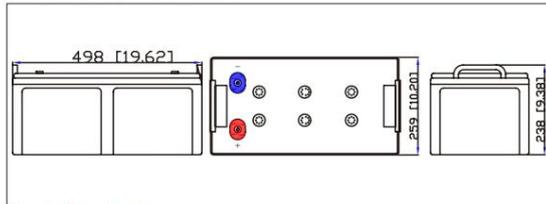
Model: MPG12V200

MPG series

The MPG range VRLA batteries adopt flat plates with gel electrolyte and are designed with front terminal structure. The perfect design ensures MPG series battery the high reliability and makes the installation quite simple and safe when placed on a standard relay rack tray or in a closed cabinet. MPG range VRLA battery is designed with high energy density and suitable for 19", 23" rack or cabinet, and also offers options of top connection and side of monoblocs connection. MPG range battery can be equipped with central gas collection system according to the requirement of customer. The design float life is 12 years @ 25°C(77°F).



Dimensions-mm[inch]



Specifications

Battery Model	MPG12V200
Nominal Voltage	12V
Rated Capacity	200Ah (10hour rate) to 1.80V/cell @25°C(77°F)
Typical Weight	67.0kg
Internal Resistance	About 3.0mΩ
Operating Temperature Range	Operation (maximum): -40°C to 50°C(-40°F to 122°F)
	Operation (recommended): 15°C to 25°C(59°F to 77°F)
	Storage: -20°C to 40°C(-4°F to 104°F)
Float Voltage	2.25V/cell@25°C(77°F)
Recommended Maximum Charging Current Limit	50A
Equalize and Cycle Service	2.35V~2.40V/cell@25°C(77°F)
Self Discharge	The residual capacity is above 90% after 90 days storage(25°C/77°F)
Terminal	M8 Female
Terminal Hardware Torque	8 ± 1.0Nm
Container Material	ABS (V0 optional)

Constant Current Discharge Characteristics Units: Amperes (25°C, 77°F)

End voltage per cell	5min	15min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	12h	20h	24h
1.60V	655	353	214	154	124.5	71.4	55.9	43.0	38.6	32.3	25.2	20.7	17.57	10.94	9.13
1.67V	616	340	210	153	123.5	71.1	54.9	42.7	38.2	32.2	24.9	20.4	17.37	10.84	9.05
1.70V	610	334	207	152	122.5	70.5	54.6	42.5	37.8	32.2	24.9	20.5	17.27	10.84	9.04
1.75V	560	324	205	151	121.5	68.7	54.0	42.0	37.3	31.9	24.6	20.3	17.27	10.74	9.03
1.80V	502	301	197	145	117.5	68.1	53.6	41.9	36.3	31.3	24.5	20.1	17.07	10.64	9.02
1.83V	479	276	193	140	112.4	67.3	51.9	40.0	35.1	30.2	23.9	19.4	16.37	10.64	8.87
1.85V	449	268	178	135	109.4	64.8	50.5	39.4	34.3	29.6	23.1	19.2	16.26	10.44	8.80

Discharge Data with Constant Power Units: Watts per cell (25°C, 77°F)

End voltage per cell	5min	15min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	12h	20h	24h
1.60V	1096	619	386	290	233.9	134.5	106.4	82.3	73.9	62.2	48.8	40.1	34.04	21.59	18.07
1.67V	1055	608	383	288	232.9	134.5	105.4	82.2	73.6	62.1	48.3	39.8	33.73	21.59	18.07
1.70V	1048	601	383	288	231.9	133.5	105.4	81.9	72.9	62.2	48.2	39.6	33.43	21.49	18.07
1.75V	979	597	381	287	228.9	133.5	103.4	81.8	72.5	61.9	47.7	39.5	33.43	21.49	18.07
1.80V	914	563	372	280	227.9	132.5	103.4	81.6	70.8	61.3	47.7	39.3	33.33	21.49	18.07
1.83V	881	516	368	272	218.9	131.5	101.4	78.6	69.3	59.6	47.2	38.3	32.63	21.39	17.87
1.85V	835	504	342	261	211.8	126.5	98.4	77.6	67.6	58.4	45.8	38.0	32.43	20.98	17.77

Copyright Narada Power Source Co., Ltd.

www.naradapower.com

ANEXO VI



+1-215-321-4457
sales@morningstarcorp.com

Especificaciones técnicas

Versiones	TS-MPPT-30	TS-MPPT-45	TS-MPPT-60	TS-MPPT-60M
Medidor				
TS-M2	Opcional	Opcional	Opcional	Incluido
TS-RM2	Opcional	Opcional	Opcional	Opcional
Eléctricas				
Corriente máxima de la batería	30 A	45 A	60 A	
Potencia de salida máxima nominal*			Salida máx.	Entrada FV máx.*
12 V	400 W	600 W	800 W	1100 W
24 V	800 W	1200 W	1600 W	2100 W
48 V	1600 W	2400 W	3200 W	4200 W
Entrada solar FV máxima recomendada*	~130 % de potencia de salida máxima nominal (más abajo se muestran modelos de 60 A)			
Eficiencia máxima	99 %			
Voltaje nominal del sistema	CC de 12, 24, o 48 V			
Voltaje máximo del circuito abierto solar FV**	CC de 150 V (sin daños a la unidad)			
Intervalo de voltaje de la batería	CC de 8-72 V			
Autoconsumo máximo	2,7 W			
Protección de sobretensión transitoria	4500 W/puerto			
Carga de batería				
Algoritmo de carga	4 etapas			
Etapas de carga	En masa, absorción, flotación, equalización			
Compensación de temperatura:	Coeficiente Intervalo Puntos de ajuste	-5 mV/°C/celda (ref. 25 °C) -30 °C a +80 °C Absorción, flotación, equalización, HVD		
Sensor de temperatura remoto (RTS)	Incluido			

Certificaciones:

- Marcado CE y cumplimiento con RoHS
- Homologado por ETL (UL1741)
- cETL (CSA C22.2 N.º 1071-01)
- FCC, clase B, parte 15
- Fabricado en una planta con certificación ISO 9001
- IEC 62109-1 (UL/CSA/IEC requiere una temperatura ambiente limitada a 45 °C)

Opciones:

- Medidor TriStar Meter-2 (TS-M-2)
- Medidor remoto TriStar Meter-2 (TS-RM-2)
- Concentrador MeterHub (HUB-1)
- Controlador de relé (RD-1)
- EMC-1

Notas:

* El intervalo de potencia del panel FV puede superar la potencia de salida máxima nominal del controlador. El controlador limitará la corriente de la batería y evitará daños. Si se produce un aumento excesivo del tamaño de algún panel, cada caso debe tratarse de manera individual. Consulte nuestra herramienta de cálculo de cadenas para paneles FV y documentación técnica relacionada en <https://www.morningstarcorp.com/array-oversizing>

** El voltaje FV debe ser mayor que el voltaje de la batería +1 voltio para iniciar la carga.

*** Acepta 75 Vmp, carcasa sin ventilación. Consulte el manual de funcionamiento para obtener más información sobre el rendimiento.

Garantía:

Período de 5 años de garantía.
Póngase en contacto con Morningstar o su distribuidor autorizado para conocer las condiciones completas.

Puertos de comunicación	TS-MPPT-30	TS-MPPT-45	TS-MPPT-60	TS-MPPT-60M
MeterBus	Sí	Sí	Sí	Sí
RS-232	Sí	Sí	Sí	Sí
EIA-485	No	No	Sí	Sí
Ethernet	No	No	Sí	Sí
EMC-1	Sí	Sí	Sí	Sí

Medioambientales

Intervalo de temperatura ambiente de funcionamiento	-40 °C a +60 °C
Puede disminuir por encima de la siguiente temperatura***	TS-MPPT-60 = 45 °C TS-MPPT-45 = 50 °C TS-MPPT-30 = 55 °C
Temperatura de almacenamiento	-55 °C a +85 °C
Humedad	100 % sin condensación
Tropicalización	Encapsulado en material epoxídico, revestimiento conformado, terminales con clasificación marina

Protecciones electrónicas	
FV	Sobrecarga, cortocircuito, alto voltaje
Batería	Alto voltaje
Exceso de temperatura	
Sobrecargas por rayos y sobretensión transitoria	
Corriente inversa nocturna	

Mecánicas

Dimensiones	29,1 x 13,0 x 14,2 cm
Peso	4,2 kg
Tamaño máximo de cable	35 mm ² /2 AWG
Preperforaciones del conducto	M20; ½, 1, 1 ¼ pulgadas
Carcasa	Tipo 1 (interior y con ventilación) IP20

8 Pheasant Run, Newtown, PA 18940, EE. UU. www.morningstarcorp.com

Debido a la política de mejora continua de Morningstar, la disponibilidad, características y especificaciones de los productos están sujetas a cambios sin previo aviso.

Control n.º MS-001901 Revisión: 12/2021.ES
Copyright 2022

ANEXO VII

Inversor Phoenix	C12/1200 C24/1200	C12/1600 C24/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	Sí				
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Salida	Salida: 230V ± 2% / 50/60Hz ± 0,1% (1)				
Potencia cont. de salida 25°C (VA) (2)	1200	1600	2000	3000	5000
Potencia cont. de salida 25°C (W)	1000	1300	1600	2400	4000
Potencia cont. de salida 40°C (W)	900	1200	1450	2200	3700
Potencia cont. de salida 65°C (W)	600	800	1000	1700	3000
Pico de potencia (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Eficacia máx. 12/ 24 / 48V (%)	92 / 94 / 94	92 / 94 / 94	92 / 92	93 / 94 / 95	94 / 95
Consumo en vacío 12 / 24 / 48V (W)	8 / 10 / 12	8 / 10 / 12	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35
Consumo en vacío en modo AES (W)	5 / 8 / 10	5 / 8 / 10	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30
Consumo en vacío modo Search (W)	2 / 3 / 4	2 / 3 / 4	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15
GENERAL					
Relé programable (3)	Sí				
Protección (4)	a – g				
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema				
On/Off remoto	Sí				
Características comunes	Temperatura de funcionamiento: -40 a +65°C (refrigerado por ventilador) Humedad (sin condensación): Máx. 95%				
CARCASA					
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Tipo de protección: IP21				
Conexiones de la batería	cables de batería de 1,5 metros se incluye		Pernos M8	2+2 Pernos M8	
Conexiones 230 V CA	Enchufe G-ST18i		Abrazadera-resorte	Bornes atornillados	
Peso (kg)	10		12	18	30
Dimensiones (al x an x p en mm.)	375 x 214 x 110		520 x 255 x 125	362 x 258 x 218	444 x 328 x 240
NORMATIVAS					
Seguridad	EN 60335-1				
Emissiones / Inmunidad	EN 55014-1 / EN 55014-2				
Directiva de automoción	2004/104/EC	2004/104/EC		2004/104/EC	
1) Puede ajustarse a 60 Hz, y a 240 V. 2) Cargno lineal, factor de cresta 3:1 3) Relé programable que puede configurarse en alarma general, subtensión de CD o como señal de arranque de un generador (es necesario el Interfaz MK2 y el software VEConfigure) Capacidad nominal CA 230V / 4A Capacidad nominal CC 4 A hasta 35VDC, 1 A hasta 60VDC	4) Protección: a) Cortocircuito de salida b) Sobrecarga c) Tensión de la batería demasiado alta d) Tensión de la batería demasiado baja e) Temperatura demasiado alta f) 230 V CA en la salida del inversor g) Ondulación de la tensión de entrada demasiado alta				



Panel de Control para Inversor Phoenix

También puede utilizarse en un inversor/cargador MultiPlus cuando se desea disponer de un conmutador de transferencia automático, pero no de la función como cargador. La luminosidad de los LED se reduce automáticamente durante la noche.



Color Control GX

Proporciona monitorización y control de forma local y remota en el [Portal VRM](#).



Interfaz MK3-USB VE.Bus a USB

Se conecta a un puerto USB (ver [Guía para el VEConfigure](#))



Interfaz VE.Bus a NMEA 2000

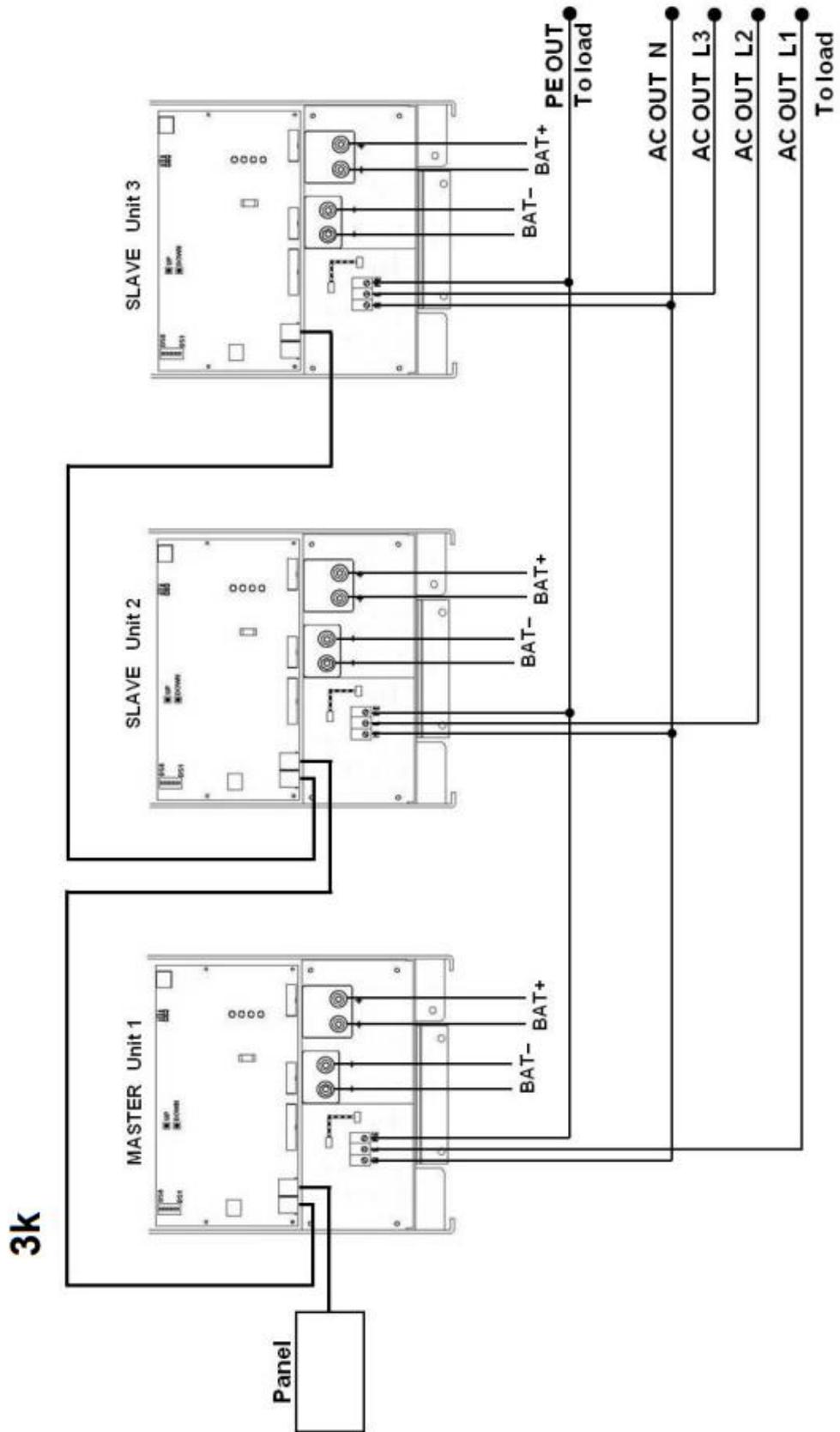
Liga o dispositivo a una red electrónica marítima NMEA2000. Consulte o [guía de integração NMEA2000 e MFD](#)



Monitor de baterías BMV-700

El monitor de baterías BMV-700 dispone de un avanzado sistema de control por microprocesador combinado con un sistema de medición de alta resolución de la tensión de la batería y de la carga/descarga de corriente. Aparte de esto, el software incluye unos complejos algoritmos de cálculo, como la fórmula Peukert, para determinar exactamente el estado de la carga de la batería. El BMV muestra de manera selectiva la tensión, corriente, Ah consumidos o tiempo restante de carga de la batería. El monitor también almacena una multitud de datos relacionados con el rendimiento y uso de la batería.

Hay varios modelos disponibles (ver la documentación del monitor de baterías).



ANEXO VIII

PARÁMETROS TÉCNICOS

MODELO	ZTPV 25			
Imagen				
Tamaño (mm)	10x38			
Tensión nominal Ue (V)	DC1000			
Corriente nominal In (A)	1 2 3 4 5 6 8 10 12 15 16 20 25 30 32			
Capacidad de ruptura nominal (33)	33			
Clase de operación	gPV			
Temperatura de trabajo	-50~105			
Altitud (m)	≤ 2000			
Peso (g)	10			
Estándar	IEC60269.6			
Detalles del material				
Nombre de la pieza	Tapa	Cuerpo	Elemento fusible	Agente extintor de arcos
Material	Cobre rojo	Óxido de aluminio	Plata	Silicio

ANEXO IX

Hoja de características del producto

Especificaciones



Interruptor magnetotérmico; Acti9
iC60N; 4P; 25 A; curva D; 6000 A/10
kA

A9F75425

Principal

Función	Para corriente > 0,1 A
Gama	Acti9
Nombre del producto	Acti 9 iC60 RCBO
Tipo de producto o componente	Interruptor automático en miniatura
Nombre abreviado del equipo	iC60N
Número de polos	4P
Número de polos protegidos	4
[In] Corriente nominal	25 A
Tipo de red	Corriente continua AC
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Código de curva	D
Capacidad de corte	6000 A Icn en 400 V AC 50/60 Hz acorde a EN/IEC 60898-1 36 kA Icu en 12...60 V AC 50/60 Hz acorde a Icu 10 kA Icu en 380...415 V AC 50/60 Hz acorde a Icu 20 kA Icu en 220...240 V AC 50/60 Hz acorde a Icu 6 kA Icu en 440 V AC 50/60 Hz acorde a Icu 36 kA Icu en 100...133 V AC 50/60 Hz acorde a Icu 10 kA Icu en <= 250 V corriente continua acorde a Icu
Categoría de empleo	Categoría A acorde a HB1 Categoría A acorde a En > 50 A
Poder de seccionamiento	Sí acorde a EN 60898-1 Sí acorde a HB1 Sí acorde a IEC 60898-1 Sí acorde a En > 50 A
Normas	IEC 60898-1 En > 50 A EN 60898-1 HB1

Complementario

Frecuencia de red	50/60 Hz
Límite de enlace magnético	12 x In +/- 20 %
[Ics] poder de corte en servicio	15 kA 75 % acorde a HB1 - 220...240 V AC 50/60 Hz 7,5 kA 75 % acorde a HB1 - 380...415 V AC 50/60 Hz 4,5 kA 75 % acorde a HB1 - 440 V AC 50/60 Hz 15 kA 75 % acorde a En > 50 A - 220...240 V AC 50/60 Hz 7,5 kA 75 % acorde a En > 50 A - 380...415 V AC 50/60 Hz 4,5 kA 75 % acorde a En > 50 A - 440 V AC 50/60 Hz 27 kA 75 % acorde a En > 50 A - 12...133 V AC 50/60 Hz

Aviso Legal: Esta documentación no pretende sustituir ni debe utilizarse para determinar la adecuación o la fiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de los usuarios

16-jul-2023

Libre de CO₂ | Schneider
Electric

1

ANEXO X



Photovoltaic Cable 2000 V UL 4703

Technical Sheet

Features

Rated and Listed as PV Wire per UL 4703
 Also listed as Type USE-2 / RHW-2 per UL 44.
 FV-1 Vertical Flame rating per UL 2556
 Meet requirements of UL 854 for Type USE-2
 Complete Cable is Led Free and RoHS compliant.



Specifications:

Maximum operating Voltage: 2000 V
 Temperature range wet or dry: -40oC ... 90oC

Application:

Technical Sheet

For interconnecting wiring of grounded and ungrounded photovoltaic power systems as described in Wiring Systems, Article 690, and other applicable parts of the National Electrical Code (NEC), NFPA 70.

Construction:

Single Copper Conductor 19 strands, Cross linked Polyethylene (XLPE Insulation) Manufactured in North America.

1. Copper Compressed Conductor.
2. Cross-Linked Polyethylene Insulation.

Photovoltaic Cable XLPE Insulated 2000 Volts

SIZE AWG	No. STRANDS	COND. DIAM	INSULATION THICKNESS	OVERAL DIAM	TOTAL WEIGHT	DC RESISTANCE 25°C	Ohms per 1000 foot @60Hz and 90°C		Single CDR in Air
AWG		in	in	in	LBS/KFT	Ohms/1000 ft	Rac	Reactance XL	Amp
12	19	0.92	0.075	0.235	45	1.65	2.075	0.045	30
10	19	0.115	0.075	0.277	60	1.04	1.039	0.033	40
8	19	0.142	0.085	0.32	90	0.652	0.815	0.038	55
6	19	0.18	0.085	0.36	123	0.411	0.514	0.035	75

The above data are approximate and subject to normal manufacturing tolerances. Where required, the compatibility with glands, connectors and accessories should be verified using actual dimensions of the product. Other sizes available upon request.

Impedance: Based on a direct buried plexed configuration.

Ampacities: Based on NEC Table 310.15 (B)(16) for insulated conductors rated up to and including 2000 Volts, based on ambient temperature of 30°C (86°F) for not more than three current carrying conductor in raceways, cable or direct buried conditions.

ANEXO XI



Version 7.4.0

PVsyst - Simulation report

Standalone system

Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta TIC

Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA OPERACIÓN DE UN
AIREADOR TIPO PALETA

Standalone system with batteries

System power: 4500 Wp

Daule - Ecuador

| Erwin Jair Dominguez Alcivar



Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta
TIC

PVsyst V7.4.0

VC9, Simulation date:
16/07/23 14:51
with v7.4.0

Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
PARA OPERACIÓN DE UN AIREADOR TIPO PALETA

General parameters	
Standalone system	Standalone system with batteries
PV Field Orientation	
Orientation	
Fixed plane	
Tilt/Azimuth	5 / 0 °
User's needs	
Daily household consumers	
Constant over the year	
Average	12.0 kWh/Day
Sheds configuration	No 3D scene defined
Models used	
Transposition	Perez
Diffuse	Perez, Meteonom
Circumsolar	separate

PV Array Characteristics	
PV module	
Manufacturer	Generic
Model	JAM72-S09-375-PR
(Original PVsyst database)	
Unit Nom. Power	375 Wp
Number of PV modules	12 units
Nominal (STC)	4500 Wp
Modules	6 Strings x 2 In series
At operating cond. (50°C)	
Pmpp	4085 Wp
U mpp	71 V
I mpp	57 A
Controller	
Manufacturer	Generic
Model	Tristar TS MPPT 30 - 48V
Nb. units	3 units
Technology	MPPT converter
Temp coeff.	-5.0 mV/°C/Elem.
Converter	
Maxi and EURO efficiencies	98.5 / 97.7 %
Total PV power	
Nominal (STC)	4.50 kWp
Total	12 modules
Module area	23.7 m²
Battery	
Manufacturer	Generic
Model	MPG 12V 200
Technology	Lead-acid, sealed, Gel
Nb. of units	3 in parallel x 4 in series
Discharging min. SOC	19.7 %
Stored energy	23.8 kWh
Battery Pack Characteristics	
Voltage	48 V
Nominal Capacity	600 Ah (C10)
Temperature	External ambient temperature
Battery Management control	
Threshold commands as	Battery voltage
Charging	54.1 / 50.7 V
Corresp. SOC	0.90 / 0.75
Discharging	47.2 / 49.1 V
Corresp. SOC	0.20 / 0.45

Array losses	
Array Soiling Losses	
Loss Fraction	3.0 %
Thermal Loss factor	
Module temperature according to irradiance	
Uc (const)	29.0 W/m²K
Uv (wind)	0.0 W/m²K/m/s
DC wiring losses	
Global array res.	21 mΩ
Loss Fraction	1.5 % at STC
Serie Diode Loss	
Voltage drop	0.7 V
Loss Fraction	0.9 % at STC
LID - Light Induced Degradation	
Loss Fraction	2.0 %
Module Quality Loss	
Loss Fraction	-0.8 %
Module mismatch losses	
Loss Fraction	0.5 % at MPP
Strings Mismatch loss	
Loss Fraction	0.2 %



PVsyst V7.4.0
VC9, Simulation date:
16/07/23 14:51
with v7.4.0

Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta
TIC

Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
PARA OPERACIÓN DE UN AIREADOR TIPO PALETA

Array losses

IAM loss factor

Incidence effect (IAM): Fresnel smooth glass, n = 1.526

0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	0.998	0.981	0.948	0.862	0.776	0.636	0.403	0.000



PVsyst V7.4.0
VC9, Simulation date:
16/07/23 14:51
with v7.4.0

Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta
TIC

Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
PARA OPERACIÓN DE UN AIREADOR TIPO PALETA

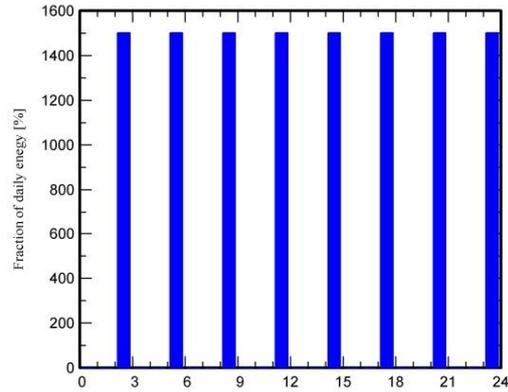
Detailed User's needs

Daily household consumers, Constant over the year, average = 12.0 kWh/day

Annual values

	Nb.	Power	Use	Energy
		W	Hour/day	Wh/day
Otros usos	1	1500 tot	8.0	12000
Consumidores en espera			24.0	24
Total daily energy				12024

Hourly distribution





Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta TIC

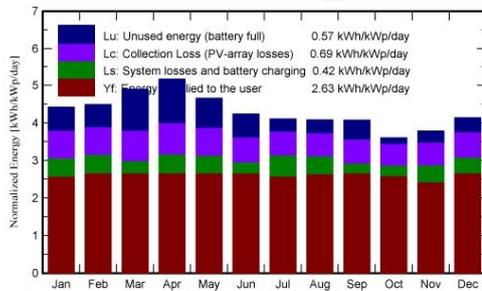
PVsyst V7.4.0
 VC9, Simulation date:
 16/07/23 14:51
 with v7.4.0

Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO PARA OPERACIÓN DE UN AIREADOR TIPO PALETA

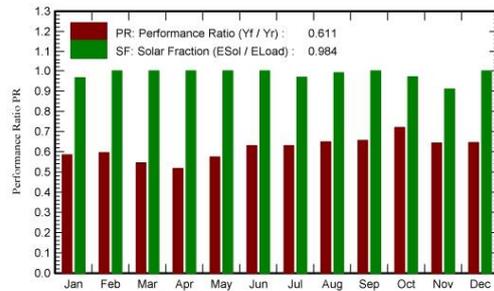
Main results

System Production		Useful energy from solar	4317.73 kWh/year	Perf. Ratio PR	61.12 %
		Available solar energy	5794.43 kWh/year	Solar Fraction SF	98.38 %
		Excess (unused)	928.90 kWh/year		
Loss of Load		Time Fraction	1.6 %	Battery aging (State of Wear)	
		Missing Energy	71.03 kWh/year	Cycles SOW	89.7 %
				Static SOW	91.2 %
				Battery lifetime	9.8 years
Economic evaluation					
Investment		Global	14.721.26 USD	Yearly cost	0.00 USD/yr
		Specific	3.27 USD/Wp	Run. costs	1.223.15 USD/yr
				Payback period	Unprofitable
				LCOE	Energy cost 0.28 USD/kWh

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor	GlobEff	E_Avail	EUnused	E_Miss	E_User	E_Load	SolFrac
	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	ratio
January	140.7	128.0	501.8	85.3	12.65	360.1	372.7	0.966
February	127.7	117.7	462.0	74.0	0.00	336.7	336.7	1.000
March	152.3	142.7	558.4	151.6	0.00	372.7	372.7	1.000
April	152.6	145.9	573.4	155.4	0.00	360.7	360.7	1.000
May	140.6	135.5	533.8	107.6	0.00	372.7	372.7	1.000
June	123.3	119.2	472.1	82.4	0.00	360.7	360.7	1.000
July	124.4	119.2	472.6	45.5	11.83	360.9	372.7	0.968
August	124.7	118.7	471.0	47.3	3.38	369.4	372.7	0.991
September	121.9	114.4	452.6	67.8	0.00	360.7	360.7	1.000
October	112.8	104.4	410.1	20.7	10.73	362.0	372.7	0.971
November	116.1	105.8	416.5	39.5	32.44	328.3	360.7	0.910
December	131.8	119.6	470.2	51.7	0.00	372.7	372.7	1.000
Year	1569.0	1471.2	5794.4	928.9	71.03	4317.7	4388.8	0.984

Legends

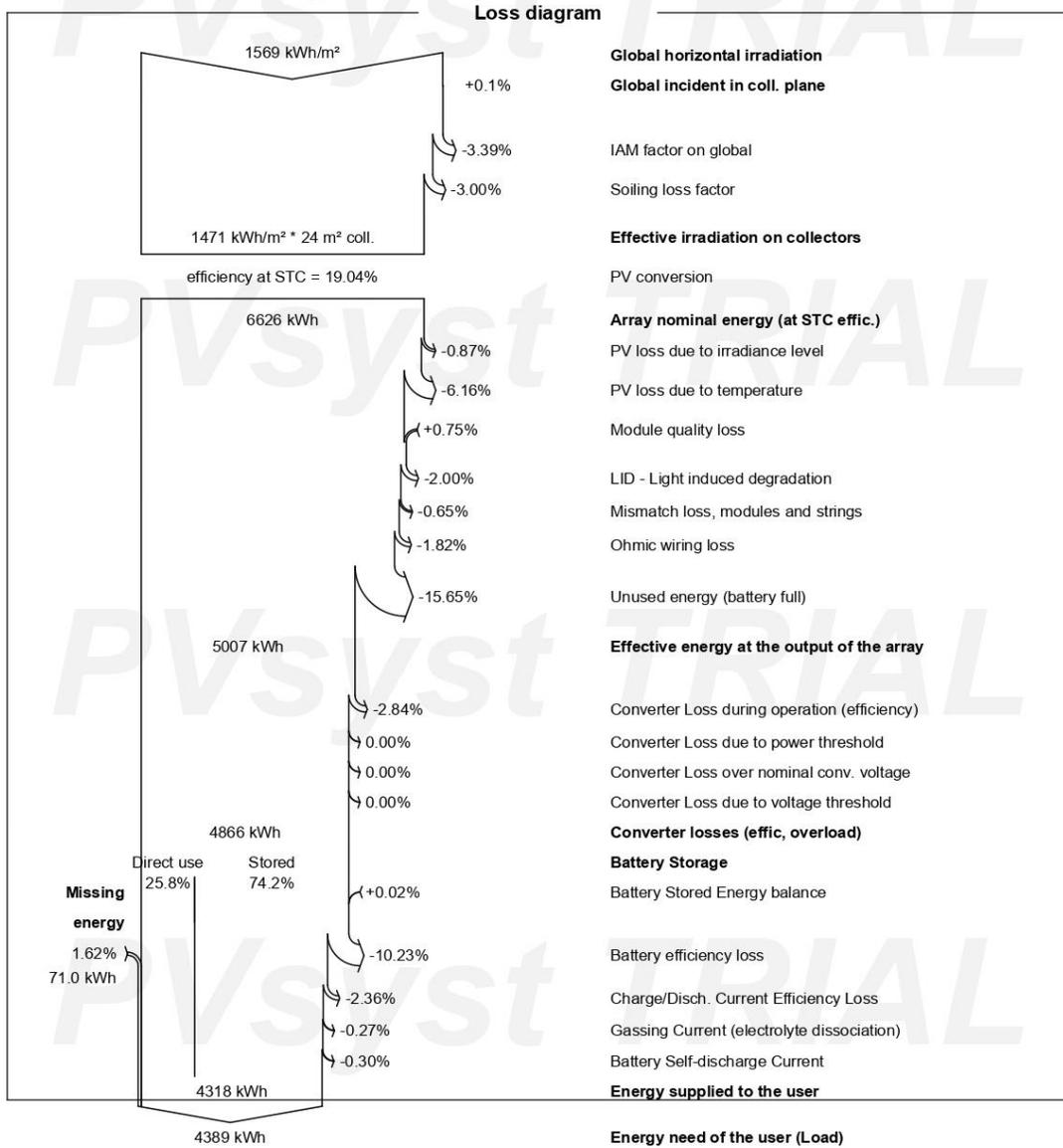
GlobHor	Global horizontal irradiation	E_User	Energy supplied to the user
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	E_Load	Energy need of the user (Load)
E_Avail	Available Solar Energy	SolFrac	Solar fraction (EUsed / ELoad)
EUnused	Unused energy (battery full)		
E_Miss	Missing energy		



PVsyst V7.4.0
 VC9, Simulation date:
 16/07/23 14:51
 with v7.4.0

Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta
 TIC

Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
 PARA OPERACIÓN DE UN AIREADOR TIPO PALETA





PVsyst V7.4.0
VC9, Simulation date:
16/07/23 14:51
with v7.4.0

Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta
TIC

Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
PARA OPERACIÓN DE UN AIREADOR TIPO PALETA

Predef. graphs

Distribución de irradiación incidente

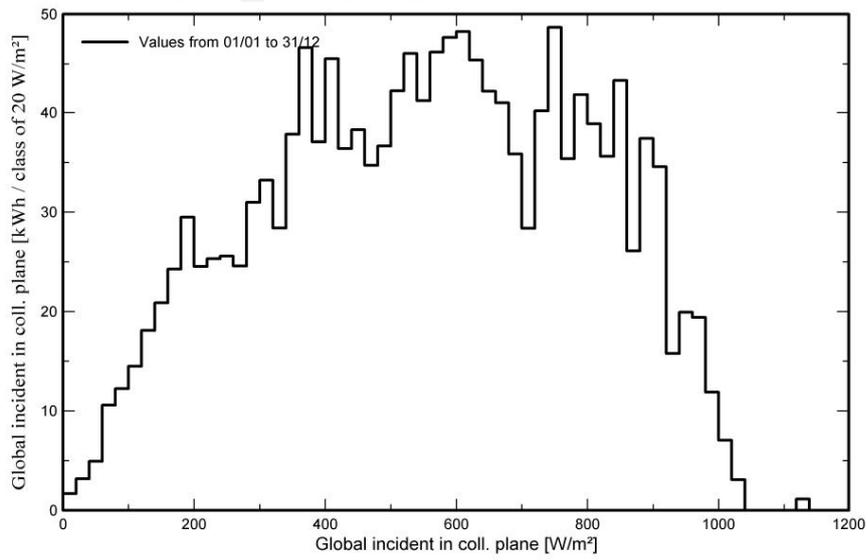
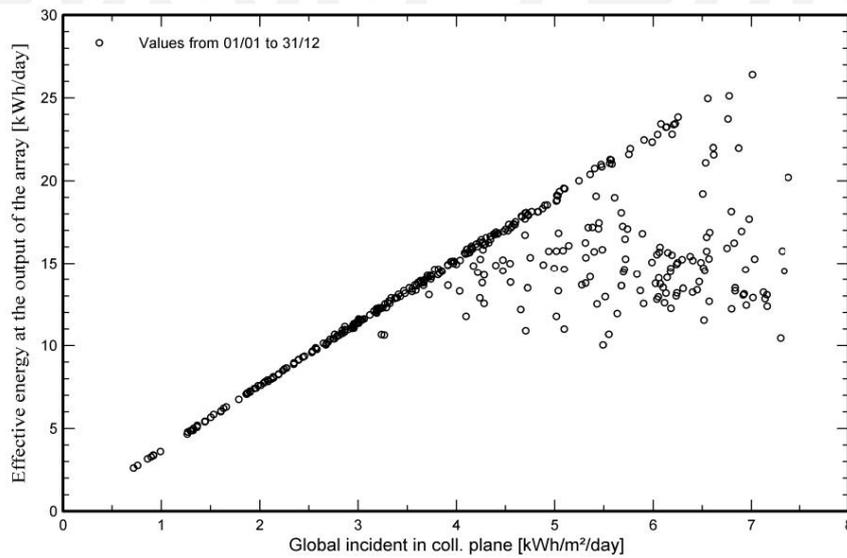


Diagrama entrada/salida diaria





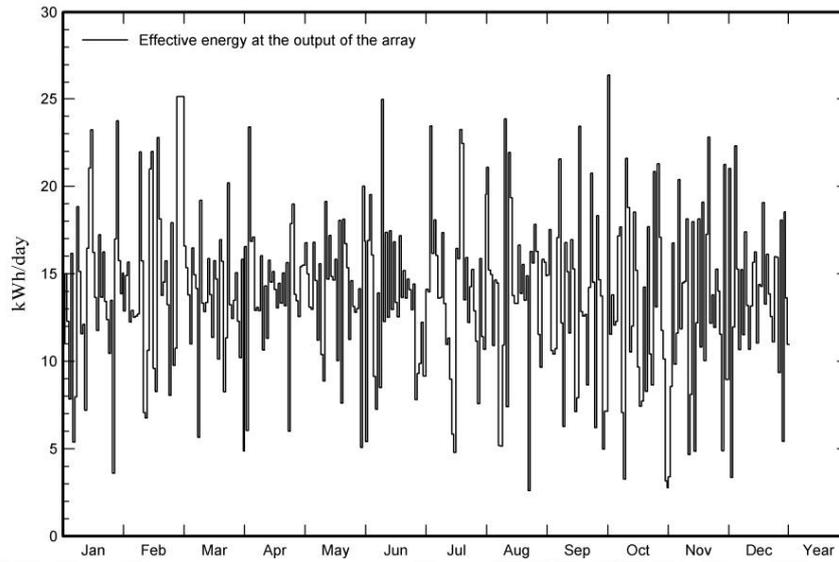
PVsyst V7.4.0
VC9, Simulation date:
16/07/23 14:51
with v7.4.0

Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta
TIC

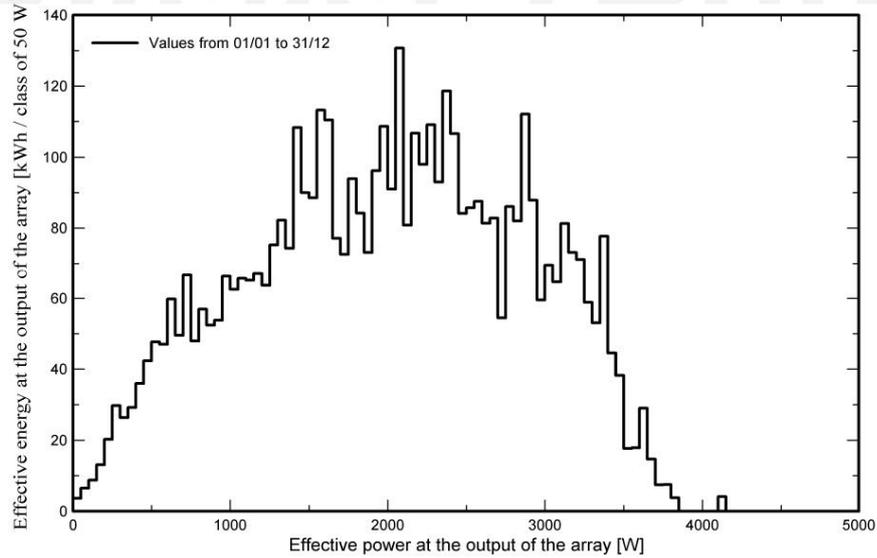
Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
PARA OPERACIÓN DE UN AIREADOR TIPO PALETA

Predef. graphs

Energía diaria a la salida del conjunto



Distribución de la potencia del conjunto

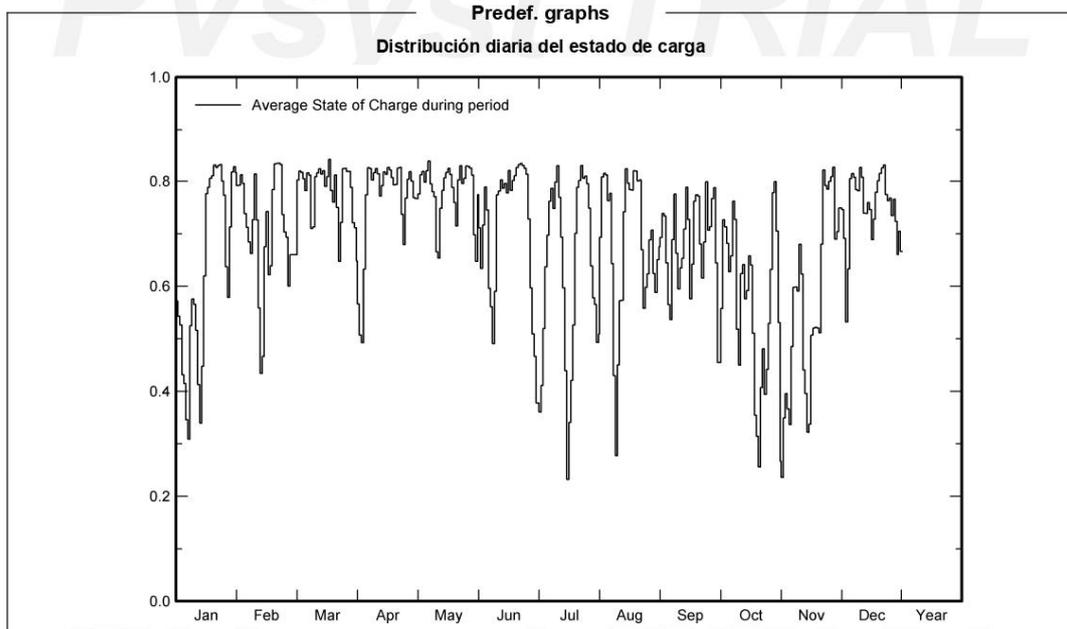




PVsyst V7.4.0
VC9, Simulation date:
16/07/23 14:51
with v7.4.0

Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta
TIC

Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
PARA OPERACIÓN DE UN AIREADOR TIPO PALETA





PVsyst V7.4.0
 VC9, Simulation date:
 16/07/23 14:51
 with v7.4.0

Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta
 TIC

Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
 PARA OPERACIÓN DE UN AIREADOR TIPO PALETA

Cost of the system

Installation costs

Item	Quantity units	Cost USD	Total USD
PV modules			
JAM72-S09-375-PR	12	241.50	2.898.00
Batteries	12	397.79	4.773.42
Controllers	3	1.975.51	5.926.54
Other components			
Accessories, fasteners	1	178.04	178.04
Wiring	1	405.26	405.26
Installation			
Global installation cost per module	12	20.00	240.00
Global installation cost per inverter	3	20.00	60.00
Global installation cost per battery	12	20.00	240.00
		Total	14.721.26
		Depreciable asset	13.776.00

Operating costs

Item	Total USD/year
Maintenance	
Cleaning	736.07
Provision for battery replacement	487.08
Total (OPEX)	1.223.15

System summary

Total installation cost	14.721.26 USD
Operating costs	1.223.15 USD/year
Excess energy (battery full)	929 kWh/year
Used solar energy	4318 kWh/year
Used energy cost	0.607 USD/kWh



PVsyst V7.4.0
 VC9, Simulation date:
 16/07/23 14:51
 with v7.4.0

Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta
 TIC

Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
 PARA OPERACIÓN DE UN AIREADOR TIPO PALETA

Financial analysis

Simulation period				
Project lifetime	25 years	Start year	2024	
Income variation over time				
Inflation			0.00 %/year	
Production variation (aging)			-0.56 %/year	
Discount rate			7.13 %/year	
Depreciable assets				
Asset	Depreciation method	Depreciation period (years)	Salvage value (USD)	Depreciable (USD)
PV modules				
JAM72-S09-375-PR	Straight-line	20	0.00	2.898.00
Batteries	Straight-line	20	0.00	4.773.42
Controllers	Straight-line	20	0.00	5.926.54
Accessories, fasteners	Straight-line	20	0.00	178.04
Total			0.00	13.776.00
Financing				
Own funds	14.721.26 USD			
Self-consumption				
Consumption tariff	0.5970 USD/kWh			
Tariff evolution	0.0 %/year			
Return on investment				
Payback period	Unprofitable			
Net present value (NPV)	-496.29 USD			
Internal rate of return (IRR)	0.00 %			
Return on investment (ROI)	-3.4 %			



PVsyst V7.4.0
 VC9, Simulation date:
 16/07/23 14:51
 with v7.4.0

Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta
 TIC

Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
 PARA OPERACIÓN DE UN AIREADOR TIPO PALETA

Financial analysis

Detailed economic results (USD)

Year	Own funds	Run. costs	Self-cons. saving	Cumul. profit	% amorti.
0	14.721	0	0	-14.721	0.0%
1	0	1.223	2.578	-13.457	8.6%
2	0	1.223	2.563	-12.289	16.5%
3	0	1.223	2.549	-11.211	23.8%
4	0	1.223	2.535	-10.215	30.6%
5	0	1.223	2.520	-9.296	36.9%
6	0	1.223	2.506	-8.447	42.6%
7	0	1.223	2.492	-7.663	47.9%
8	0	1.223	2.478	-6.940	52.9%
9	0	1.223	2.464	-6.272	57.4%
10	0	1.223	2.451	-5.656	61.6%
11	0	1.223	2.437	-5.086	65.4%
12	0	1.223	2.423	-4.561	69.0%
13	0	1.223	2.410	-4.077	72.3%
14	0	1.223	2.396	-3.629	75.3%
15	0	1.223	2.383	-3.217	78.1%
16	0	1.223	2.369	-2.836	80.7%
17	0	1.223	2.356	-2.484	83.1%
18	0	1.223	2.343	-2.160	85.3%
19	0	1.223	2.330	-1.861	87.4%
20	0	1.223	2.317	-1.585	89.2%
21	0	1.223	2.304	-1.331	91.0%
22	0	1.223	2.291	-1.096	92.6%
23	0	1.223	2.278	-880	94.0%
24	0	1.223	2.265	-680	95.4%
25	0	1.223	2.253	-496	96.6%
Total	14.721	30.579	60.293	-496	96.6%



PVsyst V7.4.0
VC9, Simulation date:
16/07/23 14:51
with v7.4.0

Project: Simulación Sistema PV Aislado Aireador Tipo Paleta
TIC

Variant: SISTEMA DE GENERACIÓN FOTOVOLTAICO AUTÓNOMO
PARA OPERACIÓN DE UN AIREADOR TIPO PALETA

