

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

DESARROLLO DE UNA APLICACIÓN PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AISLADOS CON ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ENFOCADOS EN RIEGO AGRÍCOLA

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

CRISTOFER SANTIAGO PROAÑO IMBAQUINGO

ERICK MARTIN SANDOVAL YANEZ

DIRECTOR: Mgs. PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES

CODIRECTOR: Dra. XIMENA PATRICIA GAVELA GUAMÁN

Quito, marzo 2022

AVAL

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Cristofer Santiago Proaño Imbaquingo y Erick Martín Sandoval Yanez, bajo nuestra supervisión.

NOMBRE DIRECTOR

Mgs. PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES

NOMBRE CODIRECTOR

Dra. XIMENA PATRICIA GAVELA GUAMÁN

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, Cristofer Santiago Proaño Imbaquingo y Erick Martín Sandoval Yanez, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejamos constancia de que la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.

CRISTOFER SANTIAGO PROAÑO
IMBAQUINGO

ERICK MARTIN SANDOVAL YANEZ

DEDICATORIA

A mis padres Gloria y Edison que fueron un pilar importante en este continuo aprendizaje, su apoyo se refleja en mis logros personales y profesionales.

A mis hermanos Irving y William por confiar en mi incondicionalmente y siempre tener palabras correctas en los obstáculos que se presentaron.

SANTIAGO

El presente proyecto va dedicado a mis padres Lido y Lucia, ya que gracias a su incondicional apoyo y esfuerzo me han permitido cumplir cada uno de mis objetivos.

Igualmente, va dedicado a mis hermanos Mateo y Sarahy, quienes ven en mi un ejemplo a seguir, y han estado acompañándome a lo largo de todos estos años.

MARTIN

AGRADECIMIENTO

Primero, quiero agradecer a Dios por la vida que me ha dado para poder estar donde hoy estoy, por darme las fuerzas necesarias para no decaer jamás y seguir siempre adelante.

A mi familia, por todo su apoyo y sus palabras llenas de confianza.

A la Escuela Politécnica Nacional, por abrirme las puertas y darme el conocimiento necesario para llegar a culminar mi carrera.

A mi tutora de tesis, Mgs. Patricia Otero que me dio la mano para poder culminar mis estudios, darme una guía adecuada, su tiempo y paciencia, gracias a su apoyo como persona y docente.

A mis amigos que conocí en la Universidad: Martín, Felipe, Hilary, Daniela, Jefferson por su amistad y las incontables ayudas que me brindaron en el transcurso de mi vida universitaria.

Santiago.

Agradezco a la Virgen Dolorosa y a Dios, por guiarme durante este largo camino.

Agradezco a mi familia por el apoyo incondicional que me han brindado a lo largo de todo este largo camino.

Un enorme agradecimiento para la Mgs. Patricia Otero, quien me acompañó a lo largo de mi carrera estudiantil, por sus enseñanzas y consejos, por el apoyo brindado en la realización de este proyecto.

Un agradecimiento especial para el Mgs. Jorge LLumiquinga, quien ha estado conmigo en todo este tiempo brindándome su amistad incondicional.

Agradezco a mis amigos Hilary, Daniela, Stalin, Santiago, y Jefferson con quienes hemos compartido momentos gratos, agradecerles por la amistad sincera que me brindan.

A la Escuela Politécnica Nacional por haberme permitido formarme en el ámbito profesional.

Martín.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS.....	1
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	1
1.3.2 OJETIVOS ESPECIFICOS.....	2
1.2 ALCANCE.....	2
1.3 MARCO TEÓRICO.....	3
1.3.1 ENERGÍA SOLAR.....	3
1.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	4
1.3.3 SITUACIÓN ACTUAL DEL ECUADOR.....	5
1.3.4 BOMBEO FOTOVOLTAICO.....	6
1.3.4.1 Configuraciones típicas de bombeo fotovoltaicos.....	7
1.3.4.2 Subsistemas de un sistema de bombeo fotovoltaico.....	7
1.3.5 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO.....	8
1.3.5.1 Subsistema de Generación.....	8
1.3.5.2. Subsistema de almacenamiento de energía.....	10
1.3.5.3. Subsistema de regulación.....	12
1.3.5.4. Subsistema de acoplamiento de potencia.....	14
1.3.5.5. Cableado.....	15
1.3.5.6. Aparatos de protección y maniobra.....	15
1.3.5.7 Estructuras de soporte.....	17
1.3.6 SISTEMAS DE RIEGO EN EL ECUADOR.....	17
1.3.7 MÉTODOS DE SISTEMAS DE RIEGO EN ECUADOR.....	17

1.3.7.1.	<i>Métodos de riego por gravedad</i>	18
1.3.7.2.	<i>Métodos de riego a presión</i>	19
1.3.8	<i>NORMATIVA VIGENTE EN EL ECUADOR</i>	20
1.3.8.1.	<i>Ley Orgánica de Eficiencia Energética</i>	20
1.3.9	<i>BOMBAS HIDRÁULICAS</i>	21
1.3.9.1.	<i>Bombas de émbolo</i>	22
1.3.9.2.	<i>Bombas de diafragma</i>	22
1.3.9.3.	<i>Bombas rotativas</i>	23
1.3.9.4.	<i>Bombas Centrífugas</i>	23
1.3.10	<i>CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA</i>	24
1.3.10.1	<i>Succión Negativa</i>	24
1.3.10.2	<i>Succión Positiva</i>	25
1.3.11	<i>ANÁLISIS FINANCIERO ECONÓMICO</i>	25
2.	<i>METODOLOGÍA</i>	27
2.1.	<i>MÉTODO AMPERIOS-HORA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO</i>	27
2.2.	<i>DESCRIPCIÓN DE MÉTODO AMPERIOS HORA</i>	27
2.2.1.	<i>CÁLCULOS DEL CONSUMO DIARIO</i>	27
2.2.2.	<i>CÁLCULO DE CORRIENTES Y POTENCIA MÁXIMA</i>	29
2.2.3.	<i>FACTOR DE SEGURIDAD</i>	29
2.2.4.	<i>CORRIENTE Y ÁNGULO DE INCLINACIÓN</i>	29
2.2.5.	<i>CÁLCULO DEL SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO</i>	30
2.2.6.	<i>CÁLCULO DEL SUBSISTEMA DE GENERACIÓN</i>	30
2.2.7.	<i>CONTROLADORES DE CARGA</i>	31
2.2.8.	<i>CABLEADO DEL SISTEMA</i>	31
2.3.	<i>DESARROLLO DEL APLICATIVO</i>	31
2.3.1.	<i>TÉRMINOS QUE SE UTILIZARAN EN EL APLICATIVO</i>	32
2.3.2.	<i>ESTABLECIMIENTO DE CONDICIONES PREVIAS</i>	33
2.3.2.1.	<i>Ubicación del sistema fotovoltaico y la fuente de agua</i>	34
2.3.2.2.	<i>Evaluación del recurso solar</i>	34
2.3.3.	<i>DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO</i>	35
2.3.3.1.	<i>Dimensionamiento de tubería</i>	35
2.3.3.2.	<i>Determinación de pérdidas de carga</i>	38
2.3.3.3.	<i>Determinación de potencia de la bomba</i>	40
2.3.3.4.	<i>Cálculo de la demanda de energía.</i>	41
2.3.3.5.	<i>Dimensionamiento de subsistema de generación</i>	43
2.3.3.6.	<i>Dimensionamiento de subsistema de almacenamiento de energía</i>	44

2.3.3.7.	<i>Dimensionado del regulador de carga</i>	45
2.3.3.8.	<i>Dimensionamiento de subsistema de acoplamiento de potencia</i>	46
2.3.3.9.	<i>Dimensionamiento de cableado</i>	46
2.3.3.10.	<i>Evaluación financiera del proyecto</i>	47
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
3.1	EJEMPLO DE UTILIZACIÓN 1	49
3.2	EJEMPLO DE UTILIZACIÓN 2	55
3.3	COMPARACIÓN CON EL SOFTWARE PVWATTS	57
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
4.1.	CONCLUSIONES	60
4.2.	RECOMENDACIONES	61
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
ANEXOS		66
ANEXO A	ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC	67
ANEXO B	MANUAL DE USUARIO DE LA APLICACIÓN	74
ANEXO C	RESUMEN GENERADO POR EL APLICATIVO DEL EJEMPLO 1	82
ANEXO D	RESUMEN GENERADO POR EL APLICATIVO DEL EJEMPLO 2	86
ANEXO E	CÓDIGO DEL APLICATIVO	90
ANEXO F	PROFORMA DE BATERIAS	104
ANEXO G	DATASHEETS DE EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS EJEMPLOS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Radiación Solar Global.....	3
Figura 1.2. Componentes de sistemas de bombeo fotovoltaico [7].....	7
Figura 1.3. Curva de corriente contra voltaje (I-V) de panel fotovoltaico.....	9
Figura 1.4. Profundidad de descarga en función de Ciclos de vida extraído de [14].....	11
Figura 1.5. Regulador de carga en paralelo.	13
Figura 1.6. Regulador de carga en serie.	14
Figura 1.7. Métodos de Riego según MAGAP.....	18
Figura 1.8. Bomba de Émbolo o Pistón [27].	22
Figura 1.9. Bomba de diafragma [28].	23
Figura 1.10. Bomba Rotativa [29].	23
Figura 1.11. Bomba Centrifuga.	24
Figura 1.12. Succión negativa.	24
Figura 1.13. Succión Positiva.	25
Figura 2.1. Diagrama de Metodología para dimensionar un sistema fotovoltaico de un sistema de riego con pequeña vivienda.	28
Figura 2.2. Ángulo Acimut (γ)y Ángulo de Inclinación (β).	30
Figura 2.3. Ejemplo de interfaz página “PVWHATS”.	34
Figura 2.4. Resultados de página “PVWHATS”.	35
Figura 2.5. Recorte de ANEXO A, datos de fabricante de Plastigama.	38
Figura 3.1. Bosquejo del sistema de riego.	49
Figura 3.2. Aplicativo primera ventana cálculo de potencia bomba.	50
Figura 3.3. Segunda Pantalla del aplicativo, carga doméstica.....	50
Figura 3.4. Tercera Pantalla Niveles de Radiación.....	51
Figura 3.5. Cuarta Pantalla Precios y características eléctricas de equipos.	53
Figura 3.6. Análisis energético de software PVWatts Ejemplo 1.....	58
Figura 3.7. Análisis energético de software PVWatts Ejemplo 2.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Producción bruta energética anual, 2020.....	5
Tabla 3.2. Características de Baterías.....	12
Tabla 3.3. Nomenclatura en cables comerciales	15
Tabla 3.1. Pérdidas de carga obtenidos de datos de Plastigama Anexo A.	36
Tabla 3.2. Rugosidad de materiales.	37
Tabla 3.1 Análisis económico de instalación	52
Tabla 3.2 Análisis económico de primer ejemplo.....	54
Tabla 3.3 Análisis económico de instalación	56
Tabla 3.4. Análisis económico de ejemplo 2.....	57
Tabla 3.5. Análisis energético ejemplo 1.	58
Tabla 3.6. Análisis energético ejemplo 2.	59

RESUMEN

En el presente proyecto se plantea un aplicativo que permite estimar los parámetros de un sistema fotovoltaico autosustentable con el fin de proveer energía a un sistema de riego y una pequeña residencia, recibiendo datos básicos de la carga como entrada y entregando las características fundamentales del sistema como potencia necesaria requerida.

Se plantea como primer punto un modelo establecido de sistema de riego que depende de las derivaciones existentes para calcular su presión y en base a ésta calcular pérdidas de carga hidráulica, esto, con el fin de estimar un valor de potencia de la bomba que se va a sugerir para su implementación. El segundo punto tendrá la carga doméstica que tendrá valores establecidos que se pueden seleccionar para establecer una potencia total doméstica, con estos valores se calcula una Energía que es necesaria para la metodología a implementar la que se denomina “Amperios - hora”.

El aplicativo con los parámetros ya establecidos realiza un cálculo que permite determinar el número de equipos necesarios y las características que deberían contar los dispositivos, además de realizar un pequeño análisis económico que permita determinar si el proyecto es viable o se debería tomar decisiones diferentes.

PALABRAS CLAVE: Irradiancia, Carga AC, Carga DC, Factor de Aprovechamiento, Sistema Fotovoltaico, Energía Diaria, Máxima Profundidad de Descarga.

ABSTRACT

The present project proposes an application which estimates the parameters of a self-supporting photovoltaic system, in order to provide energy to an irrigation system and a small residence, by receiving basic data of the load as input and giving the essential features of the system as a power required.

Firstly, it proposes a standard model of an irrigation system which relies on the existing derivations to get the pressure to calculate hydraulic load losses in order to estimate the power rating of the pump suggested for the implementation. The second point is house load, it will get established values that can be selected to set a total power, these values are used to calculate the energy required for the methodology to be implemented which is called "Amps-hour".

The application with the parameters already settled performs a calculation that allows to determine the number of the necessary equipment and the features that must include in the devices, furthermore, it presents an economic analysis that helps to determinate if the project is viable or different decisions should be taken.

KEYWORDS: Irradiance, Load AC, Photovoltaic System, Daily Energy, Maximum Depth of discharge.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio en la matriz energética mundial ha motivado el uso y búsqueda de energías alternativas, el uso de energía fotovoltaica en zonas rurales donde la conexión a la red pública es inexistente o en su defecto resulta difícil su conexión, se posiciona como una de las mejores opciones para el abastecimiento de energía eléctrica, pese a los beneficios que conlleva su aplicación se percibe una falta de interés a este tipo de proyectos.

En el sector rural el mayor porcentaje de la población económica activa (PEA) se dedica a la actividad agropecuaria, según el Banco Central del Ecuador en su reporte trimestral del mercado laboral, En el mes de septiembre de 2021, la rama de actividad con mayor participación en el empleo fue la “Agricultura, ganadería, caza y silvicultura y pesca” (30.4%) [1], este sector está tomando protagonismo lo que implica que se genere una mayor inversión que es necesaria para bombeo y mantenimiento de vías de riego agrícola.

La población del sector rural en algunas zonas del Ecuador, en especial en zonas agrícolas alejados de centros de carga al tener dificultad de conseguir conexiones adecuadas a la red pública opta por la ausencia del servicio o en su defecto contar con generación que depende de combustibles fósiles lo que genera una inversión constante de dinero sin contar costos adicionales como transporte y mantenimiento de máquinas. Esto resulta un problema notable que genera inconvenientes e inclusive gastos excesivos debido al incremento del precio de los combustibles que se han generado periódicamente en el país desde el año 2019 hasta la actualidad que prácticamente es insustentable la compra habitual de combustibles.

Teniendo en cuenta estos antecedentes el presente trabajo propone un aplicativo de fácil manejo que reciba factores más importantes y de como resultado el dimensionamiento de los equipos de un sistema de bombeo fotovoltaico. Con dos tipos de instalación diferentes que dependen del almacenamiento de agua, permitiendo tener una primera vista de la viabilidad del proyecto y de igual manera planteando las ventajas o desventajas de la instalación de un sistema de este tipo.

1.1 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una aplicación para el dimensionamiento de sistemas y análisis de viabilidad de sistemas fotovoltaicos aislados con almacenamiento de energía enfocados en riego agrícola.

1.3.2 OJETIVOS ESPECIFICOS

- Analizar las características y requerimientos de energía eléctrica de los sistemas de riego agrícolas con bombeo y una pequeña carga doméstica rural.
- Plantear la metodología de diseño y dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos con almacenamiento de energía, aplicada a sistemas de riego agrícolas.
- Diseñar una aplicación informática que, basándose en datos ingresados por el usuario, entreguen el dimensionamiento del sistema fotovoltaico para riego agrícola, la producción y consumo de energía anual.
- Establecer la viabilidad del proyecto mediante un análisis económico que considera el presupuesto preliminar del sistema y la diferencia del costo entre la energía solar fotovoltaica y la energía de la red eléctrica.
- Validar los resultados de producción y consumo de energía obtenidos de la aplicación comparándolos con aquellos resultados obtenidos de un software libre para un mismo caso de diseño.

1.2 ALCANCE

El presente trabajo de titulación tiene como alcance, desarrollar una aplicación para dimensionar sistemas fotovoltaicos aislados con almacenamiento de energía que permitirán el riego nocturno de cultivos además de abastecer una pequeña carga doméstica.

Se realizará una investigación bibliográfica para la determinación de los parámetros de funcionamiento de los componentes principales de un sistema fotovoltaico con almacenamiento de energía que pueda ser aplicado al riego, se investigará el funcionamiento de los sistemas de riego fotovoltaico actuales.

Se analizará las necesidades de energía eléctrica para el sistema de riego, bombeo y una pequeña vivienda. Posteriormente se propondrá una metodología de diseño la cual será programada en un software para desarrollar una aplicación.

En la aplicación se considerará como datos de entrada las necesidades, tanto de la carga doméstica, como del sistema de riego y bombeo, los datos de radiación solar del sitio, las especificaciones técnicas de los fabricantes de los componentes del sistema fotovoltaico y los costos referenciales que serán ingresados por el usuario. A partir de estos datos la aplicación entrega el dimensionamiento del sistema, configuración de equipos, la energía

anual producida, energía anual consumida, presupuesto preliminar y los resultados del análisis económico, para determinar la viabilidad de la instalación del sistema.

Se realizará una validación de los resultados obtenidos por la aplicación desarrollada, comparándolos con los resultados conseguidos al simular un mismo caso de diseño con un software de uso libre.

1.3 MARCO TEÓRICO

En esta sección se expondrá el sustento teórico que ayude a determinar la practicidad del aplicativo. Se especificará la bibliografía que permita observar los puntos más críticos que se deberían abordar al momento de plantear beneficios o desventajas de sistemas fotovoltaicos. Como fundamento principal se describirá la energía solar de forma general, incluyendo sus principales parámetros que son necesarios en el proceso de conversión de energía solar a energía eléctrica. Todo esto se realizará con el fin de tener los conocimientos básicos, indispensables para el manejo del aplicativo que debe cumplir el objetivo general que se planteó y que a su vez sea accesible y de fácil uso.

1.3.1 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una fuente de energía no contaminante que puede ser aprovechada en la mayoría de países del mundo. Algunos países cuentan con gran cantidad de este recurso, siendo los países que se encuentran dentro o cerca del cinturón solar que tienen como característica largas horas de sol [2], el Ecuador al encontrarse en estas condiciones se convierte en una ubicación ideal para aprovechar la energía solar para convertirla energía eléctrica.

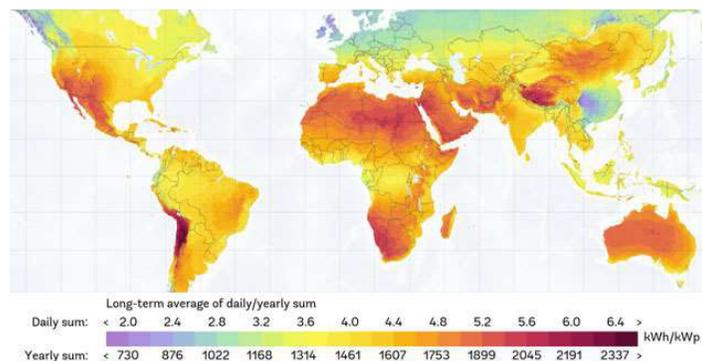


Figura 1.1. Radiación Solar Global

La conversión de energías se logra cuando la radiación electromagnética solar incide en un material semiconductor lo que produce un flujo de electrones lo que genera una corriente eléctrica. El Sol posee una potencia emisora de $3,7 \times 10^{14}$ [TW], de la que nos

llega a la superficie de la Tierra $1,7 \times 10^5$ [TW], es decir, durante una hora nos llega aproximadamente la energía que consume la humanidad en un año [3]. La energía que se podría generar con estas potencias sería suficiente para abastecer la necesidad energética sin embargo en la actualidad el aprovechamiento de las celdas fotovoltaicas no supera el 25% y de igual manera el almacenamiento de energía está limitado. A pesar de esto, la energía solar se considera una alternativa atractiva porque es un recurso disponible y renovable a diferencia de la producción con combustible convencional.

La energía solar se puede utilizar para generar electricidad de dos formas: energía solar concentrada (CSP) y fotovoltaica. Debido a que la CSP utiliza los rayos solares concentrados para generar calor y vapor para hacer girar turbinas convencionales tendría un comportamiento como las actuales centrales de vapor, por lo que se consideraría para grandes potencias. La energía solar fotovoltaica por su parte es más útil para instalaciones pequeñas que pueden ser conectadas a la red eléctrica o no, esta tecnología se puede utilizar para operar bombas de agua que se utilizan para el suministro de agua potable de una vivienda, así como para el riego, lo que es el tema principal de este proyecto.

1.3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica presenta varias ventajas frente a las limitaciones que se pueden generar por inversión e instalación.

Las ventajas más interesantes son [3]:

- Es llamado un recurso "ilimitado" lo que puede dar un futuro sostenible.
- Es llamada una energía limpia lo que implica que no es contaminante.
- Reduce el consumo de combustibles fósiles.
- No requiere extracción constante de material para su funcionamiento solo tiene una inversión inicial y su mantenimiento es económico.
- Genera independencia energética al no depender de redes públicas.
- Es silenciosa su producción no requiere equipos que generen ruido.
- Mercado en crecimiento, actualmente cuentan con módulos de fácil instalación.
- Da comodidad al consumidor el sistema de energía puede ser instalado donde sea solicitado.
- Durabilidad alta.

Entre sus desventajas podemos tener:

- Intermitencia en el servicio, depende de las condiciones climáticas.

- Alta inversión inicial, componentes de almacenamiento de energía tienen precios elevados.
- Rendimiento de los sistemas aun no es muy satisfactorio.

1.3.3 SITUACIÓN ACTUAL DEL ECUADOR

El Ecuador cuenta con una gran variedad de condiciones atmosféricas y topográficas debido a la presencia de la cordillera de los Andes, esto resulta en una diversidad de parámetros de radiación que podría reducir potencia en algunas zonas, al estar ubicados en la línea ecuatorial hace que la variación del recurso no sea notable a lo largo del año. Un valor anual de irradiación global horizontal en el Ecuador va desde 2,9kWh/m² a 6,3kWh/m² lo que da a entender que el recurso puede ser aprovechado [4].

En el año 2020 la energía bruta producida alcanzo los 27,120 GWh, de la cual el 89,24% es generación hidroeléctrica, el 8,36% corresponde a generación termoeléctrica, el 1,48% es generación no convencional y el 0,92% corresponde a la interconexión tanto con Colombia como con Perú [5]. De manera más específica la energía producida se muestra en la Tabla 1.1., en los datos se puede notar que la energía fotovoltaica es totalmente desaprovechada y es una de las opciones menos utilizadas.

Tabla 3.1. Producción bruta energética anual, 2020

Producción Energética		GWh	%
Generación Hidroeléctrica		24201,48	89,24%
Generación Termoeléctrica		2266,87	8,36%
Generación No Convencional	Biomasa	254,22	0,94%
	Eólica	70,49	0,26%
	Fotovoltaica	33,64	0,12%
	Biogás	42,52	0,16%
Interconexión		250,79	0,92%
Total		27120,01	100,00%

Como se mencionó previamente el desarrollo económico del país actualmente está fuertemente relacionado con el sector agropecuario, inversiones excesivas en equipos y mantenimiento o prolongado uso de combustibles resulta en gastos notables y ya no es rentable tener como prioridad. Incluyendo a esto el incremento de los combustibles que es un problema social que aún no tiene solución aun a finales del año 2021.

1.3.4 BOMBEO FOTOVOLTAICO

Un sistema de bombeo fotovoltaico de agua es un conjunto de equipos que convierten la energía solar en potencia mecánica de una bomba, este sistema es considerado una alternativa óptima para sectores rurales donde no se cuenta con una red que pueda alimentar adecuadamente equipos eléctricos o en lugares donde los principales equipos dependen de combustibles. La principal actividad que debe desempeñar este sistema es recolectar agua de una fuente (pozo, río, acequia), dependiendo del uso que requiera se va a necesitar equipos más robustos que toleren más potencia.

En zonas rurales fuera del servicio público de electricidad el bombeo de agua a pequeña escala es una aplicación común e indispensable, utilizar como alternativa los sistemas de bombeo fotovoltaico nos da un menor costo a largo plazo y dejando un bajo impacto ambiental. El modularidad de trabajar con sistemas fotovoltaicos nos permite adecuarse a necesidades específicas de una manera cómoda para el usuario y dar facilidad de operación [6].

Dependiendo de la potencia y del tiempo de uso de la bomba, ésta necesitará o no un sistema de almacenamiento de energía, esto porque el generador fotovoltaico en condiciones ideales podría suministrar energía suficiente para mantener funcional los equipos, pero esto es imposible debido a la inestabilidad de la generación que depende de energía solar, por lo que siempre es recomendado que el sistema de bombeo fotovoltaico cuente con un subsistema de almacenamiento de energía[6].

Los sistemas de riego fotovoltaicos presentan algunas ventajas como:

- No solo pueden ser utilizados para sistemas de riego también podrían utilizarse para abastecimiento de agua potable.
- A largo plazo el uso de energía solar genera costos más bajos que su principal competidor que son sistemas de bombeo que emplean combustibles como Diesel o gasolina.
- No son contaminantes porque la energía solar es llamada energía limpia.
- La confiabilidad del sistema es elevada necesita poco mantenimiento y tiene una vida de uso larga.
- Son sistemas que pueden automatizarse haciendo que la presencia de personal no sea de manera permanente.

1.3.4.1 Configuraciones típicas de bombeo fotovoltaicos

Para hablar sobre configuraciones típicas de bombeo fotovoltaico debemos tener en cuenta que se dividen principalmente en dos tipos: con conexión directa y con conexión a baterías. La selección será determinada por factores como altura en función de rangos de potencia, volumen de agua utilizable, se debe tener en cuenta que cualquier configuración que se seleccione debe maximizar el rendimiento global del sistema. Entre los tipos de bombas se puede encontrar de superficie y flotantes, de la que destaca la motobomba sumergible como selección habitual. La configuración de un sistema de bombeo FV viene determinada por la definición del tipo de generador FV, tipo de bomba y tipo de motor; así como tipo de acondicionamiento de potencia [6].

- Sistemas de pequeña potencia(50-400Wp)
- Sistemas de mediana potencia (400-1500Wp)
- Sistemas con motor DC con escobillas.
- Sistemas con convertidores de frecuencia.

1.3.4.2 Subsistemas de un sistema de bombeo fotovoltaico

El sistema está compuesto fundamental por un subsistema de generación, un subsistema de control que maneja la regulación y trabaja juntamente con el subsistema de almacenamiento de energía, el subsistema de acoplamiento de potencia de ser necesario y finalmente el subsistema de bomba [6].

En la figura 1.2. podemos observar un pequeño esquema de los subsistemas necesarios para dar un adecuado funcionamiento.



Figura 1.2.Componentes de sistemas de bombeo fotovoltaico [7]

El subsistema de generación está compuesto por un conjunto de módulos fotovoltaicos que pueden ir conectados en serie o en paralelo o una combinación de los dos, el número de módulos va a depender de la carga que se va a instalar para este caso mayormente la potencia de la bomba. Los módulos fotovoltaicos deben ser instalados en una estructura fija o en una estructura de seguimiento solar.

El subsistema de acoplamiento de potencia está compuesto por equipos como reguladores, inversores o controladores del motor sirven para realizar una buena compatibilidad en la energía producida por el subsistema de generación.

Un subsistema de puesta a tierra en estos proyectos es necesario para proteger los equipos que pueden tener un costo elevado.

1.3.5 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO

Los componentes pueden variar dependiendo de las necesidades del sistema o del cultivo donde se piensa implementar, pero los equipos fundamentales son:

1.3.5.1 Subsistema de Generación

Los paneles solares son el conjunto de células fotovoltaicas que pueden conectarse en serie o en paralelo. Un panel puede contener de 40 a 72 células fotovoltaicas, pero la generalidad son paneles de 60 y 72 células [8].

Las células por su parte son dispositivos formados por materiales semiconductores, que tienen la cualidad de convertir energía solar en energía eléctrica. Los principales materiales son silicio que es uno de los materiales más abundantes de la tierra, el proceso para poder que el silicio sea útil tiene costos elevados por su complejidad [9].

Algunos tipos de células son:

- Células de arseniuro de galio. En su versión monocristalina cuenta con un gran rendimiento de por lo menos 28%. El problema es el elevado costo de este material. Sus principales características son un elevado coeficiente de absorción y bajas pérdidas de eficiencia a elevadas temperaturas, por lo que son muy utilizadas en sistemas de concentración [10].
- Células de sulfuro de cadmio y sulfuro de cobre. Utilizan muy poco material en un proceso de fabricación sencillo. Pero a consecuencia su rendimiento es uno de los más bajos llegando cerca del 5% incluyendo que tiene un nivel de degradación bastante notable. El proceso de fabricación no está bien desarrollado aún, requiriéndose mayores estudios [10].

- Células bifaciales: Están constituidas por materiales semiconductores con una doble unión del tipo n+ -p-p+ de tal manera que la célula puede absorber radiación por sus dos caras, aprovechando también la que es reflejada desde el suelo. El costo de producción es bastante elevado, pero a su favor su rendimiento es mayor que las células monofaciales [10].
- Células de silicio amorfo. Presentan un espesor que puede ser 50 veces más fino que el de las células silicio monocristalino, sus costos de producción son relativamente económicos. Sin embargo, el rendimiento es menor al 10% y tienen un alto grado de degradación al entrar en contacto con el sol [10].
- Células de silicio policristalino. Este tipo de celda ocupa un puesto intermedio entre el silicio amorfo y el silicio monocristalino. Su rendimiento está cerca del 12 al 21% y su proceso de fabricación es similar al del silicio monocristalino, pero no necesita un control riguroso [10].
- Células de silicio monocristalino: Son las más utilizadas, su estructura es completamente ordenada. Su rendimiento se encuentra del 15 al 18% y su proceso de producción requiere de mucho tiempo y energía, por esta razón su elevado costo [10].

A un panel solar se lo caracteriza principalmente por las curvas de relación Corriente Voltaje. Un ejemplo de las características de las curvas de corriente contra voltaje (I-V) de un panel solar irradiado se pueden observar en la figura 1.3. El rango de funcionamiento de una celda solar abarca desde $V = 0$ (I_{sc} corriente de cortocircuito) hasta V_{oc} ($I=0$ corriente de circuito abierto), exclusivamente en estos dos puntos, la celda no provee potencia eléctrica. V_{oc} representa la máxima voltaje proporcionado por la celda a corriente cero (sin carga o en vacío), mientras que I_{sc} representa la máxima corriente disponible con voltaje cero (carga en cortocircuito) [11].

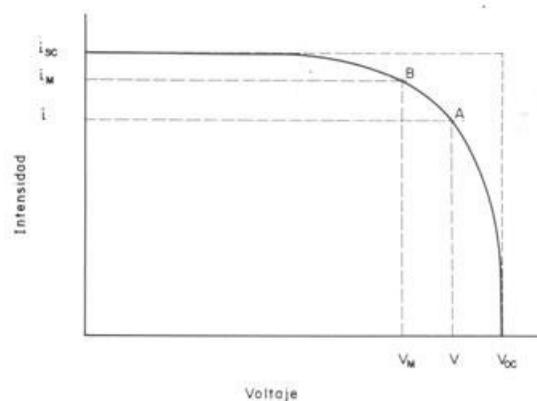


Figura 1.3. Curva de corriente contra voltaje (I-V) de panel fotovoltaico

Entre las características técnicas eléctricas que se deben tomar en cuenta en estos equipos son [8]:

- Potencia Pico (P_{max}), [Wp]: es la potencia máxima de salida del panel fotovoltaico en condiciones estándar.
- Voltaje de Circuito Abierto (V_{oc}), [V]: es el voltaje máximo del panel, medido sin carga conectada y en condiciones estándar.
- Voltaje de Potencia Máxima (V_{mpp}), [V]: es el voltaje a potencia máxima o potencia pico.
- Corriente de Corto Circuito (I_{sc}), [A]: es la corriente máxima que puede ser medida en los bornes del panel fotovoltaico, cuando el voltaje es cero a condiciones estándar.
- Corriente de Potencia Máxima (I_{mpp}), [A]: es la corriente a potencia máxima o potencia pico.
- Eficiencia del Módulo [%]: eficiencia con la que el panel fotovoltaico convierte la energía solar en energía eléctrica.

Otras características importantes son las térmicas que permitirán determinar aspectos como vida útil, entre estos tenemos [8]:

- Temperatura Nominal de Operación de la Celda (NOCT), [$^{\circ}C$]: es la temperatura alcanzada por las células del panel fotovoltaico cuando es sometido a valores específicos de irradiancia: 800 W/m², temperatura del ambiente: 20 $^{\circ}C$, distribución espectral AM 1.5, y una velocidad del viento de 1 m/s.
- Coeficiente de temperatura de la potencia (CTP_{max}), [%/ $^{\circ}C$]: variación porcentual de la potencia de salida por cada grado de temperatura superior a los 25 $^{\circ}C$.
- Coeficiente voltaje - temperatura (CTV_{oc}), [%/ $^{\circ}C$]: variación porcentual del voltaje de circuito abierto por cada grado de temperatura superior a los 25 $^{\circ}C$.
- Coeficiente corriente temperatura (CTI_{sc}), [%/ $^{\circ}C$]: variación porcentual de la corriente de cortocircuito por cada grado de temperatura superior a los 25 $^{\circ}C$.

1.3.5.2. Subsistema de almacenamiento de energía.

Está compuesto por un banco de baterías y su objetivo principal es el de almacenar la energía para que el sistema cuente con autonomía preestablecida, al ser un sistema aislado debe contar con la energía suficiente para tener por lo menos 3 días de autonomía. En sistemas de bombeo fotovoltaico se requiere baterías para que puedan suministrar los picos de corriente de arranque de la bomba o de equipos que lo requieran [12].

Para la selección de batería hay características importantes a tomar en cuenta como: autonomía del sistema, consumo de la carga y la profundidad de descarga. La profundidad de descarga es un parámetro fundamental en la selección de baterías, en inglés las siglas son DOD (Depth Of Discharge), parámetro que dependerá de la vida útil que se va a dar al subsistema de almacenamiento de energía. La profundidad de descarga, se define como el porcentaje de la capacidad nominal de la batería que ha sido extraída [12].

Actualmente las baterías más utilizadas en sistemas fotovoltaicos son las de Plomo-Ácido, Níquel-Cadmio que cuentan con respectivas ventajas y desventajas. Por el tema económico es más factible utilizar las baterías de Plomo-Ácido [13].



Figura 1.4. Profundidad de descarga en función de Ciclos de vida extraído de [14]

Algunas características de las baterías comúnmente utilizadas en los sistemas fotovoltaicos son:

- **Baterías de Plomo-Ácido.** El tipo de batería más común en las aplicaciones fotovoltaicas es de plomo-ácido, por ser conveniente debido a su costo respecto a baterías fabricadas con otros compuestos, incluyendo que su popularidad es elevada por su uso en automotores. Estas baterías se fabrican de varias aleaciones de plomo en una solución de ácido sulfúrico que actúa como un electrolito. La profundidad de descarga de la batería dependerá del material con el que se realice la aleación de plomo [15].

Como ejemplo se tiene la aleación de plomo y antimonio, entonces el antimonio permite que la batería tenga una mayor profundidad de descarga sin producir daño en las placas. Por otro lado, la aleación de plomo y calcio, el calcio brinda una mayor rigidez del plomo y reduce la autodescarga; sin embargo, esta aleación funciona mal cuando la profundidad de descarga es mayor al 25%, por lo que se condiciona su profundidad de descarga [15].

- **Baterías de Gel.** Es un tipo de batería de plomo ácido, en el ácido se encuentra en estado de gel. Es completamente impermeable y puede funcionar sin derramar ácido o gas sin importar su posición. Estas baterías no pueden soportar tasas de carga y descarga altas. Su uso se reduce a aplicaciones donde se requiera pequeñas cantidades de energía y donde no exista ventilación disponible [15].
- **Baterías de Níquel-Cadmio.** Las baterías de níquel-cadmio utilizan como electrolito el hidróxido de potasio. Este electrolito no provoca cambio químico en los materiales de la placa. Las baterías de níquel-cadmio pueden sobrevivir a la congelación descongelaación además de no verse afectadas por altas temperaturas como las baterías de plomo ácido. Estas baterías soportan sobrecargas además de poder descargarse por completo sin ningún daño, pero el costo de este tipo de baterías es alrededor de 6 a 8 veces el costo de las baterías de plomo ácido. Su bajo mantenimiento y su larga vida útil, deben considerarse al momento de comparar su costo a largo plazo con la batería de plomo ácido de igual capacidad [15].

Tabla 3.2. Características de Baterías

	Plomo-Acido no sellada (Ciclo Profundo)	Plomo-Acido no sellada (Ciclo Ligero)	Gel-Cell	NiCd
Profundidad de descarga	45-80%	15-25%	15-25%	100%
Autodescarga por mes	5%	1-4%	2-3%	3-6%
Capacidad típica AH/m3	35314	24720	8828	17660
Rango de capacidades AH/m3	7062 a 50323	5791 a 49000	3672 a 16400	3630 a 34961
Capacidad típica AH/Kg	12,11	10,13	4,85	11,1
Rango de capacidades AH/Kg	4,18 a 26,65	2,42 a 20,26	2,2 a 13,87	2,64 a 20,9
Temperatura mínima de operación °C	-6,6	-6,6	-18	-45

1.3.5.3. Subsistema de regulación

Es un dispositivo electrónico, que tiene como objetivo evitar sobrecargas o descarga excesivas en baterías, el regulador de carga se comporta como un tipo de interruptor que se opone al paso de corriente a las baterías cuando no necesitan cargarse y que da paso a la corriente para cargar las baterías cuando es necesario. De no contar con este equipo el sistema podría tener daños severos en especial el subsistema de almacenamiento de energía, que al no tener un limitante las baterías entrarían a un ciclo de carga constante,

independientemente si es necesario la carga o no, esto provoca cargas excesivas, provocando daños internos en los elementos de la batería y una disminución de la vida útil.

En caso de una producción insuficiente de energía por parte del subsistema de generación debido a la intermitencia de la energía solar las baterías pueden empezar a tener descargas excesivas, esto genera daños internos como cristales aislantes entre sus placas reduciendo su vida útil, en estos casos el regulador identifica cuando desconectar o conectar el sistema de almacenamiento de energía. Ciertos reguladores informan del estado de carga de los acumuladores para que el usuario pueda interpretar mejor el consumo, en función de la producción útil [16].

- **Regulador de carga en paralelo.** Como su nombre indica se conecta en paralelo con el subsistema de generación y el subsistema de almacenamiento de energía, detecta el valor en los bornes de la batería y actuando cuando llega a un valor establecido creando una vía de baja resistencia a través del subsistema de generación, derivando a corriente y aportándola de las baterías. Los reguladores de este tipo disipan toda la corriente de salida del grupo generador cuando el acumulador alcanza el estado de plena carga [16].

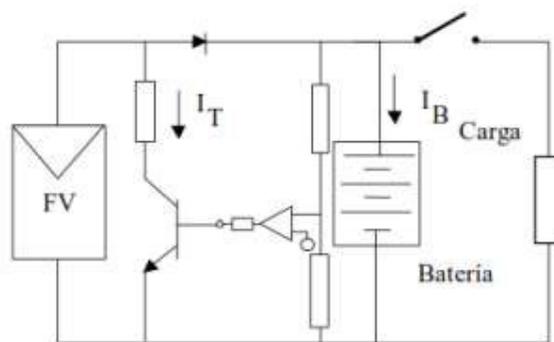


Figura 1.5. Regulador de carga en paralelo.

- **Regulador de carga en serie.** Este tipo de dispositivo tiene a cualidad de que teóricamente no disipa nada de energía, en la realidad la única potencia que necesita es la que los componentes internos necesitan para su operación. Estos equipos cuentan con una resistencia muy baja en el orden de los micro ohmios y tiene un comportamiento de interruptor, es decir abre o cierra el circuito entre el subsistema de generación y el subsistema de almacenamiento de energía dependiendo si las baterías están a plena carga [16].

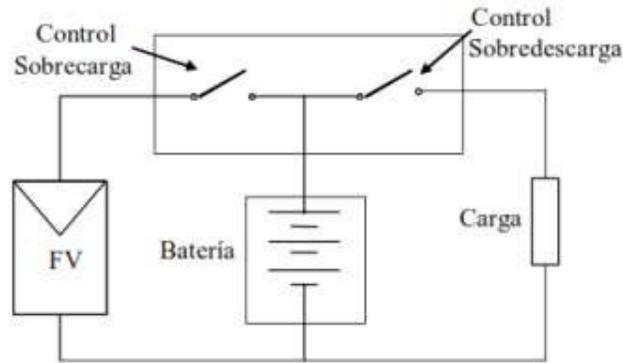


Figura 1.6. Regulador de carga en serie.

1.3.5.4. Subsistema de acoplamiento de potencia

Son dispositivos electrónicos convertidores, reciben corriente continua y transforman en corriente alterna, también son llamados convertidores u onduladores, pueden ser monofásicos o trifásicos [8].

El rendimiento del inversor es un dato importante que se toma en cuenta en los cálculos de la demanda de energía, esto porque está relacionado con la potencia nominal del sistema en general, por esta razón es indispensable acoplar de mejor manera el inversor a sistema y ajustarlo a las necesidades más reales de la instalación. También existen inversores llamados de arranque automático, este equipo resulta conveniente cuando las cargas se conectan y desconectan varias veces al día, pero a condición que deben tener estas cargas es ser relativamente grandes porque las cargas pequeñas no son detectadas correctamente, una carga mínima para que el convertidor arranque automáticamente es de 20W [16].

Como se mencionó antes la selección del inversor es una de las cosas más importantes en el diseño de todo el sistema, esto debido a que las bombas deberán ser alimentadas con una señal senoidal perfecta, porque si existe la presencia de armónicos existirá el incremento de pérdidas por el efecto Joule y el calentamiento puede ser tanto que las bobinas o aislamiento de las bobinas pueden llegar a destruirse. Por esta razón deberá seleccionarse un inversor con una onda de salida senoidal pura, con valores armónicos que no representen un valor considerable y además con un error mínimo de frecuencia [12].

Entre los datos eléctricos característicos de los inversores están:

- Potencia de salida.
- Voltaje de entrada.

- Límites de voltaje de entrada.
- Rendimiento (siempre mayor a 90%).
- Capacidad de sobre carga.
- Capacidad de autoarranque.
- Protección contra sobrecorrientes, sobrevoltajes, bajos voltajes, inversión de polaridad.
- Protección térmica.

1.3.5.5. Cableado

El cableado representa a todas las líneas de cables (monopolares o multifilares) existentes en una instalación eléctrica. La selección debe considerar: su capacidad de conducción, que su caída de voltaje cumpla con el límite permitido, que sea compatible con las condiciones ambientales en que se encuentre y que tenga una resistencia mecánica adecuada, esto porque al ser instalación fotovoltaica generalmente se encuentran a la intemperie entonces debe resistir humedad, radiación solar e incrementos de temperatura, sin embargo también podría encontrarse en tramos subterráneos por lo que deberían poder soportar la corrosión y humedad [8].

Los tipos de aislamiento más comunes son:

Tabla 3.3. Nomenclatura en cables comerciales

Nomenclatura	Tipo de cable
R	Aislamiento de hule
T	Aislamiento termoplástico
X	aislamiento de polímero sintético barnizado
H	resistente al calor hasta 75 °C
HH	resistente al calor hasta 90 °C
W	resistente a la humedad
UF	para uso subterráneo
N	cubierta de nylon

1.3.5.6. Aparatos de protección y maniobra

Las instalaciones eléctricas siempre deben contar con equipos de protección y maniobra que permitan proteger la instalación eléctrica tanto como a las personas que realizaran trabajos de operación y mantenimiento.

Los sistemas fotovoltaicos pueden estar expuestos a diversas influencias externas, la causa más frecuente de daños corresponde a eventos de sobrevoltaje. Los equipos más

susceptibles a estas perturbaciones son los inversores los que pueden tener grandes costos de reinversión al sufrir daños [17].

Los sobrevoltajes en instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red pueden generarse por transitorios en la red y en la carga local, para instalaciones fotovoltaicas aisladas pueden generarse debido a factores internos [17]:

- Fallas en componentes.
- Fallas de operación.
- Transitorios por conmutación o en la carga local.
- Descargas atmosféricas

Otros tipos de fallas comunes pueden ser cortocircuito, sobrecargas, fallas en el aislamiento, para eso se tiene diferentes protecciones dependiendo de su alcance de funcionamiento [18].

- **Protecciones contra sobrecorriente.** *El rango de protección de sobrecorriente va desde el subsistema de generación hasta el subsistema regulador o el subsistema de acoplamiento de potencia, se dimensiona en base a la corriente máxima del sistema que es la de cortocircuito. Los equipos que se pueden usar para este tipo de falla son [19]:*

- *Diodos de bloqueo.*
- *Fusibles.*
- *Interruptores automáticos magnéticos.*
- *Interruptores o seccionador general.*
- *Interruptores diferenciales.*

- **Protección conta Sobrevoltajes.** *Como se mencionó anteriormente los sobrevoltajes se pueden generar por descargas atmosféricas, por lo tanto, es necesario instalar las protecciones contra sobrevoltajes en los puntos de combinaciones de los paneles fotovoltaicos y en el inversor [19].*

- *Supresores de transitorios.*
- *Protección contra descargas atmosféricas.*

- **Protección de los Circuitos de Corriente Alterna.** *Las protecciones termomagnéticas automáticas son las más utilizadas contra sobrecorrientes y sobrecargas. Los interruptores diferenciales son utilizados contra contactos directos e indirectos, estos deben tener una alta sensibilidad [18].*

- **Puesta a tierra.** En un sistema de generación fotovoltaico todos los elementos metálicos, de los componentes de corriente alterna y continua, deberán estar conectadas a un sistema de puesta a tierra [19].

1.3.5.7 Estructuras de soporte

Las estructuras de soporte son elementos que permiten que los componentes del sistema se encuentren bien sujetos por lo que deben resistir diversas cargas expuestas en los diseños técnicos [20]:

- Resistir cargas de viento y granizo.
- Evitar que la transmisión de esfuerzos por dilatación.
- Los topes de sujeción no deberán generar sombra sobre las superficies de captación.
- Evitar estancamiento de agua.
- Todos los materiales que conforman la estructura deben estar protegidos contra corrosión.

1.3.6 SISTEMAS DE RIEGO EN EL ECUADOR

Actualmente, Ecuador cuenta con una infraestructura de riego para un área de aproximadamente 1 724 335 ha, incluidos los sistemas de riego nuevos y existentes, sin embargo, el área actualmente regada es mucho menor. La superficie regada actualmente es de 977 000 ha. Esta diferencia posee varias explicaciones [21]:

- Existen sistemas de riego cuya infraestructura ha llegado al final de su vida útil.
- Varios sistemas de riego llevan varios años funcionando, y en algunos casos aún quedan obras y tramos sin terminar.
- Los nuevos sistemas polivalentes, incluyendo el componente de riego, también se encuentran incompletos no cuentan con canales secundarios.

El riego es de gran importancia para sectores sociales, productivo y económico del país, ya que logra el objetivo básico relacionado con la producción alimentaria, la soberanía alimentaria y la producción agrícola, además de mejorar las condiciones sociales y económicas de los agricultores.

1.3.7 MÉTODOS DE SISTEMAS DE RIEGO EN ECUADOR

El riego consiste en suministrar el recurso hídrico adecuado a las áreas de producción agrícola, es un factor clave para disminuir la inseguridad productiva por la irregularidad de ciclos estacionales que pueden ocasionarse por cambios climáticos impredecibles y de

igual manera mejorar la calidad del suelo [22]. Se pueden utilizar múltiples formas de transportar el agua la más usada es por medio del suelo, en la figura 1.7. podemos observar una clasificación que plantea el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP).



Figura 1.7. Métodos de Riego según MAGAP

Para determinar que método es el más adecuado debemos hacer las preguntas: ¿Cómo es el terreno?, ¿Pendiente, llano, laderas?, ¿Qué vas a cultivar?, ¿Cuánto dinero va a producir?, ¿Cuánta agua hay y que calidad?, ¿Cuánto cuesta el riego?, ¿Qué mano de obra tienes? [21].

Dependiendo de las respuestas que obtengamos podemos optar por los siguientes métodos que son planteados por el MAGAP:

1.3.7.1. Métodos de riego por gravedad

En la actualidad, casi todas las fuentes de agua que se encuentran a gran altura como en la zona andina o los páramos de la sierra han sido comprometidas por la creación de canales que son utilizados en el riego por gravedad [22].

Riego por inundación. Para este método el agua se distribuye por gravedad sobre el terreno. El agua puede ser transportada por canales o acequias que deben contar con un volumen de agua elevado, sin embargo, el suelo tiene que ser plano o nivelado, si el suelo cuenta con irregularidades el agua podría oponerse a fluir con naturalidad y generar pequeñas estancaciones que puede ocasionar daños a los cultivos [21].

Riego por canteros. En este método el agua fluye por guías previamente realizados llamados surcos, estos surcos dependerán de la pendiente del terreno para aproximar su distancia optima que puede ir de 12m a 24m. Estos surcos se agrupan y a estos grupos se llaman parcelas, las parcelas pueden estar una a continuación de otra para aprovechar el riego y el largo total de las parcelas puede variar de 95m a 140m. La cantidad de agua dependerá de la pendiente de la zona del cultivo y también del tipo de suelo que este

constituido, si el suelo no es totalmente firme la corriente podría destruir los surcos e ir arrastrando los cultivos [21].

1.3.7.2. Métodos de riego a presión

En estos métodos el principal objetivo es dar empuje al agua que se encuentra en suelo o almacenada y que de esta forma pueda alcanzar zonas elevadas o irregulares que con métodos como el de gravedad sería imposible dar un riego adecuado. Cabe recalcar que para este método es necesario equipos que permitan proporcionar energía potencial y energía cinética o en su defecto contar con un tanque elevado que por lo menos tenga una columna de agua de 10m.

La inversión cuando se elige estos métodos es mayor, esto hace que el riego por aspersión a nivel de zona rural no sea una decisión apropiada al menos que el cultivo necesite características específicas que solo pueden ser administradas por aspersión o goteo:

Riego por aspersión. Este método parte de la lógica de abarcar una cantidad de agua en un volumen amplio transformando un flujo de agua continuo en gotas parecido a lluvia, es uno de los más eficientes porque al transportar agua por una tubería no existe desperdicio la eficiencia de este método ronda el 85%, el viento es un factor afectante cuando tiene una fuerza notable podría cambiar la trayectoria de las gotas de agua y el calor excesivo también es otro factor que puede afectar el riego debido a la vaporización del agua [21].

En este método puede haber otra subdivisión que básicamente depende del tipo de cultivos, una es la aspersión que ya se describió la otra es microaspersión que tiene la misma metodología, pero se diferencia en la cantidad de agua que se expulsa y con la presión que se empuja, dependiendo de los cultivos y su resistencia a las gotas de agua se debe elegir el más conveniente.

En el riego por aspersión es muy importante la calidad del agua porque si el agua está contaminada o con muchas sales las hojas de los cultivos podrían quemarse.

Riego por goteo. Para seleccionar este método deben cumplirse algunas condiciones tanto del cultivo como del suelo, este tipo de riego es ideal para zonas áridas y secas. El ahorro de agua es considerable porque el agua llega de manera directa al cultivo por medio de una red de tuberías, funciona con goteros que mantienen la humedad adecuada a la tierra junto a las raíces del cultivo. Para este caso la calidad del agua es muy importante, impurezas podrían causar obstrucciones en los goteros lo que generaría zonas sin suficiente humedad. Otra ventaja de este método es que actualmente es posible

automatizar los sistemas, logrando que pueda ser operado por una única persona lo que generara ahorros en costos de operación [21].

1.3.8 NORMATIVA VIGENTE EN EL ECUADOR

Anteriormente en el Ecuador la energía renovable no era una tecnología bastante utilizada, sin embargo, en la actualidad ya se cuenta con algunas normativas desarrolladas por los organismos de Regulación del Ecuador, esta normativa busca incentivar la generación de energía eléctrica fotovoltaica para su consumo y la posible conexión con las redes de energía eléctrica pública; por estas razones los consumidores deben cumplir con requisitos que ya están establecidos en la ley.

1.3.8.1. Ley Orgánica de Eficiencia Energética

Esta Ley fue establecida el 19 de marzo del 2019, los artículos cuentan con información respecto a sistemas autónomos.

En el Capítulo I, artículo 1.- Objetivo y ámbito.- La presente Ley tiene por objeto establecer el marco legal y régimen de funcionamiento del Sistema Nacional de Eficiencia Energética – SNEE, y promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía del país; al ser más eficiente, aumentar la productividad energética, fomentar la competitividad de la economía nacional, construir una cultura de sustentabilidad ambiental y eficiencia energética, aportar a la mitigación del cambio climático y garantizar los derechos de las personas a vivir en un ambiente sano y a tomar decisiones informadas [23].

En el Capítulo I, artículo 2.-Declaración de Interés Nacional. - Se declara de interés nacional y como política de Estado, el uso eficiente, nacional y sostenible de la energía, en todas sus formas, como elemento clave en el desarrollo de una sociedad solidaria, competitiva en lo productivo y preocupada por la sostenibilidad económica y ambiental [23].

En el Capítulo I, artículo 3.- Principios. - En materia de eficiencia energética, son principios de la presente Ley, todos los que emanan de la Constitución de la República, de los instrumentos internacionales ratificados por el Ecuador, de ley de la materia y los contemplados en esta Ley [23]:

- Racionalización del consumo energético y preservación de recursos energéticos, renovables y no renovables;
- Mejoramiento de la productividad y la competitividad a través de la reducción de costos por uso eficiente de la energía;

- Promoción de energía limpia y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero;
- Fomento de una cultura nacional orientada al uso eficiente de los recursos energéticos; y,
- Transparencia e información adecuada para los consumidores y tomadores de decisión.

En el Capítulo III, artículo 13.- Eficiencia energética en la construcción. – El Ministerio de la política de construcción y vivienda coordinará con el INEN y los GAD, como parte del SNEE la 68 emisión de políticas y normativa orientadas a que en las edificaciones destinadas al uso industrial, comercial, recreativo, residencial y equipamientos se observe el cumplimiento de las metas sectoriales de eficiencia energética; dicha normativa será de obligatorio cumplimiento por parte de los diseñadores, constructores, propietarios y usuarios de las edificaciones, según corresponda [23].

En el Capítulo VI, artículo 22.- Incentivos para la eficiencia energética. – Se deberán establecer mecanismos de incentivo pertinentes, oportunos y eficaces, destinados a los consumidores que apliquen acciones de eficiencia energética a sus procesos, mediante la elaboración de auditorías energéticas, la implementación de etiquetas de eficiencia energética y la creación e implementación de sistemas de gestión de energía, u otras acciones similares, que serán verificadas por el ente rector en materia energética en coordinación con las instancias pertinentes, con el fin de generar conductas que tiendan a la eficiencia energética [23].

Los artículos indicados ponen a consideración que los consumidores pueden entrar al mercado energético incentivando el aprovechamiento de energías renovables no convencionales, esto debido a que este tipo de energías no son igual de contaminantes que las predominantes en el país, intentando hacer un cambio en la matriz de producción energética y disminuir el uso de los combustibles fósiles. Actualmente el Ecuador apoya los proyectos de este tipo siempre y cuando se respete las normativas y siempre se mantenga informado a la entidad pertinente para el seguimiento estadístico nacional [23].

1.3.9 BOMBAS HIDRÁULICAS

Una bomba hidráulica es una máquina que funciona con un fluido incomprensible, en la que la energía mecánica se convierte en energía hidráulica, el objetivo de una bomba es la transferencia de energía a un fluido para permitir su movimiento dentro de una instalación. Esto generalmente resulta en un aumento de presión en la salida de la bomba que puede estar relacionado con el caudal que se esté transportando [24].

En general las bombas tienen dos fases:

1. **Aspiración.** *Consiste en la elevación del líquido desde su nivel hasta la bomba, esto a través de la tubería denominada de aspiración. Esto se logra ya que la bomba ejerce un vacío que permite que el líquido pueda subir a través de la tubería [25].*
2. **Impulsión.** *En esta fase el líquido se transporta desde la bomba hacia su destino, a través de la tubería denominado de impulsión, esto se logra ya que la bomba ejerce la presión para que el líquido se traslade a través de toda la tubería [25].*

1.3.9.1. Bombas de émbolo

Las bombas de émbolo son conocidas también como bombas de pistón, poseen como elemento principal de trabajo un pistón que se mueve dentro de un cilindro, la succión de pistón realiza la aspiración del líquido y el empuje lo envía con la presión de la tubería. Para ello se necesitan válvulas que, con la misma fuerza que el líquido cierran o abran los puertos de descarga [26].

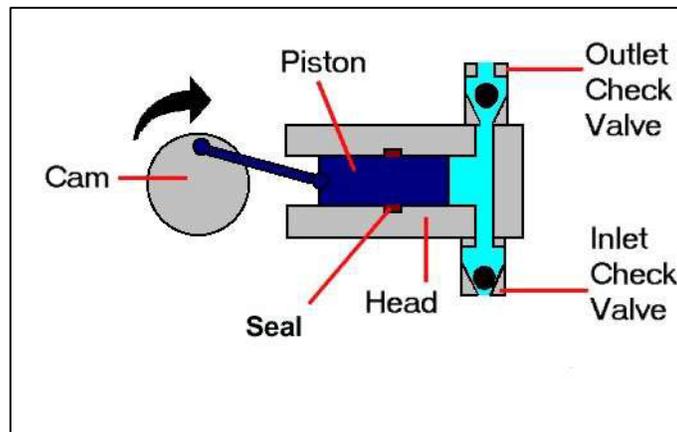


Figura 1.8. Bomba de Émbolo o Pistón [27]

1.3.9.2. Bombas de diafragma

Son bombas aspirantes, que trabajan únicamente por una de sus caras. la aspiración e impulsión se realizan mediante un diafragma deformable, que usualmente, es un circuito de goma fijado en su periferia, y empujado por su centro, un par de válvulas abren alternativamente la entrada y salida [26].

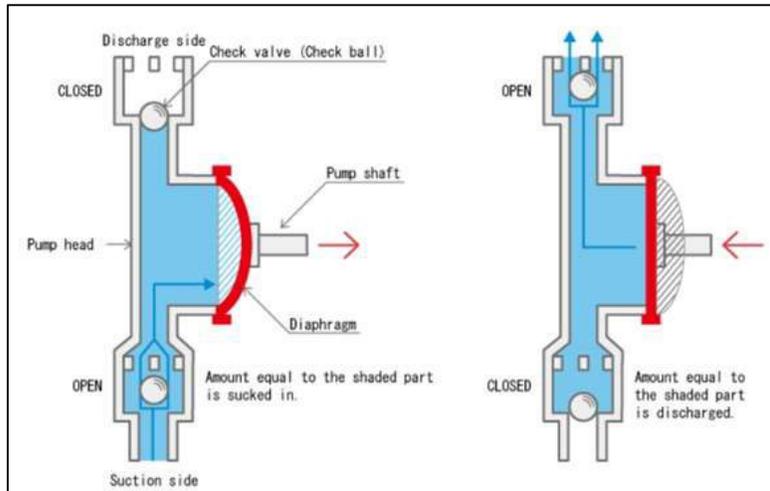


Figura 1.9. Bomba de diafragma [28]

1.3.9.3. Bombas rotativas

Este tipo de bombas está compuesto de dos anillos giratorios con distinto centro, que tiene orificios que se llenan de agua para después empujarla. Son muy poco empleadas. No poseen válvulas y son autocebantes [26].



Figura 1.10. Bomba Rotativa [29]

1.3.9.4. Bombas Centrífugas

Las bombas centrífugas funcionan debido a la alta velocidad de rotación impresa en ellas. Consiste en un disco con aletas al que se le llama rodete y alabes respectivamente, gira dentro de un tubo circular que lo rodea, que comúnmente se denomina "caracol" debido a

su forma. El agua ingresa al centro del impulsor, a través de la tubería de succión, los alabes lo empujan con fuerza contra la pared del caracol, y por repulsión hace que el agua suba a través del tubo vacío. Existen dos tipos de bombas centrífugas usadas en sistemas de riego, las bombas sumergibles y de superficie.

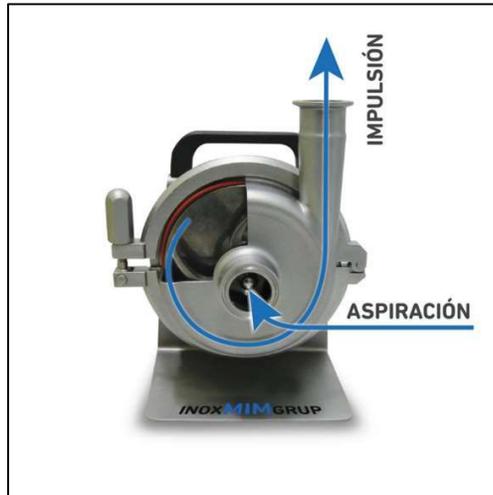


Figura 1.11. Bomba Centrífuga

1.3.10 CONFIGURACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA

1.3.10.1 Succión Negativa

La succión negativa es cuando el nivel del líquido se encuentra por debajo del centro de la bomba. En los sistemas de bombeo esta succión negativa se ve reflejada al momento de extraer agua de un tanque que se encuentra bajo el nivel de la bomba, o cuando se realiza bombeo de pozo o acequias.

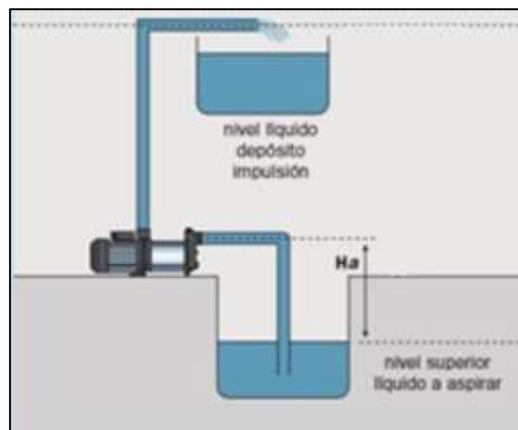


Figura 1.12. Succión negativa

1.3.10.2 Succión Positiva

Esta succión existe cuando el nivel del líquido se encuentra sobre la línea central de la bomba. Para los sistemas de bombeo desde un tanque elevado se tiene una succión positiva.

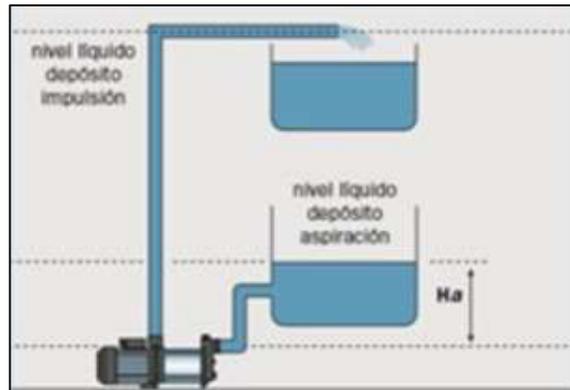


Figura 1.13. Succión Positiva

1.3.11 ANÁLISIS FINANCIERO ECONÓMICO

El análisis económico de este tipo de proyectos va a permitir determinar la factibilidad de su implementación y su ejecución, para asegurar su viabilidad se debe considerar el tiempo de operación, si tiene conexión a la red pública o es un sistema aislado.

Para este proyecto el análisis es obligatorio porque va a permitir identificar cual es el valor ahorrado en un sistema aislado, esto en comparación con sistemas que usan combustible para generar su autonomía o una inversión para conectarse a una red pública que se encuentra a una distancia considerable del lugar donde se proyecta la instalación.

Para esto se utilizará los indicadores financieros VAN y TIR:

Valor Actual Neto (VAN)

Es un indicador financiero que permite determinar la ganancia del proyecto teniendo como variables la inversión inicial del proyecto y el flujo de ingresos y egresos, para este caso los sistemas fotovoltaicos tienen costos de mantenimiento pequeños en comparación a la inversión inicial, que son los principales aspectos, en la inversión inicial debe tomarse en cuenta el terreno o superficie a utilizar [30].

El indicador se debe interpretar como:

- Si el VAN<0, significa que el proyecto no tiene la capacidad de financiarse ni de generar ganancias.
- Si el VAN=0, significa que el proyecto es capaz de financiarse, pero no genera ganancias.
- Si el VAN>0, implica que el proyecto es capaz de financiarse y generar ganancias.

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Este indicador permite conocer la viabilidad de un proyecto tomando como referencia los flujos de caja que se espera obtener en el futuro, el valor se calcula considerando valores de caja anuales y el desembolso inicial.

De manera concreta el TIR es la tasa de interés o descuento que permite que el valor actual neto de una inversión sea igual a 0, es decir que el proyecto no genere pérdidas [30].

El indicador se debe interpretar como:

- Si el TIR<0, entonces el proyecto no es viable, produce pérdidas.
- Si el TIR=0, entonces el proyecto no genera ganancias.
- Si el TIR>0, entonces el proyecto es rentable.

Costo nivelado de energía (LCOE)

Es una medida del costo actual neto promedio de la generación de electricidad de una generadora durante su vida útil. Se utiliza para realizar una investigación financiera sobre la inversión necesaria y un promedio de electricidad generada que se requiere para recuperar los costos de construcción y de operación.

Matemáticamente representa la relación entre todos los costos descontados durante el periodo de vida útil de la generadora (costos de operación y mantenimiento fijos y variables, costos de inversión, costos de financiamiento) dividida por una suma descontada de cantidades reales de energía entregada [31].

2. METODOLOGÍA

2.1. MÉTODO AMPERIOS-HORA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO

Este método consiste en conseguir un consumo diario que se utilizará para los cálculos y debe estar expresado en amperios-hora. Es necesario tener en cuenta las pérdidas y rendimientos de los equipos que constituyen el sistema y además de esto es necesario tener las características de la zona donde se proyecta la instalación, valores de radiación (Mes de menor radiación) en el peor de los casos, inclinación necesaria. En este método aparecen términos importantes que se debe tomar en cuenta como el número de días de autonomía, este término será indispensable en la formulación matemática para estimar la generación necesaria y el almacenamiento de la energía. Este método no aporta información sobre la confiabilidad de sistema bajo condiciones como perdidas de cargas sin embargo si da una buena aproximación al diseño ideal de sistema fotovoltaico que abastezca las necesidades energéticas [12] [32].

Para este método es importante tener una estimación anual bastante acertada, que es conocida como horas pico, de este dato y con las características del panel fotovoltaico se podría estimar rápidamente los amperios hora producidos diariamente.

2.2. DESCRIPCIÓN DE MÉTODO AMPERIOS HORA

El método de amperios hora es de los más utilizados y de fácil comprensión, además los datos que se requiere se los puede obtener en los manuales de usuarios o ficha técnicas de los dispositivos.

2.2.1. CÁLCULOS DEL CONSUMO DIARIO

Como paso inicial se debe obtener un listado de los equipos necesarios para el correcto funcionamiento del sistema, horas de uso diarias y las características eléctricas (Voltaje, Corriente o Potencia). Para calcular características eléctricas se necesita los datos de consumo de energía de todos los dispositivos que se conectarán como carga en el sistema, se debe tomar en cuenta que la demanda energética y la carga no siempre concuerdan con sus valores, esto debido a que la demanda tiene un comportamiento que dependerá de las necesidades del usuario haciéndola incierta.



Figura 2.1. Diagrama de Metodología para dimensionar un sistema fotovoltaico de un sistema de riego con pequeña vivienda

En la práctica se debe obtener un consumo medio diario, en amperios-hora por día, debido a que el suministro de energía en sistemas fotovoltaicos es irregular el uso de baterías es indispensable, por lo tanto, se debe tener en cuenta el voltaje de operación de los equipos incluido las caídas de voltaje. El voltaje nominal del sistema debe estar en función del valor de voltaje de las cargas más elevadas, en el caso de que prevalezcan las cargas AC, se debe tener un valor de voltaje DC compatible con el voltaje del inversor. Los valores de voltaje y corriente en el sistema se deben mantener en niveles aceptables, tomando en cuenta que al tener valores de voltaje menores la corriente será mayor.

Generalmente los inversores tienen mayor rendimiento al funcionar con voltajes relativamente altos que se encuentran en rango de 48 a 120 voltios. La correcta selección de un inversor definirá la confiabilidad del sistema y también que tan grande será la inversión. Se recomienda voltajes de 12V para potencias menores a 1,5kW, 24 o 48V para potencias entre 1,5 y 5kW y 48 o 120V para potencias mayores a 5kW [32].

2.2.2. CÁLCULO DE CORRIENTES Y POTENCIA MÁXIMA

Para el dimensionamiento de los componentes del sistema, como regulador de carga, inversor, protecciones, y cableado se debe tener en cuenta las potencia y corrientes máximas de consumo.

2.2.3. FACTOR DE SEGURIDAD

El factor de seguridad es necesario para que la demanda supere la potencia entregada por el subsistema de generación o en su defecto por el subsistema de almacenamiento, además se debe considerar el rendimiento de la carga de la batería, de los inversores, y del cableado del sistema, todos estos valores dependerán de la tecnología que se utilice y de la calidad de los equipos. Comúnmente se utiliza un factor de seguridad del 20% para todo el sistema.

2.2.4. CORRIENTE Y ÁNGULO DE INCLINACIÓN

Este procedimiento busca dimensionar el sistema para el escenario crítico, esto es para el mes en el cual la energía solar disponible sea la mínima. Con estas consideraciones, el sistema debe satisfacer el consumo de energía en el peor mes de un año promedio.

Existen dos tipos de ángulos de inclinación: Acimut e Inclinación, el primero se denota con la letra α y es el ángulo que se entre el panel y sur geométrico, este ángulo acimut determina la orientación del panel, siendo cero el valor ideal para paneles estáticos, es decir orientados hacia el sur. El ángulo de inclinación se denota con la letra β y es el ángulo que forma el panel con respecto a la horizontal [33].

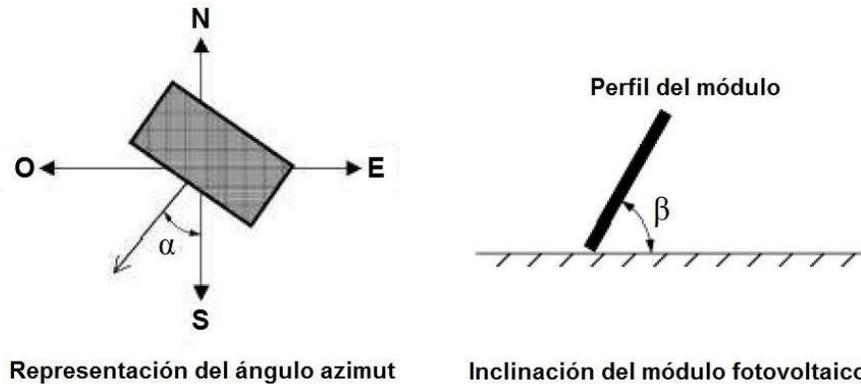


Figura 2.2. Ángulo Acimut (γ) y Ángulo de Inclinación (β)

Es recomendable que los paneles cuenten con equipo de seguimiento que permita entregar el máximo rendimiento a lo largo de todo el año, sin embargo, la mayoría de los sistemas fotovoltaicos son instalados sin esta tecnología por lo que se implementan con una inclinación que depende de las condiciones donde se encuentre ubicado. Esta inclinación debe ser en sentido contrario a hemisferio en el que se instalaran los paneles, es decir si se encuentra en una latitud de 5° norte, el panel debe instalarse con una dirección de un 5° norte.

En la práctica es recomendable que los paneles sean orientados con una inclinación mínima de 10 a 15° respecto a la horizontal, esto para evitar daños por la lluvia y aprovechar el agua de lluvia para su limpieza y este ángulo proporciona el mayor rendimiento durante el mes de más baja radiación, junio en el caso de la amazonia ecuatoriana [16].

2.2.5. CÁLCULO DEL SUBSISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Para el dimensionamiento del sistema de almacenamiento se debe tomar en cuenta los días de autonomía que se desea, el consumo diario, y la profundidad de descarga de las baterías. Se recomienda que los días de autonomía se encuentren entre 2 y 5, pero para sistemas críticos este valor debe ser entre 5 y 10. No obstante tener una capacidad de almacenamiento muy grande puede ser contraproducente si el generador fotovoltaico no tiene la capacidad de cargar correctamente las baterías [32].

2.2.6. CÁLCULO DEL SUBSISTEMA DE GENERACIÓN

El dimensionamiento del generador fotovoltaico se realiza en base a la energía que va a suministrar, inicialmente se determina el ángulo óptimo de inclinación para él, pero mes del

año. El número de horas de sol pico se define como la relación entre la radiación media por cada mes ($Wh/m^2/dia$) y $1000 W/m^2$.

Para la obtención de la corriente de diseño del generador fotovoltaico se debe tomar en cuenta el consumo corregido en amperios-hora, y el número de horas de sol pico. Esto nos muestra los amperios que debe proporcionar el generador por cada $1000 Wh/m^2$.

Los paneles en paralelo se obtienen mediante la relación entre la corriente de diseño obtenida y la corriente máxima del módulo a potencia máxima. Si el valor que se obtiene es un número decimal se recomienda acercarlo al entero superior. Los paneles en serie se calculan como el cociente entre el voltaje nominal del sistema y el voltaje nominal del módulo.

2.2.7. CONTROLADORES DE CARGA

Los controladores de carga se incluyen para la protección del sistema de almacenamiento, ya que el regulador actúa ante sobrecargas y descargas excesivas. Los controladores de carga actúan dependiendo de los niveles de voltaje de las baterías. En algunos casos poseen sensores de temperatura que ayudan a compensar el efecto de la temperatura en el voltaje de la batería. Se debe tomar en cuenta que la capacidad del controlador debe ser la adecuada para controlar la máxima corriente del sistema. Como recomendación se debe incluir un factor de seguridad del 25% de la corriente máxima, debido a que existen reguladores de varios tipos y características, se debe elegir el que mejor se acople al sistema diseñado.

2.2.8. CABLEADO DEL SISTEMA

Un cableado e instalación adecuada son indispensables para el correcto funcionamiento y vida útil del sistema, el adecuado cableado entre los subsistemas evitara las pérdidas excesivas en forma de calor, teniendo en cuenta la calidad del cable. La capacidad del cable debe ser acorde con la potencia del sistema y con un dimensionamiento adecuado.

La instalación de interruptores y fusibles es de gran importancia para la protección de personas y equipos. Además, se los utiliza para separación de los subsistemas de generación, almacenamiento de energía, regulación y carga.

2.3. DESARROLLO DEL APLICATIVO

En la siguiente sección se describirá las ecuaciones y consideraciones que fueron tomadas en el desarrollo del aplicativo, se debe considerar que el método que se implementó en el

aplicativo es Amperios-Hora, los datos que deben ser ingresados por el usuario deben ser de los equipos que se proyecta instalar.

2.3.1. TÉRMINOS QUE SE UTILIZARÁN EN EL APLICATIVO

En el aplicativo se utiliza terminología que deberá ser claro a que se está refiriendo, entre los más importantes para sistemas de bombeo, se puede destacar:

- **Caudal (Q).** Cantidad de agua que mana o corre. Con esta acepción del DRAE, no es sinónimo de gasto [34].
- **Presión (P).** Fuerza aplicada normalmente sobre la unidad de superficie [34].
- **Presión Atmosférica (Pa).** La presión atmosférica, también conocida como barométrica, es la que provoca el peso de la masa de aire que está actuando sobre la tierra [35].
- **Presión Relativa (Pr).** La presión relativa es el valor de sobrepresión que existe sobre el valor de la presión atmosférica [35].
- **Densidad (ρ).** La densidad es el cociente entre la masa y el volumen de un cuerpo [36].
- **Peso específico (γ).** Se define como el peso de una sustancia por unidad de volumen, el peso específico influye en el bombeo dependiendo de la sustancia [12].
- **Viscosidad (μ).** La viscosidad es la propiedad que genera una resistencia (fricción interna) con relación al movimiento relativo entre dos capas adyacentes [36].
- **Altura de Aspiración (Ha).** Es la altura existente entre el nivel del agua aspirada y el centro o eje de la bomba, denominada altura geométrica de aspiración [37].
- **Altura de Impulsión (Hi).** A la altura existente entre el centro o eje de la bomba y el punto más alto de la tubería de impulsión se denomina altura geométrica de impulsión [37].
- **Altura Manométrica de Aspiración (Hma).** Es la suma de la altura de aspiración más las pérdidas de carga equivalentes de la tubería y demás accesorios [12].
- **Altura Manométrica de Impulsión (Hmi).** Es la suma de la altura geométrica más las pérdidas de carga equivalentes de la tubería y demás accesorios [12].
- **Pérdidas de carga.** La pérdida de carga se refiere a la pérdida de energía mecánica entre el inicio y el final de un tramo de tubería [36].

- **Altura Manométrica Total (Hmt).** Es la altura total, incluido todas las pérdidas en aspiración e impulsión.
- **Potencia Absorbida (Pa).** Es la potencia absorbida de una bomba que consume para llevar el agua al caudal deseado, altura establecida y con el rendimiento esperado [12].
- **Metros de columna de agua (mca).** Las siglas m.c.a. significan metros columna agua y corresponde a una unidad de presión del Sistema técnico de unidades, y equivale a la presión ejercida por una columna de agua pura de un metro de altura [38].
- **Net Positive Suction Head (NPSH).** En castellano “altura neta positiva de aspiración” y se trata de la diferencia entre la presión del líquido en el eje del impulsor y la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, o, dicho de otra forma, es la presión absoluta mínima que debe haber a la entrada de la bomba para evitar fenómenos de cavitación, y representa una de las características más importantes para una bomba [39].

Para los sistemas fotovoltaicos las definiciones que se utiliza son:

- **Horas de Sol Pico (HSP).** La HSP se interpreta como el número medio de horas, con una irradiación solar pico de 1000 W, necesario para producir la misma energía solar que la recibida por el sistema FV (irradiación variable) durante todo el día [33].
- **Ángulo de inclinación óptimo (β_{opt}).** Es el ángulo que se forma entre la superficie del módulo y el plano horizontal. Puede ir entre 0° si el panel se encuentra de forma totalmente horizontal, y 90° si se coloca de forma vertical y que aprovechara al máximo la radiación solar [8].
- **Número de días de autonomía (Nd).** En sistemas fotovoltaicos autónomos, se establece que los días de autonomía de un sistema fotovoltaico corresponden a la cantidad de días que las baterías son capaces de alimentar la carga bajo una radiación solar mínima o nula.

2.3.2. ESTABLECIMIENTO DE CONDICIONES PREVIAS

El primer paso es decidir en qué lugar se va ubicar el sistema fotovoltaico, de esta manera se podrá obtener los parámetros ambientales que se necesita, también la facilidad de obtener el recurso hídrico que será necesario para la determinación de la configuración del sistema de bombeo. Los datos más relevantes que se toman en cuenta en este apartado se citan a continuación.

2.3.2.1. Ubicación del sistema fotovoltaico y la fuente de agua

Además del recurso solar, el sitio de ubicación debe estar en una zona con el recurso hídrico adecuado para cumplir con la labor de riego, si existe una facilidad en la obtención del líquido influirá directamente en las pérdidas de carga del sistema de bombeo y por consecuencia en la potencia de la bomba. También es de suma importancia la calidad del agua y si se cuenta con sedimentos o impureza esto afectara la vida útil de la bomba.

Teniendo en cuenta lo mencionado, la medición de las longitudes de las tuberías es de suma importancia, además verificar que la disponibilidad de agua abastezca las necesidades de demanda al sistema de riego, la configuración del sistema de bombeo también es un factor imprescindible, no es lo mismo tener un sistema con tanque de reserva elevado o que tenga un pozo de donde extraer el líquido.

2.3.2.2. Evaluación del recurso solar

El siguiente paso es obtener información adecuada sobre el recurso solar, es necesario conocer los datos de manera mensual y tomar el mes con el valor más crítico y de esta manera obtener el valor de HSP que se lo utiliza en el cálculo de numero de paneles solares y a su vez está relacionado con abastecer la carga bajo las peores condiciones.

Para el caso de este aplicativo y por facilidad, es recomendable utilizar la página web “PVWATTS” ver en [40]. Esta página web tiene la ventaja que es fácil de utilizar y los datos que entrega son fáciles de comprender, se puede elegir la zona donde se proyecta la instalación y ver la peor de las condiciones, puede entregar la irradiación global, una pequeña muestra de su interfaz se puede observar a continuación.

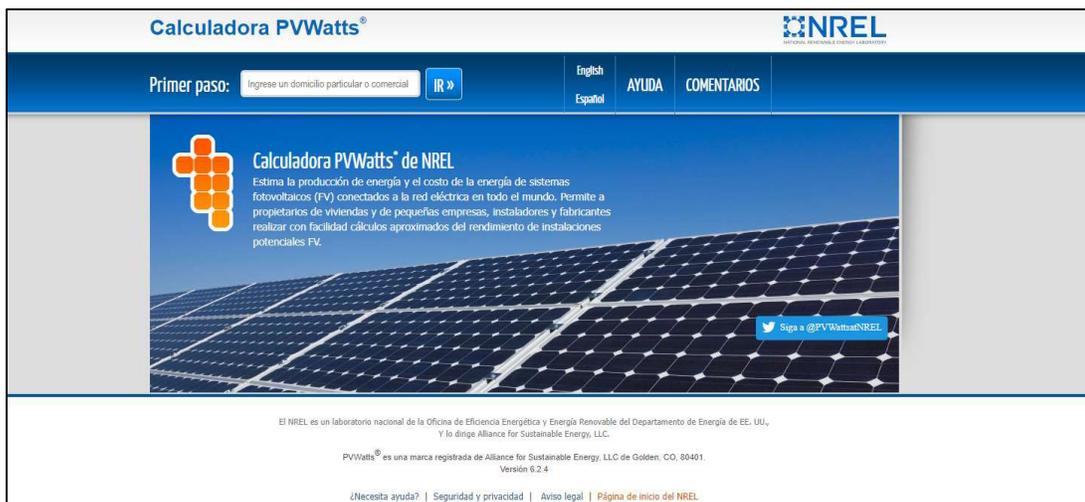


Figura 2.3. Ejemplo de interfaz página “PVWHATS”

El dato que se necesita se muestra en la Figura 2.3, para el caso del aplicativo se debe ingresar los 12 datos que entrega y el programa detectara el peor escenario automáticamente, lo único necesario es ingresar la posición lo más exacta posible.



Figura 2.4. Resultados de página “PVWHATTS”

Para la figura 2.4. se debe tomar en cuenta que el valor anual para la columna “radiación solar” corresponde al promedio de los valores mensuales, para la columna “Energía de corriente alterna” corresponde a la sumatoria de los valores mensuales de igual manera que la columna “Valor”.

2.3.3. DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO

2.3.3.1. Dimensionamiento de tubería

Uno de los factores importantes en el sistema de bombeo son las redes hidráulicas, es decir las tuberías, estos elementos deben ser dimensionados adecuadamente porque cada elemento tendrá sus propias pérdidas de carga que se acumularan y puede afectar directamente la potencia de la bomba. Se debe notar que el sistema de tubería no solo está constituido por tubos totalmente lineales, en la siguiente tabla se puede notar equipos que usualmente se utiliza en estas instalaciones:

Tabla 3.1. Pérdidas de carga obtenidos de datos de Plastigama Anexo A

		Pérdidas de carga en accesorios				
		Diámetro nominal (mm)	20	25	32	40
	Perdidas de Carga	(m)				
ACCESORIOS	Tee	0,7	0,8	0,9	1,5	
	Codo 90°	1,1	1,2	1,5	2	
	Codo 45°	0,4	0,5	0,7	1	
	Codo 90° L/R	0,4	0,5	0,6	0,7	
	Válvula de retención	0,2	0,3	0,4	0,5	
	Válvula de bola	2,5	2,7	3,8	4,9	
	Válvula de compuerta	11,1	11,4	15	2	
	Válvula de pie	0,1	0,2	0,3	0,4	
	Cono difusor	5	5	5	5	

Estos datos los proporcionan los fabricantes y son necesarios para los cálculos, el primer valor que se va a obtener es el diámetro de la tubería tanto del lado de aspiración como el de impulsión, se calcula con la ecuación 2.1. Previamente se debe establecer un valor de velocidad de desplazamiento, se recomienda que en el lado de aspiración, la velocidad del líquido sea aproximadamente 1,5m/s sin exceder los 2m/s y para el lado de impulsión, la velocidad sea aproximadamente 2,5m/s sin exceder los 3m/s [12].

$$d = \sqrt{\frac{354 * Q}{V}} \quad (2.1)$$

Donde:

d: Diámetro nominal de la tubería (mm).

Q: Caudal (m³/h).

V: Velocidad del líquido (m²/s).

El diámetro calculado se asocia con los valores comerciales debe ser mayor o igual al valor estándar, se utiliza el ANEXO A que corresponde a una empresa ecuatoriana. A partir del diámetro se tienen las otras características como la presión soportada por las tuberías y se debe recalculer la velocidad, verificando no sobrepasar los valores de velocidad.

Continuando se debe determinar el régimen de desplazamiento al que estará expuesto el líquido, de este valor dependen las pérdidas de carga, pueden existir dos tipos de regímenes: laminar y turbulento, dependiendo del número de Reynolds podemos identificar

en cuál de los dos casos nos encontramos, la ecuación 2.2 muestra cómo se obtiene el número de Reynolds.

$$Re = \frac{V * d}{\mu} \quad (2.2)$$

Donde:

Re: Número de Reynolds.

μ : Viscosidad cinemática del líquido (m/s²).

Si el número de Reynolds es mayor a 4000 se puede decir que se encuentra en régimen turbulento caso contrario se encontraría en régimen laminar.[41]

En sistemas de riego es común el régimen turbulento, por lo tanto, se puede decir que:

- Las pérdidas son mayores en longitudes de tuberías grandes
- Las pérdidas están relacionadas con el material y la velocidad

Al estar relacionados con el material cada material tiene su particularidad como se puede observar en la Tabla 2.2 que está a continuación.

Tabla 3.2.Rugosidad de materiales.

Rugosidad de materiales	
Material	ϵ (mm)
Plástico (PE, PVC)	0,0015
Poliéster reforzado con fibra de vidrio	0,01
Tubos estirados de acero	0,0024
Tubos de latón o cobre	0,0015
Fundición revestida de cemento	0,0024
Fundición con revestimiento bituminoso	0,0024
Fundición centrifugada	0,003
Hierro forjado	0,03-0,09
Hierro galvanizado	0,06-0,24
Hormigón	0,3-3,0
Acero comercial y soldado	0,03-0,09

La generalidad en sistemas de riego es utilizar tubería PVC y tuberías de Polietileno (PE), entre algunas ventajas tenemos:

Tubería de PVC

- Resistencia a la corrosión y daños internos en la tubería

- Adecuado para riego presurizado y por gravedad
- Resistentes a factores ambientales
- Larga vida útil
- Coeficiente de fricción relativamente bajo en comparación de otros materiales
- Resistencia mecánica buena y son livianos
- Trabajan bien a largas distancias

Tubería de polietileno (PE)

- Adecuado para riego por goteo
- Resistencia física elevada y durabilidad en el tiempo
- Resistente a la corrosión y a la formación de incrustaciones en las paredes
- Flexibilidad notable en comparación a PVC

2.3.3.2. Determinación de pérdidas de carga

Con el diámetro y el tipo de tubería que se proyecta para la instalación se procede al cálculo de pérdidas de carga en todo el sistema de bombeo (aspiración e impulsión), estas pérdidas deben estar expresadas en (mca) por cada 100 metros de tubería y son datos proporcionados por fabricantes como se puede observar en el ANEXO A. Un breve ejemplo se muestra en la figura 2.5. Donde está señalado con azul la línea que se necesita, se interpretaría como: con un caudal de 0,10lps las pérdidas de carga son 1,29 mca.

ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC (U)

Cálculo de las pérdidas de carga en base a tuberías de menor presión por cada diámetro, según la fórmula de Hazen – Williams.

D. Nominal (mm)	20		25		32		40		50		63		75	
	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V
0.08	1.27	0.85	0.32											
0.10	1.59	1.29	0.40											
0.12	1.90	1.80	0.48	0.54	0.29									
0.14	2.22	2.40	0.56	0.72	0.34									
0.16	2.54	3.07	0.64	0.92	0.39									
0.26	4.12	7.54	1.04	2.26	0.64	0.61	0.37							
0.36	5.71	13.78	1.45	4.13	0.88	1.12	0.52							
0.46	7.29	21.70	1.85	6.50	1.13	1.76	0.66							
0.56	8.88	31.23	2.25	9.35	1.37	2.54	0.80	0.80	0.50					
0.66	10.46	42.34	2.65	12.68	1.62	3.44	0.95	1.08	0.59					
0.81	12.84	61.87	3.26	18.53	1.98	5.03	1.16	1.58	0.72					
0.96	15.22			25.38	2.35	6.89	1.38	2.16	0.86	0.72	0.54			
1.11	17.59			33.21	2.72	9.02	1.59	2.83	0.99	0.94	0.63			
1.26	19.97			42.00	3.09	11.40	1.81	3.58	1.12	1.19	0.71			

Figura 2.5. Recorte de ANEXO A, datos de fabricante de Plastigama

Este valor equivalente es muy importante para el cálculo de altura manométrica total (Hmt), la que debe contar con una lista de todos sus accesorios (tubería, válvulas, codos, etc.) tanto de aspiración como de impulsión y de esta forma obtener un valor equivalente y que sea lo más acertado posible.

Como se mencionó previamente, los cálculos se deben realizar de forma separada, pero de una manera general la altura manométrica total esta expresada como:

$$H_{mt} = H_{mi} \pm H_{ma} + \frac{10(P_1 - P_2)}{\gamma} \quad (2.3)$$

Donde:

H_{mt} : Altura manométrica total (m).

H_{ma} : Altura manométrica total de aspiración (m).

H_{mi} : Altura manométrica total de impulsión (m).

P_1 : Presión en el depósito de impulsión (kgf/dcm²).

P_2 : Presión en el depósito de aspiración (kgf/dcm²).

γ : Peso específico del líquido a la temperatura de bombeo (kgf/dcm³).

Por lo general la sección de la ecuación (2.3) que es referente a la presión es decir la diferencia de presiones $P_1 - P_2$ es igual a cero en casos donde se utiliza para llenar reservorios de agua donde las presiones son iguales a las presiones atmosféricas, para estos casos este término no se toma en cuenta, sin embargo, para el caso donde se cuenta con aspersores en el lado de impulsión el valor afectara a las pérdidas de carga por lo tanto debe ser calculado adecuadamente.

Dependiendo de la disposición del sistema el H_{ma} cambiara de signo, esto se refiere a si estamos hablando de tanque elevado o tanque bajo, para calcular la P_1 se debe tomar en cuenta la siguiente ecuación.

$$P_1 = P_N + 0,75 * H_r \pm \frac{\Delta Z}{2} + H_a \quad (2.4)$$

Donde:

P_1 : Presión de salida de la bomba.

P_N : Presión media lateral.

H_r : Pérdidas de carga en el ramal.

H_a : Altura del aspersor.

Z : Desnivel geométrico.

Para calcular las pérdidas de carga en el ramal se utiliza las ecuaciones que se muestran a continuación, estas dependen de la longitud y numero de derivaciones.

$$H_r = J * DT / f_c \quad (2.5)$$

Donde:

H_r : Pérdidas de carga laterales.

J: Pérdidas de presión continua en el tubo.

DT: Distancia total.

fc: Factor de Christiansen.

$$J = 10,62 * C^{-1,85} * D^{-4,87} * Q^{1,85} \quad (2.6)$$

Donde:

J: Pérdidas de presión continua del tubo (mca/m)

C: Coeficiente de conducción depende del material

D: Diámetro de la tubería (m)

Q: Caudal (m³/s)

$$f_c = \frac{1}{1 + m} + \frac{1}{2 * N_{DEV}} + \frac{\sqrt{m - 1}}{6 * N_{DEV}^2} \quad (2.7)$$

Donde:

fc: Factor de Christiansen.

m: Factor de precisión que se utiliza en el cálculo para este caso m=2.

NDEV: Número de derivaciones.

Otro valor importante a calcularse en esta sección es el NPSH, este valor es indispensable que sea calculado para comparar que el NPSH (disponible) sea mayor que el NPSH (requerido) para evitar fenómenos de cavitación. Las ecuaciones para este cálculo son:

$$NPSH_{disponible} > NPSH_{requerido} \quad (2.8)$$

$$NPSH_{disponible} = \frac{10Pa}{\gamma} - Ha - Pc - \frac{10Tv}{\gamma} \quad (2.9)$$

Donde:

Pa: Presión atmosférica del depósito de aspiración (kgf/cm²).

Ha: Altura geométrica de aspiración (m) su signo dependerá de si el sistema es tanque elevado o tanque con desnivel a profundidad.

Pc: Pérdidas de carga en aspiración (m).

Tv: Presión de vapor del líquido a temperatura de bombeo (kgf/cm²).

γ: Peso específico del líquido a la temperatura de bombeo (kgf/dcm³).

2.3.3.3. Determinación de potencia de la bomba

Para la selección de la bomba se debe buscar una potencia que abastezca la potencia requerida por el sistema además de las pérdidas de carga que se pueden generar, el

rendimiento mínimo que se podrá tolerar es del 60%. La potencia de la bomba se puede expresar como:

$$P_{ab} = \frac{Q * Hm * \gamma}{367 * \eta} \quad (2.10)$$

Donde:

P_{ab} : Potencia absorbida por la bomba (kW).

Q: Caudal (m³/h).

γ : Peso específico del líquido a la temperatura de bombeo (kgf/dcm³)

Hmt: Altura manométrica total (m).

η : Rendimiento esperado de la bomba.

Dependiendo del valor obtenido de la ecuación (2.10) se seleccionará una bomba que sea igual o mayor al valor estándar que se pueda encontrar en el mercado, y con la tecnología acorde a la utilidad que se le va a dar.

Todos los datos que se toman para realizar los cálculos dependerán de la temperatura de ambiental, se aconseja que los valores de referencia sean a 20°C y si se desea hacer un cálculo más fino tomará datos de tablas en base a la temperatura y a la presión atmosférica del sitio.

Este método funciona adecuadamente con caudales pequeños, si el caudal empieza a tomar valores demasiados altos los equipos como bombas tendrán potencias excesivas lo que afectará directamente a la carga y por consecuente a el subsistema de almacenamiento de energía que se volvería insostenible, teniendo un número elevado de baterías haciendo que económicamente el sistema fotovoltaico no sea una decisión adecuada. Lo mismo pasaría con el subsistema de generación, el número de módulos que se necesitaría para abastecer cargas demasiado grandes serían demasiados y ocuparían un área extensa quitándole la viabilidad al proyecto.

2.3.3.4. Cálculo de la demanda de energía.

Si se obtiene la potencia de la bomba teniendo las consideraciones previamente mencionadas al cálculo de energía se aumenta el tiempo de funcionamiento de los equipos por día. Como para el caso del aplicativo la carga no solo es la bomba sino también una pequeña carga doméstica se debe tomar en cuenta todos estos aspectos tanto: carga doméstica como subsistema de bombeo, subsistema de conversión de potencia, subsistema de almacenamiento y cableado.

Para el cálculo de demanda de energía se utiliza la ecuación (2.7):

$$E_{ac} = F_s \left(P_n * h_b + \sum_{i=1}^n C_i * h_i \right) \quad (2.11)$$

Donde:

E_{ac} : Energía consumida (Wh).

F_s : Factor de seguridad (15% o 20%) [42].

P_n : Potencia nominal de la bomba, no se debe confundir con P_{ab} (demanda requerida para el trabajo).

h_b : Número de horas de trabajo de la bomba (h).

C_i : Cargas de uso doméstico.

h_i : Horas de uso relacionados con las cargas de uso doméstico (h).

Los rendimientos de los subsistemas de acoplamiento de potencia, subsistema de almacenamiento y conductores se utiliza la ecuación (2.12) para la energía total:

$$E_T = \frac{E_{DC} + \frac{E_{AC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{Bat} * \eta_{Cond}} \quad (2.12)$$

Donde:

E_T : Energía total del sistema (Wh).

E_{DC} : Energía consumida por cargas de corriente DC (Wh).

η_{inv} : Rendimiento esperado del inversor.

η_{Bat} : Rendimiento esperado de las baterías.

η_{Cond} : Rendimiento esperado de los conductores.

En el cálculo de la energía DC se utiliza una variación de la ecuación (2.11), los datos para obtener estos valores son cargas DC y tiempo de uso, no se puede integrar en la misma ecuación debido a la intervención del inversor. La ecuación queda:

$$E_{DC} = F_s * C_{DC} * h_{DC} \quad (2.13)$$

Donde:

E_{DC} : Energía consumida por cargas de corriente DC (Wh).

F_s : Factor de seguridad (15% o 20%) [42].

C_{DC} : Potencia de la carga DC (W).

h_{DC} : Horas de uso (h).

2.3.3.5. Dimensionamiento de subsistema de generación

En el dimensionamiento del subsistema de generación lo primordial es obtener el número de módulos fotovoltaicos que se necesita para abastecer toda la carga que se estimó de consumo de sistema de bombeo y de la carga doméstica.

Para este cálculo es necesario contar con los parámetros ambientales que se comentó en la sección 2.2. que se explicó el método “Amperios-Hora”, se debe contar con las características eléctricas de los módulos o de un conjunto de diferentes marcas para saber cuál si podría abastecer sin necesidad de que sea un número elevado de módulos.

Determinación de ángulo óptimo para los módulos solares

La rotación de la tierra respecto al sol hace que el recurso solar no se igual en todos los meses del año, esto da como consecuencia que buscar un ángulo óptimo sea indispensable, la solución más adecuada para esto es colocar seguidores electrónicos que permitan adaptarse automáticamente sin embargo esta tecnología no es implantada por sus costos por lo que se prefiere una estructura fija.

Como se explicó en la sección 2.2.5. el ángulo depende en que ubicación se encuentra y algunas literaturas aconsejan que el ángulo mínimo sea 10°, sin embargo, para el cálculo exacto del ángulo se utiliza la ecuación (2.14) que toma en cuenta la latitud geográfica del sitio para el diseño, sin importar en que hemisferio se encuentre. [8]

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69 * |\theta| \quad (2.14)$$

Donde:

β_{opt} : Ángulo de inclinación óptimo al plano (°).

θ : Latitud geográfica del lugar de diseño (°).

Tomando de referencia el punto más alejado del Ecuador que se encuentra ubicado hacia el sur y tiene latitud $\theta = -5.01^\circ$; aplicando la ecuación (2.14) se puede obtener el ángulo óptimo de inclinación, que da como resultado $\beta_{opt} = 7.16^\circ$, es evidente que la instalación de módulos fotovoltaicos puede realizarse casi horizontal, pero por motivos de limpieza de los módulos ante la acumulación de polvo y suciedad se establece un ángulo de inclinación.[8]

Cálculo de número de paneles solares

Para calcular el número de paneles es necesario conocer la energía total del sistema y el factor global de pérdidas (varía entre 0.65 y 0.95) la ecuación para encontrar el valor se expresa como:

$$NT = \frac{E_T}{P_p * HSP * PG} \quad (2.15)$$

Donde:

- NT: Número de paneles.
- E_T : Energía total requerida (Wh).
- P_p : Potencia pico del módulo (W).
- HSP: horas de sol pico (h).
- PG: Factor global de pérdidas.

Por las necesidades del sistema y condiciones de batería se puede dividir en ramales para lo cual se utiliza las ecuaciones (2.16) y (2.17).

$$N_s = \frac{V_{sis}}{V_n} \quad (2.16)$$

$$N_p = \frac{NT}{N_s} \quad (2.17)$$

Donde:

- N_s : Número de módulos en serie por rama.
- V_{sis} : Voltaje nominal del sistema(V).
- V_n : Voltaje nominal de los módulos (V).
- N_p : Número de módulos conectados en paralelo.

Un factor limitante en este cálculo que no está incluido, pero debe tomarse mucho en cuenta es el área donde se va a instalar, el subsistema de generación ocupara de área la suma de área de los módulos aproximadamente.

2.3.3.6. Dimensionamiento de subsistema de almacenamiento de energía

Para dimensionar este subsistema se debe tener en cuenta las características eléctricas de las baterías como la capacidad de carga, esto debido a que si no es apropiado podría existir déficit al cargarlas lo que disminuirá la vida útil de los equipos, también es importante tener en cuenta las dimensiones y calidad de las baterías dependiendo de qué tan grande sea la carga del sistema podría acumularse un número excesivo de baterías y por esto se debe seleccionar una batería adecuada.

Los parámetros eléctricos que necesitamos se pueden encontrar en manuales de usuario o los datos del proveedor y son necesarios para utilizar las ecuaciones que se muestra a continuación:

$$C_n = \frac{E_T * N_d}{P_d} \quad (2.18)$$

Donde:

C_n: Capacidad teórica de la batería (Wh).

E_T: Energía total requerida por el sistema (Wh).

N_d: Número de días de autonomía del sistema fotovoltaico.

P_d: Máxima profundidad de descarga.

La capacidad nominal de la batería se la puede obtener de la siguiente manera:

$$C = \frac{C_n}{V_n} \quad (2.19)$$

Donde:

C: Capacidad teórica de la batería (Ah).

V_n: Voltaje nominal de la batería.

Un número excesivo de baterías no es adecuado entonces este parámetro también es importante a tomarse en cuenta aun sin estar integrado en las ecuaciones anteriores.

2.3.3.7. Dimensionado del regulador de carga

De los dos tipos de configuración de regulador (serie y paralelo) se procede una metodología similar se selecciona el voltaje del sistema y se dimensiona en función de la corriente de cortocircuito I_{sc} de los módulos (Dato del fabricante), multiplicado por el número de ramales si se encuentra en paralelo e integrado un factor de seguridad que generalmente es un 20% más de lo establecido, la ecuación que la expresa es:

$$I_e = F_s * I_{sc} * N_p \quad (2.20)$$

Donde:

I_e: Corriente de entrada del regulador.

I_{sc}: Corriente de cortocircuito del módulo fotovoltaico.

N_p: Número de ramas en paralelo del generador.

F_s: Factor de seguridad.

El regulador de carga es uno de los elementos más importantes del sistema fotovoltaico, si no es el más importante, sin el regulador de carga no es posible proporcionar energía eléctrica de manera confiable y eficiente, porque el regulador controla constantemente el voltaje de los acumuladores durante el proceso de carga y descarga. Por lo que su cálculo

debe ser lo más apegado a la realidad y necesario buscar un equipo en el mercado de igual o mayores características que el valor calculado.

2.3.3.8. Dimensionamiento de subsistema de acoplamiento de potencia

En este dimensionamiento es necesario conocer valores de la bomba que será nuestra principal carga y además las cargas domésticas que vamos a implementar, la carga de la bomba es la más delicada porque su corriente de arranque puede tomar valores de n veces de la corriente de nominal, actualmente existen inversores que tienen una característica de fabricación que produce una alta potencia en cortos periodos de tiempo característica que permite una mayor resistencia a las corrientes de arranque de máquinas rotativas para este caso bombas, la ecuación que expresa este cálculo puede expresarse como:

$$P_{inv} = F_s * P_{ab} * I_a \quad (2.21)$$

Donde:

P_{inv} : Potencia del inversor.

P_{ab} : Potencia que demanda la carga AC (W).

F_s : Factor de seguridad.

I_a : Número de veces que sube la corriente nominal.

2.3.3.9. Dimensionamiento de cableado

La selección de diámetro y tipo de aislamiento es un parámetro que estará relacionado con la vida útil del sistema, debe tomarse en cuenta a qué condiciones ambientales estará expuesto, así como las condiciones eléctricas, para cada tipo de sistema existe una ecuación simplificada entre estas tenemos:

- Para corriente continua

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\Delta V} \quad (2.22)$$

- Para corriente alterna monofásica

$$S = \frac{2 * \rho * L * I * \cos\varphi}{\Delta V} \quad (2.23)$$

- Para corriente trifásica

$$S = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * I * \cos\varphi}{\Delta V} \quad (2.24)$$

Donde:

S: Sección del conductor (mm²).

ρ : Resistividad del conductor ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$).

L: Longitud del conducto (m).

I: Corriente (A).

$\text{Cos}\phi$: Factor de potencia.

ΔV : Caída permisiva de voltaje (V).

- Para el diámetro

$$d = \sqrt{\frac{4 * S}{\pi}} \quad (2.25)$$

Donde:

d: diámetro de la sección (mm).

2.3.3.10. Evaluación financiera del proyecto.

Para este cálculo se debe tomar en cuenta algunas consideraciones como:

- El sistema es aislado.
- Se estimará con valores obtenidos de la página web “PVWatts Calculator”.
- El usuario debe ingresar valores de un año.
- El precio del lote debe tomarse en cuenta en la inversión inicial.
- El valor de la energía será tomará de alguna empresa pública de Ecuador.

Para el VAN se utilizará la ecuación (2.22) que se muestra a continuación:

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{(1 + \tau)^i} - C \quad (2.26)$$

Donde:

V_i : Los flujos de caja en cada periodo.

C: Valor del desembolso inicial de la inversión.

n: Numero de periodos considerados en meses.

τ : Tasa de actualización: tasa de interés que permite traer el valor futuro a valor presente.

Para la Tasa interna de retorno se debe utilizar la ecuación:

$$0 = C + \sum_{i=1}^n \frac{V_i}{(1 + TIR)^i} \quad (2.27)$$

V_i : Los flujos de caja en cada periodo.

C: Valor del desembolso inicial de la inversión.

n: Numero de periodos considerados en meses.

Además, se obtendrá el costo nivelado de la energía (LCOE), con el fin de estimar un valor al precio del kilovatio hora que servirá para tenerlo como referencia en nuestro programa, la ecuación para obtener este valor es:

$$LCOE = \frac{\text{suma de costos en el ciclo de vida}}{\text{suma de la energía eléctrica producida en el ciclo de vida}} \quad (2.28)$$

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (2.29)$$

Donde:

I_t : Gastos de inversión en el año t.

M_t : Gastos de operación y mantenimiento en el año t.

F_t : Gastos de combustible en el año t.

E_t : Energía eléctrica generada en el año t.

r: Tasa de descuento.

n: Vida útil.

t: Años.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para esta sección se plantea ejemplos de cálculo, que permita visualizar el correcto funcionamiento del aplicativo desarrollado.

3.1 EJEMPLO DE UTILIZACIÓN 1

Se toma un cultivo de maíz de 2 500 m³, que necesita 600 mm de agua en su ciclo de cultivo, el cual es de 120 días [43]. Los datos son:

- Caudal requerido: 1,05 m³/h y Presión de aspersor: 42,61PSI datos obtenidos de [44].
- Disposición de tanque: Bajo
- Pérdidas de carga que calcula el programa para diámetros de 20mm para aspiración e impulsión: 13,78m y 13,78m.
- Longitud de tubería de aspiración: 10m
- Numero de codos aspiración: 2
- Longitud tubería de impulsión: 98m
- Numero de codos de impulsión: 4
- Altura de aspersor: 1,1m
- Desnivel del terreno: 0,5m
- Numero de derivaciones: 4
- Horas de uso de la bomba: 3 horas

En la Figura 3.1 se puede observar un bosquejo del ejemplo propuesto y en la Figura 3.2 podemos observar los resultados del aplicativo y su interfaz.

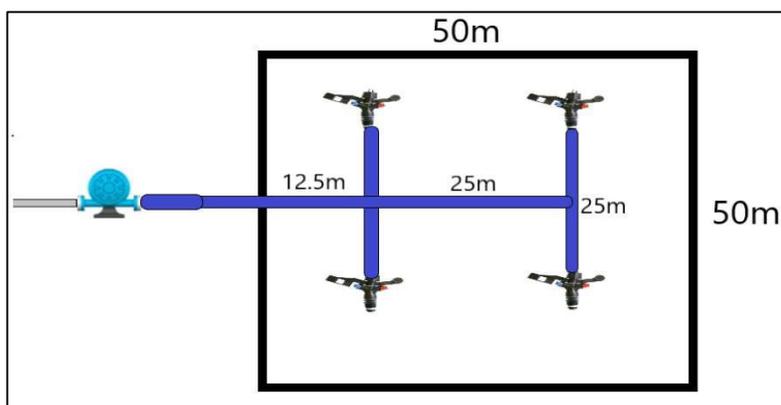


Figura 3.1.1. Bosquejo del sistema de riego.

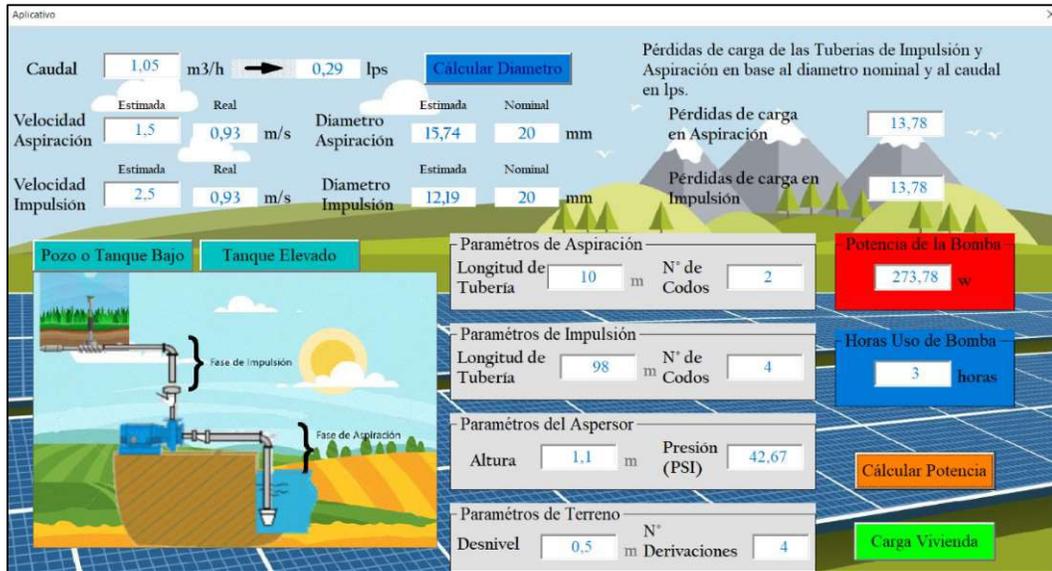


Figura 3.1.2. Aplicativo primera ventana cálculo de potencia bomba.

Datos de carga de vivienda

En esta pantalla se debe colocar todas las cargas que se planea tendrá la vivienda, y un factor de seguridad para el ejemplo:

- Cargas: 4 focos de 12 W se usan 4 horas, una TV de 200W con 4 horas de uso.
- Factor de seguridad: 15%.

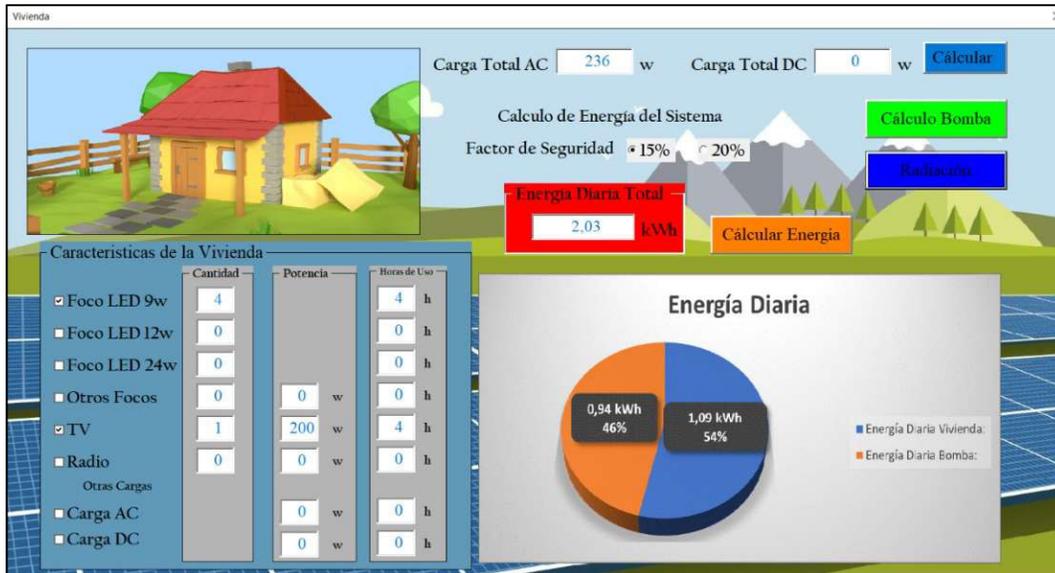


Figura 3.1.3. Segunda Pantalla del aplicativo, carga doméstica.

En la Figura 3.3. se muestra la interfaz del programa con los recuadros indicados para ingresar los datos de carga doméstica, se procede a calcular la energía y se obtiene el gráfico pastel que representa la distribución de energía.

Datos de radiación

Para esta sección se deberá obtener los datos de radiación de la página que está en la parte superior izquierda y obtener los datos de todos los años, para el ejemplo:

Ubicación: 0.513116, -77.864871, que pertenece a un área en la parroquia de La Paz, cantón Montufar, provincia del Carchi.

Radiación: enero 5,54; febrero 5,07; marzo 5,08; abril 5,03; mayo 5,03; junio 4,67; Julio 4,80; agosto 4,89; septiembre 5,46; octubre 5,70; noviembre 5,45; diciembre 5,54.

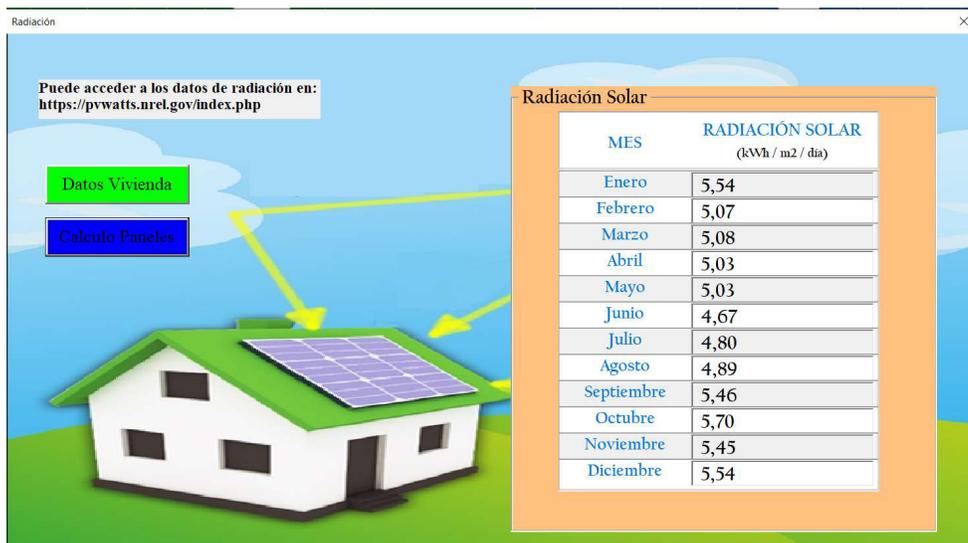


Figura 3.1.4. Tercera Pantalla Niveles de Radiación.

Características de equipos eléctricos

Esta sección es la de más importancia del aplicativo en esta se podrá obtener diferentes tipos de datos que se imprimirán en un reporte y breve resumen además de obtener los indicadores financieros VAN, TIR y LCOE, para el ejemplo se tomara:

Rendimiento global: 76%

Voltaje del sistema: 24V

En el caso de equipos eléctricos se tomaron como referencia las páginas en línea de las tiendas ecuatorianas [45], [46]:

- Panel solar: Voltaje nominal 24V; Potencia pico 400W; Voltaje Circuito Abierto 48,60V; Voltaje a Potencia Máxima 39,92V; Corriente de Cortocircuito 10,40A; Corriente a potencia Máxima 10,02; Precio 240USD.
- Batería: Voltaje 12V; Capacidad 200Ah; Profundidad de descarga 80%; Precio 178,75USD. Para este precio se tomó en cuenta una proforma que se encuentra en el ANEXO F.
- Ingresando estos datos nos permite visualizar el número de paneles y con eso obtener valores de potencia de inversor y de regulador de carga.
- Inversor: Voltaje 24V; Potencia 1200W; Precio 276,27USD.
- Regulador de carga: Voltaje 24V; corriente 30A; Precio 145,60USD.
- Precio de Área: Para el ejemplo no aplica se proyecta en un domicilio.
- Instalación: Se supone que se trabajara 5 días de 8 horas y se pagara con precios establecidos según la Controlaría General del Estado del Ecuador [47].

Análisis económico y comparación

Los datos para el análisis económico se presentan en la Tabla 3.1:

Tabla 3.1 Datos para el análisis económico de instalación

Instalación			
	USD por hora	Horas de trabajo	Total en USD
Ayudante electricista	3,83	40	153,2
Ingeniero eléctrico	4,31	40	172,4
Maestro soldador	4,29	30	128,7
Total			454,3
Materiales y equipos			
10% de mano de obra			45,43
Total Instalación			499,73
Mantenimiento Anual			
	USD por hora	Horas de trabajo	Total en USD
Ingeniero eléctrico	4,31	5	21,55
Transporte			20
Total Anual			41,55
Mantenimiento cada 10años			
	USD por hora	Horas de trabajo	Total en USD
Ingeniero eléctrico	4,31	5	21,55
Transporte			20
Cambio de baterías			357,50
Cambio de inversor			276,27
Total 10 años			671,01

Para la comparación, en este ejemplo se utiliza la tarifa del kWh de la red eléctrica pública esta tarifa de comparación es ingresada por el usuario. El usuario puede ingresar la tarifa de comparación con la que desee realizar el proyecto. Precio kWh: 0,09USD

La tasa de retorno se toma de 7% que es para proyectos fotovoltaicos según [48] .

Paneles Solares

The screenshot shows a software interface for configuring a solar system. It is divided into several sections:

- Características de Radiación:**
 - Hora Solar Pico: 4,67 kWh/m²/día
 - Factor Global de Pérdidas: 0,76
- Parámetros de Baterías:**
 - Voltaje: 12 V
 - Capacidad: 200 Ah
 - Profundidad de Descarga: 0,8 pu
 - Rendimiento: 0,9 pu
- Parámetros del Panel Solar:**
 - Voltaje: 24 V Potencia: 400 Wp
 - Voltaje Circuito Abierto (Voc): 48,60 V
 - Voltaje Potencia Máx. (Vmpp): 39,92 V
 - Corriente Cortocircuito (Isc): 10,40 A
 - Corriente Potencia Máx. (Impp): 10,02 A
- Resultados:**
 - Voltaje del Sistema: 24 V
 - Paneles:**
 - Numero de Paneles: 2
 - Paneles en Serie: 1
 - Paneles en Paralelo: 2
 - Baterías:**
 - Numero de Baterías: 2
 - Baterías en Serie: 2
 - Baterías en Paralelo: 1
 - Regulador de Carga:**
 - Voltaje: 24 V
 - Corriente Min.: 22,04 A
 - Inversor:**
 - Voltaje: 24 V
 - Potencia (W): 610,8 W
- Precio:**
 - Panel Solar: 240 \$
 - Baterías: 178,75 \$
 - Inversor: 276,27 \$
 - Pot. min: 610, W
 - Voltaje: 24 V
 - Regulador: 145,60 \$
 - Cor. min: 22,04 A
 - Voltaje: 24 V
 - Precio Area Instalar: 0 \$
 - Instalación: 499,73 \$
 - Mantenimiento: 41,55 \$
 - Precio kWh: 0,09 \$
 - Tasa Interés: 7 %

Buttons at the bottom: "Calcular Paneles" (orange), "Radiación" (blue), and "Generación de Reporte" (red).

Figura 3.1.5. Cuarta Pantalla Precios y características eléctricas de equipos.

Para este caso se observa que la inversión no se recupera para la carga proyectada, en el plazo establecido no se tiene retorno de la inversión como se observa en el valor del VAN y TIR, esto podemos observar en la Tabla 3.2., pero un factor importante en este apartado es que nuestro proyecto no se estima para generar ganancias, es para abastecer la necesidad energética del sistema de bombeo y de la pequeña carga doméstica, para más información referirse al ANEXO C.

Tabla 3.2 Análisis económico de primer ejemplo.

Datos de Análisis Económico							
Inversión Inicial	1759,1	USD					
Vida Útil	25	Años					
Tasa Inversión Largo Plazo	7	%	Tasa Pasiva				
Dinero Generado Anualmente	65,77	USD	Generación del sistema FV				
Mantenimiento	41,55	USD					
Análisis de Indicadores Económicos							
Año						Parámetros para el Cálculo de LCOE	
	Inversión Inicial	Valor de la Energía en Dinero	Mantenimiento	Flujo de Caja Anual	Flujo de Caja Acumulado	VAN del Sistema con Oper. y Manteni.	Energía Fotovoltaica Producida
	USD	USD	USD	USD	USD	USD	kWh
0	1.759,10	0,00	0,00	-1.759,10	-1.759,10		
1		65,77	41,55	24,22	-1.734,88	38,83	1.061,33
2		65,77	41,55	24,22	-1.710,66	36,29	991,90
3		65,77	41,55	24,22	-1.686,44	33,92	927,01
4		65,77	41,55	24,22	-1.662,22	31,70	866,36
5		65,77	41,55	24,22	-1.638,00	29,62	809,68
6		65,77	41,55	24,22	-1.613,78	27,69	756,71
7		65,77	41,55	24,22	-1.589,56	25,88	707,21
8		65,77	41,55	24,22	-1.565,34	24,18	660,94
9		65,77	41,55	24,22	-1.541,12	22,60	617,70
10		65,77	675,32	-609,55	-2.150,67	343,30	577,29
11		65,77	41,55	24,22	-2.126,45	19,74	539,53
12		65,77	41,55	24,22	-2.102,23	18,45	504,23
13		65,77	41,55	24,22	-2.078,01	17,24	471,24
14		65,77	41,55	24,22	-2.053,79	16,11	440,41
15		65,77	41,55	24,22	-2.029,57	15,06	411,60
16		65,77	41,55	24,22	-2.005,35	14,07	384,67
17		65,77	41,55	24,22	-1.981,13	13,15	359,51
18		65,77	41,55	24,22	-1.956,91	12,29	335,99
19		65,77	41,55	24,22	-1.932,69	11,49	314,01
20		65,77	675,32	-609,55	-2.542,24	174,52	293,47
21		65,77	41,55	24,22	-2.518,02	10,03	274,27
22		65,77	41,55	24,22	-2.493,80	9,38	256,32
23		65,77	41,55	24,22	-2.469,58	8,76	239,56
24		65,77	41,55	24,22	-2.445,36	8,19	223,88
25		65,77	41,55	24,22	-2.421,14	7,66	209,24

VAN **-\$-1.962,80**

TIR No TIR

LCOE \$ 0,21

3.2 EJEMPLO DE UTILIZACIÓN 2

Se toma los siguientes valores, en las mismas dimensiones de terreno se utiliza un aspersor de alta presión que evacua $12 \text{ m}^3/\text{h}$ a una presión de 45 PSI:

- Caudal requerido: $12 \text{ m}^3/\text{h}$
- Presión de aspersor: 45 PSI
- Disposición de tanque: Alto
- Pérdidas de carga para los diámetros calculados por el programa:
- 50mm=7,52
- 60mm=2,42
- Longitud de tubería de aspiración: 10m
- Numero de codos aspiración: 2
- Longitud tubería de impulsión: 50m
- Numero de codos de impulsión: 2
- Altura de aspersor: 1,1m
- Desnivel del terreno: 0,5m
- Numero de derivaciones: 1
- Horas de uso de la bomba: 3 horas

Los datos de carga de la vivienda se utilizaron los mismos.

De igual manera se utilizaron como referencia las páginas en línea de las tiendas ecuatorianas [45], [46], para la obtención de valores referenciales.

- Panel solar: Voltaje nominal 24V; Potencia pico 400W; Voltaje Circuito Abierto 48,60V; Voltaje a Potencia Máxima 39,92V; Corriente de Cortocircuito 10,40A; Corriente a potencia Máxima 10,02; Precio 240USD.
- Batería: Voltaje 12V; Capacidad 200Ah; Profundidad de descarga 80%; Precio 178,75USD. Para este precio se tomó en cuenta una proforma que se encuentra en el ANEXO F.
- Ingresando estos datos nos permite visualizar el número de paneles y con eso obtener valores de potencia de inversor y de regulador de carga.
- Inversor: Voltaje 24V; Potencia 3000W; para cubrir la potencia utilizaremos dos inversores de 1500 W con un precio de 369,60 USD; dando un Precio 739,20USD.
- Regulador de carga: Voltaje 24V; corriente 90A; utilizaremos 3 reguladores de 30 con Precio 145,60USD, dando un Precio de 436,80 USD

- Precio de Área: Para el ejemplo no aplica se proyecta en un domicilio.
- Para la instalación se toma 60 horas de trabajo para el ingeniero y el ayudante, de igual manera 40 horas de trabajo para el maestro soldador.

Tabla 3.1 Análisis económico de instalación

Instalación			
	USD por hora	Horas de trabajo	Total en USD
Ayudante electricista	3,83	60	229,80
Ingeniero eléctrico	4,31	60	259,60
Maestro soldador	4,29	40	171,60
Total			661,00
Materiales y equipos			
10% de mano de obra			66,1
Total Instalación			727,10
Mantenimiento Anual			
	USD por hora	Horas de trabajo	Total en USD
Ingeniero eléctrico	4,31	8	34,48
Transporte			20
Total Anual			54,48
Mantenimiento cada 10 años			
	USD por hora	Horas de trabajo	Total en USD
Ingeniero eléctrico	4,31	8	34,48
Transporte			20
Cambio de baterías			2 145
Cambio de inversor			739,20
Total 10 años			2 939,68

Tabla 3.2. Análisis económico de ejemplo 2.

Datos de Análisis Económico							
Inversión Inicial	5968,1		USD				
Vida Útil	25		Años				
Tasa Inversión Largo Plazo	7		%		Tasa Pasiva		
Dinero Generado Anualmente	279,61		USD		Generación del sistema FV		
Mantenimiento	54,48		USD				
Análisis de Indicadores Económicos							
Año	Indicadores Económicos					Parámetros para el Cálculo de LCOE	
	Inversión Inicial	Valor de la Energía en Dinero	Mantenimiento	Flujo de Caja Anual	Flujo de Caja Acumulado	VAN del Sistema con Operación. y Mantenimiento	Energía Fotovoltaica Producida
	USD	USD	USD	USD	USD	USD	kWh
0	5.968,10	0,00	0,00	-5.968,10	-5.968,10		
1		279,61	54,48	225,13	-5.742,97	50,92	4.245,32
2		279,61	54,48	225,13	-5.517,84	47,58	3.967,59
3		279,61	54,48	225,13	-5.292,71	44,47	3.708,02
4		279,61	54,48	225,13	-5.067,58	41,56	3.465,44
5		279,61	54,48	225,13	-4.842,45	38,84	3.238,73
6		279,61	54,48	225,13	-4.617,32	36,30	3.026,85
7		279,61	54,48	225,13	-4.392,19	33,93	2.828,83
8		279,61	54,48	225,13	-4.167,06	31,71	2.643,77
9		279,61	54,48	225,13	-3.941,93	29,63	2.470,81
10		279,61	2.938,68	-2.659,07	-6.601,00	1.493,88	2.309,17
11		279,61	54,48	225,13	-6.375,87	25,88	2.158,10
12		279,61	54,48	225,13	-6.150,74	24,19	2.016,92
13		279,61	54,48	225,13	-5.925,61	22,61	1.884,97
14		279,61	54,48	225,13	-5.700,48	21,13	1.761,66
15		279,61	54,48	225,13	-5.475,35	19,75	1.646,41
16		279,61	54,48	225,13	-5.250,22	18,45	1.538,70
17		279,61	54,48	225,13	-5.025,09	17,25	1.438,04
18		279,61	54,48	225,13	-4.799,96	16,12	1.343,96
19		279,61	54,48	225,13	-4.574,83	15,06	1.256,04
20		279,61	2.938,68	-2.659,07	-7.233,90	759,41	1.173,87
21		279,61	54,48	225,13	-7.008,77	13,16	1.097,07
22		279,61	54,48	225,13	-6.783,64	12,30	1.025,30
23		279,61	54,48	225,13	-6.558,51	11,49	958,22
24		279,61	54,48	225,13	-6.333,38	10,74	895,54
25		279,61	54,48	225,13	-6.108,25	10,04	836,95

VAN **-\$5.556,04**

TIR No TIR

LCOE \$ 0,17

3.3 COMPARACIÓN CON EL SOFTWARE PVWATTS

Existe varios softwares para el diseño y análisis de sistemas solares, la mayoría de los softwares son de pago, aunque poseen varias versiones de prueba las cuales tienen varias funciones importantes deshabilitadas.

PVWATTS es un programa que se encuentra en línea, el cual estima la producción de energía y el costo de la energía para sistema fotovoltaicos, permite a los realizar con facilidad cálculos aproximados del rendimiento de las instalaciones.

Tabla 3.1. Análisis energético ejemplo 1

Mes	Radiación Solar (kWh / m ² / día)	Energía estimada Diaria (Wh)	Energía estimada Mensual (kWh)
Enero	5,54	3368,32	104,42
Febrero	5,07	3082,56	86,31
Marzo	5,08	3088,64	95,75
Abril	5,03	3058,24	91,75
Mayo	5,03	3058,24	94,81
Junio	4,67	2839,36	85,18
Julio	4,8	2918,4	90,47
Agosto	4,89	2973,12	92,17
Septiembre	5,46	3319,68	99,59
Octubre	5,7	3465,6	107,43
Noviembre	5,45	3313,6	99,41
Diciembre	5,54	3368,32	104,42
		37854,08	1151,70

RESULTADOS		1,158 kWh/año*
Mes	Radiación solar (kWh / m ² / día)	Energía de corriente alterna (kWh)
Enero	5.54	104
Febrero	5.07	87
Marzo	5.08	96
Abril	5.03	92
Mayo	5.03	96
Junio	4.67	86
Julio	4.80	92
Agosto	4.89	93
Septiembre	5.46	100
Octubre	5.70	108
Noviembre	5.45	100
Diciembre	5.54	103
Annual	5.19	1,157

Figura 3.3.1. Análisis energético de software PVWatts Ejemplo 1

Como podemos observar, los valores de las energías mensuales obtenidas por el aplicativo, y las obtenidas mediante PVWatts son muy similares esto se puede observar en las Tablas 3.5, Tabla 3.6 y Figura 3.5, Figura 3.6, se tiene un error de 0,54% para la energía total anual generada, y para el segundo ejemplo se tiene similar de 0,54%.

Tabla 3.2. Análisis energético ejemplo 2

Mes	Radiación Solar (kWh / m ² / día)	Energía estimada Diaria (Wh)	Energía estimada Mensual (kWh)
Enero	5,54	13473,28	417,67
Febrero	5,07	12330,24	345,25
Marzo	5,08	12354,56	382,99
Abril	5,03	12232,96	366,99
Mayo	5,03	12232,96	379,22
Junio	4,67	11357,44	340,72
Julio	4,8	11673,6	361,88
Agosto	4,89	11892,48	368,67
Septiembre	5,46	13278,72	398,36
Octubre	5,7	13862,4	429,73
Noviembre	5,45	13254,4	397,63
Diciembre	5,54	13473,28	417,67
		151416,32	4606,79

RESULTADOS		4,632 kWh/año*
Mes	Radiación solar (kWh / m ² / día)	Energía de corriente alterna (kWh)
Enero	5.54	416
Febrero	5.07	349
Marzo	5.08	384
Abril	5.03	367
Mayo	5.03	383
Junio	4.67	345
Julio	4.80	370
Agosto	4.89	373
Septiembre	5.46	401
Octubre	5.70	430
Noviembre	5.45	402
Diciembre	5.54	412
Annual	5.19	4,632

Figura 3.3.2. Análisis energético de software PVWatts Ejemplo 2

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

El aplicativo desarrollado dimensiona el sistema fotovoltaico mediante los datos de radiación solar, riego y carga de la vivienda ingresados por el usuario, a través el método amperios hora, arrojando como resultado el número de paneles solares, número de batería, características del inversor y regulador de carga, además de un análisis financiero que permitirá observar la viabilidad del proyecto, toda esta información es guardada en un archivo pdf.

La metodología utilizada en el aplicativo fue la metodología de amperios hora que utiliza la demanda de energía para el dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos, para convertir las necesidades de los sistemas de riego con bombeo en energía eléctrica se realiza un cálculo de potencia de la bomba y las horas de uso diarias promedio, tomando en cuenta las necesidades de este.

Los requerimientos de energía eléctrica de los sistemas de riego con bombeo se encuentran relacionados directamente con las necesidades de los mismos, debido a que a una mayor demanda de caudal y mayor infraestructura la demanda de energía es mayor. Adicionalmente, en el caso de tener un sistema con tanque elevado la demanda de energía presenta una ínfima disminución debido a que en este tipo de configuración la bomba realiza menor trabajo debido a que la succión que realiza es positiva.

En la comparación realizada de los resultados obtenidos en el aplicativo desarrollado con los resultados que arroja el software Pvwatts, se ha encontrado con datos de salida similares, pero difieren porque el aplicativo realiza los cálculos mediante el método de amperios hora, y el software de uso libre utiliza el método computacional.

En los ejemplos desarrollados el VAN toma valores negativos, dando a entender que no se tiene un beneficio monetario, y que la inversión no se compensa al ser comparado con el valor la tarifa de energía eléctrica, pero se debe tener presente que al contar con energía eléctrica la calidad de vida de la persona mejora.

4.2. RECOMENDACIONES

Los datos que se ingresen en el aplicativo, deben ser datos reales debido a que un error en los mismo podría provocar un error en el dimensionamiento, ya sea sobredimensionándolo o subdimensionándolo. De la misma el análisis financiero se verá afectado reflejando valores del VAN y TIR erróneos.

Para una correcta aplicación de esta metodología se recomienda realizar una investigación previa sobre los voltajes de circuito abierto, voltajes a potencia máxima, corrientes de cortocircuito, corrientes a potencia máxima, potencia pico generada de los paneles solares como de la capacidad y el voltaje de las baterías a utilizarse.

Se recomienda obtener la información mediante aplicaciones que muestren los datos de radiación para cada mes en base a las coordenadas de diseño, ya que los datos de radiación son más exactos y permitirán un mejor dimensionamiento del sistema fotovoltaico.

Como alcance para esta tesis se recomienda realiza un estudio de sensibilidad económica, con el objetivo de verificar con que parámetros un proyecto se hace rentable, inclusive tomando en cuenta tarifas de producción de energía de distintas fuentes como podría los generadores de Diesel.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Banco Central del Ecuador, "Mercado laboral ecuatoriano," Nov. 2021, Accessed: Dec. 06, 2021. [Online]. Available: <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorReal/Previsiones/IndCoyuntura/Empleo/imle202109.pdf>
- [2] M. T. Chaichan and H. A. Kazem, "Generating electricity using photovoltaic solar plants in Iraq," *Generating Electricity Using Photovoltaic Solar Plants in Iraq*, pp. 1–211, Apr. 2018, doi: 10.1007/978-3-319-75031-6.
- [3] J. Ramos, "Instalación solar fotovoltaica aislada para colegio infantil ," Valladolid, 2015. Accessed: Dec. 06, 2021. [Online]. Available: <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/14110/TFG-P-303.pdf;jsessionid=F0825D276F891F3D1233058441ED476C?sequence=1>
- [4] F. Ordoñez and D. Vaca, "Mapa Solar Del Ecuador 2019," Quito, 2019. Accessed: Dec. 08, 2021. [Online]. Available: https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2020/04/MAPA_SOLAR_DEL_ECUADOR_final.pdf
- [5] CENACE, "Informe Anual CENACE 2020 Parte 1," Quito, 2020. Accessed: Dec. 08, 2021. [Online]. Available: <http://www.cenace.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/04/Informe-Anual-CENACE-2020-Parte-1.pdf>
- [6] D. Arija, "PROTOTIPO DE SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA PROYECTOS DE COOPERACIÓN AL DESARROLLO CON TECNOLOGÍAS APROPIADAS," Leganés, 2010. Accessed: Dec. 08, 2021. [Online]. Available: <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/10871/PROYECTO%20fina.%20David%20Arija%20Gonzalez.pdf>
- [7] "Componentes de una Instalación Solar Fotovoltaica," *Levantamiento de instalaciones solares fotovoltaicas*. McGraw-Hill. Accessed: Jan. 09, 2022. [Online]. Available: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- [8] J. IZA, "DISEÑO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA PARA ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL CAMPUS DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL," 2020. Accessed: Dec. 06, 2021. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20749/1/CD%2010267.pdf>
- [9] C. Jacobo, "Análisis del funcionamiento de paneles fotovoltaicos y su utilización en las regiones de la costa y sierra del Ecuador. Caso de estudio: Biblioteca Pompeu Fabra de Mataró," *Universidad Politécnica de Cataluña*, Jan. 2015. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/26396/memoria.pdf> (accessed Dec. 06, 2021).
- [10] Enrique. Alcor Cabrerizo, *Instalaciones solares fotovoltaicas*, 3a. ed. Mairena del Aljaraje Sevilla: PROGENSA, 2002.
- [11] R. Salcedo, "Modelado y caracterización de paneles fotovoltaicos," Chihuahua, 2013. Accessed: Dec. 08, 2021. [Online]. Available:

<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/2338/1/ROBERTO%20HERRERA%20SALCEDO.pdf>

- [12] J. Caiza, "Formulación Metodológica Para El Dimensionado e Instalación De Sistemas De Bombeo Solar Fotovoltaico Para El Sector Rural Del Ecuador," Quito, 2017. Accessed: Dec. 08, 2021. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/17339/1/CD-7837.pdf>
- [13] M. Alonso, "Sistemas Fotovoltaicos," 2011. [Online]. Available: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45340/componente45338.pdf
- [14] "Bateria Solar de GEL vida útil prolongada 150Ah/12VDC." <https://proviento.com.ec/baterias-solares/200-bateria-solar-de-gel-vida-util-prolongada-150ah12vdc.html> (accessed Dec. 08, 2021).
- [15] R. Fernández, "Metodología para proyectar la dotación de energía eléctrica por medio solar y eólico a viviendas rurales," Valdivia, 2003. Accessed: Dec. 09, 2021. [Online]. Available: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/bmfcif363m/pdf/bmfcif363m.pdf>
- [16] Luis Macancela, "DIAGNÓSTICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CORRESPONDIENTES A LA PRIMERA ETAPA DEL PROYECTO YANTSA II ETSARI," Cuenca, 2012. Accessed: Jan. 09, 2022. [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/689/1/te321.pdf>
- [17] Clampler, "Protección contra Sobretensiones en Sistemas Fotovoltaicos." [Online]. Available: <https://www.mgi.com.uy/images/pdf/CLAMPER/energia-solar-fotovoltaica/fotovoltaico.pdf>
- [18] J. Iza, "Diseño de una Central Fotovoltaica para Abastecimiento de Energía Eléctricas del Campus de la Escuela Politécnica Nacional," Quito, 2020. Accessed: Jan. 09, 2022. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20749/1/CD%2010267.pdf>
- [19] W. Villegas, "ESTUDIO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO PARA EL 'MERCADO SAN ROQUE,'" Quito, 2021. Accessed: Jan. 09, 2022. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/21569/1/CD%2011073.pdf>
- [20] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), *Norma Ecuatoriana de la Construcción Energías Renovables*. 2020. Accessed: Jan. 10, 2022. [Online]. Available: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2020/07/NEC-HS-ER-Energ%C3%ADas-Renovables.pdf>
- [21] "Manual de Riego Parcelario," Quito, Nov. 2015. Accessed: Dec. 08, 2021. [Online]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/11/Manual-de-riego-parcelario.pdf>
- [22] "Plan Nacional de Riego y Drenaje 2019-2027," Quito, Apr. 2020. Accessed: Dec. 08, 2021. [Online]. Available: http://www2.competencias.gob.ec/wp-content/uploads/2021/03/01PPP_PNRD_05ABRIL_2019_3.pdf

- [23] Asamblea Nacional, *Ley Orgánica De Eficiencia Energética*. Ediciones Legales, 2019. Accessed: Jan. 11, 2022. [Online]. Available: www.registroficial.gob.ec
- [24] S. de las Heras, *Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas*, 1era ed. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya, 2011. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.3/36653/9788476538937.pdf>
- [25] S. Pérez and C. Renedo, "Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas," 2012. Accessed: Jan. 17, 2022. [Online]. Available: <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1307/course/section/1605/T05.pdf>
- [26] E. Bash, "Bombas Hidraulicas," *PhD Proposal*, vol. 1, pp. 1–22, 2015, Accessed: Jan. 17, 2022. [Online]. Available: <https://www.navarra.es/NR/rdonlyres/4F8A02B4-A60A-42EA-9017-7C19F8722FA2/305689/Bombas2.pdf>
- [27] Askix, "Bomba de pistón simple," *askix*. <https://www.askix.com/bomba-de-piston-simple.html> (accessed Jan. 17, 2022).
- [28] TACMINA CORPORATION, "Diaphragm Pump: What Is a Diaphragm Pump?," 2018. <https://www.tacmina.com/learn/basics/01.html> (accessed Jan. 17, 2022).
- [29] J. Jiménez, "Tipos de bombas de desplazamiento positivo | PumpsBombas." <https://pumpsbombas.com/tutorial-tipos-bombas-desplazamiento-positivo/> (accessed Jan. 17, 2022).
- [30] J. Iza, "DISEÑO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA PARA ABASTECIMIENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL CAMPUS DE LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL," Escuela Politécnica Nacional, 2020. Accessed: Dec. 06, 2021. [Online]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/20749/1/CD%2010267.pdf>
- [31] C. S. Lai *et al.*, "Levelized cost of electricity for photovoltaic/biogas power plant hybrid system with electrical energy storage degradation costs," *Energy Conversion and Management*, vol. 153, pp. 34–47, Dec. 2017, doi: 10.1016/J.ENCONMAN.2017.09.076.
- [32] M. Alonso, "Dimensionado de Sistemas Fotovoltaicos," 2017.
- [33] M. Baselga, *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*. Madrid: Editex S.A., 2019. Accessed: Jan. 11, 2022. [Online]. Available: <https://books.google.com.ec/books?id=kJmeDwAAQBAJ&pg=PA59&dq=angulo+de+inclinacion+panel+solar&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiT7a2mr6z1AhVflWoFHXStD6sQ6AF6BAgGEAI#v=onepage&q=angulo de inclinacion panel solar&f=false>
- [34] A. Losada, "GLOSARIO SOBRE SISTEMAS DE RIEGO ," *Ingeniería del Agua*, vol. 4, no. 4, pp. 55–68, Dec. 1997, Accessed: Jan. 12, 2022. [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/3084/44article6.pdf>
- [35] Instrumentos WIKA, "Tipos de presión: presión absoluta, presión relativa, presión diferencial." https://www.wika.es/landingpage_differential_pressure_es_es.WIKA (accessed Jan. 12, 2022).

- [36] Sterling Fluid Systems Group, *Principios Básicos para el Diseño de Instalaciones de Bombas Centrífugas*. Sterling SIHI, 2003.
- [37] Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, *Manual de Riego para Agricultores Módulo 1: Fundamentos del Riego*. Secretaria General Técnica, 2010.
- [38] “Qué es m.c.a?,” *Bomba Elias*. <https://elias.es/faq/que-es-m-c-a/> (accessed Jan. 17, 2022).
- [39] M. Monge, “Qué es y cómo se calcula el NPSHdisp de una bomba centrífuga,” *Iagua*, 2017. <https://www.iagua.es/blogs/miguel-angel-monge-redondo/que-es-y-como-se-calcula-npsdisp-bomba-centrifuga> (accessed Jan. 17, 2022).
- [40] “Calculadora PVWatts.” <https://pvwatts.nrel.gov/index.php> (accessed Feb. 20, 2022).
- [41] E. Granados and C. Pinto, “COMPARACIÓN DE MODELOS TEÓRICOS PARA CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN TURBULENTO EN EL TÚNEL DE VIENTO WSL20 DEL CDT DE GAS,” Bucaramanga, 2016. Accessed: Jan. 13, 2022. [Online]. Available: https://www.cdtdegas.com/images/Descargas/Nuestra_revista/MetFlu12/2ModeladoRegimenFlujoTunelViento.pdf
- [42] M. de Desarrollo Urbano Vivienda Arq Leonel Chica Martínez, A. Gustavo Raúl Ordoñez, A. Jenny Lorena Arias Zambrano, and I. Miguel Iza Ing Franklin Medina Carlos Parra Ing Diego Chimarro Ing Ramiro Rosero Ing Luis Fernando Bonifaccini Ing Sofía Terán Ing Mentor Poveda Ing Francisco Parra Textos Edición, “Ing. Adrián David Sandoya Unamuno,” 2018.
- [43] D. Héctor, “Guía Técnica El Cultivo del Maíz.” <http://repiica.iica.int/docs/b3469e/b3469e.pdf> (accessed Jun. 08, 2022).
- [44] NOVAGRIC, “Aspersores de Riego Agrícolas.” <https://www.novagric.com/es/riego/materiales-de-riego/aspersores-de-riego> (accessed Jun. 08, 2022).
- [45] ProViento, “PROVIENTO STORE.” <https://proviento.com.ec/> (accessed Jun. 08, 2022).
- [46] Friendly Energy, “Paneles Solares - Energías renovables en Ecuador.” <https://friendlyenergy.com.ec/> (accessed Jun. 08, 2022).
- [47] Controloría General del Estado, “REAJUSTE DE PRECIOS SALARIOS MÍNIMOS POR LEY,” 2022. Accessed: Jun. 07, 2022. [Online]. Available: http://www.cconstruccion.net/inicio_files/articulo2.pdf
- [48] J. patricio Muñoz, M. V. Rojas-Moncayo, and C. Barreto-Calle, “Incentives to distributed generation in Ecuador,” *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*, pp. 60–68, 2018, [Online]. Available: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-860X2018000100060&nrm=iso

ANEXOS

ANEXO A. ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC.

ANEXO B MANUAL DE USUARIO DE LA APLICACIÓN.

ANEXO C RESUMEN GENERADO POR EL APLICATIVO DEL EJEMPLO 1.

ANEXO D RESUMEN GENERADO POR EL APLICATIVO DEL EJEMPLO 2.

ANEXO E CÓDIGO DEL APLICATIVO.

ANEXO F PROFORMA DE BATERIAS

ANEXO G DATASHEETS DE EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS EJEMPLOS

ANEXO A ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC

ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC (U)

Especificaciones para Tuberías con Unión por sellado elastomérico (UZ) y Unión por cementado solvente (EC) para riego.

Diámetro Nominal (mm)		Diámetro Interior	Espesor Nominal	Presión de Trabajo		
UNIÓN U/Z	UNIÓN E/C			mm	mm	MPa
20		17.8	1.1	1.25	181	12.75
		16.8	1.6	2.00	290	20.40
25		22.8	1.1	1.00	145	10.20
		21.8	1.6	1.60	232	16.32
32		29.8	1.1	0.80	116	8.16
		28.8	1.6	1.25	181	12.75
40		37.8	1.1	0.63	91	6.43
		36.8	1.6	1.00	145	10.20
		36.0	2.0	1.25	181	12.75
50		47.4	1.3	0.63	91	6.43
		46.8	1.6	0.80	116	8.16
		46.0	2.0	1.00	145	10.20
		45.0	2.5	1.25	181	12.75
63		59.8	1.6	0.63	91	6.43
		58.8	2.1	0.80	116	8.16
		58.0	2.5	1.00	145	10.20
		56.8	3.1	1.25	181	12.75
75		72.0	1.5	0.50	73	5.10
		71.2	1.9	0.63	91	6.43
		70.2	2.4	0.80	116	8.16
		69.0	3.0	1.00	145	10.20
		67.6	3.7	1.25	181	12.75
90		86.4	1.8	0.50	73	5.10
		85.4	2.3	0.63	91	6.43
		84.2	2.9	0.80	116	8.16
		82.8	3.6	1.00	145	10.20
		81.2	4.4	1.25	181	12.75
110		105.6	2.2	0.50	73	5.10
		104.6	2.7	0.63	91	6.43
		103.2	3.4	0.80	116	8.16
		101.6	4.2	1.00	145	10.20

	99.6	5.2	1.25	181	12.75
140	134.4	2.8	0.50	73	5.10
	133.2	3.4	0.63	91	6.43
	131.4	4.3	0.80	116	8.16
160	153.6	3.2	0.50	73	5.10
	152.2	3.9	0.63	91	6.43
	150.0	5.0	0.80	116	8.16
	147.6	6.2	1.00	145	10.20
	144.8	7.6	1.25	181	12.75
200	192.2	3.9	0.50	73	5.10
	190.2	4.9	0.63	91	6.43
	187.6	6.2	0.80	116	8.16
	184.6	7.7	1.00	145	10.20
	181.0	9.5	1.25	181	12.75
250	240.2	4.9	0.50	73	5.10
	237.8	6.1	0.63	91	6.43
	234.4	7.8	0.80	116	8.16
	230.8	9.6	1.00	145	10.20
	226.2	11.9	1.25	181	12.75
315	302.4	6.3	0.50	73	5.10
	299.6	7.7	0.63	91	6.43
	295.4	9.8	0.80	116	8.16
	290.8	12.1	1.00	145	10.20
	285.0	15.0	1.25	181	12.75
355	341.0	7.0	0.50	73	5.10
	337.6	8.7	0.63	91	6.43
	333.0	11.0	0.80	116	8.16
	327.6	13.7	1.00	145	10.20
	321.2	16.9	1.25	181	12.75
400	384.2	7.9	0.50	73	5.10
	380.4	9.8	0.63	91	6.43
	375.2	12.4	0.80	116	8.16
	369.2	15.4	1.00	145	10.20
	362.0	19.0	1.25	181	12.75
500	475.4	12.3	0.63	91	6.43
	469.0	15.5	0.80	116	8.16
	461.6	19.2	1.00	145	10.20
	452.4	23.8	1.25	181	12.75
630	599.0	15.5	0.63	91	6.43
	591.0	19.5	0.80	116	8.16

	581.6	24.2	1.00	145	10.20
--	-------	------	------	-----	-------

ESPECIFICACIONES PARA TUBERÍAS PVC (U)

Cálculo de las pérdidas de carga en base a tuberías de menor presión por cada diámetro, según la fórmula de Hazen – Williams.

D. Nominal (mm)	20		25		32		40		50		63		75	
Caudal	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V
lps gpm														
0.08 1.27	0.85	0.32												
0.10 1.59	1.29	0.40												
0.12 1.90	1.80	0.48	0.54	0.29										
0.14 2.22	2.40	0.56	0.72	0.34										
0.16 2.54	3.07	0.64	0.92	0.39										
0.26 4.12	7.54	1.04	2.26	0.64	0.61	0.37								
0.36 5.71	13.78	1.45	4.13	0.88	1.12	0.52								
0.46 7.29	21.70	1.85	6.50	1.13	1.76	0.66								
0.56 8.88	31.23	2.25	9.35	1.37	2.54	0.80	0.80	0.50						
0.66 10.46	42.34	2.65	12.68	1.62	3.44	0.95	1.08	0.59						
0.81 12.84	61.87	3.26	18.53	1.98	5.03	1.16	1.58	0.72						
0.96 15.22			25.38	2.35	6.89	1.38	2.16	0.86	0.72	0.54				
1.11 17.59			33.21	2.72	9.02	1.59	2.83	0.99	0.94	0.63				
1.26 19.97			42.00	3.09	11.40	1.81	3.58	1.12	1.19	0.71				
1.41 22.35			51.73	3.45	14.04	2.02	4.41	1.26	1.47	0.80				
1.61 25.52					17.95	2.31	5.64	1.43	1.87	0.91	0.60	0.57		
1.81 28.69					22.30	2.60	7.00	1.61	2.33	1.03	0.75	0.64		
2.01 31.86					27.08	2.88	8.50	1.79	2.82	1.14	0.91	0.72		
2.21 35.03					32.28	3.17	10.14	1.97	3.37	1.25	1.09	0.79		
2.41 38.20							11.90	2.15	3.95	1.37	1.27	0.86	0.52	0.59
2.66 42.16							14.29	2.37	4.75	1.51	1.53	0.95	0.62	0.65
2.91 46.12							16.88	2.59	5.61	1.65	1.81	1.04	0.73	0.71
3.16 50.09									6.53	1.79	2.11	1.13	0.85	0.78
3.41 54.05									7.52	1.93	2.42	1.21	0.98	0.84
3.66 58.01									8.57	2.07	2.76	1.30	1.12	0.90

3.96	62.77					9.92	2.24	3.20	1.41	1.29	0.97
4.26	67.52					11.35	2.41	3.66	1.52	1.48	1.05
4.56	72.28					12.88	2.58	4.15	1.62	1.68	1.12
4.86	77.03							4.67	1.73	1.89	1.19
5.16	81.79							5.22	1.84	2.11	1.27
5.56	88.13							6.00	1.98	2.43	1.37
5.96	94.47							6.82	2.12	2.76	1.46
6.36	100.81							7.69	2.26	3.11	1.56
6.76	107.15							8.61	2.41	3.49	1.66
7.16	113.49							9.58	2.55	3.88	1.76
7.66	121.41									4.39	1.88
8.16	129.34									4.94	2.00
8.66	137.26									5.52	2.13
9.16	145.19									6.12	2.25
9.66	153.11									6.75	2.37
10.16	161.04									7.41	2.50
10.66	168.96									8.10	2.62

D. Nominal (mm)		90		110		140		160		200		250		315	
Caudal		Pc	V	Pc	V	Pc	V								
lps	gpm														
3.0	47.6	0.32	0.51												
3.5	55.5	0.42	0.60												
4.0	63.4	0.54	0.68												
5.0	79.3	0.82	0.85	0.31	0.57										
6.0	95.1	1.15	1.02	0.43	0.69										
7.0	111.0	1.53	1.19	0.58	0.80	0.18	0.49								
8.0	126.8	1.96	1.36	0.74	0.91	0.23	0.56								
10.0	158.5	2.96	1.71	1.12	1.14	0.34	0.70								
12.0	190.2	4.15	2.05	1.56	1.37	0.48	0.85	0.25	0.65						
14.0	221.9	5.53	2.39	2.08	1.60	0.64	0.99	0.34	0.76						
16.0	253.6	7.08	2.73	2.66	1.83	0.82	1.13	0.43	0.86						
18.0	285.3			3.31	2.06	1.02	1.27	0.53	0.97	0.18	0.62				

20.0	317.0		4.03	2.28	1.24	1.41	0.65	1.08	0.22	0.69				
22.0	348.7		4.80	2.51	1.48	1.55	0.77	1.19	0.26	0.76				
24.0	380.4		5.64	2.74	1.74	1.69	0.91	1.30	0.31	0.83				
28.0	443.8				2.32	1.97	1.21	1.51	0.41	0.97	0.14	0.62		
32.0	507.2				2.97	2.26	1.55	1.73	0.52	1.10	0.18	0.71		
36.0	570.6				3.69	2.54	1.93	1.94	0.65	1.24	0.22	0.79		
40.0	634.0				4.49	2.82	2.34	2.16	0.79	1.38	0.27	0.88		
45.0	713.3						2.91	2.43	0.98	1.55	0.33	0.99	0.11	0.63
50.0	792.5						3.54	2.70	1.19	1.72	0.40	1.10	0.13	0.70
55.0	871.8						4.23	2.97	1.42	1.90	0.48	1.21	0.16	0.77
60.0	951.0								1.67	2.07	0.56	1.32	0.18	0.84
65.0	1,030.3								1.93	2.24	0.65	1.43	0.21	0.91
70.0	1,109.5								2.22	2.41	0.75	1.54	0.24	0.97
75.0	1,188.8								2.52	2.59	0.85	1.66	0.28	1.04
80.0	1,268.0								2.84	2.76	0.96	1.77	0.31	1.11
85.0	1,347.3								3.18	2.93	1.07	1.88	0.35	1.18
90.0	1,426.5										1.19	1.99	0.39	1.25
95.0	1,505.8										1.32	2.10	0.43	1.32
100.0	1,585.0										1.45	2.21	0.47	1.39
105.0	1,664.3										1.59	2.32	0.52	1.46
110.0	1,743.5										1.73	2.43	0.56	1.53
120.0	1,902.0										2.03	2.65	0.66	1.67
130.0	2,060.5										2.36	2.87	0.77	1.81
140.0	2,219.0												0.88	1.95
150.0	2,377.5												1.00	2.09
160.0	2,536.0												1.13	2.23
170.0	2,694.5												1.26	2.37
180.0	2,853.0												1.40	2.51
190.0	3,011.5												1.55	2.65
200.0	3,170.0												1.70	2.78

D. Nominal (mm)	355	400	500	630
--------------------	-----	-----	-----	-----

Caudal		Pc	V	Pc	V	Pc	V	Pc	V
lps	gpm								
70	1,11	0.14	0.77						
75	1,189	0.15	0.82						
#####	1,268	0.17	0.88						
85	1,347	0.19	0.93	0.11	0.73				
#####	1,427	0.22	0.99	0.12	0.78				
95	1,506	0.24	1.04	0.13	0.82	0.05	0.54		
100	1,585	0.26	1.09	0.15	0.86	0.05	0.56		
105	1,664	0.29	1.15	0.16	0.91	0.06	0.59		
110	1,744	0.31	1.20	0.18	0.95	0.06	0.62	0.02	0.39
115	1,823	0.34	1.26	0.19	0.99	0.07	0.65	0.02	0.41
120	1,902	0.37	1.31	0.21	1.04	0.07	0.68	0.02	0.43
130	2,061	0.43	1.42	0.24	1.12	0.08	0.73	0.03	0.46
140	2,219	0.49	1.53	0.27	1.21	0.10	0.79	0.03	0.50
150	2,378			0.31	1.29	0.11	0.85	0.04	0.53
160	2,536			0.35	1.38	0.12	0.90	0.04	0.57
170	2,695			0.39	1.47	0.14	0.96	0.05	0.60
180	2,853			0.44	1.55	0.15	1.01	0.05	0.64
190	3,012			0.48	1.64	0.17	1.07	0.06	0.67
200	3,17					0.19	1.13	0.06	0.71
210	3,329					0.21	1.18	0.07	0.75
230	3,646					0.24	1.30	0.08	0.82
250	3,963					0.28	1.41	0.09	0.89
270	4,28					0.33	1.52	0.11	0.96
290	4,597					0.37	1.63	0.12	1.03
310	4,914					0.42	1.75	0.14	1.10
330	5,231					0.48	1.86	0.15	1.17
350	5,548					0.53	1.97	0.17	1.24
370	5,865					0.59	2.08	0.19	1.31
390	6,182					0.65	2.20	0.21	1.38
415	6,578					0.73	2.34	0.24	1.47
440	6,974					0.81	2.48	0.26	1.56

465	7,37			0.90	2.62	0.29	1.65
490	7,767					0.32	1.74
515	8,163					0.35	1.83
540	8,559					0.38	1.92
565	8,955					0.42	2.00
595	9,431					0.46	2.11
625	9,906					0.50	2.22
655	10,382					0.55	2.32
685	10,857					0.60	2.43
715	11,333					0.65	2.54
745	11,808					0.70	2.64

Pc: Pérdida de carga en m de columna de agua por cada 100m de tubería

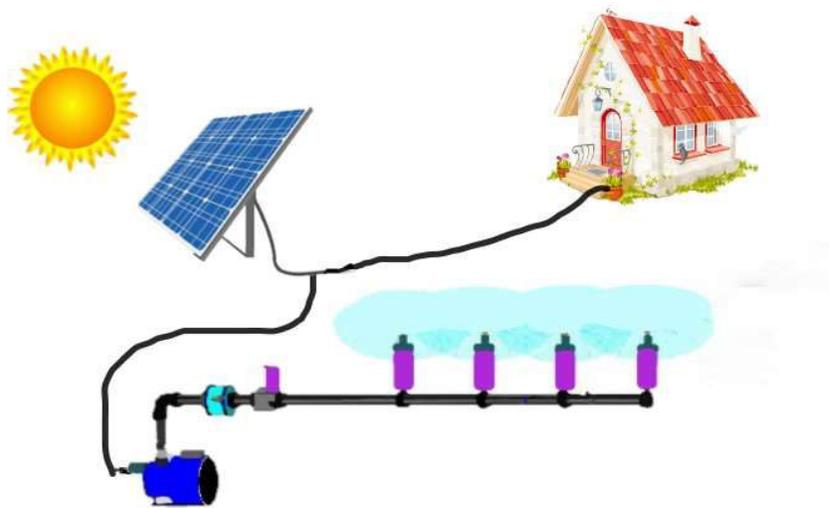
V: Velocidad en metros por segundo (m/s)

C: 150 constante de H-W

CÁLCULO EN BASE A DIÁMETROS INTERNOS DE TUBERÍA BAJA PRESIÓN Ips: Litros por segundo gpm: Galones por minuto.

Manual de Usuario

APLICACIÓN PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y
ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE SISTEMAS
FOTOVOLTAICOS AISLADOS CON
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA ENFOCADOS EN
RIEGO AGRÍCOLA



1. Descripción General

Con la finalidad de facilitar de los cálculos que permitan estimar los parámetros de un sistema fotovoltaico autosustentable el cual tiene como objetivo proveer energía a un sistema de riego y una pequeña residencia, recibiendo datos básicos de la carga como entrada y entregando las características fundamentales del sistema como potencia necesaria requerida.

Como primer punto se establece el modelo de un sistema de riego el cual desentendiendo de sus características ayudará a estimar un valor de potencia de la bomba que se sugerirá al usuario a implementar. El siguiente punto se establece una carga domestica de una pequeña vivienda que tendrá varios parámetros los cuales permitirán el cálculo de la energía necesaria, esto es necesario para el uso de la metodología denominada "Amperios -Hora".

El aplicativo con los parámetros ingresados realiza un cálculo el cual muestra al usuario un el número de equipos necesarios, las características que deberían contar los dispositivos, además, muestra un análisis económico que permita determinar al usuario si el proyecto es viable o se debería tomar decisiones diferentes.

2. Requerimientos

El diseño y programación se lo realizó mediante VBA Excel, por lo tanto, puede ejecutarse en cualquier sistema operativo que tenga instalado Microsoft Office Excel.

3. Interfaz

3.1. Abrir aplicativo

Para iniciar con el aplicativo, se debe ejecutar el archivo `Aplicativo_de_Sistemas_Fotovoltaicos.xlsm`, y se desplegara la ventana comúnmente mostrada en los archivos de Excel, como se muestra en la Figura 1.

Para mostrar la primera ventana del aplicativo, se debe hacer clic en el botón `Aplicativo` y se desplegara la primera ventana como se muestra en la Figura 1.

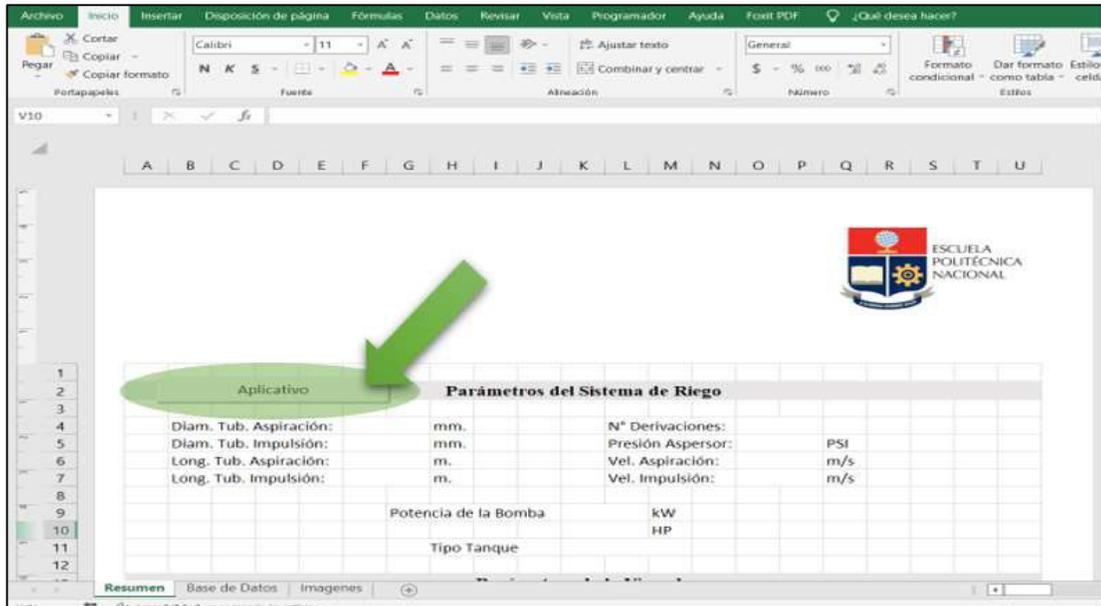


Figura 1. Ventana Principal

Al iniciar el aplicativo se mostrará un mensaje de advertencia en el cual se muestra la forma correcta de ingresar los números decimales dependiendo, ya que dependiendo de la configuración del Excel la separación decimal se realizará mediante punto o coma como se muestra en la figura 2.

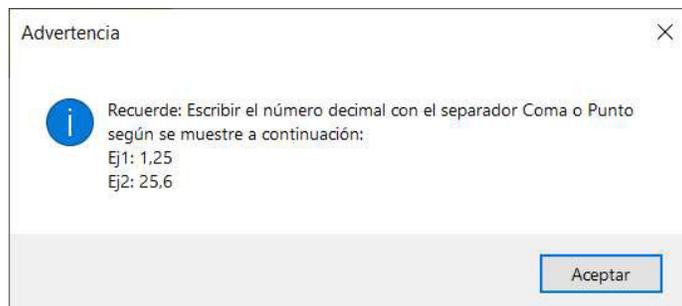


Figura 2. Mensaje de Advertencia Inicial

3.2. Ventanas de Aplicativo

Datos de Riego

En la figura 3 se observa la ventana de inicio del aplicativo, la cual corresponde a los datos sobre el riego que se deben ingresar para el cálculo de la potencia de la bomba.

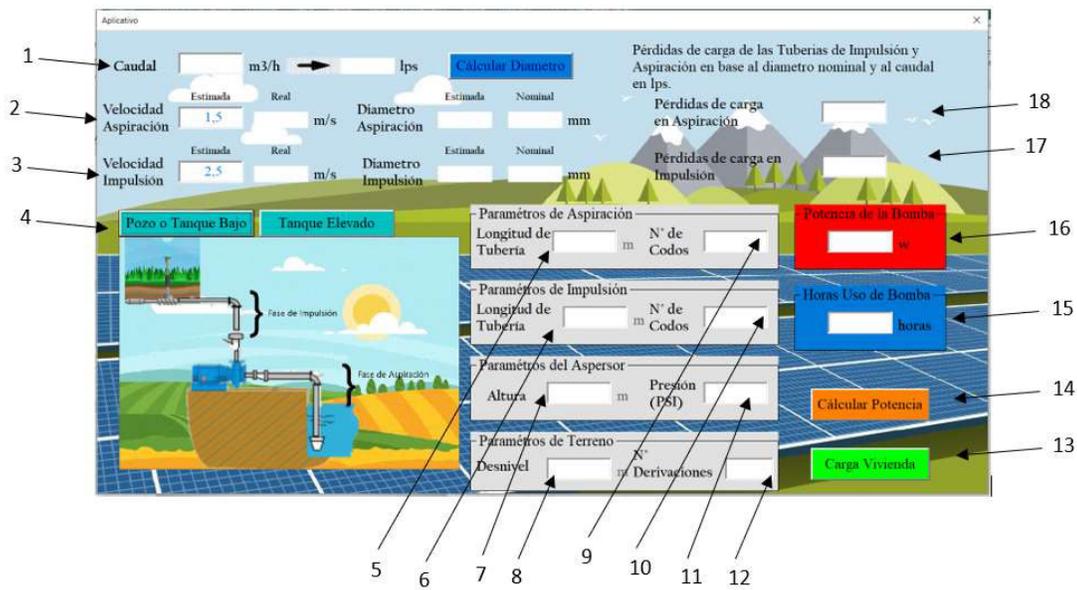


Figura 3. Ventana de Inicio

- | | |
|---|---|
| 1. Caudal en m^3/h | 11. Presión del aspersor en PSI |
| 2. Velocidad de Aspiración | 12. Número de derivaciones del sistema |
| 3. Velocidad de impulsión | 13. Botón para avanzar a la carga de la vivienda |
| 4. Selección del tipo de tanque de almacenamiento | 14. Botón para realizar el cálculo de la bomba |
| 5. Longitud de tuberías de aspiración | 15. Número de horas promedio de uso de la bomba |
| 6. Longitud de tuberías de impulsión | 16. Potencia calculada de la bomba |
| 7. Altura del aspersor a colocarse | 17. Pérdidas de carga en la tubería de impulsión |
| 8. Desnivel del terreno | 18. Pérdidas de carga en la tubería de aspiración |
| 9. Número de codos de aspiración | |
| 10. Número de codos de impulsión | |

Datos de Carga de Vivienda

En la ventana de vivienda se ingresan los datos que caracterizan la carga de la vivienda, posee varios parámetros básicos, que podemos encontrar en una vivienda. Además, posee dos casillas en las cuales se podrá colocar cargas que no se encuentren dentro de los parámetros.

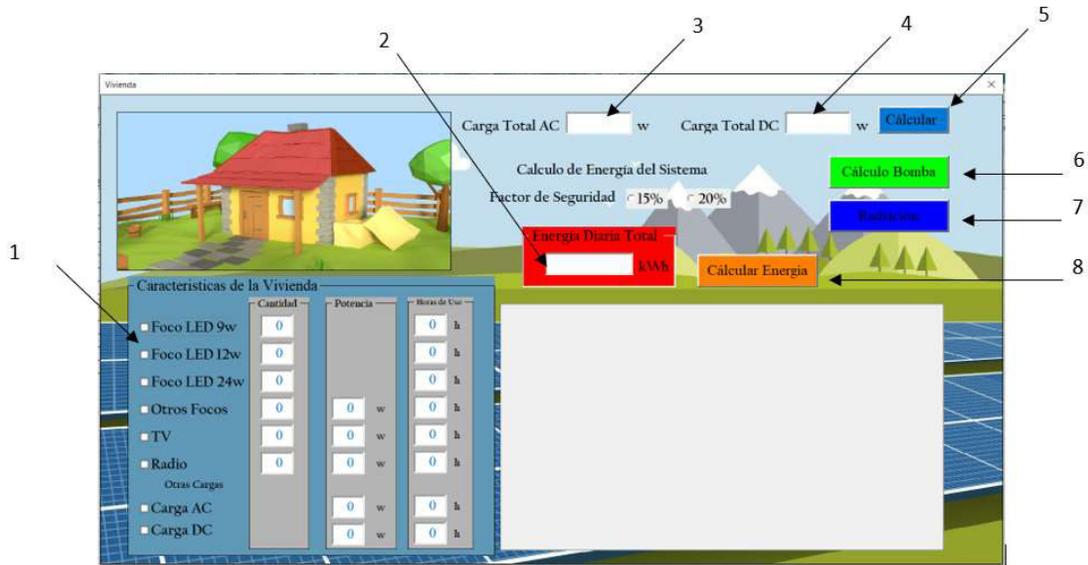


Figura 4. Ventana de Carga de Vivienda

1. Características de la carga de la Vivienda
2. Energía Calculada
3. Carga total AC
4. Carga total DC
5. Botón Calcular Carga
6. Botón Regresar a Calculo de Bomba
7. Botón Avanzar a Ventana Radiación

Ventana de Radiación

En la ventana de radiación se ingresará los datos de radiación solar mensual los cuales se pueden obtener en la siguiente página, <https://pvwatts.nrel.gov/index.php>, solo ubicando los datos de latitud y longitud, la página mostrara los distintos datos de radiación mensual.

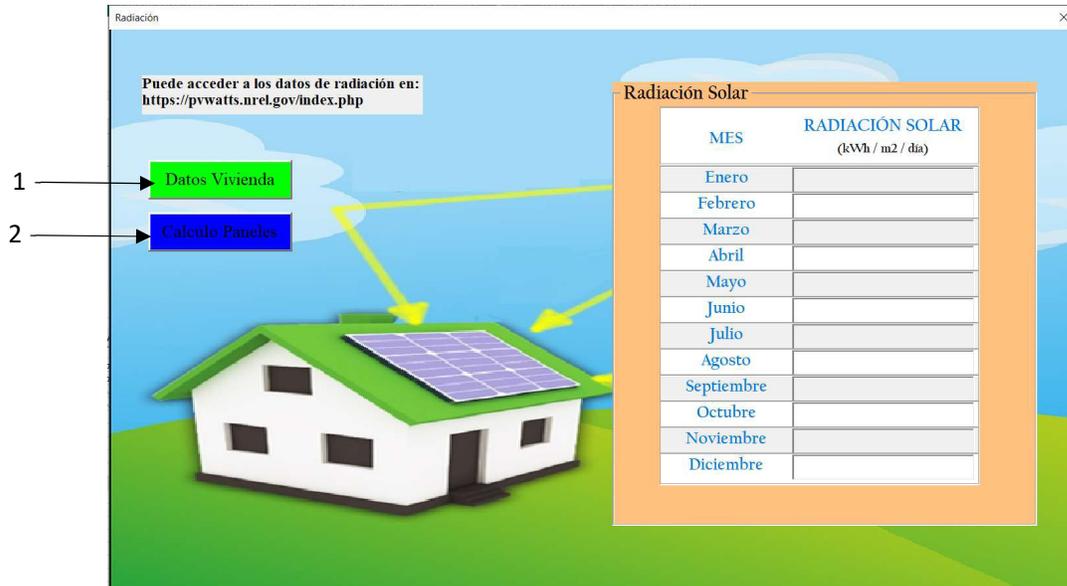


Figura 5. Ventana de Radiación

1. Botón Regresar a Datos de Vivienda
2. Botón Avanzar a Calculo de Paneles

Ventana Cálculo de Paneles

En esta ventana se ingresarán los datos de los paneles solares que se van a utilizar, de la batería, y se seleccionara el valor de voltaje del sistema, además de los precios de los mismos. Y posteriormente generara un archivo pdf resumen con el análisis económico.

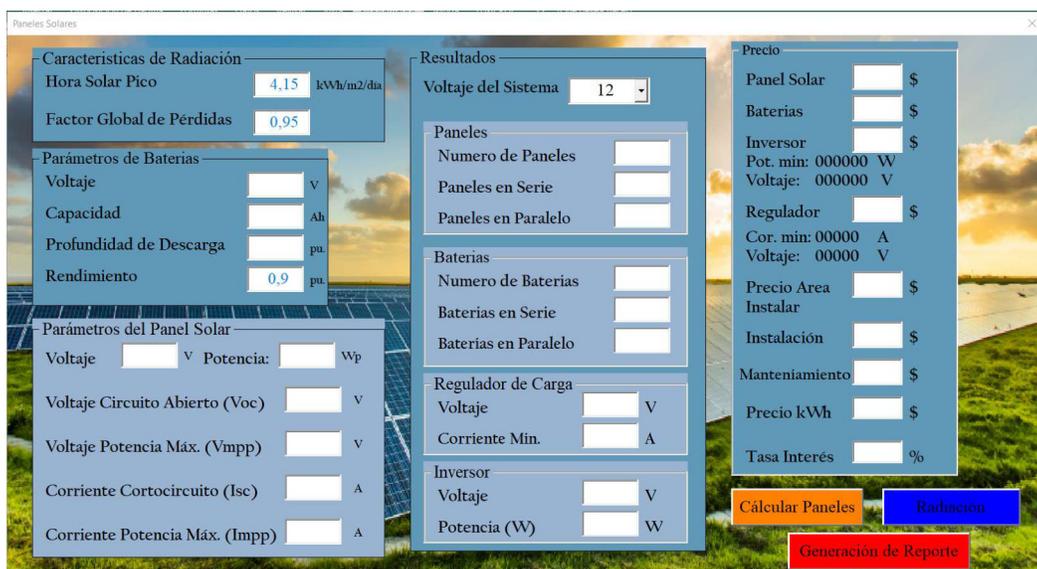


Figura 6. Ventana de Cálculo de Paneles Solares

3.3. Pasos a seguir

- Paso 1. Colocar el valor de cauda en m^3/h que necesita el usuario en el espacio.
- Paso 2. Presionar el botón calcular diámetro, posteriormente calculara el diámetro de las tuberías de aspiración e impulsión, además de las velocidades de aspiración e impulsión.
- Paso 3. Con los datos obtenidos de diámetros y velocidades, se debe dirigir a una tabla de pérdidas de carga en tuberías y buscar los datos de pérdidas de cargas y colocarlos en los espacios correspondientes.
- Paso 4. Insertar los datos correspondientes, a las longitudes de las tuberías de aspiración e impulsión, así como el número de codos en cada una, la altura del aspersion con referencia al suelo, la presión del aspersion, el desnivel del terreno, y el número de derivaciones deseadas.
- Paso 5. Pulsar el botón de calcular potencia y mostrara la potencia estimada de la bomba, luego colocar las horas de usos diarias de la bomba.
- Paso 6. En la ventana de carga de la vivienda se debe especificar la carga que se tiene en la vivienda, se debe ir seleccionado los focos, colocar la cantidad y el número de horas de uso de los mismos, y así consecutivamente con las cargas que se tengan en la vivienda.
- Paso 7. Presionar el botón calcular, para que muestre la carga calculada.
- Paso 8. Seleccionar un factor de seguridad para el cálculo de energía diaria necesaria.
- Paso 9. Presionar el botón calcular energía, para que el programa calcule la energía diaria, además mostrara un gráfico pastel que indicara el porcentaje de carga que ocupa tanto la bomba como la vivienda.
- Paso 10. Presionar el botón radiación.
- Paso 11. En la ventana de radiación ingresar los datos de radiación solar mensual.
- Paso 12. Presionar el botón cálculo de paneles.
- Paso 13. En la ventana de paneles solares se debe ingresar los datos de los paneles solares y baterías que se van a utilizar, además, seleccionar el valor del voltaje del sistema.

Paso 14. Presionar el botón calcular paneles y mostrara el número de paneles y baterías que se necesitan, además muestra las características del regulador de carga y conversor.

Paso 15. Colocar los precios de los implementos a usar.

Paso 16. Presionar generar reporte, esto generará un documento pdf donde se mostrará el resumen de todo el proceso.

ANEXO C RESUMEN GENERADO POR EL APLICATIVO DEL EJEMPLO 1



Parámetros del Sistema de Riego

Diam. Tub. Aspiración:	20 mm.	N° Derivaciones:	4
Diam. Tub. Impulsión:	20 mm.	Presión Aspensor:	42,67 PSI
Long. Tub. Aspiración:	10 m.	Vel. Aspiración:	1,5 m/s
Long. Tub. Impulsión:	98 m.	Vel. Impulsión:	2,5 m/s
Potencia de la Bomba	0,27 kW		
	0,37 HP		
Tipo Tanque	BAJO		

Parámetros de la Vivienda

Carga Total AC:	236 W	Energía Diaria Vivienda:	1,09 kWh
Carga Total DC:	0 W	Energía Diaria Bomba:	0,94 kWh
		Energía Total Diaria:	2,03 kWh



Parámetros del Panel Solar

Voltaje:	24 V
Potencia:	400 Wp
Voltaje Circuito Abierto (Voc):	48,60 V
Voltaje Potencia Max.(Vmpp):	39,92 V
Corriente Cortocircuito(Isc):	10,40 A
Corriente Potencia Max.(Impp):	10,02 A

Parámetro de Baterías

Voltaje:	12 V
Capacidad:	200 Ah
Profundidad de descarga:	0,8 p.u.
Rendimiento	0,9 p.u.

Voltaje del Sistema

Voltaje:	24 V
----------	------

11/6/2022

Parámetros del Regulador de Carga

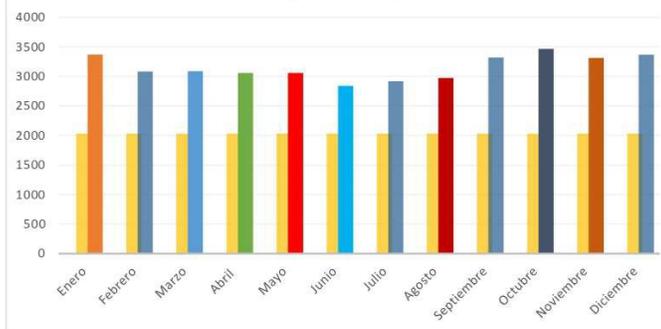
Parámetro del Inversor

Voltaje:	24	V	Voltaje:	24	V
Corriente Mínima:	22.044	A	Potencia:	610,8	W

Radiación Global Mensual

Mes	Radiación Solar (kWh / m2 / día)	Energía consumida (Wh)	Energía estimada (Wh)	Costo Diario	Costo Mensual
Enero	5,54	2030,00	3368,32	\$ 0,18	\$ 5,48
Febrero	5,07	2030,00	3082,56	\$ 0,18	\$ 5,48
Marzo	5,08	2030,00	3088,64	\$ 0,18	\$ 5,48
Abril	5,03	2030,00	3058,24	\$ 0,18	\$ 5,48
Mayo	5,03	2030,00	3058,24	\$ 0,18	\$ 5,48
Junio	4,67	2030,00	2839,36	\$ 0,18	\$ 5,48
Julio	4,80	2030,00	2918,40	\$ 0,18	\$ 5,48
Agosto	4,89	2030,00	2973,12	\$ 0,18	\$ 5,48
Septiembre	5,46	2030,00	3319,68	\$ 0,18	\$ 5,48
Octubre	5,70	2030,00	3465,60	\$ 0,18	\$ 5,48
Noviembre	5,45	2030,00	3313,60	\$ 0,18	\$ 5,48
Diciembre	5,54	2030,00	3368,32	\$ 0,18	\$ 5,48
		24360,00	37854,08		\$ 65,77

Energía Anual (Wh)



11/6/2022

Datos de Análisis Económico							
Inversión Inicial		1759,1		USD			
Vida Útil		25		Años			
Tasa Inversión Largo Plazo		7		%		Tasa Pasiva	
Dinero Generado Anualmente		65,77		USD		Generación del sistema FV	
Mantenimiento		41,55		USD			
Análisis de Indicadores Económicos							
Año	Inversión Inicial	Valor de la Energía en Dinero	Mantenimiento	Flujo de Caja Anual	Flujo de Caja Acumulado	Parámetros para el Cálculo de LCOE	
	USD	USD	USD	USD	USD	VAN del Sistema con Oper. y Manteni.	Energía Fotovoltaica Producida
	USD	USD	USD	USD	USD	USD	kWh
0	1.759,10	0,00	0,00	-1.759,10	-1.759,10		
1		65,77	41,55	24,22	-1.734,88	38,83	1.061,33
2		65,77	41,55	24,22	-1.710,66	36,29	991,90
3		65,77	41,55	24,22	-1.686,44	33,92	927,01
4		65,77	41,55	24,22	-1.662,22	31,70	866,36
5		65,77	41,55	24,22	-1.638,00	29,62	809,68
6		65,77	41,55	24,22	-1.613,78	27,69	756,71
7		65,77	41,55	24,22	-1.589,56	25,88	707,21
8		65,77	41,55	24,22	-1.565,34	24,18	660,94
9		65,77	41,55	24,22	-1.541,12	22,60	617,70
10		65,77	675,32	-609,55	-2.150,67	343,30	577,29
11		65,77	41,55	24,22	-2.126,45	19,74	539,53
12		65,77	41,55	24,22	-2.102,23	18,45	504,23
13		65,77	41,55	24,22	-2.078,01	17,24	471,24
14		65,77	41,55	24,22	-2.053,79	16,11	440,41
15		65,77	41,55	24,22	-2.029,57	15,06	411,60
16		65,77	41,55	24,22	-2.005,35	14,07	384,67
17		65,77	41,55	24,22	-1.981,13	13,15	359,51
18		65,77	41,55	24,22	-1.956,91	12,29	335,99
19		65,77	41,55	24,22	-1.932,69	11,49	314,01
20		65,77	675,32	-609,55	-2.542,24	174,52	293,47
21		65,77	41,55	24,22	-2.518,02	10,03	274,27
22		65,77	41,55	24,22	-2.493,80	9,38	256,32
23		65,77	41,55	24,22	-2.469,58	8,76	239,56
24		65,77	41,55	24,22	-2.445,36	8,19	223,88
25		65,77	41,55	24,22	-2.421,14	7,66	209,24

VAN \$-1.962,80 TIR No TIR LCOE \$ 0,21



11/6/2022

Lista de materiales			
Elemento del Sistema	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Panel Fotovoltaico	2	\$240,00	\$480,00
Baterías	2	\$178,75	\$357,50
Inversor	1	\$276,27	\$276,27
Regulador de Carga	1	\$145,60	\$145,60
Precio de Área	1	\$0,00	\$0,00
Instalación	1	\$499,73	\$499,73
Inversión total estimada			\$1.759,10

ANEXO D RESUMEN GENERADO POR EL APLICATIVO DEL EJEMPLO 2

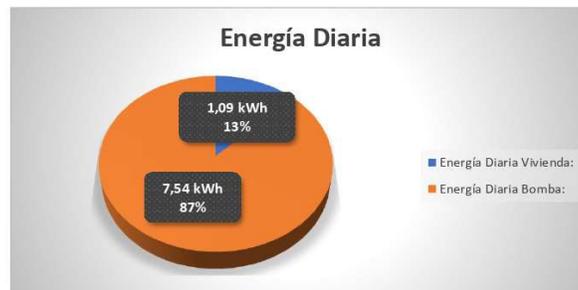


Parámetros del Sistema de Riego

Diam. Tub. Aspiración:	63 mm.	N° Derivaciones:	1
Diam. Tub. Impulsión:	50 mm.	Presión Aspensor:	45 PSI
Long. Tub. Aspiración:	10 m.	Vel. Aspiración:	1,5 m/s
Long. Tub. Impulsión:	50 m.	Vel. Impulsión:	2,5 m/s
Potencia de la Bomba	2,19 kW		
	2,93 HP		
Tipo Tanque	ELEVADO		

Parámetros de la Vivienda

Carga Total AC:	236 W	Energía Diaria Vivienda:	1,09 kWh
Carga Total DC:	0 W	Energía Diaria Bomba:	7,54 kWh
		Energía Total Diaria:	8,63 kWh



Parámetros del Panel Solar

Voltaje:	24 V
Potencia:	400 Wp
Voltaje Circuito Abierto (Voc):	48,60 V
Voltaje Potencia Max.(Vmpp):	39,92 V
Corriente Cortocircuito(Isc):	10,40 A
Corriente Potencia Max.(Impp):	10,02 A

Parámetro de Baterías

Voltaje:	12 V
Capacidad:	200 Ah
Profundidad de descarga:	0,8 p.u.
Rendimiento	0,9 p.u.

Voltaje del Sistema

Voltaje:	24 V
----------	------

11/6/2022

Parámetros del Regulador de Carga

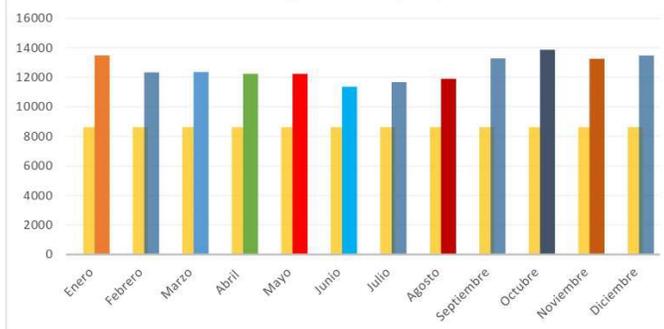
Parámetro del Inversor

Voltaje:	24	V	Voltaje:	24	V
Corriente Mínima:	88.176	A	Potencia:	2906,4	W

Radiación Global Mensual

Mes	Radiación Solar (kWh / m ² / día)	Energía consumida (Wh)	Energía estimada (Wh)	Costo Diario	Costo Mensual
Enero	5,54	8630,00	13473,28	\$ 0,78	\$ 23,30
Febrero	5,07	8630,00	12330,24	\$ 0,78	\$ 23,30
Marzo	5,08	8630,00	12354,56	\$ 0,78	\$ 23,30
Abril	5,03	8630,00	12232,96	\$ 0,78	\$ 23,30
Mayo	5,03	8630,00	12232,96	\$ 0,78	\$ 23,30
Junio	4,67	8630,00	11357,44	\$ 0,78	\$ 23,30
Julio	4,80	8630,00	11673,60	\$ 0,78	\$ 23,30
Agosto	4,89	8630,00	11892,48	\$ 0,78	\$ 23,30
Septiembre	5,46	8630,00	13278,72	\$ 0,78	\$ 23,30
Octubre	5,70	8630,00	13862,40	\$ 0,78	\$ 23,30
Noviembre	5,45	8630,00	13254,40	\$ 0,78	\$ 23,30
Diciembre	5,54	8630,00	13473,28	\$ 0,78	\$ 23,30
		103560,00	151416,32		\$ 279,61

Energía Anual (Wh)



11/6/2022

Datos de Análisis Económico							
Inversión Inicial	5968,1		USD				
Vida Útil	25		Años				
Tasa Inversión Largo Plazo	7		%		Tasa Pasiva		
Dinero Generado Anualmente	279,61		USD		Generación del sistema FV		
Mantenimiento	54,48		USD				
Análisis de Indicadores Económicos							
Año	Inversión Inicial	Valor de la Energía en Dinero	Mantenimiento	Flujo de Caja Anual	Flujo de Caja Acumulado	Parámetros para el Cálculo de LCOE	
						VAN del Sistema con Oper. y Manteni.	Energía Fotovoltaica Producida
	USD	USD	USD	USD	USD	USD	kWh
0	5.968,10	0,00	0,00	-5.968,10	-5.968,10		
1		279,61	54,48	225,13	-5.742,97	50,92	4.245,32
2		279,61	54,48	225,13	-5.517,84	47,58	3.967,59
3		279,61	54,48	225,13	-5.292,71	44,47	3.708,02
4		279,61	54,48	225,13	-5.067,58	41,56	3.465,44
5		279,61	54,48	225,13	-4.842,45	38,84	3.238,73
6		279,61	54,48	225,13	-4.617,32	36,30	3.026,85
7		279,61	54,48	225,13	-4.392,19	33,93	2.828,83
8		279,61	54,48	225,13	-4.167,06	31,71	2.643,77
9		279,61	54,48	225,13	-3.941,93	29,63	2.470,81
10		279,61	2.938,68	-2.659,07	-6.601,00	1.493,88	2.309,17
11		279,61	54,48	225,13	-6.375,87	25,88	2.158,10
12		279,61	54,48	225,13	-6.150,74	24,19	2.016,92
13		279,61	54,48	225,13	-5.925,61	22,61	1.884,97
14		279,61	54,48	225,13	-5.700,48	21,13	1.761,66
15		279,61	54,48	225,13	-5.475,35	19,75	1.646,41
16		279,61	54,48	225,13	-5.250,22	18,45	1.538,70
17		279,61	54,48	225,13	-5.025,09	17,25	1.438,04
18		279,61	54,48	225,13	-4.799,96	16,12	1.343,96
19		279,61	54,48	225,13	-4.574,83	15,06	1.256,04
20		279,61	2.938,68	-2.659,07	-7.233,90	759,41	1.173,87
21		279,61	54,48	225,13	-7.008,77	13,16	1.097,07
22		279,61	54,48	225,13	-6.783,64	12,30	1.025,30
23		279,61	54,48	225,13	-6.558,51	11,49	958,22
24		279,61	54,48	225,13	-6.333,38	10,74	895,54
25		279,61	54,48	225,13	-6.108,25	10,04	836,95

VAN **\$-5.556,04** TIR **No TIR** LCOE **\$ 0,17**



11/6/2022

Lista de materiales			
Elemento del Sistema	Cantidad	Precio unitario	Precio Total
Panel Fotovoltaico	8	\$240,00	\$1.920,00
Baterías	12	\$178,75	\$2.145,00
Inversor	1	\$739,20	\$739,20
Regulador de Carga	1	\$436,80	\$436,80
Precio de Área	1	\$0,00	\$0,00
Instalación	1	\$727,10	\$727,10
Inversión total estimada			\$5.968,10

ANEXO E CÓDIGO DEL APLICATIVO

Ventana Aplicativo

```
Private Sub Calcu_Potencia_Click()
    tipo_tanque = Worksheets(1).Range("K11").Value
    If tipo_tanque = Empty Then
        MsgBox ("El Tipo de Tanque no ha sido seleccionado"), vbCritical, "Error Tipo de
Tanque"
    Else

        Worksheets("Base de Datos").Select
        Range("A2").Select

        If tipo_tanque = "BAJO" Then LT_geo = LT.Value
        If tipo_tanque = "ELEVADO" Then LT_geo = -1 * LT.Value

        Do While ActiveCell <= Dn_asp.Caption
            Hma = 1 + (LT_geo + ActiveCell.Offset(9, 0) + n_codos_asp.Value *
ActiveCell.Offset(2, 0) + ActiveCell.Offset(10, 0)) * Pcp_asp.Value / 100
            ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        Loop

        Range("A2").Select
        Do While ActiveCell <= Dn_imp.Caption
            Hmi = 6 + (DT.Value + (n_codos_imp.Value * ActiveCell.Offset(2, 0)) +
ActiveCell.Offset(10, 0) + ActiveCell.Offset(11, 0) + ActiveCell.Offset(12, 0)) *
Pcp_imp.Value / 100
            ActiveCell.Offset(0, 1).Select
        Loop

        'Actualizar Velocidad
        C = 150 'Para PVC se Toma 150
        'Ecuacion de Christiansen
        m = 2
        f = 1 / (1 + m) + 1 / (2 * n_der.Value) + Sqr(m - 1) / (6 * n_der.Value ^ 2)
```

```

'Cambiar Dimp por Dn
j = 10.62 * (C ^ -1.85) * ((Dn_imp.Caption / 1000) ^ (-4.87)) * ((Caudal.Value / 3600)
^ 1.85) * 1.422 '1.422 factor de transformacion a PSI
Hr = j * DT / f
P1 = P_aspersor.Value + 0.75 * Hr + Z.Value / 2 + Alt_Asp.Value
Hr_bomba = 10 * (P1 - 10.43) * 0.070307 / 0.9982
Hmt = Hmi + Hma + Hr_bomba

P_bomba.Value = Round(Caudal.Value * Hmt * 0.9982 * 1000 / (367 * 0.6), 2)
'escribir en hoja
Worksheets("Resumen").Select
ActiveSheet.Range("F4").Value = Dn_asp.Caption
ActiveSheet.Range("F5").Value = Dn_imp.Caption
ActiveSheet.Range("F6").Value = LT.Value
ActiveSheet.Range("F7").Value = DT.Value
ActiveSheet.Range("O4").Value = n_der.Value
ActiveSheet.Range("O5").Value = P_aspersor.Value
ActiveSheet.Range("O6").Value = V_asp.Value
ActiveSheet.Range("O7").Value = V_imp.Value
ActiveSheet.Range("K9").Value = Round(P_bomba.Value / 1000, 2)
ActiveSheet.Range("K10").Value = Round(P_bomba.Value / 745.7, 2)
End If

End Sub

Private Sub Carga_Casa_Click()
If P_bomba.Value = Empty Then
MsgBox (" La Potencia de la Bomba no ha sido calculada"), vbCritical, "Error Potencia
Bomba"
Else
Aplicativo.Hide
Vivienda.Show
End If

End Sub

```

```

Private Sub CommandButton1_Click()
    'Advertencias para campos vacios
    If (Caudal.Value = Empty) Then
        MsgBox (" El campo 'CAUDAL' no puede estar vacío"), vbCritical, "Error de Caudal"
    ElseIf (V_asp.Value = Empty) Then
        MsgBox (" El campo 'VELOCIDAD DE ASPIRACIÓN' no puede estar vacío"),
vbCritical, "Error de Velocidad"
    ElseIf (V_imp.Value = Empty) Then
        MsgBox (" El campo 'VELOCIDAD DE IMPULSION' no puede estar vacío"), vbCritical,
"Error de Velocidad"

    Else
        Diam_asp.Caption = Round(Sqr((354 * Caudal.Value) / V_asp.Value), 2)
        Diam_imp.Caption = Round(Sqr((354 * Caudal.Value) / V_imp.Value), 2)
        Dn_asp.Caption = encontrar(Diam_asp.Caption)
        Dn_imp.Caption = encontrar(Diam_imp.Caption)
        Vreal_asp.Caption = Round((354 * Caudal.Value) / (Dn_asp.Caption ^ 2), 2)
        Vreal_imp.Caption = Round((354 * Caudal.Value) / (Dn_imp.Caption ^ 2), 2)

        u = 0.00000101
        'Re.Caption = Round(Vreal_imp.Caption * (Dn_imp.Caption / 1000) / u, 2)
    End If

End Sub

Function encontrar(diam As Double)
    If diam < 20 Then
        Dn = 20
    ElseIf diam < 25 Then
        Dn = 25
    ElseIf diam < 32 Then
        Dn = 32
    ElseIf diam < 40 Then
        Dn = 40
    ElseIf diam < 50 Then
        Dn = 50
    End If
End Function

```

```
Elseif diam < 63 Then
    Dn = 63
Elseif diam < 75 Then
    Dn = 75
Elseif diam < 90 Then
    Dn = 90
Elseif diam < 110 Then
    Dn = 110
Elseif diam < 140 Then
    Dn = 140
Elseif diam < 160 Then
    Dn = 160
Elseif diam < 200 Then
    Dn = 200
Elseif diam < 250 Then
    Dn = 250
Elseif diam < 315 Then
    Dn = 315
Elseif diam < 355 Then
    Dn = 355
Elseif diam < 400 Then
    Dn = 400
Elseif diam < 500 Then
    Dn = 500
Elseif diam < 630 Then
    Dn = 630
End If
encontrar = Dn
End Function
```

```
Private Sub CommandButton2_Click()
Worksheets(1).Range("K11").Value = "BAJO"
Call mostrarGrafico("Gráfico 2", Me.Diagrama)
End Sub
```

```

Private Sub CommandButton3_Click()
Worksheets(1).Range("K11").Value = "ELEVADO"
Call mostrarGrafico("Gráfico 3", Me.Diagrama)
End Sub

```

```

Private Sub UserForm_Activate()
    V_esp.Value = 1.5
    V_imp.Value = 2.5
    Ej1 = 1.25
    Ej2 = 25.6
    MsgBox ("Recuerde: Escribir el número decimal con el separador Coma o Punto según se muestre a continuación: " & vbCrLf & "Ej1: " & Ej1 & vbCrLf & "Ej2: " & Ej2),
vbInformation, "Advertencia"

```

```
End Sub
```

```
Private Sub Caudal_Change()
```

```
    If (Caudal.Value = Empty) Then
```

```
        Caudal_ips.Caption = 0
```

```
    Else
```

```
        ' IsNumeric (Caudal.Value) para comprobar si lo ingresado es numero
```

```
        Caudal_ips.Caption = Round(Caudal.Value / 3.6, 2)
```

```
    End If
```

```
End Sub
```

```
'Funcion para mostrar grafico
```

```
Sub mostrarGrafico(nombre As String, control As MSForms.Image)
```

```
    Dim imgTemp As String
```

```
    Dim grafico As Chart
```

```
    imgTemp = Environ("temp") & "\\" & nombre & ".jpg"
```

```
    Set grafico = ThisWorkbook.Sheets("Imágenes").ChartObjects(nombre).Chart
```

```
    grafico.Export Filename:=imgTemp, filtername:="GIF"
```

```
    control.Picture = LoadPicture(imgTemp)
```

```
    Kill imgTemp
```

End Sub

Ventana Vivienda

Private Sub Bomba_Click()

Vivienda.Hide

Aplicativo.Show

End Sub

Private Sub CommandButton1_Click()

Carga = 0

If F_Led9.Value = True Then Carga = Carga + 9 * N_Led9.Value

If F_Led12.Value = True Then Carga = Carga + 12 * N_Led12.Value

If F_Led24.Value = True Then Carga = Carga + 24 * N_Led24.Value

If Otros_Focos.Value = True Then Carga = Carga + N_Otros.Value * P_Otros.Value

If TV.Value = True Then Carga = Carga + N_TV.Value * P_TV.Value

If Radio.Value = True Then Carga = Carga + N_Radio.Value * P_Radio.Value

If Carga_AC.Value = True Then Carga = Carga + P_CargaAC.Value

CargaAC_Total.Value = Carga

'Condicion para Carga AC si esta Vacía

If P_CargaDC.Value = Empty Then

CargaDC_Total.Value = 0

Else

CargaDC_Total.Value = P_CargaDC.Value

End If

'Hoja1.Cells(13, 2).Value = Carga

'Call mostrarGrafico("Gráfico 2", Me.grafico)

End Sub

Private Sub Calcu_Energia_Click()

Ener = 0

If (FS_15.Value = False) And (FS_20.Value = False) Then

MsgBox (" Debe seleccionar un factor de seguridad antes de calcular la energía"),
vbCritical, "Error Factor de Seguridad"

Else

If FS_15.Value = True Then Fs = 1.15

```

If FS_20.Value = True Then Fs = 1.2
Pn = Aplicativo.P_bomba.Value
'Horas de Uso Promedio de Cargas
If F_Led9.Value = True Then Ener = Ener + 9 * N_Led9.Value * H_Led9.Value
If F_Led12.Value = True Then Ener = Ener + 12 * N_Led12.Value * H_Led12.Value
If F_Led24.Value = True Then Ener = Ener + 24 * N_Led24.Value * H_Led24.Value
If Otros_Focos.Value = True Then Ener = Ener + N_Otros.Value * P_Otros.Value *
H_Otros.Value
If TV.Value = True Then Ener = Ener + N_TV.Value * P_TV.Value * H_TV.Value
If Radio.Value = True Then Ener = Ener + N_Radio.Value * P_Radio.Value *
H_Radio.Value
If Carga_AC.Value = True Then Ener = Ener + P_CargaAC.Value * H_CargaAC.Value
If Carga_DC.Value = True Then Ener = Ener + P_CargaDC.Value * H_CargaDC.Value
'Condicion para Carga AC si esta Vacía

Eac = Fs * (Ener + Pn * Aplicativo.h_bomba.Value)
Energia.Value = Round(Eac / 1000, 2)

'Lmd.Caption = (Lmd_DC.Value + Eac / ninv) / (nbat * ncon)
Worksheets(1).Select
    ActiveSheet.Range("F15").Value = CargaAC_Total.Value
    ActiveSheet.Range("F16").Value = CargaDC_Total.Value
    ActiveSheet.Range("P15").Value = Round(Fs * Ener / 1000, 2)
    ActiveSheet.Range("P16").Value = Round(Fs * Pn * Aplicativo.h_bomba.Value / 1000,
2)
    ActiveSheet.Range("P17").Value = Round(Eac / 1000, 2)
Call mostrarGrafico("Gráfico 1", Me.Energia_Grafico)
End If

End Sub

'Funcion para mostrar grafico
Sub mostrarGrafico(nombre As String, control As MSForms.Image)
    Dim imgTemp As String
    Dim grafico As Chart
    imgTemp = Environ("temp") & "\ " & nombre & ".jpg"

```

```
Set grafico = ThisWorkbook.Sheets(1).ChartObjects(nombre).Chart
grafico.Export Filename:=imgTemp, filtername:="GIF"
control.Picture = LoadPicture(imgTemp)
Kill imgTemp
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Cal_Paneles_Click()
```

```
Vivienda.Hide
Radiacion.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub UserForm_Initialize()
```

```
N_Led9.Value = 0
N_Led12.Value = 0
N_Led24.Value = 0
N_Otros.Value = 0
N_TV.Value = 0
N_Radio.Value = 0
P_Otros.Value = 0
P_TV.Value = 0
P_Radio.Value = 0
P_CargaAC.Value = 0
P_CargaDC.Value = 0
'horas
H_Led9.Value = 0
H_Led12.Value = 0
H_Led24.Value = 0
H_Otros.Value = 0
H_TV.Value = 0
H_Radio.Value = 0
H_CargaAC.Value = 0
H_CargaDC.Value = 0
```

```
End Sub
```

Ventana Radiación

```
Private Sub Bomba_Click()
```

```
    Radiacion.Hide
```

```
    Vivienda.Show
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Cal_Paneles_Click()
```

```
    If Enero_GNI.Value = Empty Or Febrero_GNI.Value = Empty Or Marzo_GNI.Value =  
Empty Or Abril_GNI.Value = Empty Or _
```

```
    Mayo_GNI.Value = Empty Or Junio_GNI.Value = Empty Or Julio_GNI.Value = Empty Or  
Agosto_GNI.Value = Empty Or _
```

```
    Septiembre_GNI.Value = Empty Or Octubre_GNI.Value = Empty Or  
Noviembre_GNI.Value = Empty Or Diciembre_GNI.Value = Empty Then
```

```
        MsgBox ("Todos los Datos Deben ser Ingresados."), vbCritical, "Error Radiacion"
```

```
Else
```

```
    Worksheets(1).Range("H58").Value = Enero_GNI.Value + 0
```

```
    Worksheets(1).Range("H59").Value = Febrero_GNI.Value + 0
```

```
    Worksheets(1).Range("H60").Value = Marzo_GNI.Value + 0
```

```
    Worksheets(1).Range("H61").Value = Abril_GNI.Value + 0
```

```
    Worksheets(1).Range("H62").Value = Mayo_GNI.Value + 0
```

```
    Worksheets(1).Range("H63").Value = Junio_GNI.Value + 0
```

```
    Worksheets(1).Range("H64").Value = Julio_GNI.Value + 0
```

```
    Worksheets(1).Range("H65").Value = Agosto_GNI.Value + 0
```

```
    Worksheets(1).Range("H66").Value = Septiembre_GNI.Value + 0
```

```
    Worksheets(1).Range("H67").Value = Octubre_GNI.Value + 0
```

```
    Worksheets(1).Range("H68").Value = Noviembre_GNI.Value + 0
```

```
    Worksheets(1).Range("H69").Value = Diciembre_GNI.Value + 0
```

```
    Worksheets(1).Select
```

```
    'Abro Ventana
```

```
        Radiacion.Hide
```

```
        Paneles.Show
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```

Private Sub Label51_Click()
Shell "explorer " & "https://pvwatts.nrel.gov/index.php"
End Sub

```

Ventana Paneles

```

Private Sub Generar_Reporte_Click()
Worksheets(1).Select
Range("H58").Select
cont = 58
tasa = 4.55
Do While Not IsEmpty(ActiveCell)
Range("K" & cont).Value = Vivienda.Energia.Value * 1000
Range("M" & cont).Value = NT.Value * Wp.Value * ActiveCell.Value * PG.Value
aux = Precio_kW.Value * ActiveCell.Offset(0, 1).Value / 1000
Range("O" & cont).Value = aux
Range("Q" & cont).Value = aux * 30
cont = cont + 1
ActiveCell.Offset(1, 0).Activate
Loop

Range("Q70").Value = WorksheetFunction.Sum(Range("Q58:Q69"))
inicial = Precio_Panel * NT + Precio_Bateria * Nbat + Precio_Inversor +
Precio_Regulador
inicial = inicial + Precio_Area + Precio_Instalacion
Range("H91").Value = inicial
Range("H92").Value = 25
Range("H93").Value = tasa
Range("H94").Value = Range("Q70").Value
Range("H95").Value = Range("H94").Value * 0.01
Range("C100").Value = inicial
Range("E100").Value = 0
Range("G100").Value = 0
Range("J100").Value = -inicial
Range("P100").Value = -inicial
Range("E101").Select

```

```

For cont = 101 To 125 Step 1
    Range("E" & cont).Value = Range("H94").Value
    Range("G" & cont).Value = Range("H95").Value
    Range("J" & cont).Value = Range("E" & cont).Value - Range("G" & cont).Value
    Range("M" & cont).Value = Range("J" & cont).Value / (1 + tasa / 100) ^ Range("B" &
cont).Value
    Range("P" & cont).Value = Range("M" & cont).Value + Range("P" & cont - 1).Value
    Range("S" & cont).FormulaLocal = "=TIR($J$100:J" & cont & ")"
Next

```

```

Range("S44").Value = Date
Range("S89").Value = Date
Range("S135").Value = Date
Range("S181").Value = Date

```

```

Range("I138").Value = NT.Value
Range("I139").Value = Nbat.Value
Range("I140").Value = 1
Range("I141").Value = 1
Range("I142").Value = 1
Range("I143").Value = 1

```

```

Range("M138").Value = Precio_Panel + 0
Range("M139").Value = Precio_Bateria + 0
Range("M140").Value = Precio_Inversor + 0
Range("M141").Value = Precio_Regulador + 0
Range("M142").Value = Precio_Area + 0
Range("M143").Value = Precio_Instalacion + 0

```

```

For cont = 138 To 143 Step 1
    Range("Q" & cont).Value = Range("I" & cont).Value * Range("M" & cont).Value
Next

```

```

Range("Q144").Value = WorksheetFunction.Sum(Range("Q138:Q143"))

```

```

nombre = ThisWorkbook.Path & "\" & Year(Date) & "_" & Month(Date) & "_" & Day(Date)
-
& "_" & Hour(Now) & "_" & Minute(Now)
Worksheets(1).ExportAsFixedFormat Type:=xlTypePDF, _
Filename:=nombre, Quality:=xlQualityStandard, _
IncludeDocProperties:=True, IgnorePrintAreas:=False, OpenAfterPublish:=True

End Sub

```

```

Private Sub Radiacion_B_Click()
    Paneles.Hide
    Radiacion.Show
End Sub

```

```

Private Sub UserForm_Activate()
    PG.Value = 0.95
    n_bat.Value = 0.9 ' Rendimiento bateria
    n_inv = 0.9 ' Rendimiento del inversor
    n_cond = 1 ' Rendimiento de los conductores
    HSP.Value = WorksheetFunction.Min(Worksheets(1).Range("H58:H69"))
    V_sistema.AddItem (12)
    V_sistema.AddItem (24)
    V_sistema.AddItem (48)

End Sub

```

```

Private Sub Calcu_Paneles_Click()
    n_cond = 1
    n_inv = 0.9
    N = 3 'días de autonomia
    'preguntar si el factor se multiplica a la DC tmb
    If Vivienda.FS_15.Value = True Then Fs = 1.15
    If Vivienda.FS_20.Value = True Then Fs = 1.2

```

```

a = Vivienda.Energia.Value
B = Vivienda.Carga_DC.Value
C = Vivienda.H_CargaDC.Value
Lmd_AC = Vivienda.Energia.Value * 1000 - (Vivienda.P_CargaDC.Value *
Vivienda.H_CargaDC.Value * Fs)
Lmd_DC = Vivienda.P_CargaDC.Value * Vivienda.H_CargaDC.Value * Fs
'Energia Total Requerida por el sistema LMD
Lmd = (Lmd_DC + Lmd_AC / n_inv) / (n_bat.Value * n_cond)
NT = Lmd / (Wp.Value * HSP.Value * PG.Value)
NT.Value = Round(NT)
NS.Value = V_sistema.Value / Vn.Value
NP.Value = Round(NT / NS)
NT.Value = NP * NS

'Calculo de Baterias
Cn = Lmd * N / (Pd.Value)
C = Cn / V_sistema.Value '12V Voltaje del sistema
Nbat_Paralelo.Value = Round(C / Cr_Bat) '90Ah obtenido del Datasheet
Nbat_serie.Value = V_sistema.Value / V_Bat
Nbat.Value = Nbat_Paralelo.Value * Nbat_serie.Value
'Regulador e Inversor
V_Reg.Value = V_sistema.Value
Voltaje_reg.Caption = V_Reg.Value

I_reg.Value = 1.1 * NP.Value * Imax.Value
Corr_reg.Caption = I_reg.Value

V_inv.Value = V_sistema.Value
Voltaje_inver.Caption = V_inv.Value

P_inv.Value = 1.2 * (Val(Vivienda.CargaAC_Total.Value) +
Val(Aplicativo.P_bomba.Value))
Pot_inver.Caption = P_inv.Value

'impresión de resultados
Worksheets(1).Select

```

```
ActiveSheet.Range("Q35").Value = V_Bat.Value  
ActiveSheet.Range("Q36").Value = Cr_Bat.Value  
ActiveSheet.Range("Q37").Value = Pd.Value  
ActiveSheet.Range("Q38").Value = n_bat.Value
```

```
ActiveSheet.Range("H35").Value = Vn.Value  
ActiveSheet.Range("H36").Value = Wp.Value  
ActiveSheet.Range("H37").Value = Voc.Value  
ActiveSheet.Range("H38").Value = Vmax.Value  
ActiveSheet.Range("H39").Value = Isc.Value  
ActiveSheet.Range("H40").Value = Imax.Value
```

```
ActiveSheet.Range("H48").Value = V_Reg.Value  
ActiveSheet.Range("H49").Value = I_reg.Value  
ActiveSheet.Range("Q48").Value = V_inv.Value  
ActiveSheet.Range("Q49").Value = P_inv.Value
```

```
ActiveSheet.Range("Q42").Value = V_sistema.Value  
End Sub
```

ANEXO F PROFORMA DE BATERIAS

PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES

De: PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES
Enviado el: viernes, 10 de junio de 2022 10:32
Para: PATRICIA ELIZABETH OTERO VALLADARES
Asunto: RV: Fw: Sunpal Power 12v 100ah/200ah Barrery
Datos adjuntos: Sunpal Power 12V 100AH VRLA GEL battery.pdf; Sunpal Power 12V 150AH VRLA GEL battery.pdf; Sunpal Power 12V 200AH VRLA GEL battery.pdf; Sunpal Power 12V 250AH VRLA GEL battery.pdf

Sent: Tuesday, June 7, 2022 at 07:41:23 PM GMT-5
Subject: Sunpal Power 12v 100ah/200ah Barrery

Dear Patricia,

Good day. This is Peter from Sunpal Power. My colleague David let me to contact you.

Here share with you our latest price for our hot sale batteries:
12V 100Ah: 72usd/pc.

12v150ah: 108usd/pc.

12V 200Ah: 143 usd/pc.

12v 250ah: 182usd/pc.

The prices are based on a 50pcs, FOB Shanghai.
Certificate: CE/IEC.
Packing: carton with pallet.
Warranty: 3 years.
Payment term: 30% deposit in advance, paid the balance before shipping.
Delivery time: 7-10 working days after receiving payment.
Quote valid: 10days.
Can I add your WhatsApp for quick contact?

Looking forward to your reply.

Thank you & Best Regards

Peter Li |Marketing Manager



Sunpal Power Co.,Ltd.

ANEXO G DATASHEETS DE EQUIPOS UTILIZADOS EN LOS EJEMPLOS

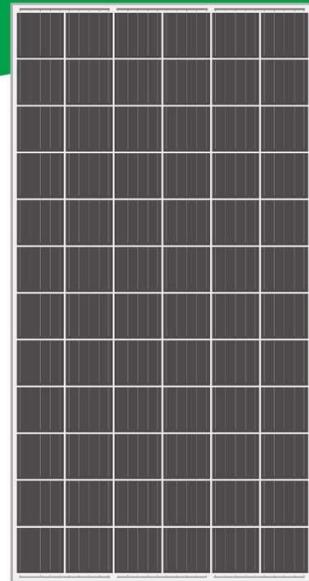
Panel Solar



EOS MONO by Eco Green Energy

380-400W

158.75 mm Cell - 72 cells



Founded in 2008, Eco Green Energy is a french brand solar PV manufacturer and distributing now its PV module in more than 60 countries over the world. Eos mono solar modules are made only with grade A cells for highest power generation, lowest LCOE, and ensured more than 25 years lifespan.

KEY FEATURES

-  PERC Cells Technology
-  Lower LCOE and BOS
-  Anti PID/ Low LID protection
-  Less Hot Spot Shading effects
-  Lower temperature coefficient

72-Cell
MONOCRYSTALLINE MODULE

20.16%
MAXIMUM EFFICIENCY

0~+5W
POSITIVE POWER TOLERANCE

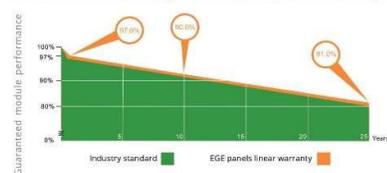
GRADE A
CELLS GUARANTEED

 French Quality Module



LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12-Year Product Warranty - 25-Year Linear Power Warranty



Eco Green Energy Group Ltd. 2018. All rights reserved.
Add: 299 Xing Cheng Road, Chong Chuan District, Nantong, Jiangsu, China
Tel: +86 513 66690088 / E-mail: info@eco-greenenergy.com

COMPREHENSIVE CERTIFICATES

IEC 61215/ IEC 61730 / IEC 62804 / UL 61730
ISO 9001 : Quality Management Systems



Facebook: www.facebook.com/EGE.Nantong
Linkedin: www.linkedin.com/company/eco-green-energy/
Website: www.eco-greenenergy.com



ELECTRICAL DATA AT STC*

Power output (Pmax)	380 W	385 W	390 W	395 W	400 W
Power tolerance	0~+5 W				
Module efficiency	19.15 %	19.41 %	19.66 %	19.91 %	20.16%
Maximum power voltage (Vmp)	39.50 V	39.65 V	39.76 V	39.86 V	39.92 V
Maximum power current (Imp)	9.62 A	9.71 A	9.81 A	9.91 A	10.02 A
Open circuit voltage (Voc)	48.20 V	48.25 V	48.37 V	48.48 V	48.6 V
Short circuit current (Isc)	9.99 A	10.08 A	10.18 A	10.28 A	10.4 A

*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m² • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

ELECTRICAL DATA AT NMOT*

Power output (Pmax)	283.34 W	287.07 W	290.79 W	294.52 W	298.25 W
Maximum power voltage (Vmp)	37.03 V	37.17 V	37.27 V	37.37 V	37.42 V
Maximum power current (Imp)	7.64 A	7.71 A	7.79 A	7.87 A	7.96 A
Open circuit voltage (Voc)	44.70 V	44.74 V	44.86 V	44.96 V	45.07 V
Short circuit current (Isc)	8.12 A	8.19 A	8.28 A	8.36 A	8.45 A

*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m² • Ambient temperature: 20°C
• AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Monocrystalline (158.75x158.75 mm)
Number of cells	72
Dimensions	1980x1002x40mm
Weight	22.9 kg
Glass	3.2 mm tempered glass, High transmission (>94%), Anti-Reflective Coating
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68 rated (3 by pass diodes)
Cable	4mm ² , 900mm (+) 900mm (-); Length can be customized
Connector	MC4 or MC4 compatible
Max front load (e.g.: snow)	5400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2400 Pa

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	45 °C ±2 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.396%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.31%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.06%/°C

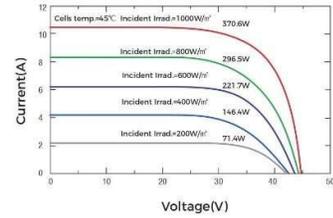
MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-45 °C → +85 °C
Maximum system voltage	1500V/DC(IEC) 1500V/DC(UL)
Max series fuse rating	25 A

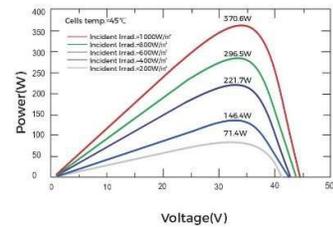
PACKAGING (1980x1002x40mm)

Type	Pcs	Weight
Per pallet	27 pcs	663 kg
40ft HQ Container	696 pcs	17.1 t

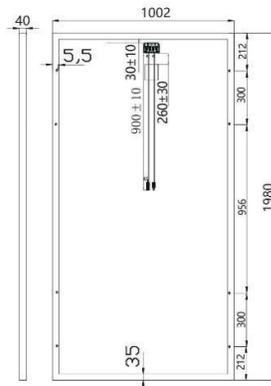
PV MODULE : EGE-400W-72M



PV MODULE : EGE-400W-72M



Dimension of PV Module (mm)



Specifications included in this datasheet are subject to change without prior notice. Refer to our website for further information or contact one of our sales staff. www.eco-greenenergy.com

Baterías



SUNPAL POWER
BATTERY

6-GFM(G)-200Ah

Gel Battery Specification

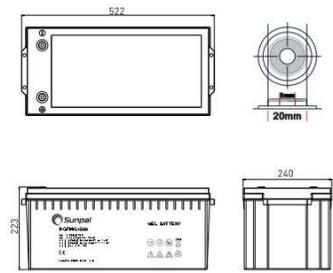
Features

- Maintenance free
- Safety and no leakage
- Excellent recharge and discharge performance
- Low self-discharge rate
- Adapt to high or low temperature
- Good deep discharge performance
- Longer cycle life





Specification	
Rated Voltage	12V
Numbers of cells	6 Cells
Capacity	200Ah@10hr-rate to 1.80V per cell @25°C
Weight	62.4kg
Internal Resistance	Approx. 3.5mΩ
Terminal	F1 / F2
Max. Discharge Current	3000A(5s)
Short Circuit Current	10000A
Max. Charging Current	50A
Reference Capacity	C10 200.0AH C3 144.7AH C1 110.1AH
Design Life	10-15 years
Float Charging Voltage	13.6 V-13.8 V @ 25°C Temperature Compensation: -20mV/°C/Cell
Cycle Use Voltage	14.4 V-14.9 V @ 25°C Temperature Compensation: -30mV/°C/Cell
Operating Temperature Range	Discharge: -20°C-60°C Charge: 0°C-50°C Storage: -20°C-60°C
Normal Operating Temperature Range	25°C±5°C
Self Discharge	Less than 3% at 25°C per month
Container Material	A.B.S. UL94-HB, UL94-V0 Optional.



Length	522±2mm (20.6 inches)
Width	240±1mm (9.4 inches)
Height	219±1mm (8.6 inches)
Total Height	223±1mm (8.8 inches)

Constant Current Discharge Characteristics: A(25°C)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	6h	8h	10h	20h
1.80V/cell	212.97	163.08	122.75	102.86	63.96	48.24	33.85	29.23	23.30	20.00	10.99
1.75V/cell	239.34	179.34	132.75	110.11	67.80	50.99	35.16	30.22	24.07	20.44	11.21
1.70V/cell	257.80	192.09	140.99	116.48	71.87	53.08	36.26	31.32	24.73	20.88	11.32
1.65V/cell	268.35	199.56	145.93	120.88	73.74	54.84	37.03	31.76	25.16	21.21	11.43
1.60V/cell	290.77	213.63	156.81	128.35	76.70	57.03	38.13	32.53	25.60	21.54	11.65

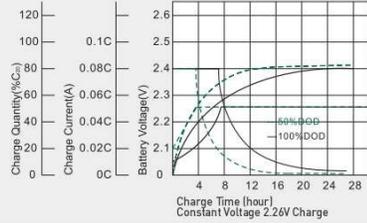
Constant Power Discharge Characteristics: WPC(25°C)

F.V/Time	20min	30min	45min	1h	2h	3h	5h	6h	8h	10h	20h
1.80V/cell	402.31	311.32	236.37	199.23	124.51	94.29	66.59	57.58	46.15	39.89	21.87
1.75V/cell	447.14	339.23	253.63	212.20	131.43	99.34	68.90	59.45	47.58	40.66	22.31
1.70V/cell	476.37	360.22	267.36	223.19	138.68	103.19	70.88	61.43	48.90	41.54	22.53
1.65V/cell	490.33	370.33	274.95	230.33	141.54	105.93	72.20	62.31	49.56	41.98	22.75
1.60V/cell	525.38	392.64	293.19	243.19	146.59	109.67	74.18	63.52	50.33	42.75	23.08

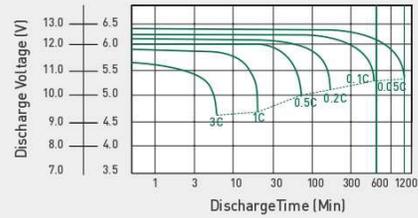
6-GFM(G)-200Ah

Gel Battery Specification

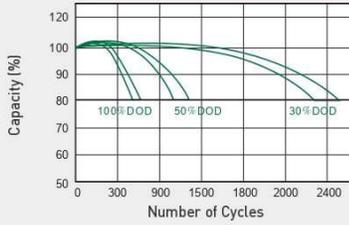
Charge Characteristics for Float Use @ 25°C/77°F



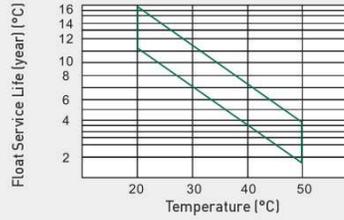
Discharge Characteristics at Various Rates @ 25°C/77°F



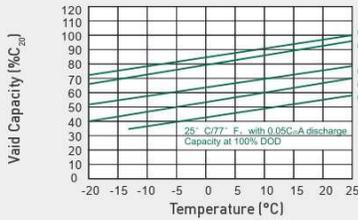
Cycle Life in Relation to Depth of Discharge



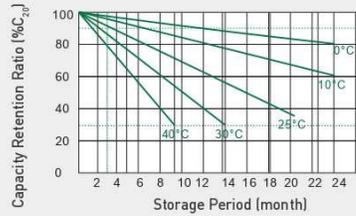
Float Service Life



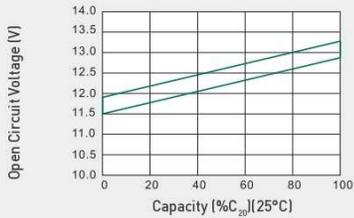
Temperature and Valid Capacity



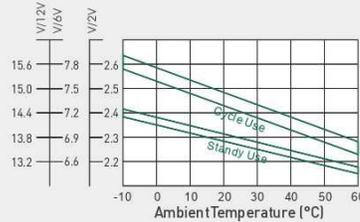
Self Discharge Characteristics



Capacity and Open Circuit Voltage



Relationship between Charging Voltage and Temperature



SUNPAL POWER CO., LTD.

0086-551-65865992

info@sunpalpower.com

www.sunpalpower.com



Inversor



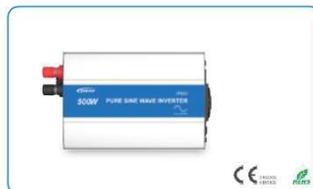
IPower Series Pure sine wave inverter

Overview

IPower series is a pure sine wave inverter which can convert 12/24/48VDC to 220/230VAC(or 110/120VAC). The power is from 350VA to 2000VA. The inverter can be applied in many fields. Its wide input voltage range is ideal for solar system applications.

Features

- Safe design with input and output electrical isolation
- Adoption of advanced SPWM technology, pure sine wave output
- Optional output voltage 220/230VAC (or 110/120VAC), set by DIP switch
- Output frequency 50/60Hz, set by DIP switch
- LED indicators for working and fault status
- Lower No-load consumption
- Max. efficiency up to 95%
- Input protection: Over voltage protection, low voltage protection
- Output protection: Overload protection, short circuit protection
- Over temperature protection: Temperature-controlled Fan Ventilation; Inverter turns off automatically when over temperature.



Technical Specifications

Item	IP350-11	IP350-21	IP500-11	IP500-21	IP1000-11	IP1000-21	IP1500-11	IP1500-21	IP2000-21	IP2000-41
Continuous output power	280W	280W	400W	400W	800W	800W	1200W	1200W	1600W	1600W
Output power 15 min.	350W	350W	500W	500W	1000W	1000W	1500W	1500W	2000W	2000W
Surge power	750W	750W	1000W	1000W	1600W	1600W	2400W	2400W	3200W	3200W
Output voltage	110VAC (±5%) 120VAC (-10%~+5%)	110VAC (±5%) 120VAC (-10%~+5%)	110VAC (±5%) 120VAC (-10%~+5%)	110VAC (±5%) 120VAC (-10%~+5%)	110VAC 120VAC (±3%)	110VAC 120VAC (±3%)	110VAC (±3%) 120VAC (-7%~+3%)	110VAC (±3%) 120VAC (-7%~+3%)	110VAC (±5%) 120VAC (-10%~+5%)	110VAC (±5%) 120VAC (-10%~+5%)
Output frequency	50/60±0.1Hz									
Output wave	Pure sine wave									
Output distortion THD	THD≤5%									
Load power factor	0.2~1 (Load VA ≤ Continuous output power)									
Rated input voltage	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	12VDC	24VDC	24VDC	48VDC
Input voltage range	10.8~16VDC	21.6~32VDC	10.8~16VDC	21.6~32VDC	10.8~16VDC	21.6~32VDC	10.8~16VDC	21.6~32VDC	21.6~32VDC	43.2~60VDC
Input surge voltage	<32VDC	<44VDC	<32VDC	<44VDC	<20VDC	<44VDC	<20VDC	<40VDC	<40VDC	<80VDC
Max. output efficiency	90%	91%	91%	91%	92.50%	92.50%	93%	94%	94%	94%
No-load current	<0.7A	<0.5A	<0.9A	<0.5A	<0.8A	<0.5A	<1.0A	<0.6A	<0.6A	<0.4A
USB output	5VDC/Max. 1A									
RS485 com. port	/	/	/	/	5VDC/200mA	5VDC/200mA	5VDC/200mA	5VDC/200mA	5VDC/200mA	5VDC/200mA
Dimension(LxWxH)	214×105.5 ×57.7mm	214×105.5 ×57.7mm	232.2×132 ×74.5mm	232.2×132 ×74.5mm	298.3×231.5 ×98.5mm	298.7×231.5 ×98.5mm	336.1×231.5 ×98.5mm	294.7×231.5 ×98.5mm	336.1×231.5 ×98.5mm	336.1×231.5 ×98.5mm
Mounting dimension	185.5×76.7mm	185.5×76.7mm	205×102mm	205×102mm	183×220mm	163×219.5mm	208×220mm	163×219.5mm	208×219.5mm	208×219.5mm
Net weight	1.0kg	1.0kg	1.7kg	1.7kg	3.9kg	3.8kg	4.6kg	3.9kg	4.6kg	4.6kg
Operating temperature range	-20℃~+45℃									
Relative humidity	<95%(N.C.)									
Enclosure	IP20									

Regulador de Carga



Controlador de carga solar EcoPulse™

El EcoPulse es un regulador de carga solar con modulación de la magnitud del impulso (PWM) perteneciente a la gama de productos Morningstar Essentials™, que ofrece funciones esenciales de regulación autónoma de la batería. Este controlador es fácil de usar y se ha diseñado para aplicaciones de consumo domésticas y recreativas.* Las versiones con y sin medidor de este producto se venden con corrientes máximas de carga de 10, 20 o 30 amperios para sistemas de batería de 12 o 24 voltios.



versión con medidor



versión sin medidor



Uso residencial



Electrificación rural



Embarcaciones



Autocaravanas

CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS PRINCIPALES

- **Total confianza:** placa de circuito con revestimiento conformado y terminales resistentes a la corrosión.
- **Diseño térmico robusto:** el disipador de calor de aluminio extruido reduce rápidamente la temperatura sin utilizar ventiladores de refrigeración.
- **Carcasa duradera:** fabricada con policarbonato de alta resistencia.
- **Indicadores de errores LED:** avisan cuando se produce un cortocircuito, una sobrecorriente, un sobrevoltaje u otra condición de error.
- **Control de iluminación solar automático:** ajuste de anochecer hasta amanecer ajustable en terreno.
- **Ajustes de carga personalizables:** es posible elegir entre siete configuraciones predeterminadas y una personalizable a través de los interruptores DIP o los botones de la pantalla del medidor.
- **Control de carga personalizable:** es posible ajustar el control de carga en la pantalla del medidor.
- **Medidor opcional:** interfaz multilingüe con botones de deslizamiento para el ajuste de la configuración y la muestra de mediciones.



*El EcoPulse no se ha certificado según los códigos eléctricos de EE. UU. y Canadá.



Seis versiones: **EC-10:** 10 A sin medidor **EC-20:** 20 A sin medidor **EC-30:** 30 A sin medidor
EC-10M: 10 A con medidor **EC-20M:** 20 A con medidor **EC-30M:** 30 A con medidor

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Eléctricas

- Voltaje de la batería nominal: detección automática de 12 V o 24 V.
- Rango del voltaje de la batería: 10 V-35 V.
- Precisión del voltaje: $\leq 0,1\% \pm 50$ mV.
- Corriente máxima de la batería: 10 A, 20 A o 30 A.
- Voltaje máximo del circuito abierto solar FV: 60V.
- Corriente de carga nominal: 10 A o 30 A.
- Autoconsumo: < 15 mA; < 20 mA (medidor).
- Indicadores LED: (1) estado, (3) nivel de carga de la batería.
- Protector de sobretensión transitoria: 1500 W (solar, batería, carga).

Ambientales

- Temperatura de funcionamiento: -40 °C a $+45$ °C.
- Temperatura de almacenaje: -40 °C a $+80$ °C.
- Humedad: 100% sin condensación.
- Tropicalización: revestimiento de conformación, terminales con clasificación marina.

Mecánicas

- Dimensiones (anch. x alt. x prof.):
15,3 x 10,5 x 5,5 cm; 6,0 x 4,1 x 2,2 pulgadas.
- Peso: 0,4 kg/1 lb.
- Rango de tamaño de cable:
Terminales de potencia: 2,5 mm²-16 mm²/14-6 AWG.
Detección de batería/temp.: 0,25 mm²-1,0 mm²/24-16 AWG.
- Carcasa: IP20, tipo 1.

Protecciones electrónicas

- Entrada solar: sobrecarga, cortocircuito, sobrevoltaje, polaridad inversa, sobretemperatura, corriente inversa por la noche.
- Gasto de carga: sobrecarga, cortocircuito, sobretemperatura, polaridad inversa.
- Batería: polaridad inversa (sin extraer la batería).

Carga de batería

- Carga en 4 etapas: en masa, absorción, flotación, equalización.
- Coeficiente de compensación de temperatura: $-30\text{mV}/^{\circ}\text{C}/12$ voltios.
- Puntos de ajuste: absorción, flotación, equalización, HVD.

Control de carga e iluminación

- Ajustes de desconexión y reconexión a bajo voltaje: 11,4 V/12,6 V o personalizado (x2 para sistemas de 24 V).
- Ajustes de iluminación: anochecer hasta amanecer.

Accesorios

- Sensor de temperatura remoto (STR).

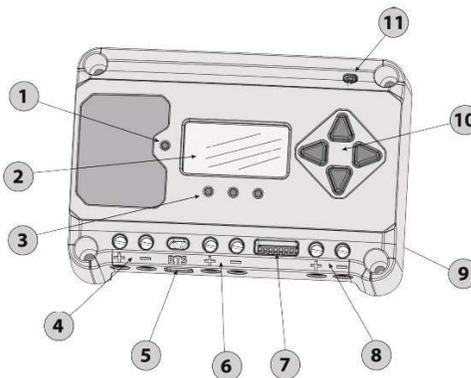
Medidor

- Resolución: 128 x 64 píxeles.
- Área de visualización: 5,0 cm x 2,5 cm.
- Interactivo: sí.

Certificaciones

- Certificaciones CE y TÜV: IEC 62109.

- 1 - LED de estado de carga/error
- 2 - Pantalla del medidor (opcional)
- 3 - Indicadores LED de nivel de la batería/error
- 4 - Terminales positivo y negativo solares
- 5 - Terminales del sensor de temperatura remoto (STR)
- 6 - Terminales positivo y negativo de la batería
- 7 - Interruptores DIP
- 8 - Terminales positivo y negativo de carga
- 9 - Disipador de calor
- 10 - Botones direccionales del medidor
- 11 - Sensor de temperatura local



GARANTÍA: período de dos años de garantía. Póngase en contacto con Morningstar o su distribuidor autorizado para conocer las condiciones completas.

Revisión: 04/2017.ES
 N.º de control IMS-002068
 Copyright 2017
 www.morningstarcorp.com

ORDEN DE EMPASTADO