

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar bombas para el suministro de agua de pozos en el área rural, utilizando un sistema inteligente basado en un PLC (S7-1200).

PROYECTO INTEGRADOR

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero en Electrónica y Automatización

Presentado por:

Joseph Anthony González Morales

Mauricio Andrés Rebolledo Román

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2020

DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a Dios por darme las fuerzas para continuar estos duros años de estudio, a mis padres por estar siempre presentes y apoyarme en todo este tiempo, a mis abuelos por empujarme a mejorar cada día y ser un hombre de bien, a mis hermanos menores que son un impulso para ser cada día mejor, a mis profesores por impartir de manera gratificante sus conocimientos.

Mauricio Rebolledo Román

Primeramente, A Dios por darme sabiduría, a mis padres Simón y Karina por apoyarme a concluir esta etapa de mi vida, muy especialmente a mis abuelos Leopoldo y Teresa por llenarme de sus experiencias de vida, a mi hermana, primos, tíos, amigos, profesores y novia que creyeron en mis capacidades que es lo que me permite seguir adelante en la búsqueda de cualquier objetivo.

Joseph González Morales

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por darme vida y salud para poder culminar esta etapa de estudio, a mis padres por apoyarme incondicionalmente, a mis abuelos por impartirme el preciado valor de la perseverancia, a los profesores que con dedicación me impartieron sus conocimientos, a mis amigos que me animaban a seguir adelante y que fueron un pilar fundamental ya que con algunos de ellos estudiaba apoyándonos los unos a los otros tomando en algunas ocasiones el papel de estudiante y otras de profesor sacando lo mejor de cada uno de nosotros por eso y mucho más agradezco a todos y a cada uno de ellos por su pequeño granito de arena.

AGRADECIMIENTOS

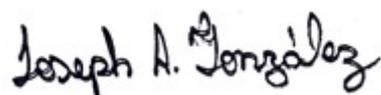
MI eterno agradecimiento a Dios por permitirme acabar esta etapa de mi vida, adicionalmente a mis padres por su ayuda incondicional y creer fuertemente en mí; a mis abuelos, primos, tíos, novia y amigos que me dieron su apoyo en momentos decisivos, a nuestro Tutor por creer en nosotros, para la realización de este proyecto y finalmente a la Escuela Superior Politécnica del Litoral por ayudarme a crecer en mi desarrollo académico.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Mauricio Andrés rebolledo Román y Joseph Anthony González Morales damos nuestro consentimiento para que la ESPOl realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Mauricio Andrés
Rebolledo Román



Joseph Anthony
González Morales

EVALUADORES



PhD. Wilton Agila Gálvez
PROFESOR DE LA MATERIA

Ing. Edgar Izquierdo Orellana
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Actualmente el 37.6 % de población ecuatoriana es pobre y vive en barrios marginales por lo que conseguir agua de ríos, lagos y pozos llega a ser dificultoso y peligroso, tomando en cuenta que el tanquero llega con dificultad a estos lugares, trayendo consecuencias perjudiciales para la salud física de las personas que viven en estas zonas ocasionando accidentes y enfermedades en la columna. También hay que tener en cuenta de que los sistemas tradicionales de bombeo de agua que usan fuentes de alimentación como son generadores, grupos electrógenos y la red eléctrica resulta ser caros por su mantenimiento, instalación y combustible lo cual no está al alcance del bolsillo de estas personas por lo que una solución es buscar nuevas tecnologías, es decir fuentes de energía renovables como es la fuente fotovoltaica. En el Ecuador solo 0.14 % de toda la energía generada representa la energía fotovoltaica, entonces es de vital importancia desarrollar sistemas que utilicen esta fuente de energía renovable debido a que es eficiente, barata y amigable con el medio ambiente. Por esto se ha diseñado un sistema de bombeo que lleva el agua de un lago a un reservorio que está cerca de las casas y en una zona segura usando como fuente de energía la fotovoltaica, para esto nuestro sistema consta de dos paneles solares, uno que alimenta directamente a la carga y otro a un banco de baterías, este último entra a funcionar cuando la potencia del primer panel no es suficiente para alimentar la carga esto sucede en condiciones de días nublados y de noche, de esta manera se garantiza el funcionamiento de nuestro sistema las 24 horas del día, los 7 días de la semana siempre y cuando el tanque deba ser llenado. En la parte de control se usa contactores que son accionados por un PLC s7-1200 en el cual se le ha cargado un pequeño programa de control, además posee una HMI con una interfaz amigable para que se pueda visualizar las variables de control cuando se realice algún mantenimiento. El sistema de bombeo posee una bomba DC que transporta el agua. Los ingresos y costos para este año 2021 donde el gasto de mantenimiento ronda el 17,51% del beneficio y para el año 2030 rondará el 19,24%. Como pudimos ver nuestro sistema cubre su costo total a partir del cuarto año y medio considerando también que al tercer año se deberá hacer un cambio de bomba y al quinto un cambio de baterías para mantener su eficacia adicionalmente usamos un tipo de energía amigable con el

ambiente el cual de momento no es muy significativa, pero con el tiempo formará parte de nuestras vidas.

Palabras claves: HMI (Interfaz hombre-Maquina), Energía Fotovoltaica, PLC (Controlador Lógico Programable), PVsyst 7.1, Sistema de Bombeo, Barrios Marginales.

ABSTRACT

Currently 37.6% of Ecuador's population is poor and living in slums so getting water from rivers, lakes and wells becomes difficult and dangerous, taking into account that the tanker arrives with difficulty to these places, bringing harmful consequences to the physical health of people living in these areas causing accidents and diseases in the spine. It should also be noted that traditional water pumping systems that use power supplies such as generators, generator sets and the electricity grid turn out to be expensive for their maintenance, installation and fuel which is not within reach of the pocket of these people so one solution is to look for new technologies, i.e. renewable energy sources such as the photovoltaic source, I knew that in Ecuador only 0.14% of all the energy generated represents photovoltaic energy, so it is vitally important to develop systems that use this renewable energy source because it is efficient, cheap and environmentally friendly. This is why a pumping system has been designed that takes water from a lake to a reservoir that is close to the houses and in a safe area using photovoltaic as an energy source, for this our system costs two solar panels one that feeds directly to the charge and another to a battery bank the latter comes into operation when the power of the first panel is not enough to power the charge this happens in cloudy and nightly conditions, this ensures the operation of our system 24 hours a day, 7 days a week as long as the tank needs to be filled. The control part uses contactors that are powered by a PLC s7-1200 in which a small control program has been loaded, in addition it has an HMI with a friendly interface so that control variables can be displayed when maintenance is performed. In the pumping system it has a DC pump that carries water. Revenues and costs for this year 2021 where maintenance spend is around 17.51% of the profit and by 2030 will be around 19.24%. As we could see our system covers its total cost from the fourth year and a half considering also that in the third year a pump change must be made and to the fifth a change of batteries to maintain its effectiveness additionally, we use a type of energy friendly to the environment which at the moment is not very significant, but over time will be part of our lives.

Keywords: HMI (Man-Machine Interface), Photovoltaic Energy, PLC (Programmable Logic Controller), PVsyst 7.1, Pumping System, Marginal Neighborhoods.

ÍNDICE GENERAL

EVALUADORES.....	6
RESUMEN.....	I
<i>ABSTRACT</i>	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS	VII
SIMBOLOGÍA	I
ÍNDICE DE FIGURAS.....	II
ÍNDICE DE TABLAS	IV
CAPÍTULO 1	5
1. Introducción.	5
1.1 Descripción del problema.	6
1.2 Justificación del problema.....	6
1.3 Objetivos.....	7
1.3.1 Objetivo General.	7
1.3.2 Objetivos Específicos.	7
1.4 Marco teórico.....	7
1.4.1 Consumo de agua en zonas rurales.....	7
1.4.2 Sistema de bombeo	8
1.4.3 Sistema Fotovoltaico	8
1.4.4 Instrumentación.....	10
CAPÍTULO 2.....	12
2. Metodología	12
2.1 Etapa de recolección de datos para el diseño	12
2.1.1 Localización	12
2.1.2 Datos para el sistema Hidráulico.....	14

2.1.3	Datos para el sistema eléctrico	16
2.2	Etapa de diseño Mecánico y Eléctrico de Fuerza	17
2.2.1	Selección del ángulo óptimo para la inclinación del panel	17
2.2.2	Sistema hidráulico y de bombeo	19
2.2.3	Diseño del sistema eléctrico de Fuerza.....	21
2.3	Etapa de diseño de control	31
2.3.1	Control de Alimentación	36
2.3.2	Control de llenado y censado de variables.....	38
2.3.3	Control de visualización	38
CAPÍTULO 3.....		40
3.	Resultados Y ANÁLISIS.....	40
3.1	Resultados de la etapa de recolección de datos para el diseño	40
3.2	Resultados de la Etapa de diseño mecánico y eléctrico de fuerza	41
3.2.1	Resultados de la Ubicación del Panel.....	41
3.2.2	Resultados del sistema hidráulico.....	45
3.2.3	Resultados del Sistema Eléctrico de Fuerza.....	46
3.2.4	Resultados de la simulación del Sistema Reductor de voltaje	52
3.2.5	Resultados de la simulación del sistema cargador de baterías.....	54
3.3	Gráficos Predefinidos del Programa PVsyst 7.1	56
3.4	Presupuesto.....	59
3.5	Rentabilidad de proyecto	61
CAPÍTULO 4.....		66
4.	Conclusiones Y Recomendaciones.....	66
	Conclusiones	66
	Recomendaciones	67
5.	Bibliografía	68

6.	Anexos	69
6.1	Pantallas de la Interfaz HMI	69
6.2	Código cargado en el PLC	72

ABREVIATURAS

HMI (Interfaz hombre-Maquina)

PLC (Controlador Lógico Programable)

Osinergmin (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería)

DifS_GI (Proporción Incidente Cielo Difuso/Global)

GlobHor (Irradiación horizontal global)

DiffHor (Irradiación difusa horizontal)

T_Amb (Temperatura Ambiente)

WindVel (Velocidad del viento)

GlobInc (Global incidente plano receptor)

DifSInc (Cielo Difuso incidente. Plano receptor)

Alb_Inc (Albedo incidente en plano receptor)

SIMBOLOGÍA

mg	Miligramo
m	Metro
cm	Centímetro
m ³	Metro cúbico
mV	Mili- Voltio
mA	Mili- Amperios
gr	Gramos
V DC	Voltios de corriente directa
mm	milímetros
kPa	Kilo pascales
°C	Grados centígrados

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1 flujo del diseño.....	12
Ilustración 2 ventana para crear un nuevo proyecto en PVsyst 7.1	13
Ilustración 3 Parámetros del sitio geográfico para Cuatro Hermanas	13
Ilustración 4 Datos Meteorológicos	14
Ilustración 5 Datos para el sistema hidráulico de bombeo	15
Ilustración 6 Tanque Industrial elegido	16
Ilustración 7 Definición de necesidades de agua y presión	17
Ilustración 8 Angulo de inclinación optimo con respecto a verano.....	18
Ilustración 9 Angulo de inclinación optimo con respecto a invierno	19
Ilustración 10 Datos de Placa de la Bomba de agua	20
Ilustración 11 Bomba de agua Shurflo de 70w a 12V DC	21
Ilustración 12 Panel solar de 250 Wp policristalino.....	22
Ilustración 13 Diseño del Subconjunto.....	23
Ilustración 14 Datos Básicos.....	23
Ilustración 15 Tamaños y Tecnologías	24
Ilustración 16 Regulador de batería	25
Ilustración 17 Ventana de diseño y simulación de proyecto	25
Ilustración 18 Consumo de energía diaria	26
Ilustración 19 Distribución del uso por hora de las baterías.....	27
Ilustración 20 Sistema para cargar baterías	28
Ilustración 21 Controlador de Energía Solar	28
Ilustración 22 Sistema Simplificado tipo isla	30
Ilustración 23 Resumen del sistema	30
Ilustración 24 Baterías Solar	30
Ilustración 25 Características del Contactor	31
Ilustración 26 Características del inversor	31
Ilustración 27 Características del sensor ACS712	33
Ilustración 28 Características del sensor de Voltaje FZ0430	34
Ilustración 29 Sensor de Temperatura Pt100. [8].....	34
Ilustración 30 Datos Técnicos del sensor de Temperatura Pt100. [8].....	35
Ilustración 31 Datos Técnicos [9].....	35

Ilustración 32 Convertidor K109PT [9].	36
Ilustración 33 Diagrama de flujo del Control de Alimentación	37
Ilustración 34 Diagrama de Flujo del censado de variables	38
Ilustración 35 Diagrama de flujo del control de Visualización	39
Ilustración 36 Irradiación horizontal global por hora	42
Ilustración 37 Irradiación horizontal global por día	43
Ilustración 38 Irradiación horizontal global por mes	44
Ilustración 39 Irradiación incidente en plano colector	45
Ilustración 40 Energía de funcionamiento de la bomba mensual	46
Ilustración 41 Referencia Energética para el Panel Receptor	47
Ilustración 42 Conjunto de energía nominal	48
Ilustración 43 Energía efectiva a la salida del conjunto	49
Ilustración 44 Voltaje del conjunto	50
Ilustración 45 Corriente del conjunto	51
Ilustración 46 Sistema Reductor de voltaje	52
Ilustración 47 Señales de voltaje	52
Ilustración 48 Señales de Corriente	53
Ilustración 49 Señal PWM	53
Ilustración 50 Sistema Cargador de Baterías	54
Ilustración 51 Señales de Voltajes	55
Ilustración 52 Señales de Corriente	55
Ilustración 53 Índice de rendimiento mensual del sistema	56
Ilustración 54 Energía efectiva a la salida del conjunto vs Irradiancia	57
Ilustración 55 Función de flujo de potencia de las bombas	58
Ilustración 56 Resultados Principales del sistema FV con la carga (Bomba)	59
Ilustración 57 Ingreso de precios los sistemas	61
Ilustración 58 Ingreso de costo de mano de obra	62
Ilustración 59 colocación de periodo de simulación	62
Ilustración 60 Colocación de tarifa del agua	63
Ilustración 61 Resultado de la Rentabilidad	63
Ilustración 62 Flujo de caja anual	64
Ilustración 63 Gráfica del flujo de caja acumulativo	64

Ilustración 64 diagrama circular de ingresos año 2021	65
Ilustración 65 Diagrama circular de ingresos año 2030	65
Ilustración 66 Pantalla Principal	69
Ilustración 67 Pantalla del Proceso	69
Ilustración 68 Pantalla de Características del Sistema	70
Ilustración 69 Pantalla del Sistema Fotovoltaico	70
Ilustración 70 Pantalla de Sistema de Baterías	71
Ilustración 71 Pantalla de las características de la bomba	71
Ilustración 72 Pantalla de las Características del Tanque	72

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Resumen de datos necesarios para el sistema eléctrico	17
Tabla 2 Resumen de las Necesidades diarias Promedio con una autonomía de 4 días	19
Tabla 3 Datos eléctricos del Panel Fotovoltaico (FV)	21
Tabla 4 Datos Físicos del Panel Fotovoltaico (FV)	22
Tabla 5 Datos de la Batería	29
Tabla 6 Meteorológica y Energía Incidente.....	40
Tabla 7 Factores Ópticos.....	41
Tabla 9 Precios de sistemas de control	60
Tabla 10 Precio de sistema de bombeo.....	60
Tabla 11 Precio total del proyecto.....	61

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN.

Hoy en día las energías renovables son una de las formas de obtener energía de fuentes naturales vitalmente inagotables, debido a que se puede regenerar por medios naturales y se encuentra en inmensas cantidades. La Osinergmin (Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería) divide a las energías renovables en Energías Renovables Convencionales y Energías Renovables No Convencionales. [1].

Dentro de las Energías Renovables Convencionales encontramos las grandes centrales hidroeléctricas, mientras que en las Energías Renovables No Convencionales encontramos a los sistemas Fotovoltaicos, los generadores eólicos, solares térmicos, los generadores mareomotrices.

Según fuentes de la INEC, Censo de Población y Vivienda (2010) las viviendas pertenecientes al área Rural alcanzan un 37% de la población total del Ecuador por lo que solucionar problemas energéticos con soluciones que involucre energías renovables y amigables con el medio ambiente, una de esas es la energía fotovoltaica que representa el 0.14% de energía usada en el Ecuador. [2]

Para el aprovechamiento de la Energía Solar por medio de los sistemas fotovoltaicos se debe considerar un sistema de control para utilizar la energía en un determinado trabajo que involucra sensores y actuadores para el control del sistema. Uno de los mejores usos que se le puede dar a la energía solar es el uso de esta para la manipulación de motores para realizar un determinado trabajo como puede ser la extracción de agua de los pozos de las áreas rurales mediante bombas, de esta manera los propietarios de las casas podrán tener agua en sus hogares ahorro dinero se vea reflejado en la planilla eléctrica.

Debido a los grandes beneficios que tiene el uso de los sistemas fotovoltaicos y el impacto económico a largo plazo se lo ha seleccionado para ser usado en un sistema de bombeo de pozos en áreas rurales, con caso de estudio en el Lago ESPOL, el sistema de bombeo constará con sensores Fotoeléctricos, inversores, contactores y un

controlador de Siemens el s7-1200 en donde se realizará la programación para el control automático del sistema.

1.1 Descripción del problema.

El abastecimiento de agua es un factor primordial para poder perdurar en el tiempo en un asentamiento rural dado a que en la mayoría de casos el agua potable por ducto no llega a estos lugares, por lo cual la búsqueda de un medio que proporcione este líquido se vuelve una problemática, debido a esto las personas optan por la alternativa de realizar la perforación de un pozo, con lo cual surge la dificultad de extraer el agua de estos lugares, de la manera más cómoda y económica posible, en la mayoría de los casos los usuarios prefieren una extracción manual, pero no es lo más eficiente, además con el constante crecimiento del consumo energético con el pasar de los años, es importante considerar energías renovable como parte de una solución. Por estos factores se requiere de un sistema fotovoltaico capaz de alimentar una bomba en la extracción de agua de pozo, además es apropiado hacer un monitoreo constante de los parámetros eléctricos para el aprovechamiento efectivo de la energía y su almacenamiento.

1.2 Justificación del problema.

En el año 2019, el Operador Nacional de Electricidad (CENACE) registra un aumento de 4.5% de consumo de energía eléctrica respecto al año 2018, el cual fue de 24.213 GWh. Considerando que el uso de energía fotovoltaica es de solo 0.14%, el esfuerzo de desarrollar sistemas con esta tecnología es un campo de vital importancia para solventar el crecimiento energético del país, especialmente en el área industrial con energías limpias y que no contaminen el medio ambiente. [1].

No obstante las áreas rurales también presentan un problema el cual es la falta de agua en los hogares para lo cual se requiere usar pozos y bombas de agua, pero estas últimas requieren de un consumo energético en donde encontramos que las bombas de agua de ½ HP representan 0.368 KWh, las bombas de ¾ HP representan 0.552 KWh y las bombas de 1HP representan 0.746 KWh, las cuales son reflejadas de forma monetaria cada mes con la implementación de un generador y la dependencia de

combustibles fósiles, debido que en el Ecuador la pobreza afecta a una gran cantidad de personas de la población rural siendo más específicos el 35 % de la población pobre del Ecuador y tres de cada cuatro personas de las zonas rurales de los Andes están por debajo de la línea de pobreza, hay que tener en cuenta que las áreas rurales enfrentan el aislamiento geográfico y con la limitada inversión en educación y servicios de salud y vivienda, las zonas rurales necesitan de alguna forma disminuir los costos mensuales, teniendo en cuenta que hay lugares en donde la distribución de la red eléctrica del país no llega. El uso de los sistemas de energías renovables en una solución muy ambiciosa a esta problemática. [2]

1.3 Objetivos.

1.3.1 Objetivo General.

Diseñar un sistema fotovoltaico off Grid con conmutación automática entre el panel solar y banco de baterías, mediante el uso de programas PVsyst 7.0 y TiaPortal V15.1 para la alimentación de un sistema de bombeo de agua (Lago de Espol).

1.3.2 Objetivos Específicos.

- Analizar el punto geográfico del lago de ESPOL para la obtención de los parámetros requeridos para el dimensionamiento de un sistema de bombeo de agua
- Dimensionar un sistema fotovoltaico en PVsyst 7 especificando las variables físicas necesarias en la obtención de la energía solar.
- Crear en TiaPortal un programa que controle el accionamiento off grid de nuestro sistema fotovoltaico.

1.4 Marco teórico.

1.4.1 Consumo de agua en zonas rurales

El abastecimiento de agua para el consumo en el área rural consta de 6 etapas que son: determinación de una fuente de abastecimiento (ríos, lagos o pozos profundos),

extracción (sacar el líquido vital de la fuente), conducción (transportar el fluido), Tratamiento (acondicionar el agua para consumo humano), almacenamiento (deposito contenedor del líquido), Distribución (proveer a las viviendas) [1]

Una vez que se distribuye el líquido se tiene que el consumo promedio de agua de una persona en el área rural es de 15 a 30 litros por día llegando a 60 litros en ocasiones excepcionales y contando las actividades de riego de jardín o aseo de animales llegan a 75 litros. [2]

1.4.2 Sistema de bombeo

Dentro de los sistemas de bombeo encontramos tres principales sistemas en donde se puede usar un sistema fotovoltaico para la alimentación de la bomba.

Sistema de bombeo de pozo a tanque en el cual se hace uso de una bomba sumergible, las características del circuito Hidráulico, características del pozo y las características del depósito de almacenamiento, dentro de las características del sistema hidráulico se debe seleccionar los diámetros de las tuberías dependiendo del caudal que proporcionara el sistema y hay que tener en cuenta que la tubería de distribución es independiente de la tubería de bombeo. [2]

Sistema de bombeo de un lago o rio a un almacenamiento: en este sistema se usan bombas centrifugas en donde dependiendo de la altura y el caudal se selecciona el tipo de bombas que pueden ser A40, A60, A80, dependiendo del fabricante.

Sistema de bombeo por presurización: este sistema es muy para las viviendas, en donde se utiliza un tanque que sirve como almacenamiento de agua y la presuriza cuando la bomba no está en funcionamiento y momentos de alta demanda sirve como complemento para generar la presión necesaria, estos taques mantienen un rango de presión dependiendo de su construcción aunque el rango bajo siempre está entre unos 20 a 40 psi, cuando la presión cae por debajo de esta se activa controles automáticos que hacen que la presión vuelva a los valores normalizados. [2]

1.4.3 Sistema Fotovoltaico

El sistema fotovoltaico es aquel que recepta la energía solar y la convierte en energía eléctrica para su próximo uso.

Instalaciones fotovoltaicas convencionales o aisladas:

Estas instalaciones son aquellas en donde la producción de energía eléctrica es directamente consumida por la carga y no se conecta a la red, podemos tener dos instalaciones fotovoltaicas convencionales el DC Side y AC Side.

Instalaciones fotovoltaicas de autoconsumo:

Estas instalaciones son aquellas en donde la producción de energía eléctrica es directamente consumida por la carga y se conecta a la red, para esto se necesita un medidor que permita contabilizar la energía que es entregada a la Red para que de esta manera se pueda hacer una retribución monetaria.

Placas Solares Fotovoltaicas: Dentro de toda la clasificación de semiconductores usados para las placas encontramos los siguientes:

El Monocristalino el cual en Laboratorio presenta un 24% de rendimiento y en la práctica un 15.18% en este encontramos conexiones de las células individuales entre si y se lo obtiene dopando el silicio con el boro.

El Policristalino que en laboratorio presenta un 19.20 % de rendimiento Y que la práctica da como resultado un 12. 14 % una de sus características más comunes es que poseen una estructura En cristales que contienen tonos azules.

El amorfo Presenta un rendimiento en el laboratorio del 16 % en la práctica de menor a un 10 %, tiene un color marrón y una de las ventajas es que puede depositarse en forma de láminas delgadas. [2].

Reguladores de carga: Es un dispositivo que se encarga del control de la energía que va desde las placas solares a las baterías, por lo que su conexión es en medio de las mismas tomando como variables de control la corriente y voltaje que se inyecta a las baterías, para garantizar que las baterías se carguen de manera óptima el regulador hace un chequeo constante del estado de las mismas. [3].

Baterías para sistemas fotovoltaicos: Las baterías van en conjunto con los reguladores de carga para supervisar su carga y descarga, para esto se debe tener en cuenta todos los estados posibles del proceso de carga en donde encontramos:

- Fase Bulk: es la fase en donde las baterías están descargadas y empiezan a cargarse aumentando la tensión a medida que estas lleguen a la carga máxima permitida.

- Fase Absorción: es la fase donde la batería el voltaje de absorción que varía dependiendo de la batería generalmente 14.4 V, una vez en esta fase el regulador actúa manteniendo el voltaje por debajo del voltaje de absorción y corriente muy pequeña hasta que la batería este en su mayoría llena.
- Fase de Flotación: es la fase final en donde la batería está llena por completo y cualquier otro exceso de corriente se pierde en el regulador por efecto Joule. [3].

1.4.4 Instrumentación

Bomba de agua: Maquina eléctrica que tiene la capacidad de aumentar la presión con la finalidad de bombear agua hacia una determinada dirección.

PLC S7-1200: Controlador Lógico Programable utilizado en el campo del control automático para la automatización de procesos industriales

Sensores Fotoeléctricos: Instrumento que permite detectar la intensidad luminosa que se tiene en el ambiente

Contactores: Es una bobina que al excitarse cambia sus contactos abiertos por cerrados y viceversa

OPC: Protocolo de comunicación que nos permite establecer un vínculo de transferencia de datos entre diferente software y diferentes equipos eléctricos

HMI: Interfaz Humano-Maquina sirve para la comunicación entre el operario y el proceso que se está manejando, estas son pantallas en las que encontramos entradas, visualizar las salidas y poder controlar las variables de una parte del proceso.

Protecciones de los sistemas fotovoltaicos: Dentro de las protecciones encontramos que hay protecciones tanto para el sistema DC como para el sistema AC en donde podemos encontrar los disyuntores o también llamados interruptores termo magnéticos que sirven para proteger a red ya sea DC o AC de picos de sobre corriente, hay que tener en cuenta que los disyuntores AC no pueden realizar la misma función que los DC debido a que sus curvas de reacción son diferentes, la parte DC es usada en la conexión a las baterías y la parte AC a la salida del Inversor, también encontramos las protecciones de sobre tensión que igual que los disyuntores protegen al circuito pero estos lo protegen de picos de voltaje.

Para acompañar a los disyuntores de la parte DC encontramos los fusibles solares que protegen a los inversores, cargadores de batería y cableado contra los cortocircuitos.

Fotocélulas: Las Fococélulas son aquellos dispositivos que actúan como sensores fotoelctricos conforme cambia la intensidad de la luz del ambiente en el que se encuentran esto sirve para muchas aplicaciones una de ellas serian para sistemas fotovoltaicos ya que este servirían como sensores dentro del lazo de control, estos dispositivos están diseñados por un fototransistor de alta sensibilidad y las seales digitales emitidas por este son procesadas asegurando la confiabilidad del dispositivo. [5].

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

En el presente proyecto se realizó el diseño eléctrico para la instalación fotovoltaica en el sector del lago de Espol. La metodología implementada sigue el esquema de flujo que se indica en la **ilustración 1**, en la etapa uno o etapa de recolección de datos para el diseño se toman los datos de localización del sistema, datos del sistema hidráulico, datos del sistema eléctrico. En la etapa dos o etapa de diseño se realiza la localización y exportación de datos meteorológicos, diseño del sistema hidráulico y de bombeo, diseño del sistema eléctrico de control y fuerza. En la etapa 3 o etapa de simulaciones tenemos el plano eléctrico, simulación del sistema en PVsyst 7.0 y la simulación en TiaPortal V15.1.

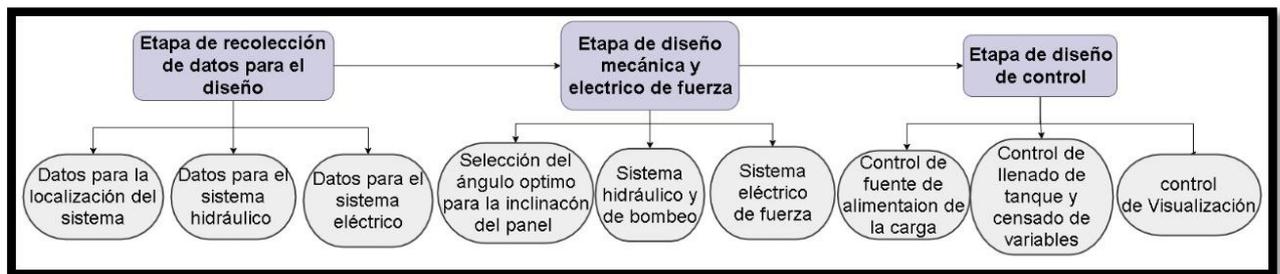


Ilustración 1 flujo del diseño

2.1 Etapa de recolección de datos para el diseño

2.1.1 Localización

La localización del lago su latitud y longitud, se la obtuvo de Google map que dio como resultado (-2.1445,-79.949) respectivamente, luego se ingresó el punto geográfico en el programa de PVsyst 7.1 abriendo la carpeta de localización de sitios como pueden ver en la **ilustración 2**.

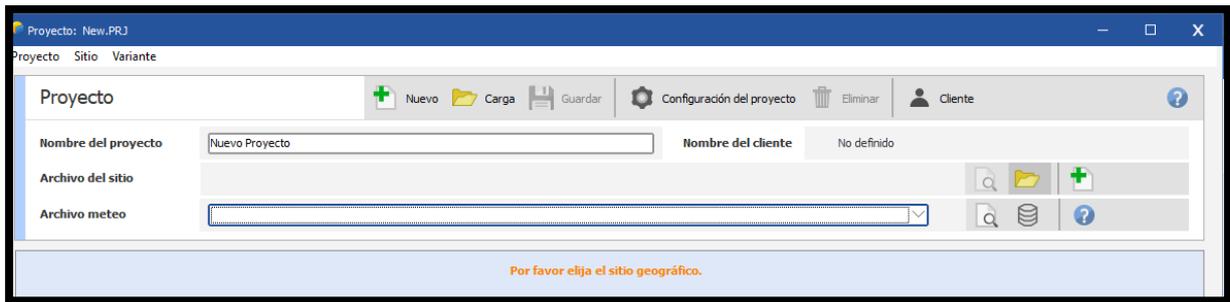


Ilustración 2 ventana para crear un nuevo proyecto en PVsyst 7.1

Una vez que se haya ingresado el punto geográfico el programa dará la zona horaria que es -5, el país Ecuador, la localidad “Cuatro Hermanas” y la altitud de 31 m, estos datos se pueden verificar en la **ilustración 3** y se procede aceptar el punto seleccionado.

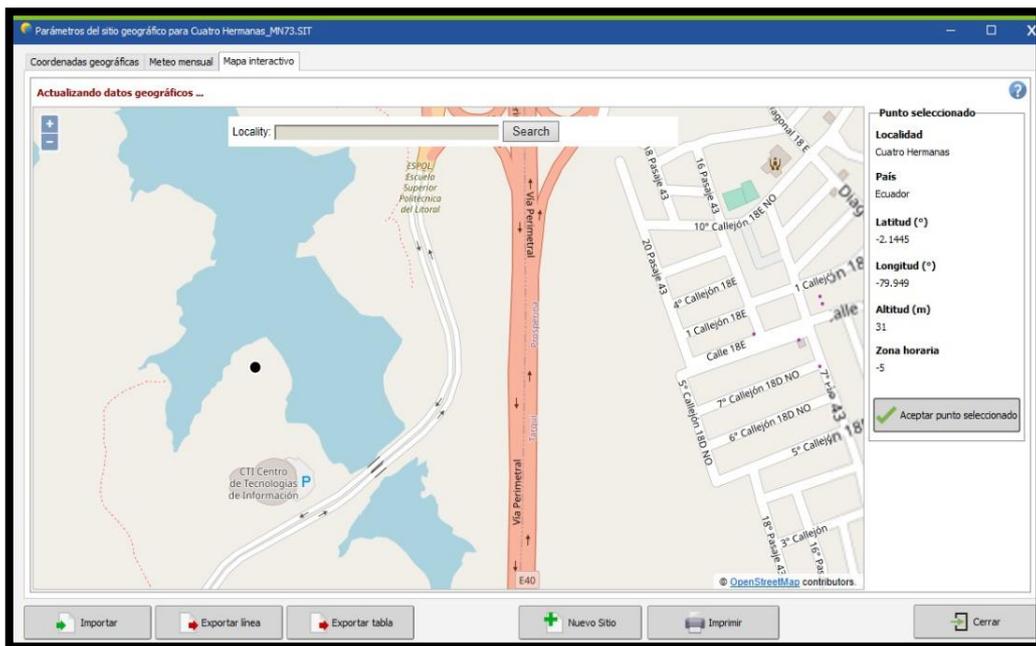


Ilustración 3 Parámetros del sitio geográfico para Cuatro Hermanas

Luego se eligió un servidor meteorológico (Meteonorm 7.3, sat = 100%) de donde se obtuvo datos mensuales de irradiación horizontal global ($KWh/m^2/mes$), irradiación difusa horizontal ($KWh/m^2/mes$), temperatura ($^{\circ}C$), velocidad del viento (m/s), turbidez linke y humedad relativa (%), procedemos a importar estos datos al proyecto como se observa en la **ilustración 4**.

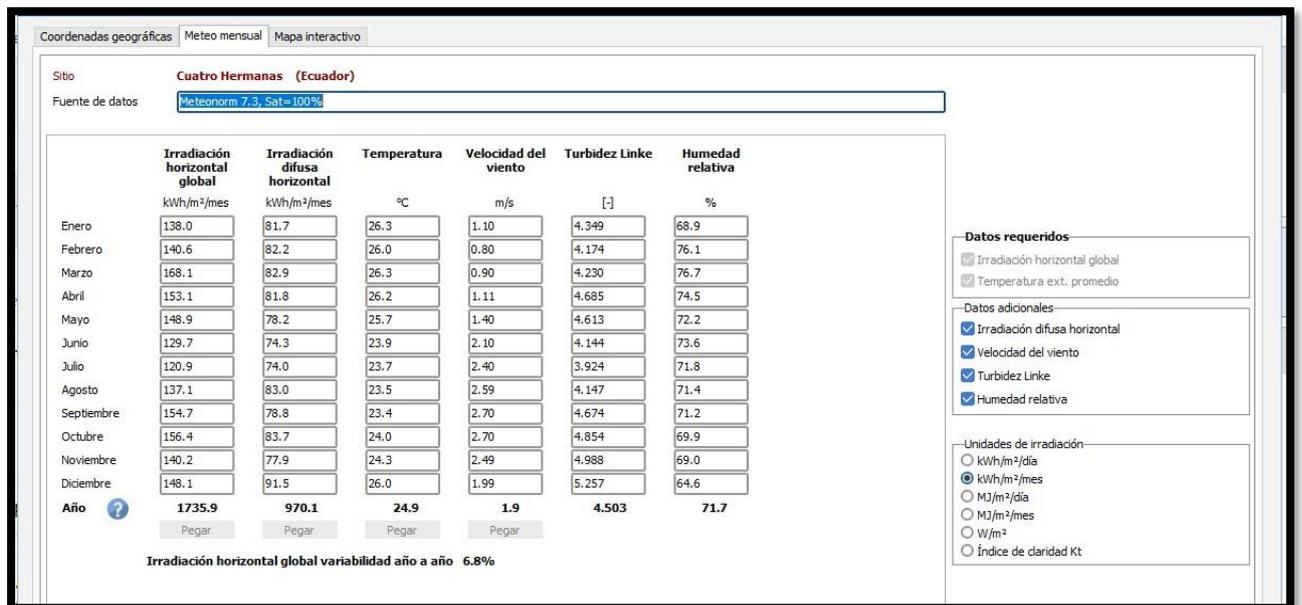


Ilustración 4 Datos Meteorológicos

2.1.2 Datos para el sistema Hidráulico

Para los datos del lago de ESPOL se encontró la altura promedio del lago de un caso de estudio que se realizó en el año del 2017 en donde nos indica que el lago de Espol tiene una altura o profundidad promedio de 12m. Para la fase del diseño del sistema hidráulico recopilamos datos para ingresarlos en el programa de PVsyst 7.1 y poder empezar el diseño para posteriormente simular, entonces primero se tomó datos de un caso de estudio, el cual indica que el lago tiene una superficie de 43100 m^2 y un perímetro de 1575 m, con una temperatura de 24-26 °C, una precipitación de 500-700 mm y una profundidad que varía dependiendo del lugar para nuestra instalación se escogió un lugar donde la altura es aproximadamente 12 m. [7].

Luego de tener este dato seleccionamos el nivel donde estará colocada la bomba para esto ingresamos 2 m sobre el nivel del agua ya que como se utilizó una bomba centrífuga esta no puede colocarse a un nivel superior a 4-5 metros por encima del nivel del lago para evitar los efectos de cavitación que se produce cuando la bomba absorbe en el vacío forzado a la misma, generando daño en el aislamiento mecánico que ocasiona un ingreso de agua en el rotor de la bomba. Estos datos se los ingresa al programa como se puede ver en la **ilustración 5**.

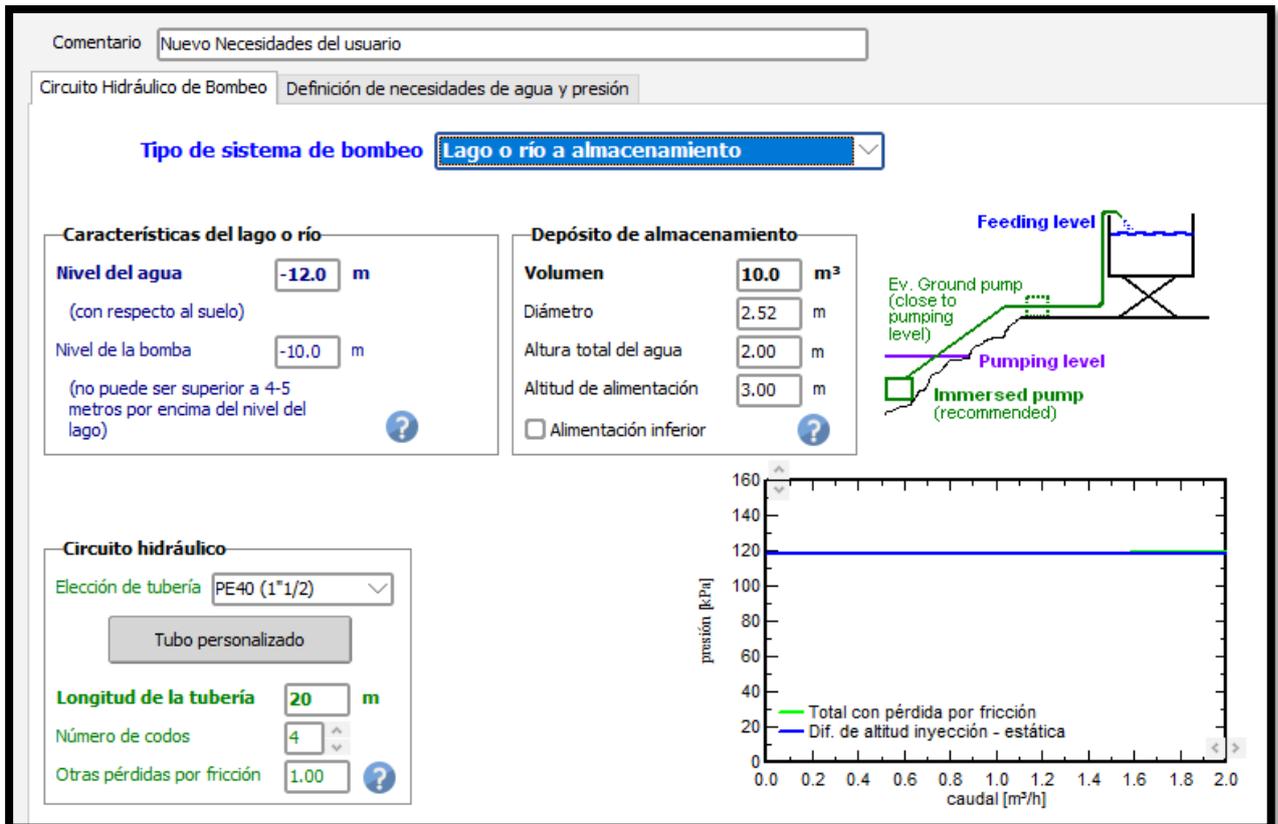


Ilustración 5 Datos para el sistema hidráulico de bombeo

Posteriormente se buscó un tanque donde se pueda almacenar el líquido para que luego las personas puedan utilizarlo, para este proyecto es escogió un tanque industrial de la marca Rotoplas cuyas dimensiones son las siguientes: tiene un diámetro de 2.52 m y un Volumen de 10 m³ cómo se observa en la **ilustración 6**. La alimentación que la tapa del tanque por donde ingresara el agua para ser almacenada está a una altura 3 m, el tope máximo del nivel del agua será de 2 m. posteriormente se escoge la tubería que se usara, en este caso se escogió la tubería de polietileno PE40 de 1" 1/2 con una longitud de 20m, con un coeficiente de pérdidas por fricción de 1 y 4 codos que servirán para hacer los giros en toda la trayectoria de la tubería desde el lago a la fuente de alimentación del tanque.



Ilustración 6 Tanque Industrial elegido

2.1.3 Datos para el sistema eléctrico

Para esto debemos definir primero las necesidades de agua. Para esta parte se definió el promedio anual de agua que se requiere para la comunidad beneficiaria del sistema, como sabemos que una persona de un área rural por día consume 60 litros de agua que equivalen a $0.06 m^3$, considerando que son 150 personas las beneficiarias daría un resultado de $9 \frac{m^3}{día}$, teniendo necesidades de agua anuales de $3285m^3$, posteriormente definimos la presión constante anual del lago el cual es de 118 kPa, al ingresar estos datos el programa de simulación realizó el cálculo anual de la energía hidráulica que es de 107 kWh y las necesidades fotovoltaicas aproximadamente de 363 kWh, datos que serán usados para los diseños de la bomba y de los paneles, esto se pudo ver en la **ilustración 7**.

Comentario: Nuevo Necesidades del usuario

Circuito Hidráulico de Bombeo Definición de necesidades de agua y presión

Necesidades de agua

Promedio anual
 Valores estacionales
 Valores mensuales

Necesidades de todo el año: 9.0 m³/día

Unidades hidráulicas

Caudal: m³/h
Presión: kPa

Resumen anual

Necesidades de agua promedio: 9.00 m³/día
Necesidades anuales de agua: 3285 m³
Presión anual promedio: 118 kPa

Energía Hidráulica: 107 kWh
Necesidades FV (muy aprox.): 363 kWh

Variaciones del nivel del agua del lago/río

Constante anual
 Valores estacionales
 Valores mensuales

Año completo: 118 kPa

Presiones adicionales

Altitud de alimentación: 3 m
Presiones dinámicas Tubos: 1 kPa
(a caudal = 1.8 m³/h)

Archivo de modelo

Carga Guardar

Ilustración 7 Definición de necesidades de agua y presión

A continuación, se muestra una tabla1 con los datos que se usaran posteriormente:

Tabla 1 Resumen de datos necesarios para el sistema eléctrico

Resumen Anual	
Necesidades de agua promedio	9 m ³ /día
Necesidades anuales de agua	3285 m ³
Presión anual promedio	118 kPa
Energía Hidráulica	107 kWh
Necesidades FV	365 kWh

2.2 Etapa de diseño Mecánico y Eléctrico de Fuerza

2.2.1 Selección del ángulo óptimo para la inclinación del panel

Continuando con el estudio del caso se buscó la inclinación óptima del panel solar para la zona establecida, gracias a los datos meteorológicos importados, escogiendo en la opción de tipo de campo el plano inclinado fijo con un azimut de cero grados, y en

optimización rápida elegimos las estaciones de invierno y verano respectivamente, teniendo en cuenta que para un mejor aprovechamiento de energía solar se debe conseguir el factor de transposición (FT) mayor o igual que 1, En las gráficas proporcionadas por el software podemos identificar el FT y pérdidas para los diferentes ángulos de inclinación de tal manera que en verano se tiene un ángulo de inclinación de 0 grados como muestra la curva de la **ilustración 8** y en invierno se tiene un ángulo de inclinación de 25 grados como muestra la curva de la **ilustración 9**.

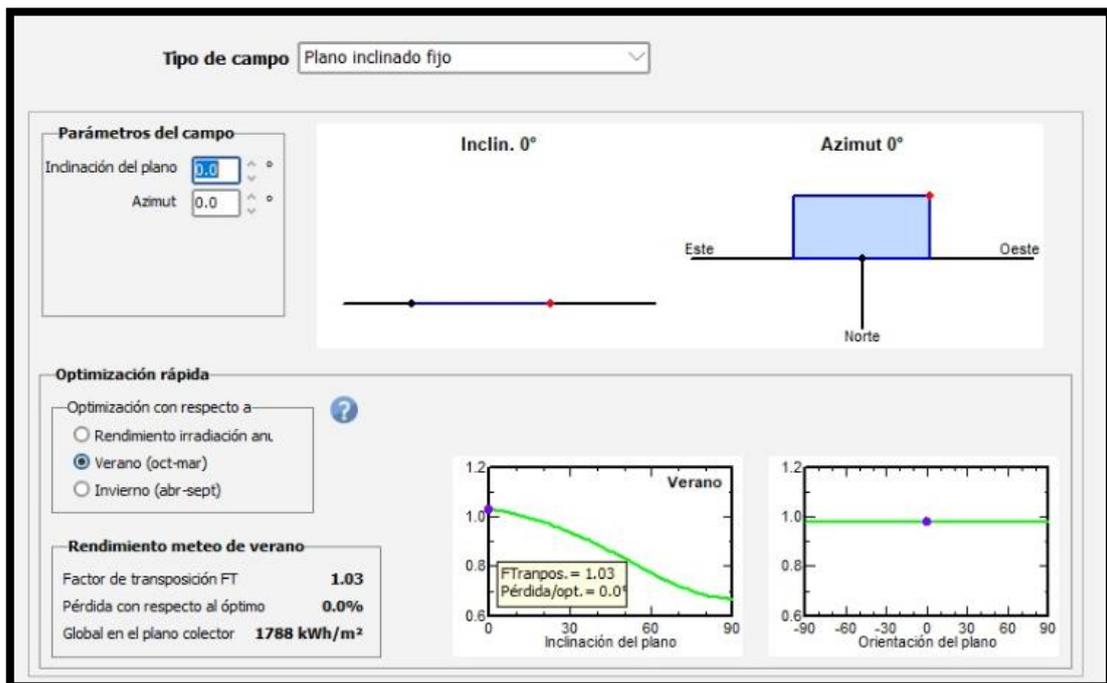


Ilustración 8 Angulo de inclinación óptimo con respecto a verano

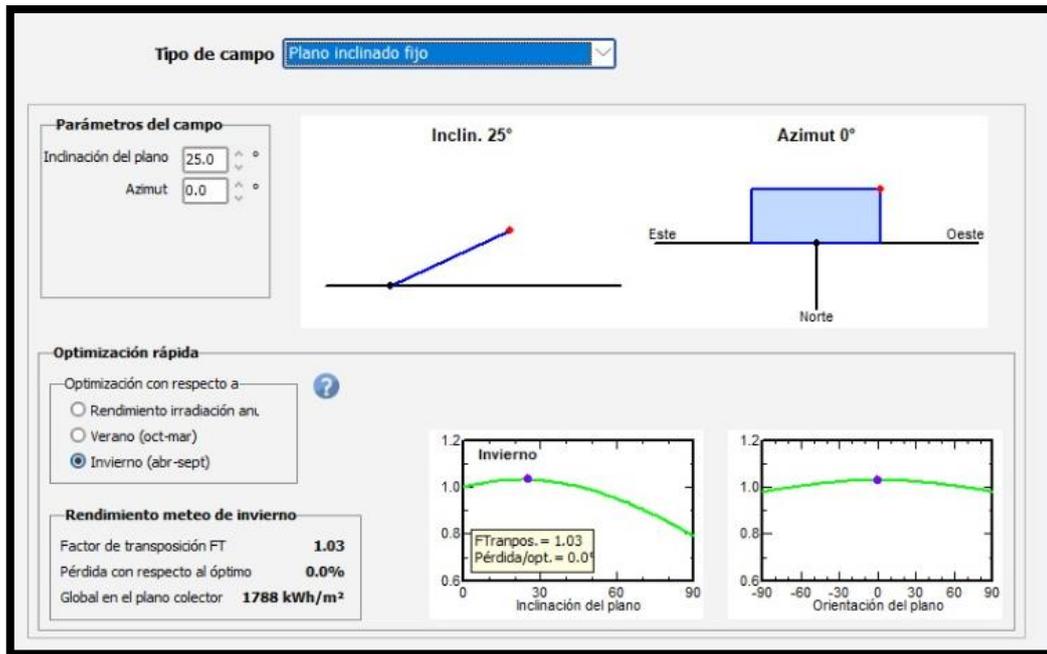


Ilustración 9 Angulo de inclinación óptimo con respecto a invierno

2.2.2 Sistema hidráulico y de bombeo

De los datos anteriormente encontrados tenemos que, para las necesidades diarias promedio, la presión promedio del sistema es de 118 kPa, y el volumen es de $9 \frac{m^3}{día}$, teniendo una energía hidráulica anual de 107 kWh, si dividimos para 8760 horas que tiene el año tenemos una potencia hidráulica diaria de 12.21 W y si le agregamos una autonomía al sistema de 4 días nos da como resultado 49 W. En resume tenemos lo siguiente:

Tabla 2 Resumen de las Necesidades diarias Promedio con una autonomía de 4 días

Necesidades diarias Promedio	
Presión del sistema:	118 kPa
Volumen	9 m ³ /día
Potencia Hidráulica	49W

Basado en estos datos se escogió una bomba de agua de superficie con un motor de corriente continua de imanes permanentes marca Shurflo de 140W con alcance de 7-29m, a continuación, se presentan los datos de placa en la **ilustración 10**:

Características de la bomba			
Tecnología de bomba	Membrana/Diafragma		
Motor	Motor CC, imán permanente		
Potencia máxima	140 W	Voltaje	12 V
		Corriente máx.	10.8 A
Presión Mín / Nom / Máx	69	206	284 kPa
Caudal corresp.	0.7	0.4	0.2 m ³ /h
Potencia corresp.	65	65	65 W
Eficiencia	20.1	36.7	28.4 %

Ilustración 10 Datos de Placa de la Bomba de agua

Esta bomba fue seleccionada tomando en cuenta la presión nominal y el caudal nominal, ya que la presión nominal es de 206 kPa que puede con normalidad satisfacer la presión del sistema de 118 kPa, y el caudal nominal promedio día es de 0.4 m³/h que satisface con normalidad 0.375 m³/h, teniendo una eficiencia del 36.7 %, se escoge esta bomba de la **ilustración 11** por el voltaje y la corriente máxima que consume ya que para el sistema híbrido entre el panel solar y baterías es un voltaje accesible, teniendo una potencia máxima de 140 W la cual es posible suministrar por medio de un panel solar comercial.



Ilustración 11 Bomba de agua Shurflo de 70w a 12V DC

2.2.3 Diseño del sistema eléctrico de Fuerza

Selección del panel fotovoltaico (FV)

Se busco dentro del programa un FV que pueda satisfacer las necesidades eléctricas de la carga que es la bomba de agua. Para esto buscamos un panel que genere el doble de voltaje para garantizar que en situaciones críticas donde haya poca irradiancia en el plano, el FV comercial que encontramos uno distribuido por Shenzhen Caibo Solar Technology Co., Ltd como muestra la **ilustración 12**, teniendo los siguientes datos:

Tabla 3 Datos eléctricos del Panel Fotovoltaico (FV)

DATOS ELECTRICOS EN STC	
Potencia máxima (Pmax)	250 Wp
Voltaje a máxima potencia (Vmp)	30,68 V
Corriente a máxima potencia (Imp)	8,31 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	37,31 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,06 A
Eficiencia del panel	15,40%
Tolerancia de potencia (positiva)	3%

Tabla 4 Datos Físicos del Panel Fotovoltaico (FV)

DATOS FÍSICOS	
Tipo de celda	silicio policristalino
Longitud	1655 mm
Anchura	992 mm
Espesor	45,0 mm
Peso	22,5 kg



Ilustración 12 Panel solar de 250 Wp policristalino

Después pasamos al diseño del sistema eléctrico en donde definimos los días de autonomía del sistema, para luego calcular la energía gastada por la carga y partiendo de esto y por criterios ingenieriles seleccionamos el banco de baterías, paneles solares y el convertidor, para la parte de control se escogió el uso de un PLC s7-1200 de la marca Siemens con la instrumentación que requiere el sistema.

Una vez que seleccionamos el panel lo ingresamos los datos al programa PVsyst 7.1 para simularlo, dirigiéndonos a la sección de diseño de subconjunto en la parte de selección del módulo FV abrimos, escogemos un panel parecido y abrimos su carpeta para ingresar los datos como muestra la **ilustración 13**:

Ilustración 13 Diseño del Subconjunto

Parámetro	Valor
Derivación R	200 Ω
Rderiv(G=0)	800 Ω
Modelo serie R	0.33 Ω
Serie R máx.	0.36 Ω
Serie R aparente	0.49 Ω
Gamma	0.944
IoRef	0.06 nA
muVoc	-125 mV/°C
muPMax fijo	-0.41 /°C

Ilustración 14 Datos Básicos

En la **ilustración 14** se modificó el voltaje máximo pico (V_{mpp}), el voltaje de circuito abierto (V_{oc}), la corriente de cortocircuito (I_{sc}), la corriente máxima pico (I_{mpp}), así como la potencia nominal pico (W_p).

Datos básicos | Tamaños y tecnología | Parámetros del modelo | Datos adicionales | Comercial | Gráficos

Descripción **AEG, AS-P605-280**

Módulo		Células	
Longitud	1655 mm	En serie	60
Anchura	992 mm	En paralelo	1
Espesor	45.0 mm	Área celular	N/A cm ²
Peso	22.50 kg	Núm. total células	60
Área módulo	1.642 m ²	Área células	N/D m ²

La definición del tamaño del Módulo es obligatoria: se utiliza para la determinación de la eficiencia "usual"
El área de células es facultativa: si se define, permite la definición de la eficiencia a nivel celular.

Tecnología y especificidad del módulo

Marco: Anodized Aluminum, silver color or black color
Estructura: 3.2 mm tempered glass, AR coating, High transparency
Conexiones: EVA, backsheet
IP67 junction box, MC-4 compatible connectors

Voltaje máximo del conjunto
Voltaje absoluto máximo del conjunto en cualquier condición (es decir, V_{oc} a la temperatura ambiente más baja posible).
Voltaje máximo IEC: 1000 V
Voltaje máximo UL (US): 1000 V

Diodos de protección de derivación
Núm. de submódulos: 3 /módulo
(es decir, diodos de derivación funcionales)
Partición submódulo:
 En longitud
 De ancho
 Medias células gemelas
 Células de tejas

Módulo teja
 CFV: módulo de concentración
 Módulo bifacial

Ilustración 15 Tamaños y Tecnologías

En la **ilustración 15** se modificó las dimensiones del panel: su longitud, su anchura, su espesor, su peso y el número de células que tiene en este caso 60 células conectadas en serie.

Sistema de control para fijar el voltaje de la bomba

Luego el programa nos pidió colocar el módulo de control y controlador, ya que la carga debe mantener un voltaje fijo de 12V y este controlador permite estabilizar el voltaje que le llega a la carga para este caso necesitamos un convertidor reductor a 12V como se observa en la **ilustración 16**, se realizó una simulación en Matlab del sistema de regulación de voltaje agregando tanto los datos del panel y de la carga (bomba de agua).



Ilustración 16 Regulador de batería

Almacenamiento de energía en banco de baterías.

Para esta parte se crea un nuevo proyecto, pero ahora se escoge un sistema independiente, como se observa en la **ilustración 17**:



Ilustración 17 Ventana de diseño y simulación de proyecto

Se ingreso la misma localización del proyecto de bombeo, y los parámetros de orientación se ingresan de igual manera, en los parámetros de necesidades de usuario se ingresa la carga que se va alimentar, en este caso se ingresa la Bomba de agua con una potencia de 140 W en un uso diario de 15 h, ingresamos este dato en el simulador y nos calcula que se gastara una energía de 852.05Wh diarias. En definición de consumo lo marcamos en estaciones debido a que lo diseñamos para los meses de verano, luego marcamos la distribución por hora en un reloj que nos indica en que horarios estará activo el sistema, para este se colocó en horarios nocturnos ya se almacenará energía en el

día y se utilizará en la noche como se observa en la **ilustración 18** e **ilustración 19**, Guardamos todos los cambios y vamos al siguiente parámetro.

Definición de consumos domésticos diarios para Verano (dic-feb).

Consumo
Distribución por hora

Consumos diarios

Número	Aparato	Potencia	Uso diario	Distrib. por hora	Daily energy
<input type="text" value="0"/>	Lámparas (LED o fluo)	<input type="text" value="0"/> W/lámpara	<input type="text" value="0.0"/> h/día		0 Wh
<input type="text" value="0"/>	TV / PC / móvil	<input type="text" value="0"/> W/apar.	<input type="text" value="0.0"/> h/día		0 Wh
<input type="text" value="0"/>	Electrodomésticos	<input type="text" value="0"/> W/apar.	<input type="text" value="0.0"/> h/día		0 Wh
<input type="text" value="0"/>	Nevera / congelación profunda	<input type="text" value="0.00"/> kWh/día	<input type="text" value="0.0"/>		0 Wh
<input type="text" value="0"/>	Lavaplatos y lavadora	<input type="text" value="0.0"/> W prom	<input type="text" value="0.0"/> h/día		0 Wh
<input type="text" value="2"/>	Bomba_H2O	<input type="text" value="140"/> W/apar.	<input type="text" value="15.0"/> h/día	OK	4200 Wh
<input type="text" value="0"/>	Otros usos	<input type="text" value="0"/> W/apar.	<input type="text" value="0.0"/> h/día		0 Wh
Consumidores en espera		<input type="text" value="1"/> W tot	<input type="text" value="24"/> h/día		<input type="text" value="24"/> Wh
Energía diaria total					4224 Wh/día
Energía mensual					126.7 kWh/mes

? Info aparatos

Definición de consumo por

Años

Estaciones

Meses

Fin de semana o uso semanal

Usar solo durante

días en una semana

Mostrar valores de

Verano

Otoño

Invierno

Primavera

Ilustración 18 Consumo de energía diaria

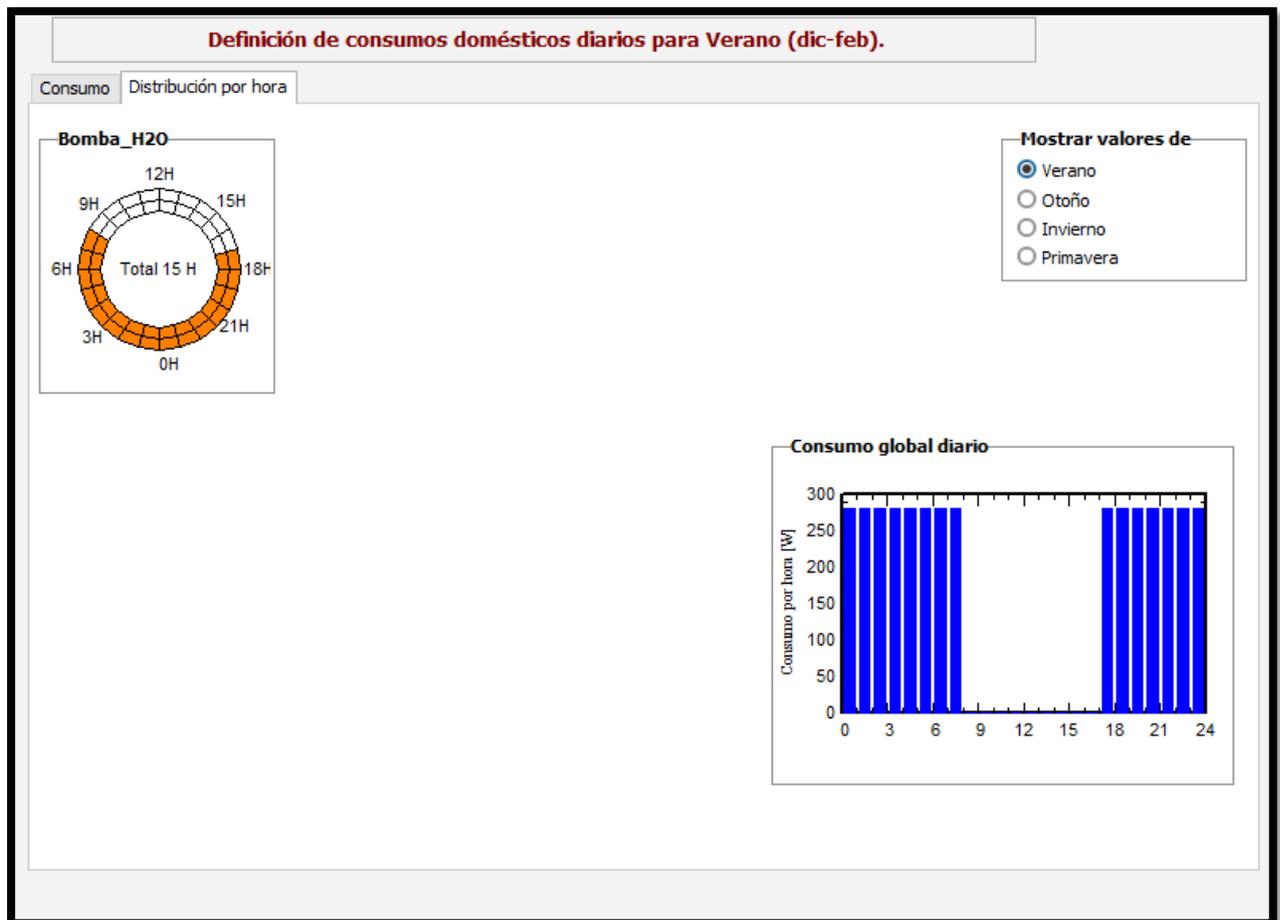


Ilustración 19 Distribución del uso por hora de las baterías

En el parámetro de sistema se escoge la opción de conjunto fotovoltaico donde se realiza el mismo procedimiento de escoger el panel solar genérico y modificar los parámetros para que sea igual a uno comercial, revisar las **ilustraciones 13,14,15**. Para la parte del convertidor cc-cc se utiliza un cargador de baterías en base a troceadores, el cual estaría compuesto por una clase B y una clase C como se ve en la **ilustración 20**.

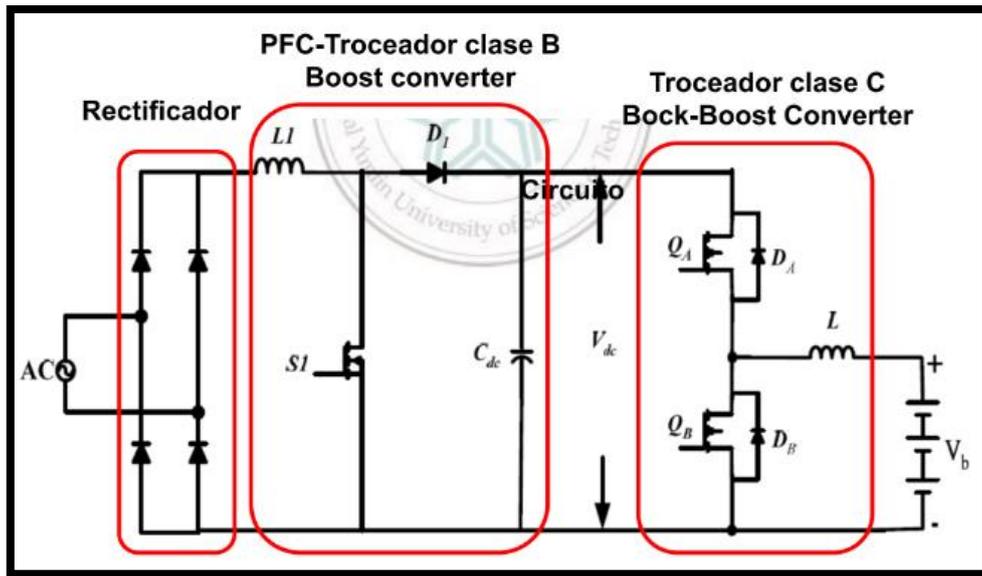


Ilustración 20 Sistema para cargar baterías



Ilustración 21 Controlador de Energía Solar

Una vez ingresado el controlador de carga se guardan los cambios y se procede a la opción de almacenamiento en donde se escogerá la batería a utilizar, para este caso se escogió una de tipo plomo-acido como indica la **ilustración 21**:

Tabla 5 Datos de la Batería

Datos de placa de la batería	
Voltaje del paquete de baterías	12 V
Capacidad Global	160 Ah
Energía almacenada (80% DOD)	1,5 kWh
Peso total	74 kg
Num. De ciclos a 80% DOD	1300

Sistema global para el modo operación

Teniendo un total de energía almacenada es de 2133 kWh durante su vida útil que es de 5 a 6 años, finalmente el programa nos da un esquema simplificado y un resumen del sistema:

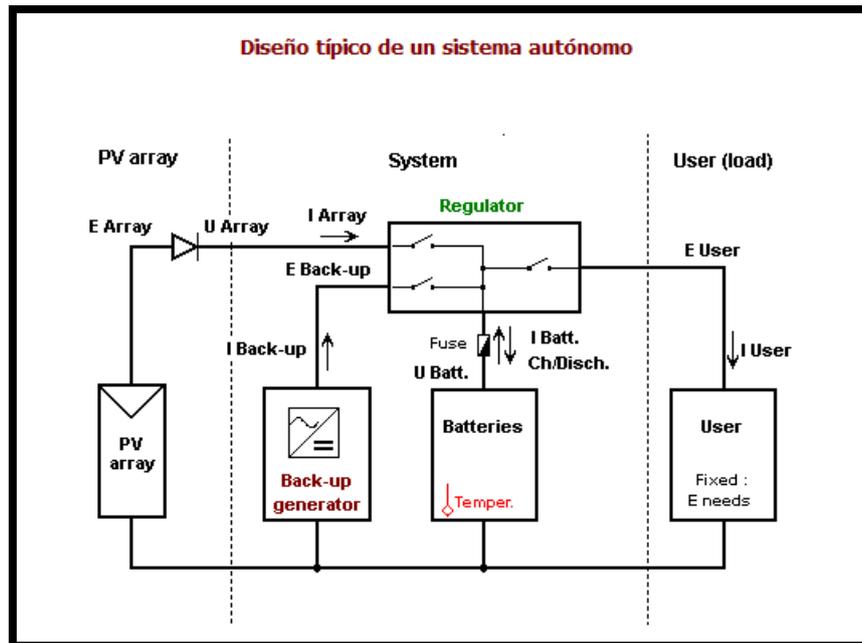


Ilustración 22 Sistema Simplificado tipo isla

Necesid. usuario	Hogar	Potencia prom.	77 W
	Proporción nocturna 49.2%	Energía día	1.85 kWh
Paquete de baterías	1 en paralelo, 12 V	Capacidad	160 Ah
	Autonomía 0.8 día	Energía almacenada	1.54 kWh
Conjunto FV	1 cadena(s) de 1 módulos	Potencia nom.	255 Wp
	PV/PLoad 3.3	Energía prom. día	0.80 kWh
Controlador	CC-CC universal	Potencia nom.	222 W
	PV/PConv 1.15	Umbral	según SOC

Ilustración 23 Resumen del sistema



Ilustración 24 Baterías Solar

Sistemas de accionamiento de fuerza

Contactores

El contactor utilizado posee su bobina de excitación dc de 12 v de la marca kilovac, el contacto de fuerza puede soportar hasta 500 a y un límite de 900 vDC, se puede ver la **ilustración 25**.

Electrical Characteristics	
Actuating System	DC
Coil Voltage (Max)	12 VDC
DC Contactor Coil Resistance	11 Ω
DC Contactor Coil Voltage Rating	12 VDC
DC Contactor Contact Switching Voltage (Max)	900 VDC

Ilustración 25 Características del Contactor

Sistema de inversión de energía

El invertir empleado nos proporciona 1000w lo cual es suficiente para alimentar cargas Ac que se requieran en el sistema; a su entrada recibe 24V DC, teniendo en cuenta que a su salida nos da voltajes alternos de 230V/220V/240V/110V. La eficiencia de este invertir es aproximadamente 0.90, se puede ver la **ilustración 26**

DC24V input, AC230V/AC220V/240V/110V 1-phase output;
Frequency: 50/60 Hz; Rated Output Capacity: **1000W**
Pure sine-wave output, off-grid with grid power switch type,
with transformer; with charger; inverting efficiency reaching
90%;

Ilustración 26 Características del inversor

2.3 Etapa de diseño de control

Para esta etapa se procede hacer el control del cambio de un sistema de alimentación, el monitoreo de las variables de corriente y voltaje de la carga, así como la temperatura del motor usando un **PLC S7-1200** con **CPU 1212C AC/DC/Rly versión 4.2**, el cual tiene las siguientes características:

Memoria de trabajo 75KB; fuente de alimentación 120/240V AC con DI8 x 24V DC SINK/SOURCE, DQ6 x relé y AI2 integradas; 4 contadores rápidos (ampliables con Signal Board digital) y 4 salidas de impulso integradas; Signal Board amplía E/S integradas; hasta 3 módulos de comunicaciones para comunicación serie; hasta 2 módulos de señales para ampliación E/S; 0,04ms/1000 instrucciones; interfaz PROFINET para programación, HMI y comunicación PLC-PLC.

También se usó un módulo de expansión **6ES7 231-4HD32-0XB0**, con versión de firmware 2.0 con la siguiente descripción:

Módulo de entradas analógicas AI4 x 13 bits; bloques de bornes enchufables; entradas: 2,5V, 5V, 10V y 0/4...20mA; supresión de frecuencias parametrizable; filtrado parametrizable; diagnóstico parametrizable.

Para la parte de la visualización se usó una pantalla HMI **6AV6 647-0AD11-3AX0**, versión 12.0.0.0 con la siguiente descripción: Pantalla de 5.7" TFT, 320 x 240 pixeles, Colores 256; Manejo táctil o con teclado, 6 teclas de función; 1 x PROFINET.

Los sensores que se usaran son:

Sensor de corriente ACS712

Este sensor se lo puede usar para medir corriente continua como corriente alterna, para nuestra aplicación se la uso para medir corriente continua ya que la carga es DC, en el mercado se encuentran dos versiones de este sensor uno de ellos es con un rango de corriente de -5 a 5 A, el segundo con un rango de corriente de -20 a 20 A y el tercero con un rango de corriente de -30 a 30 A, se escogió el segundo, se puede obtener más información en la **ilustración 27**.

x20A PERFORMANCE CHARACTERISTICS ¹ T _A = -40°C to 85°C, C _F = 1 nF, and V _{CC} = 5 V, unless otherwise specified						
Characteristic	Symbol	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Optimized Accuracy Range	I _P		-20	-	20	A
Sensitivity	Sens	Over full range of I _P , T _A = 25°C	96	100	104	mV/A
Noise	V _{NOISE(PP)}	Peak-to-peak, T _A = 25°C, 100 mV/A programmed Sensitivity, C _F = 47 nF, C _{OUT} = open, 2 kHz bandwidth	-	11	-	mV
Zero Current Output Slope	ΔI _{OUT(O)}	T _A = -40°C to 25°C	-	-0.34	-	mV/°C
		T _A = 25°C to 150°C	-	-0.07	-	mV/°C
Sensitivity Slope	ΔSens	T _A = -40°C to 25°C	-	0.017	-	mV/A/°C
		T _A = 25°C to 150°C	-	-0.004	-	mV/A/°C
Total Output Error ²	E _{TOT}	I _P = ±20 A, T _A = 25°C	-	±1.5	-	%

¹Device may be operated at higher primary current levels, I_P, and ambient temperatures, T_A, provided that the Maximum Junction Temperature, T_{J(max)}, is not exceeded.

²Percentage of I_P, with I_P = 20 A. Output filtered.

Ilustración 27 Características del sensor ACS712

Para poder usar este sensor se debe usar la siguiente formula encontrada en el DataSheet.

$$I_{real} = \frac{I_{leida} - 2.5}{Sencibilidad} * 100$$

Sensor de Voltaje FZ0430

El sensor utilizado es el FZ0430 este sensor se basa en un divisor de tensión eléctrica mediante el cual nos permite medir voltajes, que llegan hasta los 25 v, La resolución que posee es de 24,45mv lo que lo convierte en un buen medidor de estados de baterías, se puede ver la **ilustración 28**.

- Medidor de voltaje
- Voltaje de alimentación mínimo: 3.3 V
- Voltaje de alimentación máximo: 5 V
- Voltaje de entrada mínimo: 0 V
- Voltaje detección entrada máximo:
 - 25 V (5 V x 5 = 25 V)
 - 16.5 V (3.3 V x 5 = 16.5 V)
- Voltaje de detección mínima: 24,41 mV
- Voltaje de detección máxima: 25 V
- Resolución analógica de tensión: 0.00489 V
- Tipo de salida: Analógica
- Modelo: FZ0430

Ilustración 28 Características del sensor de Voltaje FZ0430

Sensor de Temperatura

Screw-in de temperatura RTD sondas (TM1107)

Estas sondas de temperatura RTD atornilladas se las emplean para medir la temperatura en equipos mecánicos, incluidos calentadores, plantas, equipos mecánicos, generadores, etc. [8].

En la **ilustración 29** podemos ver al sensor y en la **ilustración 30** los datos técnicos de este.



Ilustración 29 Sensor de Temperatura Pt100. [8]

Datos técnicos	
Cable de conexión:	silicona, rango de temperatura: -50 °C ~ + 180 °C
	Teflón, rango de temperatura -50 °C ~ + 260 °C
	Fibra de vidrio, rango de temperatura: -50 °C ~ + 350 °C
Tubo de protección:	acero inoxidable 304/316, OD = 4 mm, 5 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm
Elemento sensor:	Pt100, Pt500, Pt1000 cumple con IEC 751
Tolerancia: Clase B:	$\Delta t = \pm (0.30 + 0.005 t) \text{ °C}$
	Clase A: $\Delta t = \pm (0.15 + 0.002 t) \text{ °C}$
Tiempo de respuesta:	t 0,9 aprox. 10 segundos, en agua 0,2 m / seg, diámetro 6 mm

Ilustración 30 Datos Técnicos del sensor de Temperatura Pt100. [8]

Convertidor Optoaislador Pt100 / V-I (K109PT)

Ya que nuestro sensor necesita no da valores de resistencia que cambia con la temperatura necesitamos un convertidor que entregue valores de voltaje o corriente para poder ser leído por el PLC, el cual tiene una entrada de voltaje de 19.2 a 30 VDC, para los puede ser alimentada por nuestras baterías, se puede ver en la **ilustración 31** los datos técnicos de este transductor, y en la **ilustración 32** la figura del convertidor.

TECHNICAL DATA	
ORDER CODE :	K109PT
DESCRIPTION:	Pt100 converter
POWER SUPPLY:	19,2..30 Vdc
INPUT:	Nr 1 channel, Pt100, -150...+650 °C, min span 50°C
OUTPUT:	Nr 1 channel, voltage (0..10 / 10..0 / 0..5 / 1.5 V) and current (4..20 / 20..4 / 0..20 / 20..0 mA)
INSULATION:	1,5 kV (50 Hz, 1 min)
DIMENSIONS WXHXD:	6,2x93,1x102,5 mm

Ilustración 31 Datos Técnicos [9].



Ilustración 32 Convertidor K109PT [9].

2.3.1 Control de Alimentación

En esta etapa se realizará la programación del cambio de alimentación, es decir que la carga (Bomba de Agua DC) se alimente del Panel solar o del banco de baterías, para esto se dispone de dos modos, un modo manual en donde el operario puede hacer el cambio de alimentación por medio de un selector teniendo a consideración las variables de voltaje, corriente y potencia del panel y del banco de baterías el otro modo es el modo manual en donde por medio de las variables antes mencionadas se controlara el cambio de alimentación, dependiendo de la potencia suministrada y el Voltaje en circuito abierto cuando la carga no esté conectada, en la **ilustración 33** se puede observar el diagrama de flujo de este control.

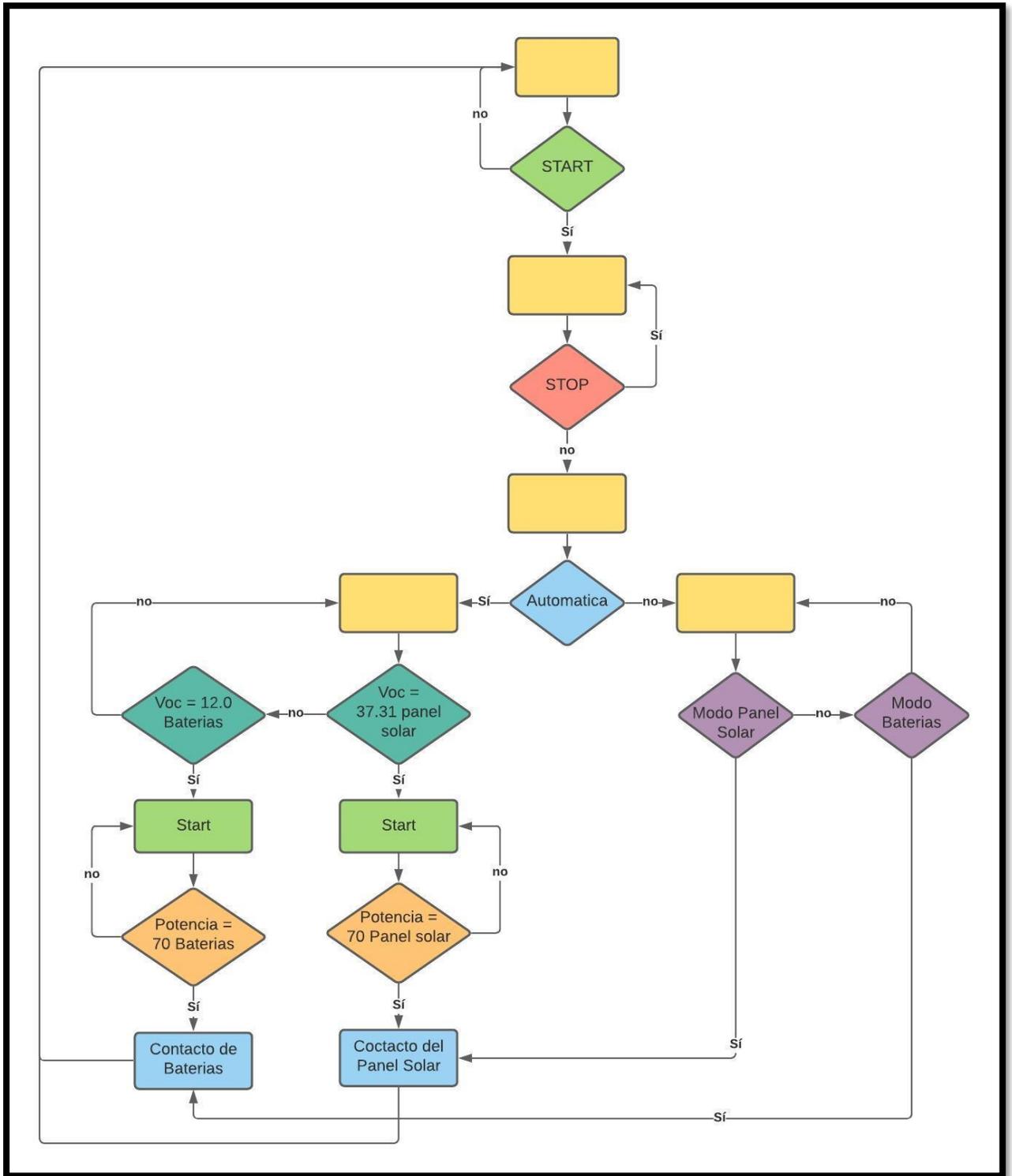


Ilustración 33 Diagrama de flujo del Control de Alimentación

2.3.2 Control de llenado y censado de variables.

En esta etapa estará el censado de las variables de Voltaje, Corriente tanto del panel hacia la carga, como de las baterías hacia la carga y para esto primero se lee las entradas analógicas Iw64 que es la entrada de corriente del panel, Iw66 que es la entrada de voltaje del panel, para los demás sensores se usó las entradas del módulo de expansión, Iw96 para el sensor de corriente de las baterías, Iw98 para el sensor de voltaje de las baterías, Iw100 para el sensor Pt100, luego de eso se normaliza los valores enteros a valores reales para luego escalarlos respectivamente, llevando estos valores a un bloque de datos para posteriormente usarlos como condicionantes del control; en la **ilustración 34** se puede observar el diagrama de flujo de este control.

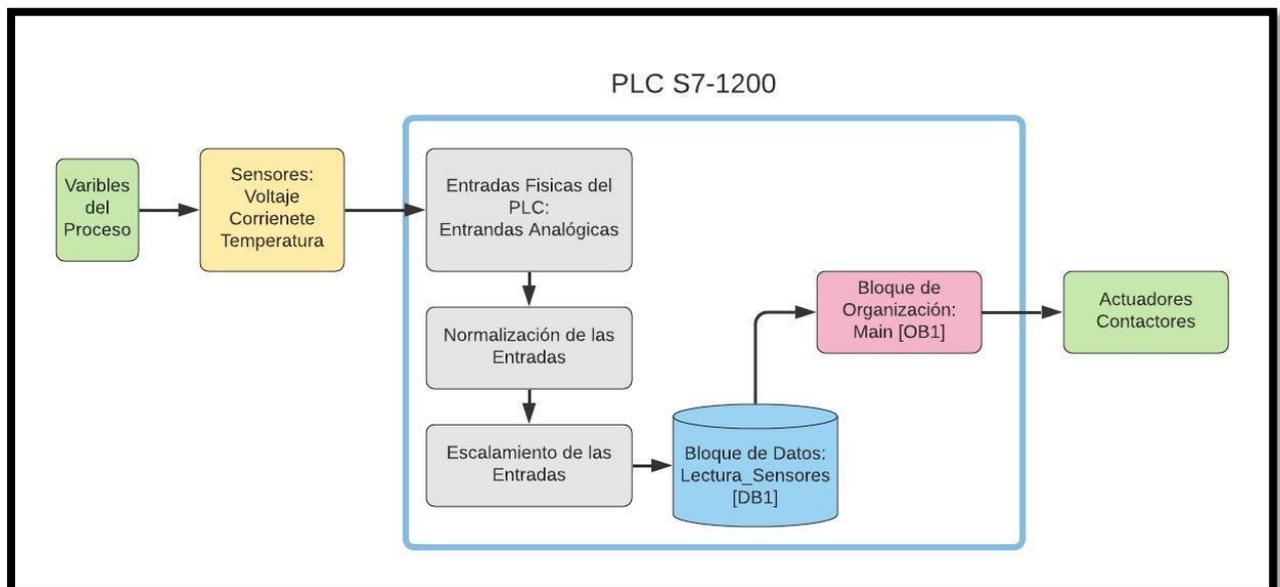


Ilustración 34 Diagrama de Flujo del censado de variables

2.3.3 Control de visualización

En esta etapa se procede a diseñar las pantallas de visualización para el operario en las que se encontraran los valores que nos indican los sensores así como señalización que indican en que parte del procesos se encuentra, también encontraran pantallas que darán información de los elementos del sistema, la comunicación que se realizara entre el PLC y la Pantalla HMI será por medio de Profinet, para esta comunicación se crearon marcas globales dentro de la programación para que de esta manera estas puedan ser

leídas y escritas desde la pantalla touch del HMI, en la **ilustración 35** se puede ver su diagrama de flujo.

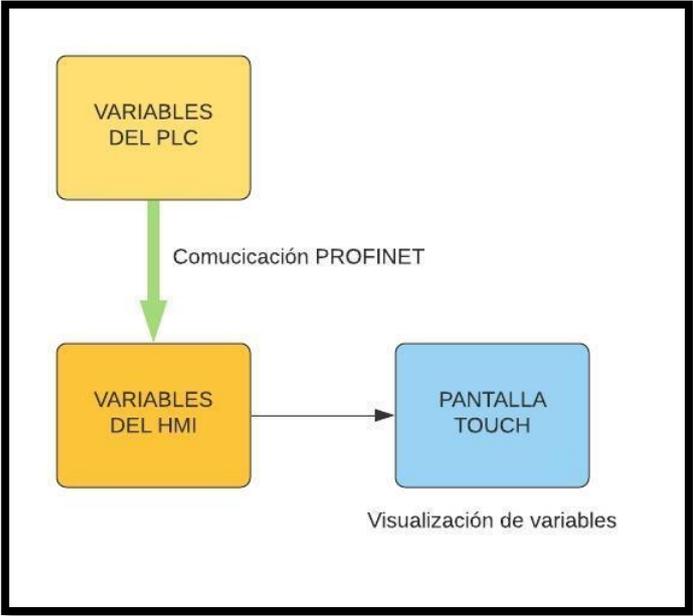


Ilustración 35 Diagrama de flujo del control de Visualización

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se muestra los resultados de la simulación en el programa PVsyst 7.0, los planos, diagramas, pantallas del HMI y simulaciones del código que se usó para la parte de control.

3.1 Resultados de la etapa de recolección de datos para el diseño

Para esta etapa se presenta las tablas obtenidas de los datos Meteorológicos usando Meteonorm 7.3

Tabla 6 Meteorológica y Energía Incidente

Simulacion_Tesis3 Meteo y energía incidente								
	GlobHor	DiffHor	T_Amb	WindVel	GlobInc	DifSInc	Alb_Inc	DifS_GI
	kWh/m ²	kWh/m ²	°C	m/s	kWh/m ²	kWh/m ²	kWh/m ²	proporción
Enero	138.0	81.72	26.33	1.1	113.3	52.84	1.292	0.000
Febrero	140.6	82.21	25.98	0.8	122.5	50.52	1.316	0.000
Marzo	168.1	82.86	26.32	0.9	158.5	47.08	1.573	0.000
Abril	153.1	81.78	26.19	1.1	155.1	48.55	1.433	0.000
Mayo	148.9	78.23	25.70	1.4	161.0	47.46	1.395	0.000
Junio	129.7	74.34	23.90	2.1	143.7	46.99	1.214	0.000
Julio	120.9	73.99	23.67	2.4	130.0	49.95	1.131	0.000
Agosto	137.1	83.03	23.51	2.6	141.7	52.62	1.283	0.000
Septiembre	154.7	78.85	23.44	2.7	149.1	46.23	1.449	0.000
Octubre	156.4	83.68	23.98	2.7	139.6	50.20	1.466	0.000
Noviembre	140.2	77.89	24.26	2.5	117.0	47.41	1.313	0.000
Diciembre	148.1	91.47	26.04	2.0	120.0	57.05	1.387	0.000
Año	1735.9	970.05	24.94	1.9	1651.6	596.90	16.251	0.000

Parámetros definidos en la tabla 6

- DifS_GI = Proporción Incidente Cielo Difuso/Global
- GlobHor = Irradiación horizontal global
- DiffHor = Irradiación difusa horizontal
- T_Amb = Temperatura Ambiente
- WindVel = Velocidad del viento
- GlobInc = Global incidente plano receptor

- DifSInc = Cielo Difuso incidente. Plano receptor.
- Alb_Inc = Albedo incidente en plano receptor

Tabla 7 Factores Ópticos

Simulacion_Tesis3						
Factores ópticos (Transp., IAM, sombreados)						
	GlobHor	GlobInc	FTransp	FIAMBm	FIAMGI	FIAMShd
	kWh/m ²	kWh/m ²	proporción	proporción	proporción	proporción
Enero	138.0	113.3	0.821	0.954	0.961	0.961
Febrero	140.6	122.5	0.872	0.967	0.967	0.967
Marzo	168.1	158.5	0.943	0.981	0.976	0.976
Abril	153.1	155.1	1.013	0.986	0.979	0.979
Mayo	148.9	161.0	1.081	0.989	0.982	0.982
Junio	129.7	143.7	1.108	0.990	0.981	0.981
Julio	120.9	130.0	1.076	0.990	0.980	0.980
Agosto	137.1	141.7	1.033	0.987	0.979	0.979
Septiembre	154.7	149.1	0.963	0.981	0.976	0.976
Octubre	156.4	139.6	0.892	0.973	0.970	0.970
Noviembre	140.2	117.0	0.835	0.967	0.966	0.966
Diciembre	148.1	120.0	0.810	0.955	0.960	0.960
Año	1735.9	1651.6	0.951	0.979	0.974	0.974

Parámetros definidos en la tabla 7

- GlobHor = Irradiación horizontal global
- GlobInc = Global incidente plano receptor
- FTransp = Factor de transposición GlobInc/GlobHor
- FIAMBm = Factor IAM en Haz
- FIAMGI = Factor IAM en global
- FIAMShd = Factores IAM y sombreados combinados en global

3.2 Resultados de la Etapa de diseño mecánico y eléctrico de fuerza

3.2.1 Resultados de la Ubicación del Panel

Se mostraron los resultados obtenidos al simular el sistema en PVsyst 7.1 tomando en cuenta que el panel tiene un área de 1.64 m², Datos Meteorológicos y que se escogió

un azimut de 0° e inclinación del panel de 25°, valores que según los datos eran los más óptimos.

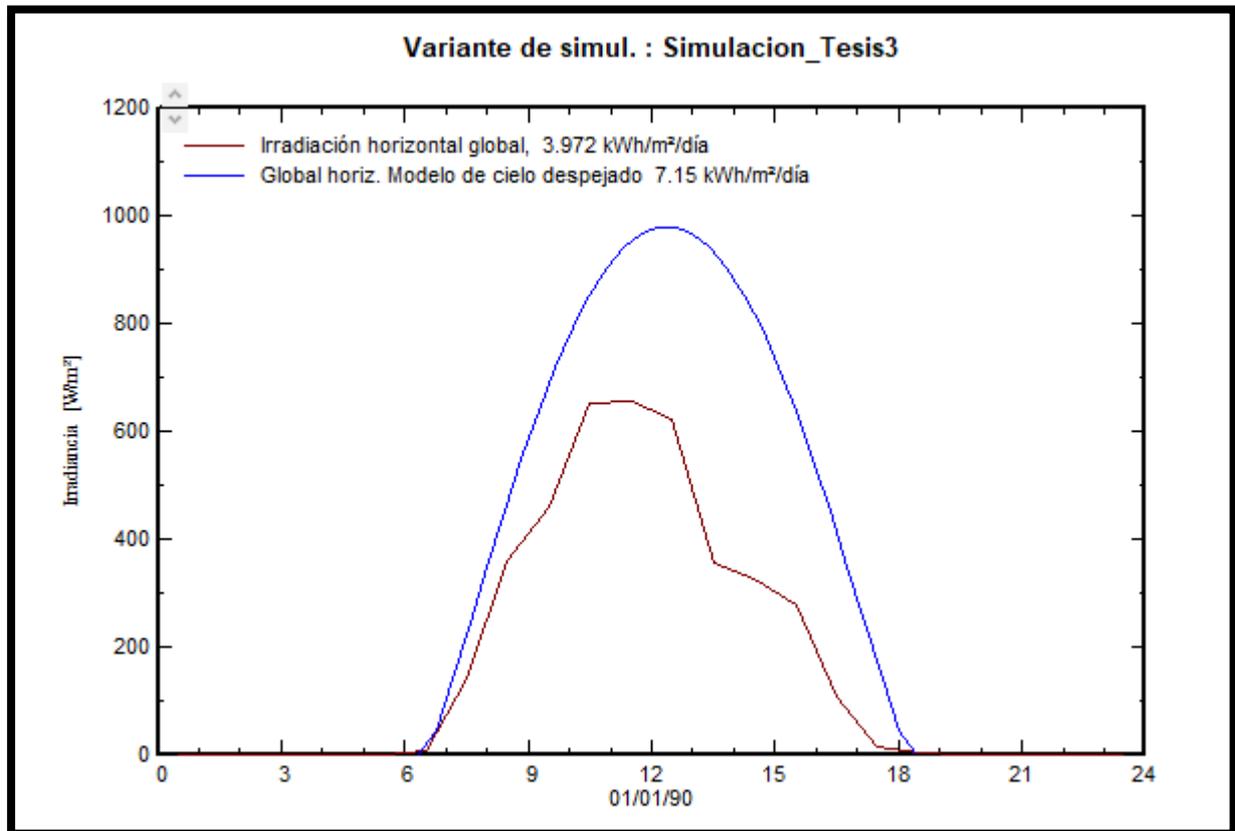


Ilustración 36 Irradiación horizontal global por hora

En la **ilustración 36** se pudo observar que tomando en cuenta el punto geográfico donde se va a instalar nuestro sistema y los valores registrados por la fuente de datos Meteonorm 7.3 se puede evidenciar que la curva de irradiación horizontal global en un día no se aproxima a los valores óptimos de un día despejado debido al clima del lugar, pero aun así los resultados son favorables para la carga que el panel alimentara ya que en sus niveles más bajos este alcanza un valor de Potencia de 200 W para una carga de 70 W.

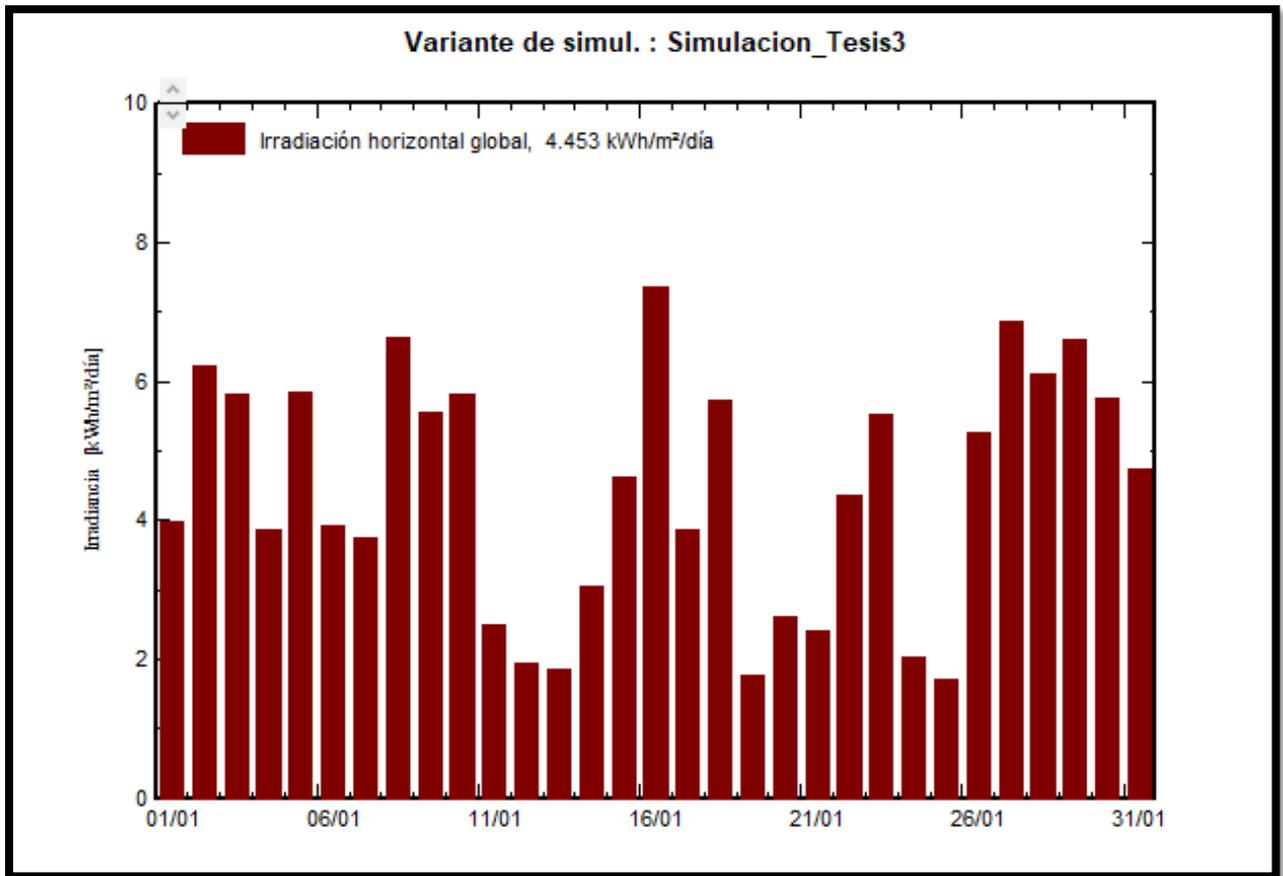


Ilustración 37 Irradiación horizontal global por día

Tomando como referencia la **ilustración 36**, en la **ilustración 37** se muestra que la irradiación en los días más bajos es de 1.8 kW/m² al día por lo en el día se obtendría un aproximado de 75 kW valor que aun satisface la carga de 70 kW.

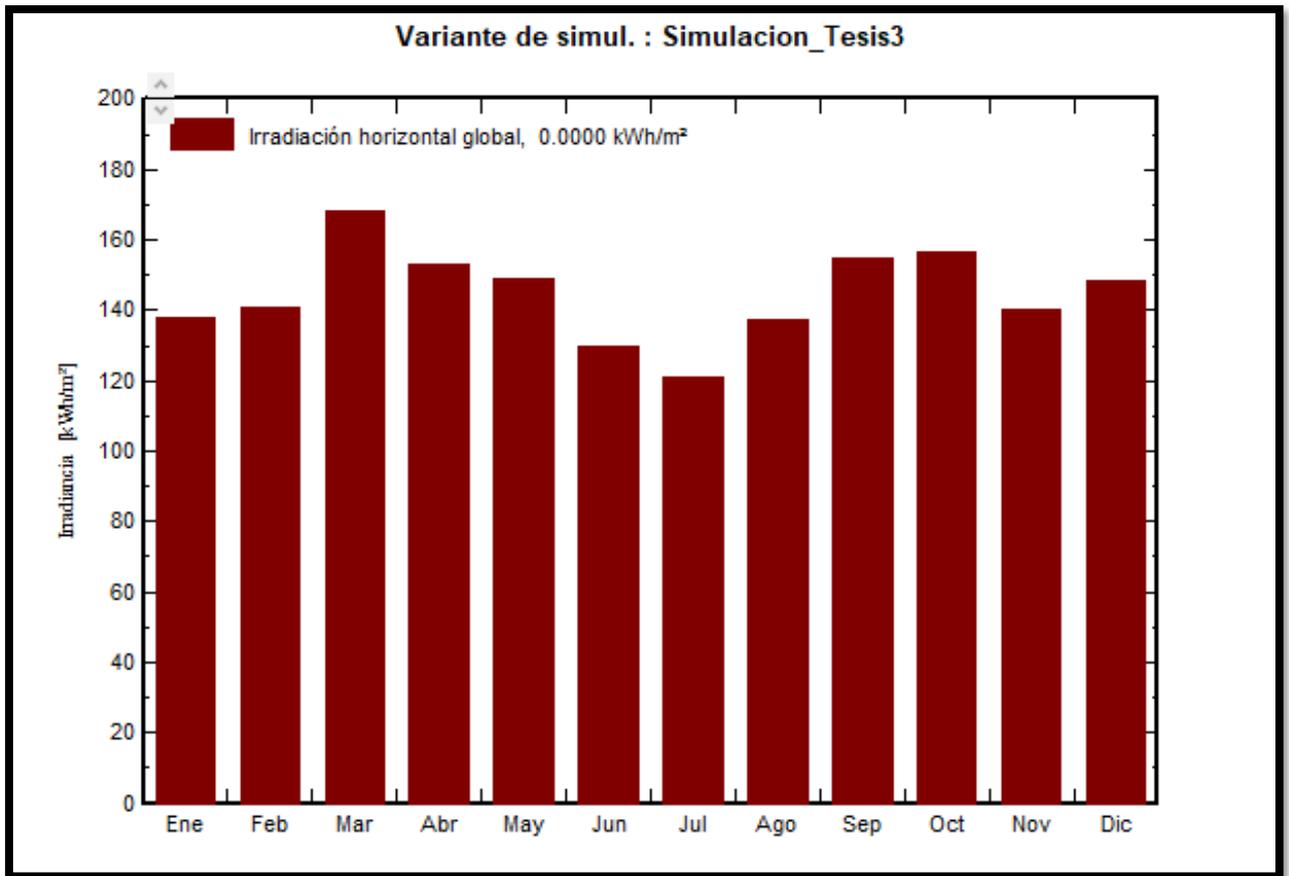


Ilustración 38 Irradiación horizontal global por mes

De igual manera en **ilustración 38** se puede ver que la variación de irradiación no fluctúa en gran medida dando a entender que en los meses con irradiación más baja como es el caso de Julio, este alcanza un valor aproximado de 120 kWh/m², valor satisfactorio debido a que proporciona la suficiente energía para nuestra carga de 70 kW, estos valores son obtenidos por la fuente Meteorológica, pero ahora se presentara en la **ilustración 39** la irradiación recibida por el panel o plano colector el cual no varía en gran medida son los valores presentados anteriormente, en donde el valor de irradiación más bajo es en Enero con una potencia aproximada de 111 Kwh/m² valor aun satisfactorio para nuestra carga.

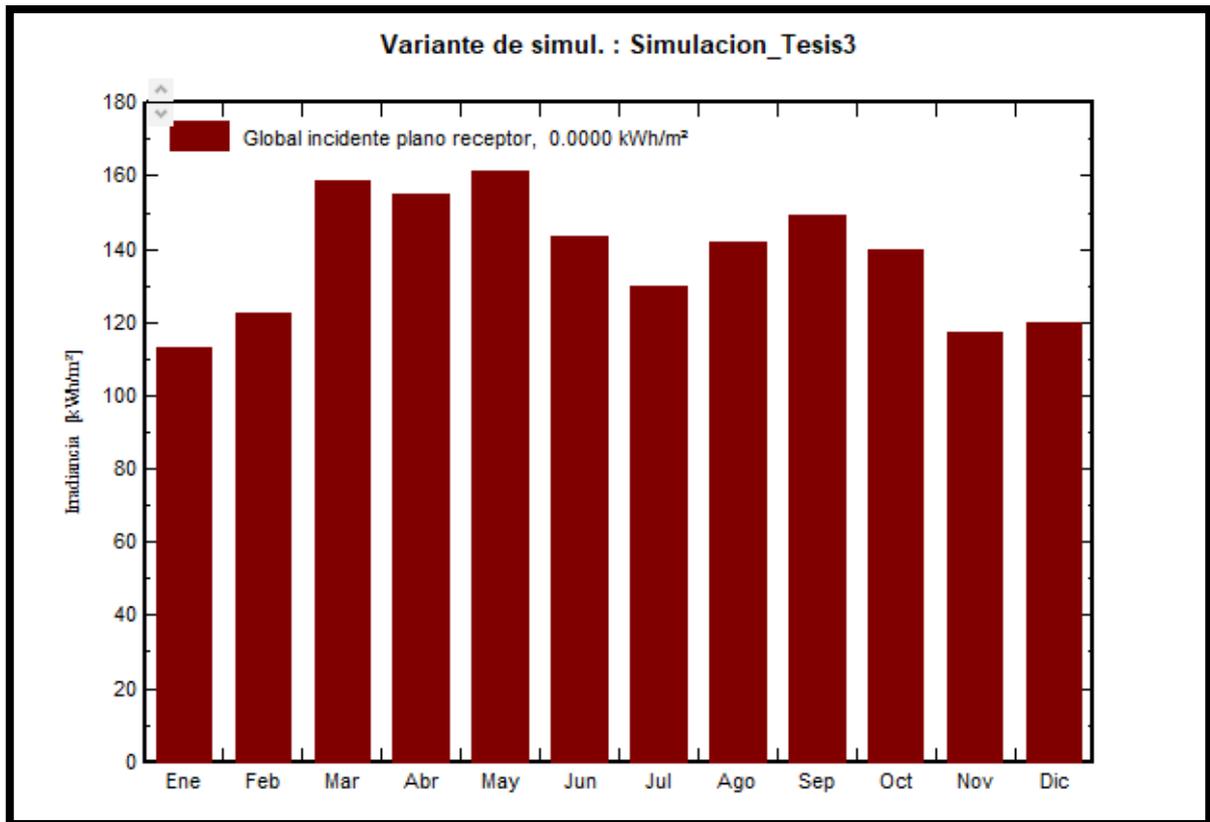


Ilustración 39 Irradiación incidente en plano colector

3.2.2 Resultados del sistema hidráulico

Se mostraron los resultados de las simulaciones realizadas en el programa PVsyst 7.1 con respecto a la bomba y su rendimiento energético en el transcurso del año.

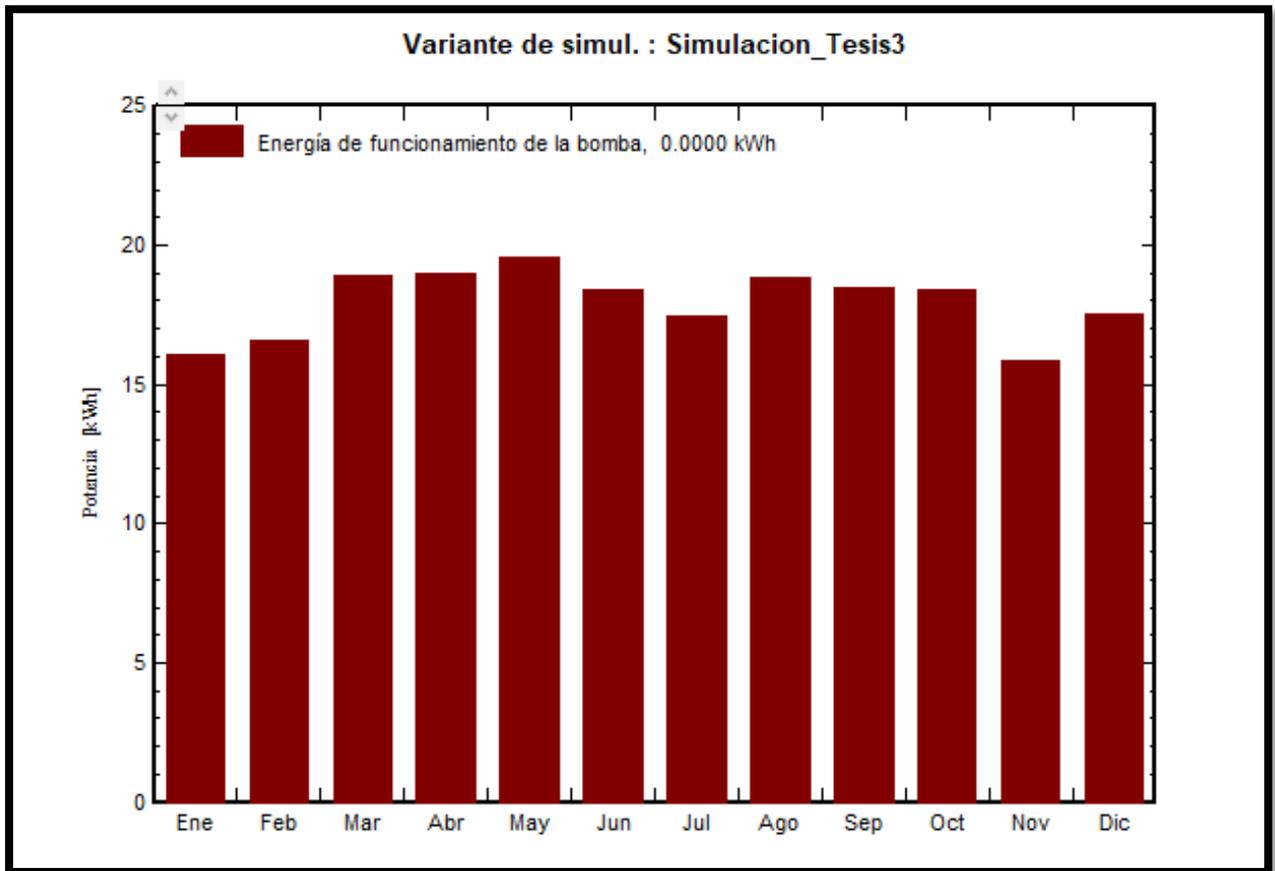


Ilustración 40 Energía de funcionamiento de la bomba mensual

Pudimos comprobar en la **ilustración 40** el funcionamiento de la bomba con la energía que esta utiliza durante todo el año, en donde se pudo evidenciar que en los niveles más bajos esta llega a cumplir con los valores otorgados por la fuente, y los niveles más altos que son nuestros valores críticos aún pueden ser satisfactoriamente suministrados por nuestro panel solar.

3.2.3 Resultados del Sistema Eléctrico de Fuerza

En esta etapa se analiza los resultados del comportamiento del conjunto FV (campo)

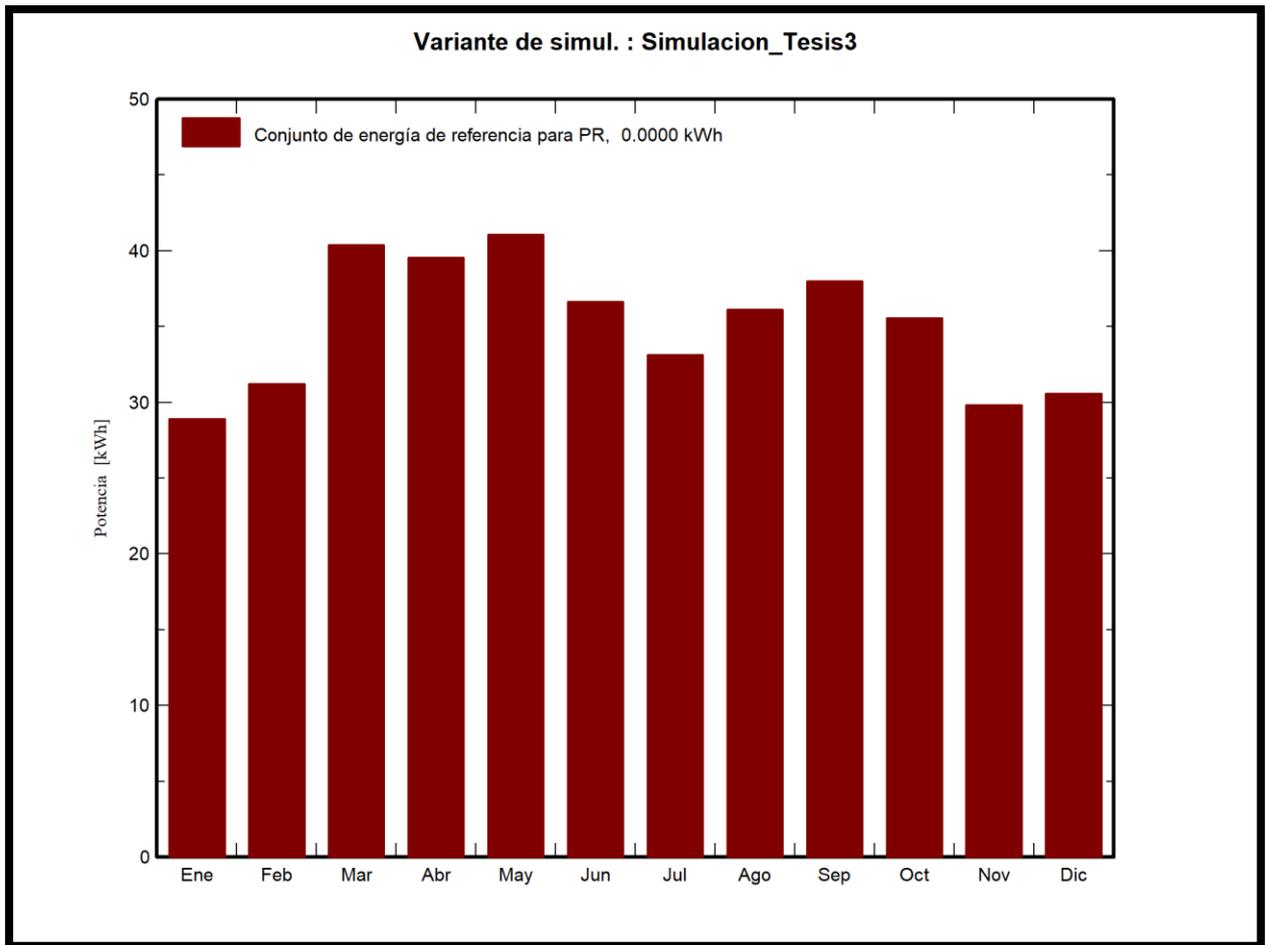


Ilustración 41 Referencia Energética para el Panel Receptor

En la **ilustración 41** se da una referencia de la energía que puede recibir el panel receptor según los datos que se ingresaron en el programa PVsyst 7.1, de esta manera se podrá realizar una comparación con los resultados presentados en adelante.

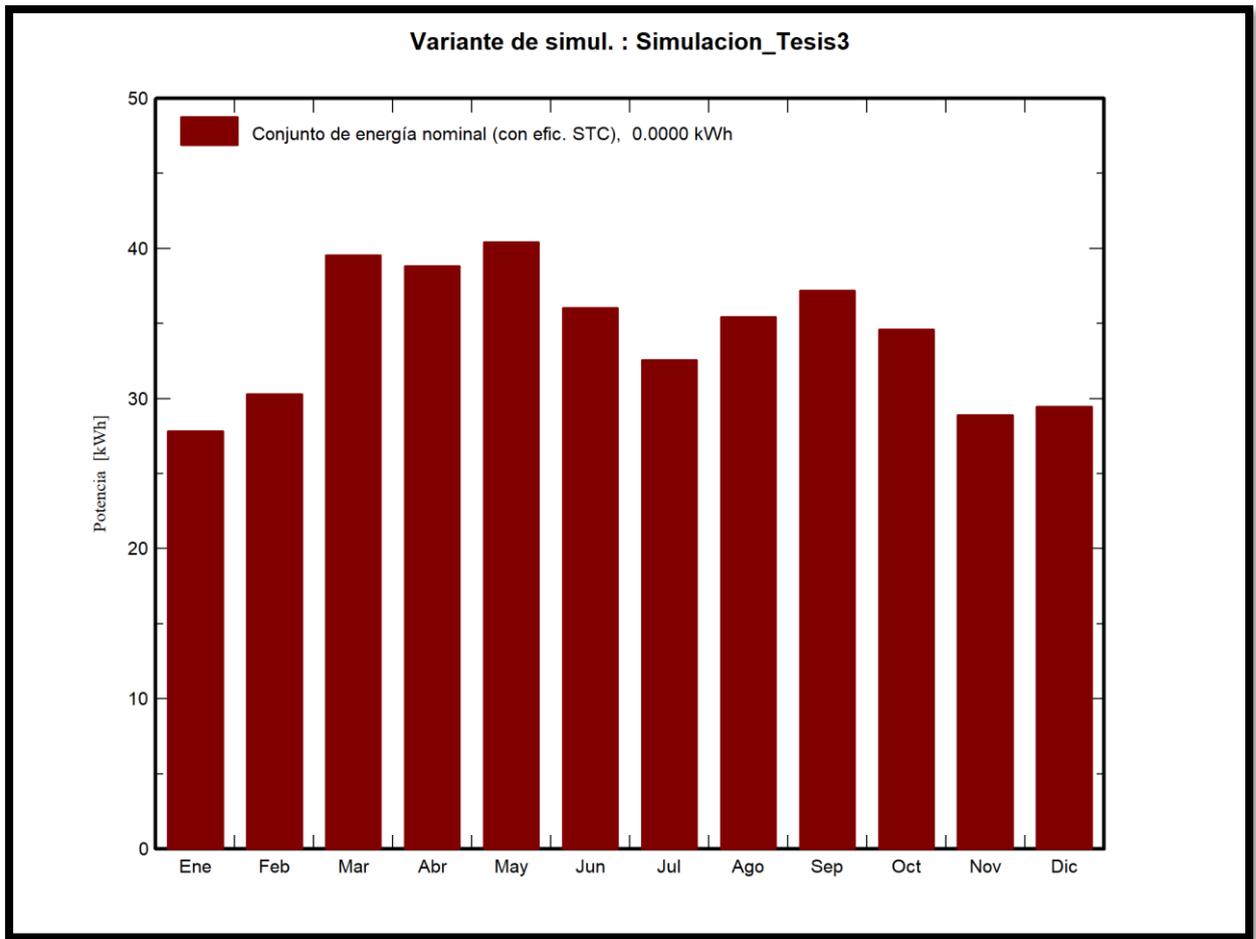


Ilustración 42 Conjunto de energía nominal

En la **ilustración 42** podemos encontrar que estos valores se aproximan a los valores de referencia teniendo una diferencia de 5 % aproximadamente.

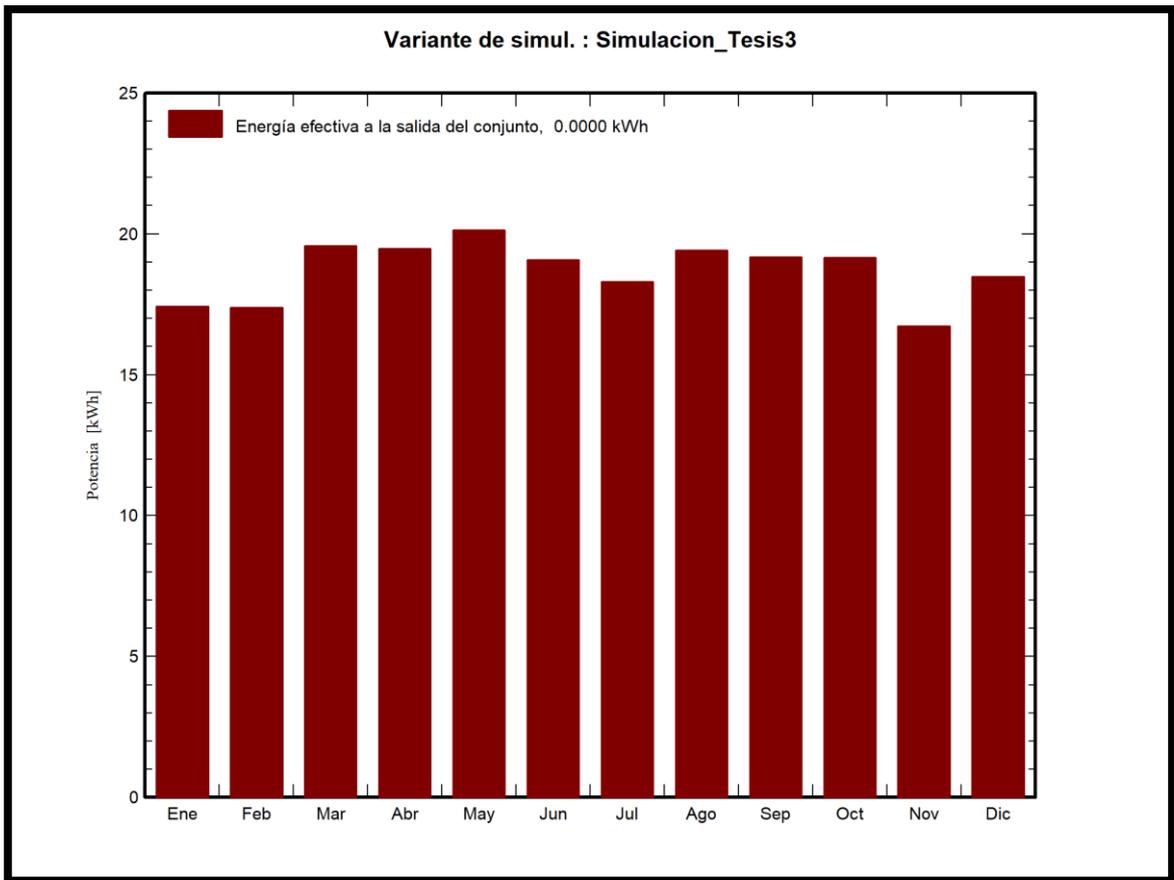


Ilustración 43 Energía efectiva a la salida del conjunto

En la **ilustración 43** se puede ver la energía efectiva a la salida del conjunto es decir a la salida de la bomba la cual se mantiene en un valor constante aproximadamente en todo el transcurso del año distribuyendo la energía de una manera eficiente.



Ilustración 44 Voltaje del conjunto

En la **ilustración 44** podemos ver que el voltaje se mantiene el voltaje en el nominal teniendo suficiente energía del panel solar para poder mantenerlo.

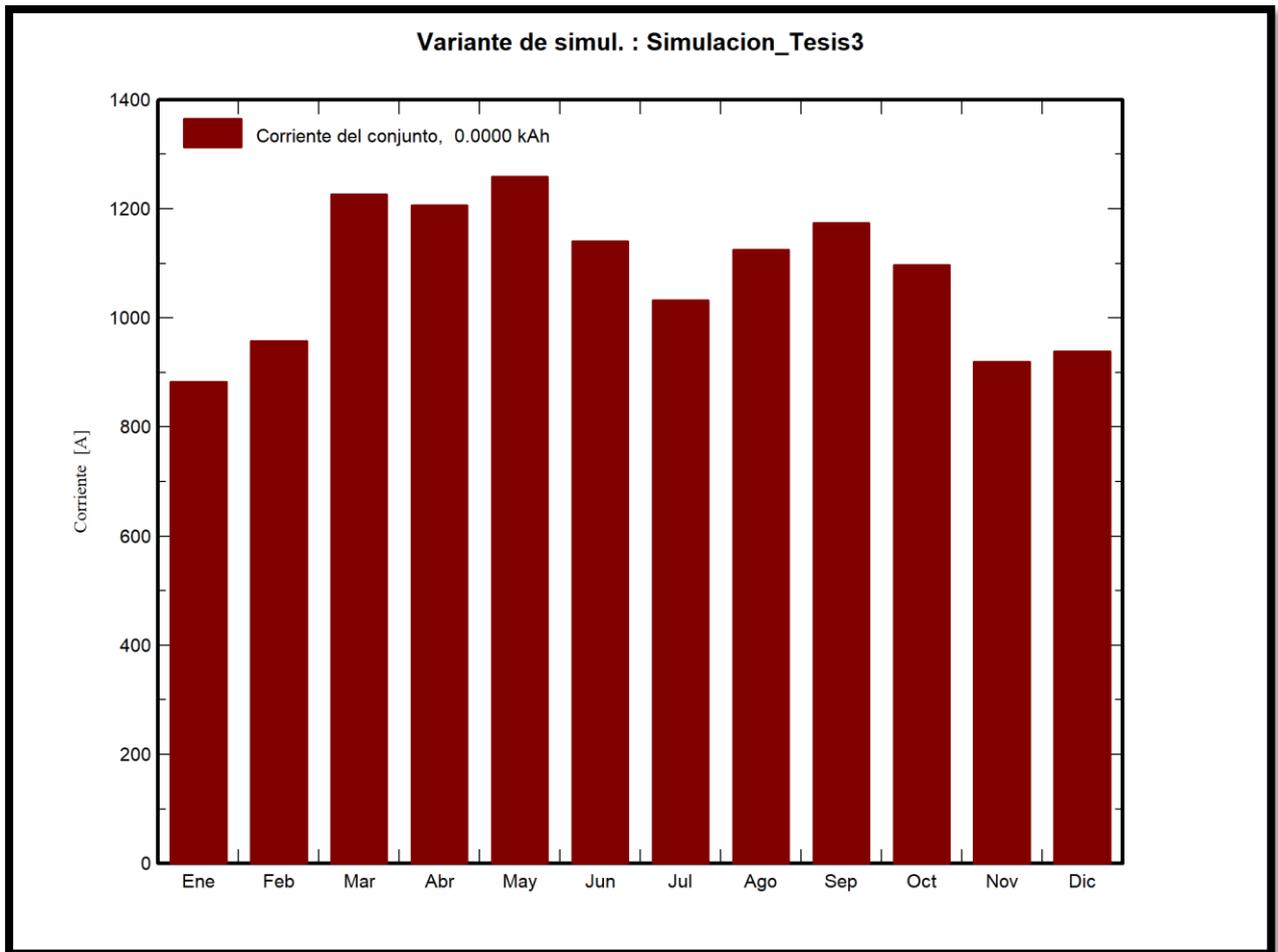


Ilustración 45 Corriente del conjunto

En la **Ilustración 45** se observa que la corriente tiende a ser mayor en los meses de marzo, abril y mayo debido a que estos se meses la irradiación es mayo y el uso del agua es mayor por el aumento de temperatura con climas más calurosos.

3.2.4 Resultados de la simulación del Sistema Reductor de voltaje

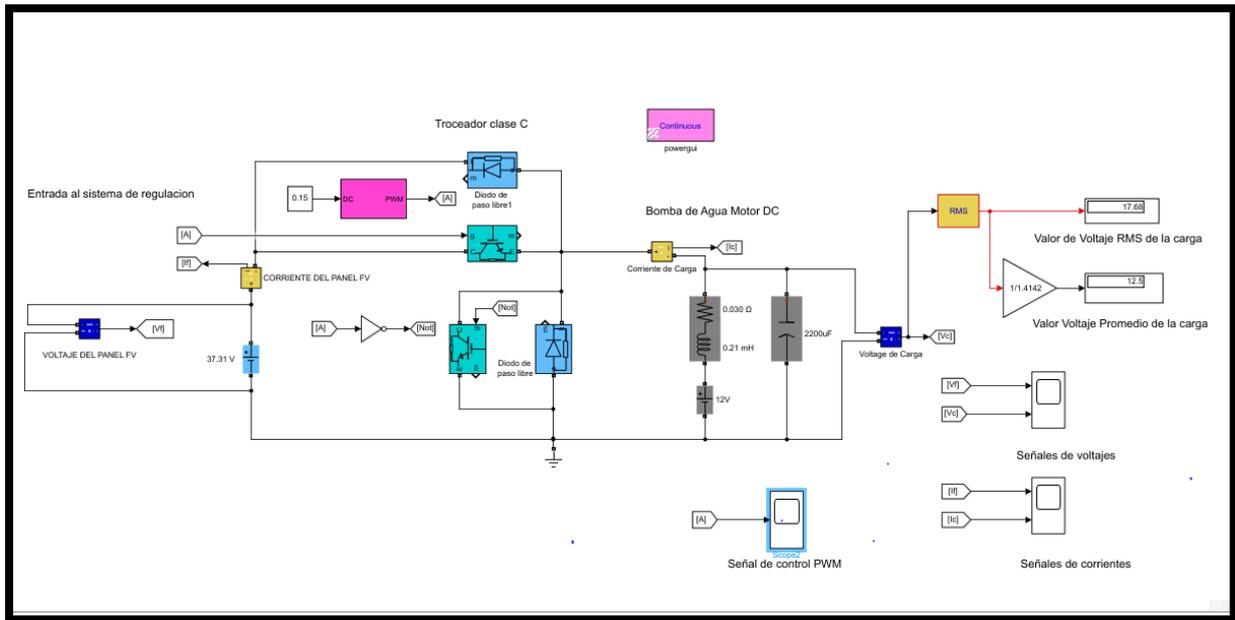


Ilustración 46 Sistema Reductor de voltaje

Como se pudo observar el troceado clase C la **ilustración 46**, pudo reducir el voltaje de entrada y regularlo a 12.5 un valor muy próximo al voltaje necesario de la bomba, luego de ingresar el regular el programa PVsyst 7.1, el cual nos arroja valores de los números de módulos y cadenas el cual nos dio como resultado que se necesita un solo modulo, y las condiciones de operación a 20°C es de 31V y su corriente es de 8.5 A.

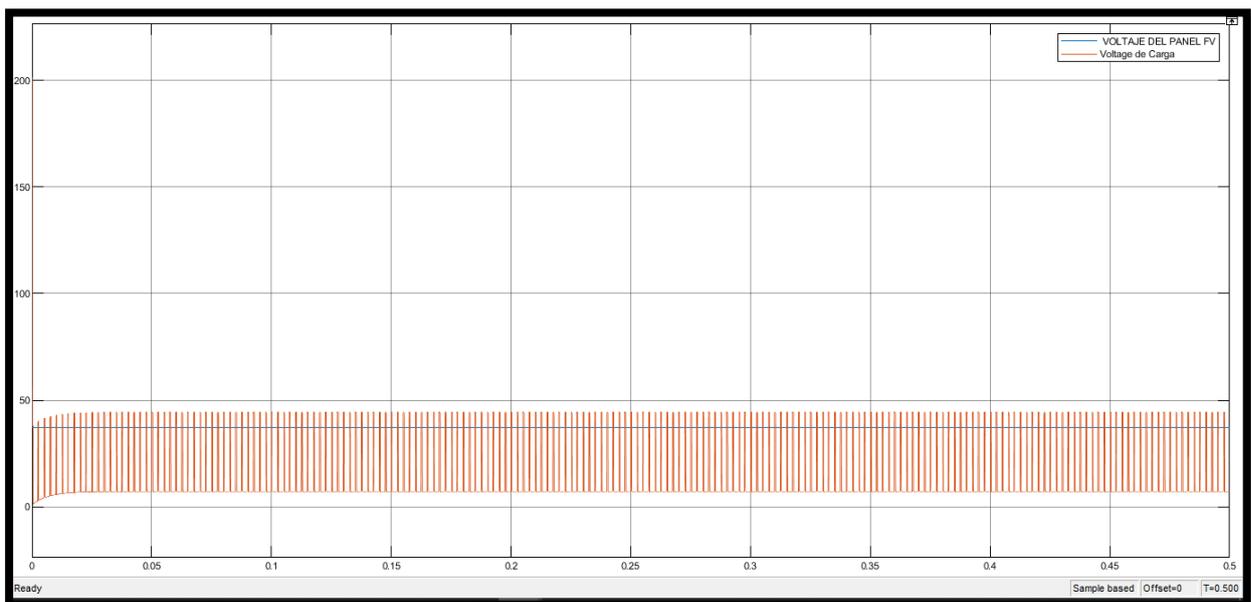


Ilustración 47 Señales de voltaje

La **ilustración 47** muestra las señales del voltaje del FV y el voltaje de la carga, como se observa la señal de la carga es una señal PWM y al ser un motor el que vamos a alimentar este solo mirara el voltaje promedio el cual es de 12.52 V.

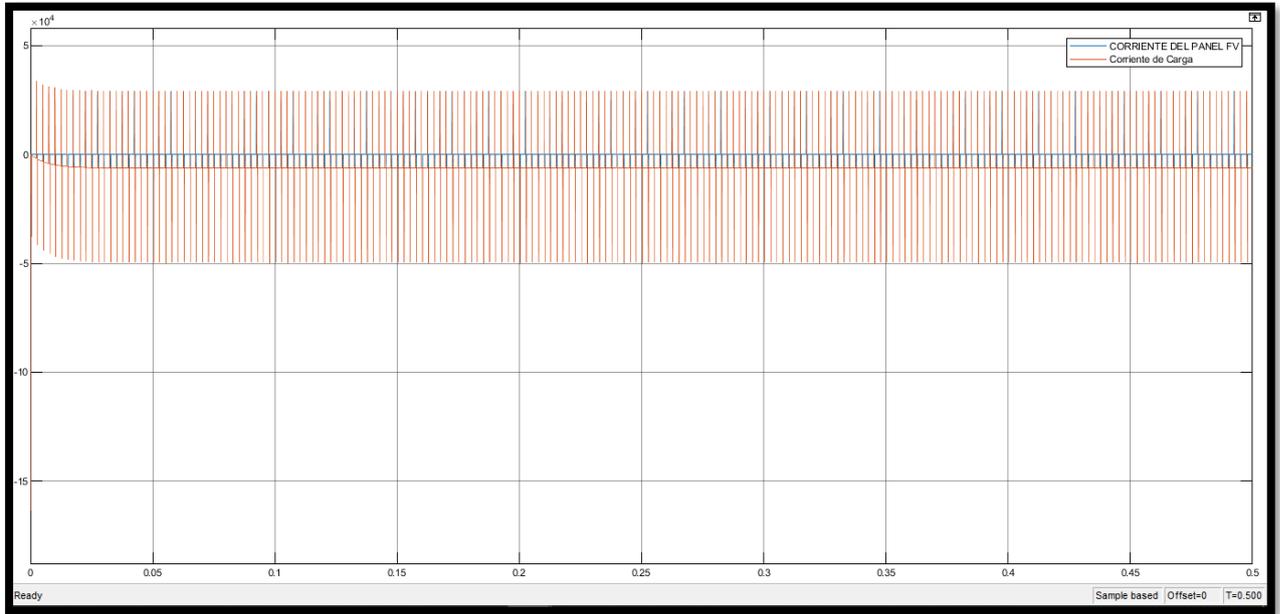


Ilustración 48 Señales de Corriente

En la **ilustración 48** podemos observar la corriente de la cara y del panel fotovoltaico, la cual es negativa debido a que se está comportando como una chopper clase C reductor.

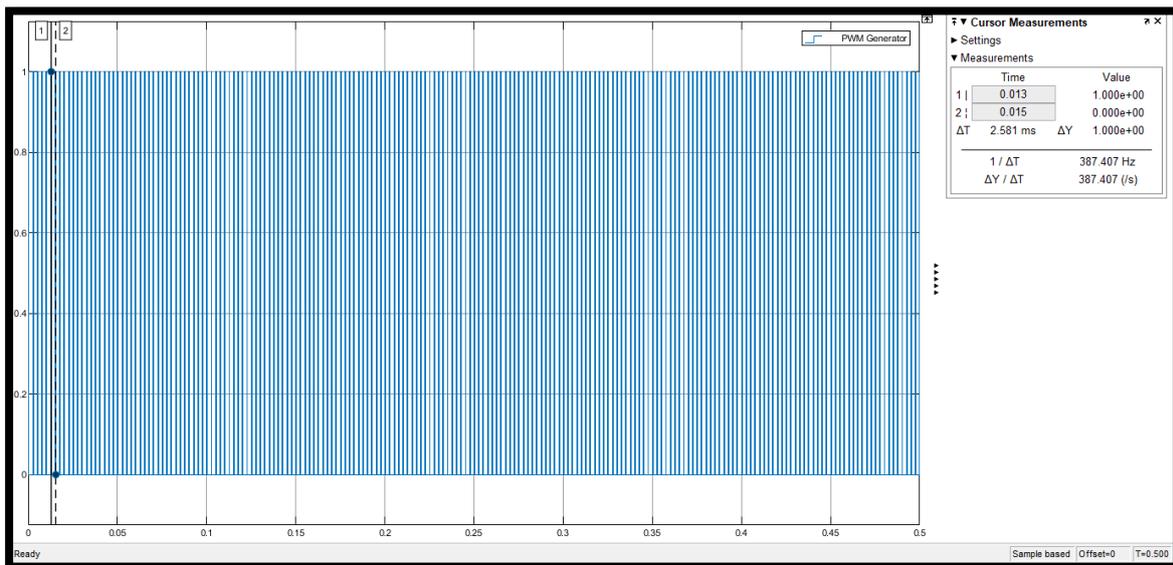


Ilustración 49 Señal PWM

La **ilustración 49** muestra la señal de disparo PWM que les llegan a los transistores para su conmutación, se puede ver que tiene una frecuencia de 387.407 Hz

3.2.5 Resultados de la simulación del sistema cargador de baterías

Se simuló este sistema en Simulink para observar el comportamiento de las señales, donde por la teoría vista en el marco teórico el voltaje de carga usualmente es de 14.4V, de tal manera que se ajustó la simulación para que entregue un voltaje DC aproximado, ver **ilustración 50**.

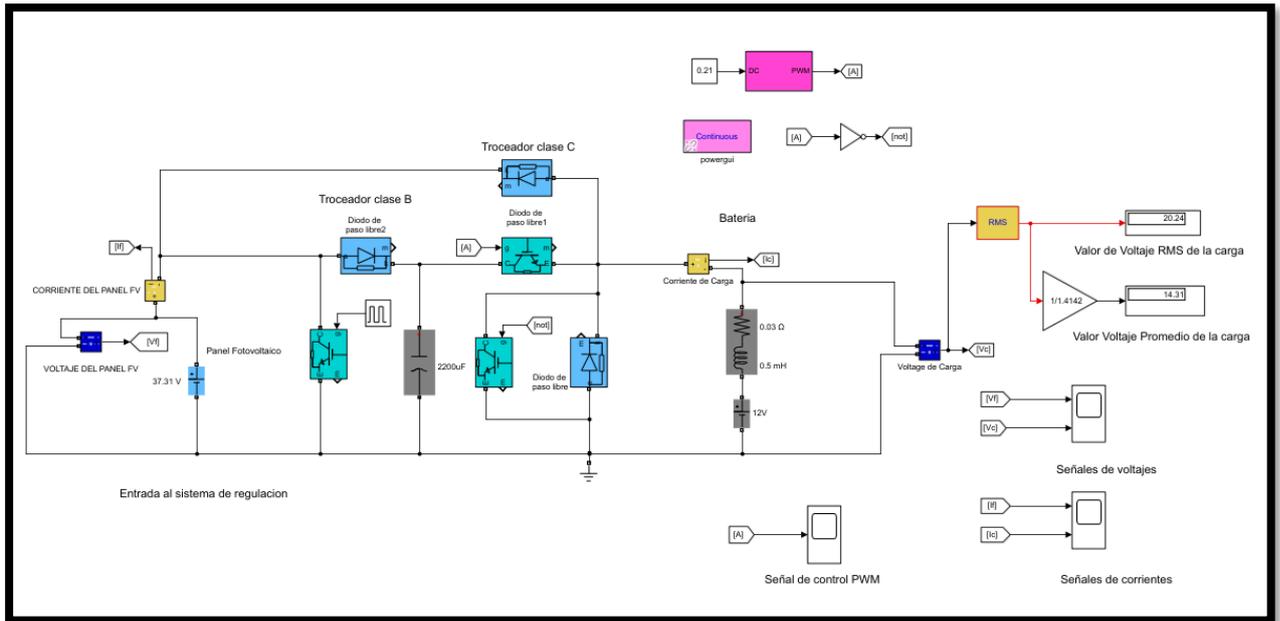


Ilustración 50 Sistema Cargador de Baterías

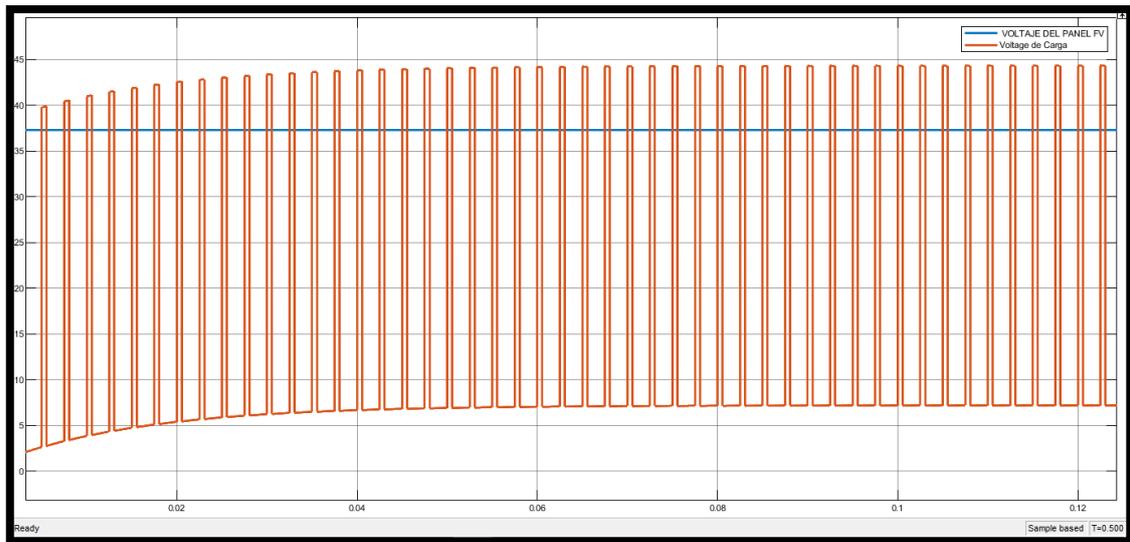


Ilustración 51 Señales de Voltajes

En la **ilustración 51** se puede observar dos señales de voltaje, la señal de azul es la señal de voltaje del panel fotovoltaico, y la naranja es la de la carga, en este caso la carga la ser una batería solo importara el voltaje promedio de esa señal el cual es de 14.31 V

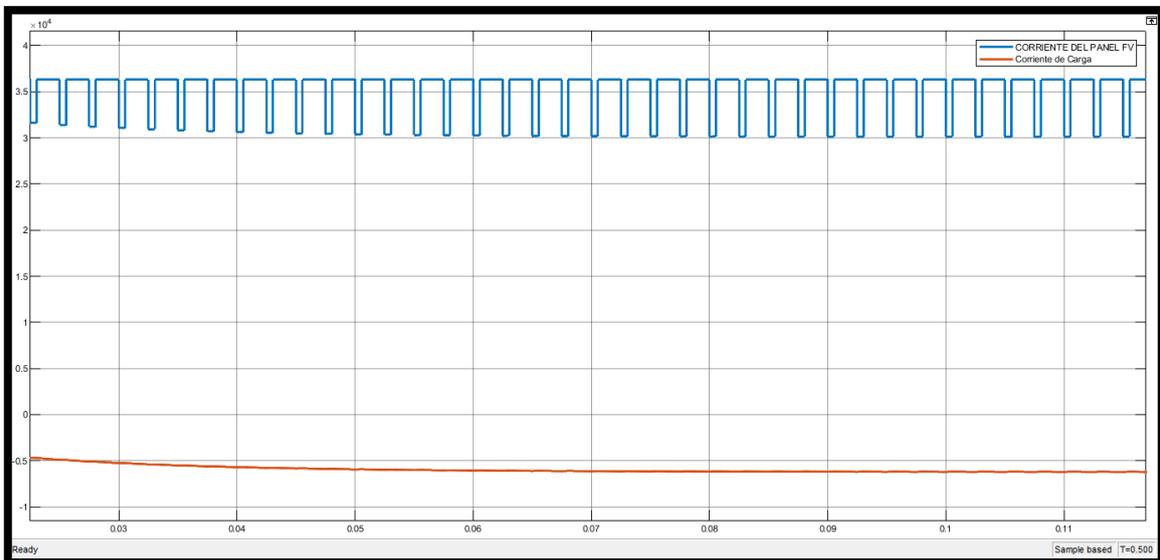


Ilustración 52 Señales de Corriente

En la **ilustración 52** podemos ver dos señales de corriente, la azul es la señal de corriente del Panel Fotovoltaico, y la naranja de carga como se puede observar es continua y negativa, debido a que se trata de un troceador clase B.

3.3 Gráficos Predefinidos del Programa PVsyst 7.1

Se mostrará algunas graficas predefinidas por el programa PVsyst 7.1

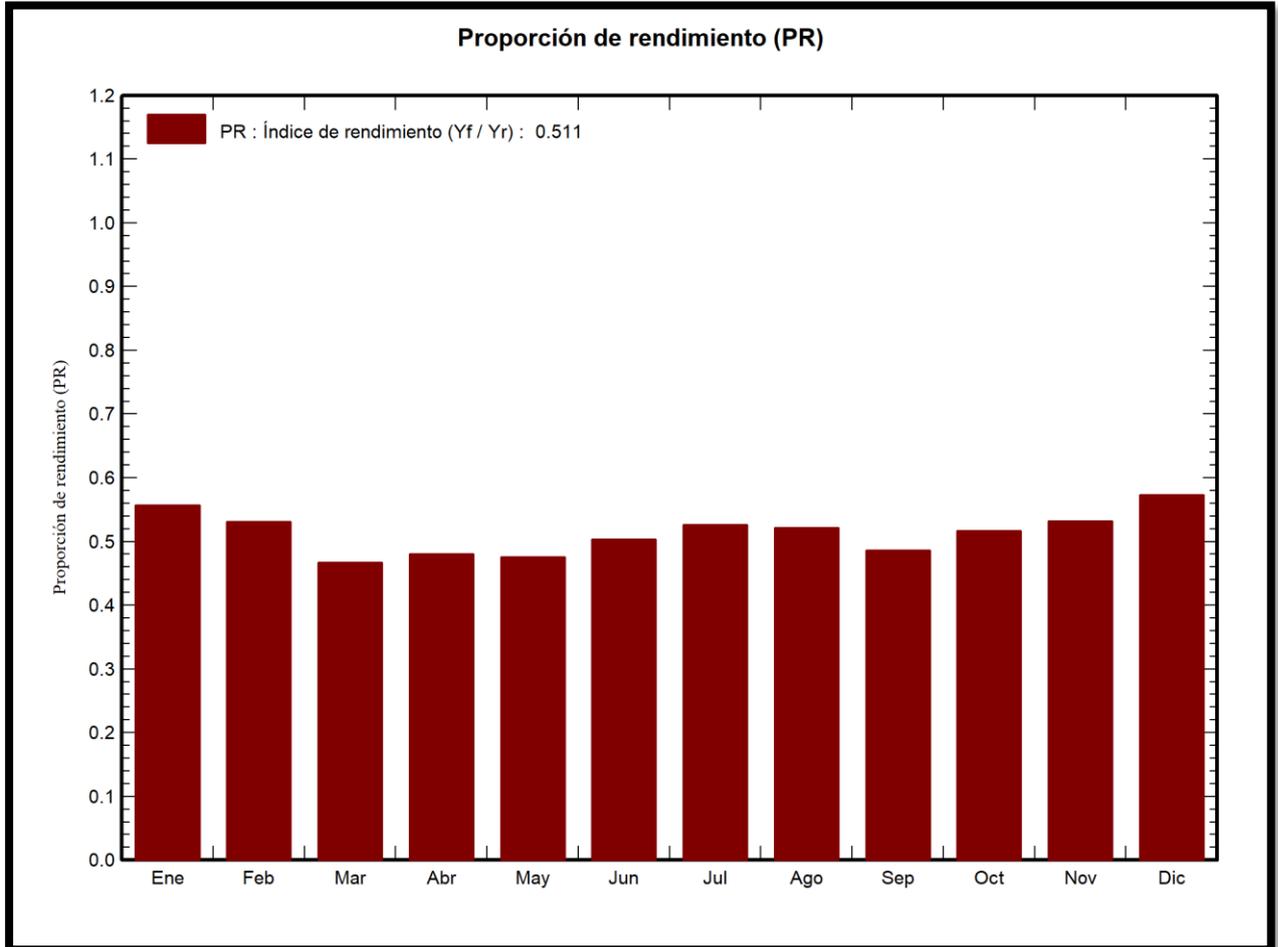


Ilustración 53 Índice de rendimiento mensual del sistema

En la **ilustración 53** se puede observar que el rendimiento del sistema no desciende por debajo de 47%, resultados muy buenos considerando una referencia ideal como las obtenidas de forma real.

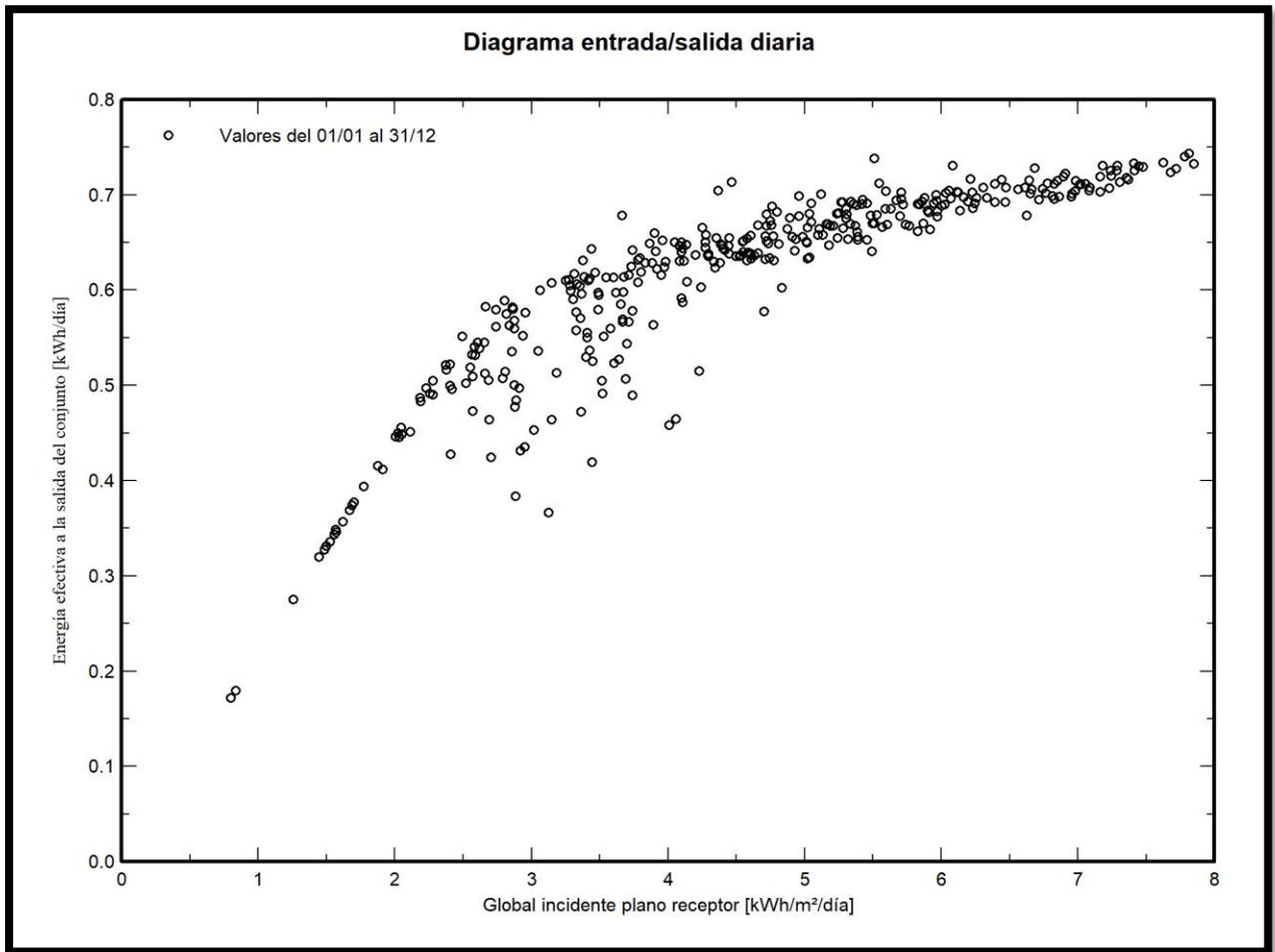


Ilustración 54 Energía efectiva a la salida del conjunto vs Irradiancia

Guiándonos de la **ilustración 38** se observa en la **ilustración 54** la cota inferior es de 2 kWh/m²/día entrando en el rango de energía necesaria para el correcto funcionamiento del sistema.

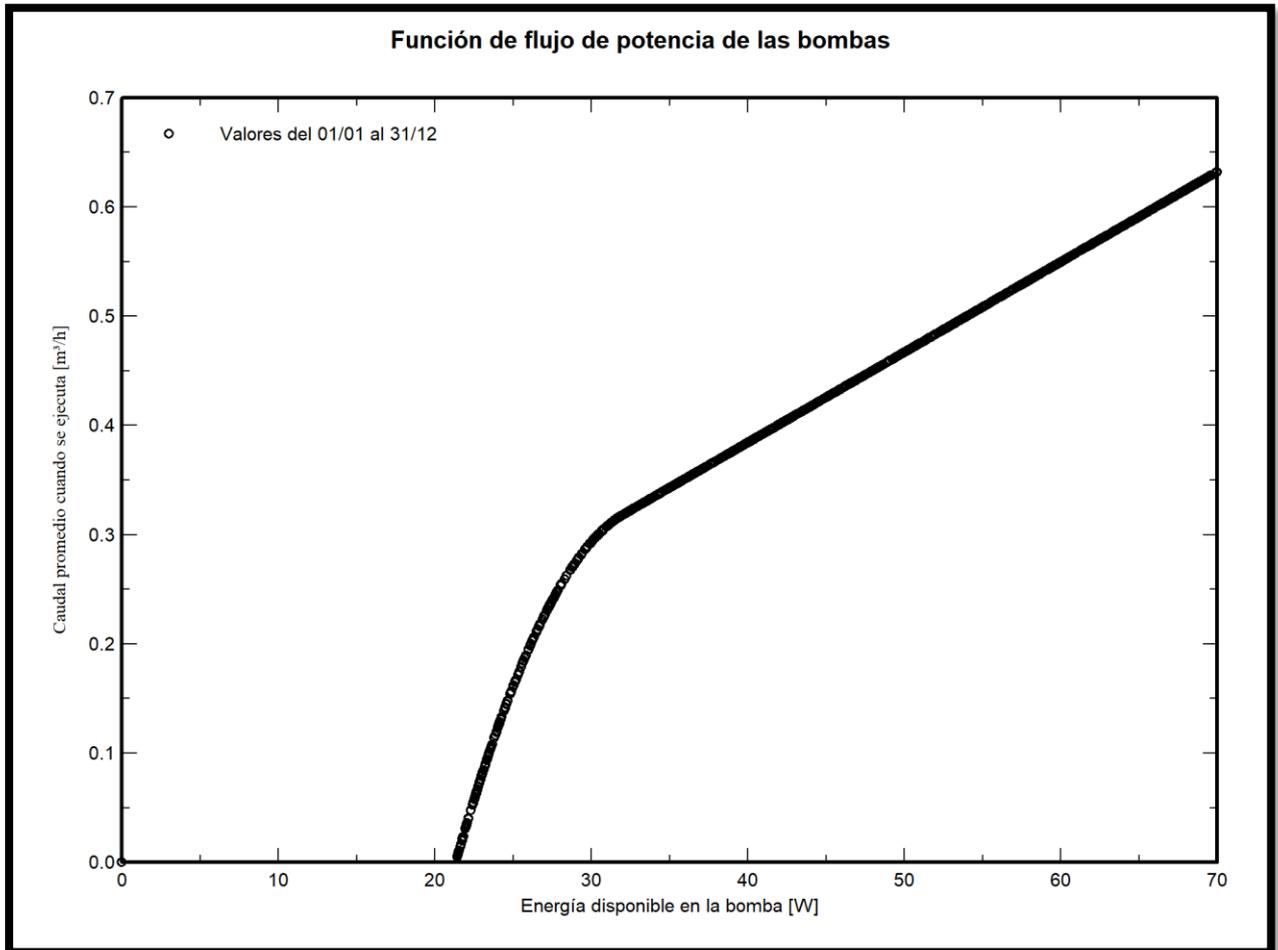


Ilustración 55 Función de flujo de potencia de las bombas

En la **ilustración 55** se puede apreciar que el caudal nominal se puede alcanzar con un valor aproximado de 43 W, valor suficiente debido que el panel puede llegar alimentar de forma segura hasta el valor máximo de la bomba que es de 70W teniendo resultados muy buenos de las necesidades del agua conforme a la energía con que se puede alimentar la bomba.

Resultados principales			
Agua bombeada	1944 m ³ /año	Energía en la bomba	215 kWh/año
Necesidades de agua	3285 m ³ /año	Energía no utilizada	0 kWh/año
Agua faltante	40.8 %	Fracción no utilizada	0.0 % de EarrMpp
Energía específica	0.11 kWh/m ³		
Eficiencia del sistema	60.2 %		
Eficiencia de la bomba	29.6 %		

Ilustración 56 Resultados Principales del sistema FV con la carga (Bomba)

En la **ilustración 56** que se tienen una eficiencia del 60.2% y que la energía no utilizada en el transcurso del año es casi nula aprovechando al máximo la energía entregada por el panel solar.

3.4 Presupuesto

En términos de costos de la realización del proyecto tenemos las siguientes tablas separados en los diferentes sistemas.

Tabla 8 Precio de sistema fotovoltaico

Elementos	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Total
Panel Solar	polycrystalline silicon - 250W - 30.5V - 8.20A	4	\$ 121.72	\$ 486.88
Estantes de panel solar	Roof type mounting rack	1	\$ 191.56	\$ 191.56
Controlador	PV Charging Controller 24V 40A	1	\$ 33.00	\$ 33.00
Inverter	DC24V input, AC230V/AC220V/240V/110V 1-phase output	1	\$ 360.86	\$ 360.86
kit de breaker	Used for protection of controller	1	\$ 72.17	\$ 72.17
baterías	12V/150AH per piece Solar special lead-acid battery	4	\$ 150.00	\$ 600.00
Cables	International standard, with specification suitable for solar system 20m	1	\$ 6.12	\$ 6.12
		Total:		\$ 1,750.59

Como se muestra en la **tabla 8** el costo de todos los elementos que entran en funcionamiento en el sistema fotovoltaico es de \$1750,59 estos fueron cotizados en el mercado chino.

Tabla 9 Precios de sistemas de control

Elemento	Descripción	Cant	Precio Unitario	Total
Plc S7-1200 / 6ES7212-1BD30-0XB0	CPU 1212C AC/DC/Relé, alimentación 110/220VAC. Incorpora 8DI a 24 VDC, 6DO tipo relé, 2 AI para voltaje, memoria 25KB. Con puerto Industrial Ethernet RJ45 10/100Mbps. Capacidad de expansión hasta 1 Signal Board (SB), 2 módulos de señal (SM) y 3 módulos de comunicación (CM)	1	\$ 520.00	\$ 520.00
Modulo E/S analógicas/6ES7231-4HD30-0XB0	SM1231 Módulo de señal de 4 entradas analógicas.	1	\$ 470.00	\$ 470.00
Contactador DC Kilovac LEV200	DC Contactor Coil Voltage Rating (VDC): 12 / DC Contactor Contact Current Rating (A): 500	3	\$ 121.77	\$ 365.31
HMI/6AV2123-2DB03-0AX0	Simatic basic panel KTP 400 a color, pantalla de 4", táctil y 4 teclas de función, display TFT de alta resolución, 64000 colores, formato widescreen. Con interfaz Profinet	1	\$ 758.00	\$ 758.00
sensor de corriente/ACS712	sensor de 20 A dc	1	\$ 4.00	\$ 4.00
Sensor de voltaje/FZ0430	Sensor de 25 VDC	1	\$ 2.00	\$ 2.00
Cable	rollo de cable n° 14	1	\$ 25.00	\$ 25.00
		Total:		\$ 2,144.31

En la **tabla 9** se visualizan los precios para el sistema de control los cuales están cotizado en el mercado ecuatoriano para que de esta forma sea sencillo la adquisición de estos.

Tabla 10 Precio de sistema de bombeo

Elemento	Descripción	Cant	Precio Unitario	Total
SHURflo Aqua King II Supreme 5.	Motor CC, imán permanente/140w 12v 13A	1	\$ 216.00	\$ 216.00
Tubería	TUBO 1 1/2	22	\$ 3.05	\$ 67.10
Tanque 10 m'3	Diámetro:2.53m/altura=2m	1	\$ 2,276.00	\$ 2,276.00
		Total:		\$ 2,559.10

En la **tabla 10** se observa el costo del sistema de bombeo, adicionalmente a continuación se presentará el costo total del desarrollo del proyecto.

Tabla 11 Precio total del proyecto

Elemento	subtotal
Costo de sistemas	\$ 6,454.00
Mano de obra y demás costos	\$ 2,469.20
Total	\$ 8,923.20

En la **tabla 11** se presenta el precio total del proyecto el cual puede variar su costo dependiendo del precio de arancel de importación del sistema fotovoltaico.

3.5 Rentabilidad de proyecto

El software PVsyst 7 nos ofrece la opción de analizar la rentabilidad de nuestro sistema para así determinar en cuanto tiempo podremos ver las ganancias de este.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total	
Módulos FV			1'744.47	USD
AS-P605-280	1.00	480.76	480.76	USD
Soportes para módulos	1.00	1'263.71	1'263.71	USD
Bombas	1.00	216.66	216.66	USD
Tanque	1.00	2'282.90	2'282.90	USD
Circuito hidráulico	1.00	67.10	67.10	USD
Controladores	1.00	2'125.74	2'125.74	USD
Estudios y análisis			100.00	USD
Ingeniería	1.00	100.00	100.00	USD
Permisos y otras tarifas ad...	0.00	0.00	0.00	USD
Estudios ambientales	1.00	0.00	0.00	USD
Análisis Económico	0.00	0.00	0.00	USD
Costo total de instalación			8'923.20	USD
Activo amortizable			4'086.86	USD

Ilustración 57 Ingreso de precios los sistemas

En la **ilustración 57** y la **ilustración 58** el sistema nos pide un valor monetario por la realización del estudio, pero este ya está realizado por lo tanto solo se añadió un valor simbólico que puede subirse de ser requerido.

Descripción	Cantidad	Precio unitario	Total	
Instalación			1'431.12	USD
Costo de instalación global p...	1.00	650.00	650.00	USD
Costo de instalación global p...	1.00	650.00	650.00	USD
Transporte	1.00	100.00	100.00	USD
Accesorios, sujetadores	0.00	0.00	0.00	USD
Cableado	1.00	31.12	31.12	USD
Ajustes	0.00	0.00	0.00	USD
Pozo (perforación, construc...	0.00	0.00	0.00	USD
Seguro			0.00	USD
Costos del terreno			0.00	USD
Cargos bancarios del préstamo	0.00	0.00	0.00	USD
Impuestos			955.21	USD
Costo total de instalación			8'923.20	USD
Activo amortizable			4'086.86	USD

Ilustración 58 Ingreso de costo de mano de obra

A Continuación, en la **ilustración 59** colocamos como 10 años la vida del proyecto considerando que al tercer año se debe cambiar la bomba y a los 5 años cambiar las baterías.

Período de simulación			
Vida del proyecto	<input type="text" value="10"/>	años	Año de inicio <input type="text" value="2021"/>
Variaciones proyectadas			
Inflación	<input type="text" value="1.05"/>	%/año	Tasa de descuento <input type="text" value="0.00"/>
			%/año
Gastos dependientes de ingresos			
Impuesto sobre la renta	<input type="text" value="0.00"/>	%/año	Dividendos <input type="text" value="0.00"/>
Otro impuesto sobre la renta	<input type="text" value="0.00"/>	%/año	

Ilustración 59 colocación de periodo de simulación

Para saber si es sustentable o no el proyecto en la **ilustración 60** se colocó que el agua se vendería en su totalidad con la tarifa de \$ 1,240 que es la equivalente de costo cuando se supera los 50 metros cúbicos.

Estrategia para colocar precios

Sin venta
 Tarifa fija
 Tarifa variable

Tarifa horaria horas de punta/horas valle de agua vendida %

Tarifa estacional

Precio de venta de agua

Precio de venta fijo USD/m³

Ilustración 60 Colocación de tarifa del agua

Se puede visualizar que en la **ilustración 61** el estudio realizado arroja que a partir de los 4 años y medios el proyecto comienza a generar ganancias puesto a que en este tiempo se recupera lo invertido.

Costes de instalación (CAPEX)	
Costo total de instalación	8'923.20 USD
Activo amortizable	4'086.86 USD
Financiamiento	
Fondos propios	9'000.00 USD
Subsidios	0.00 USD
Préstamos	0.00 USD
Total	9'000.00 USD
Gastos	
Costos de operación(OPEX)	442.74 USD/año
Anualidades del préstamo	0.00 USD/año
Total	442.74 USD/año
Costo del Agua	0.69 USD/m³
Retorno de la inversión	
Valor presente neto (VPN)	10'682.31 USD
Período de recuperación	4.5 años
Retorno de la inversión (ROI)	119.7 %

Este análisis debe aparecer en el informe impreso

Ilustración 61 Resultado de la Rentabilidad

A continuación, se muestra cómo será el flujo de caja anual de este proyecto.

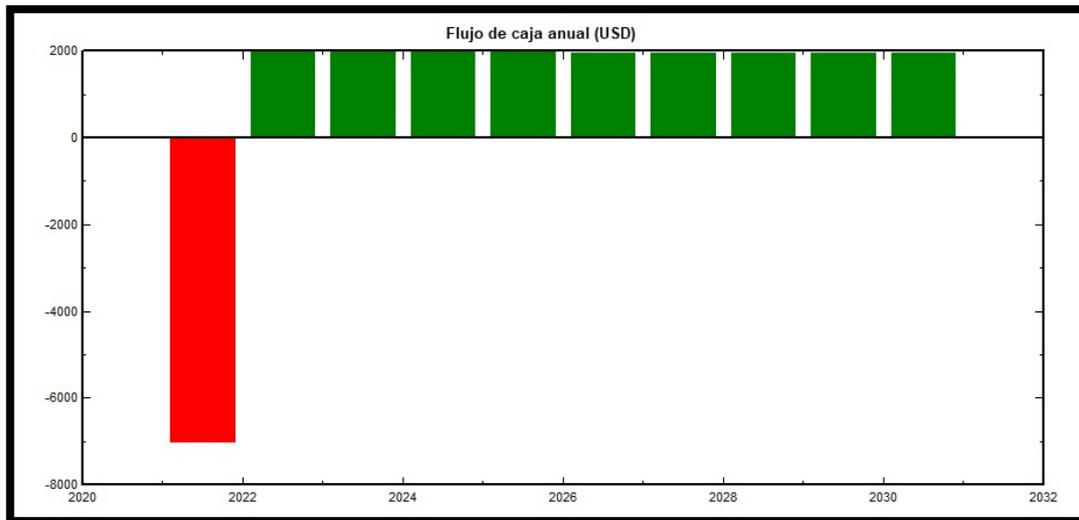


Ilustración 62 Flujo de caja anual

En la **ilustración 62** se muestra como el primer año requiere una inversión fuerte y los siguientes años se empieza a tener un ingreso constante.

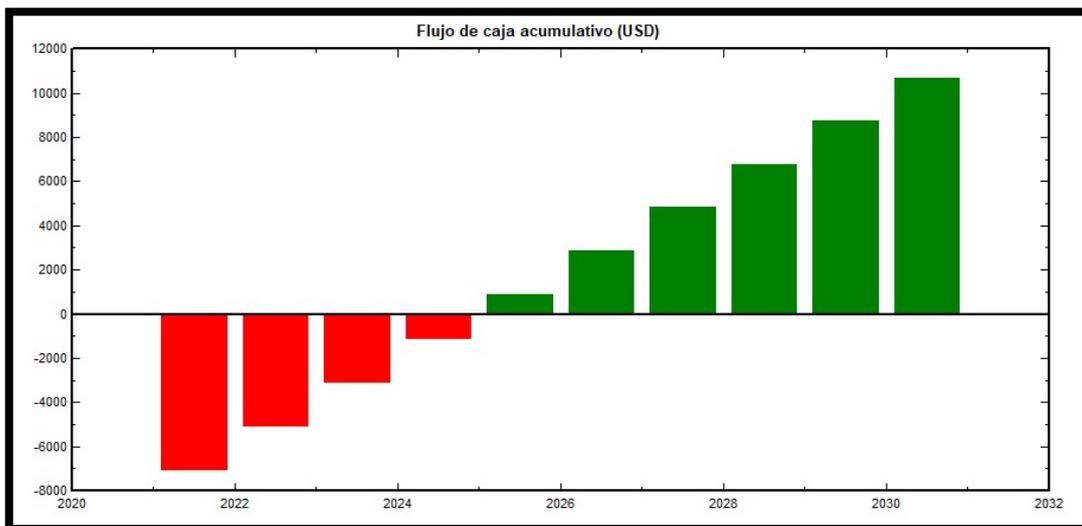


Ilustración 63 Gráfica del flujo de caja acumulativo

En la **Ilustración 63** se muestra como a partir del cuarto año y medio se empieza a tener una ganancia respecto a la inversión realizada al comienzo, adicionalmente se observa como en el proyecto produce ganancias a través de los años.

En la **ilustración 64** vemos como el mantenimiento es solventado a partir del beneficio obtenido.

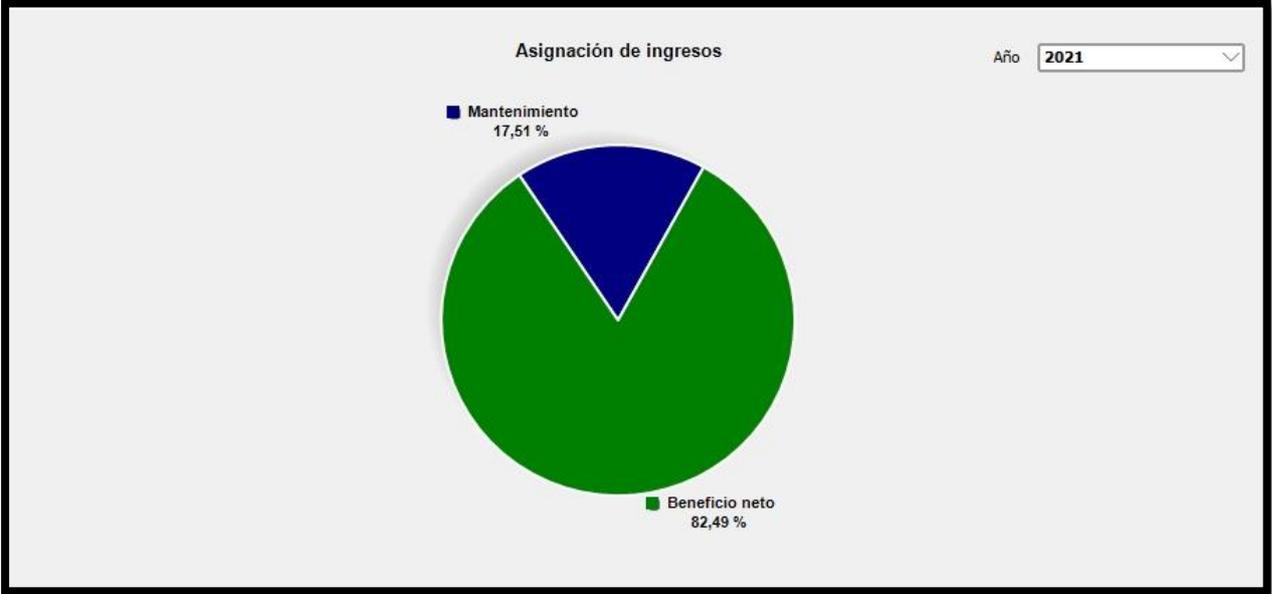


Ilustración 64 diagrama circular de ingresos año 2021

Por temas de inflación se observa en la **ilustración 65** como para el año 2030 que es cuando acabará el proyecto, el costo del mantenimiento significa un 19,24% del ingreso obtenido.

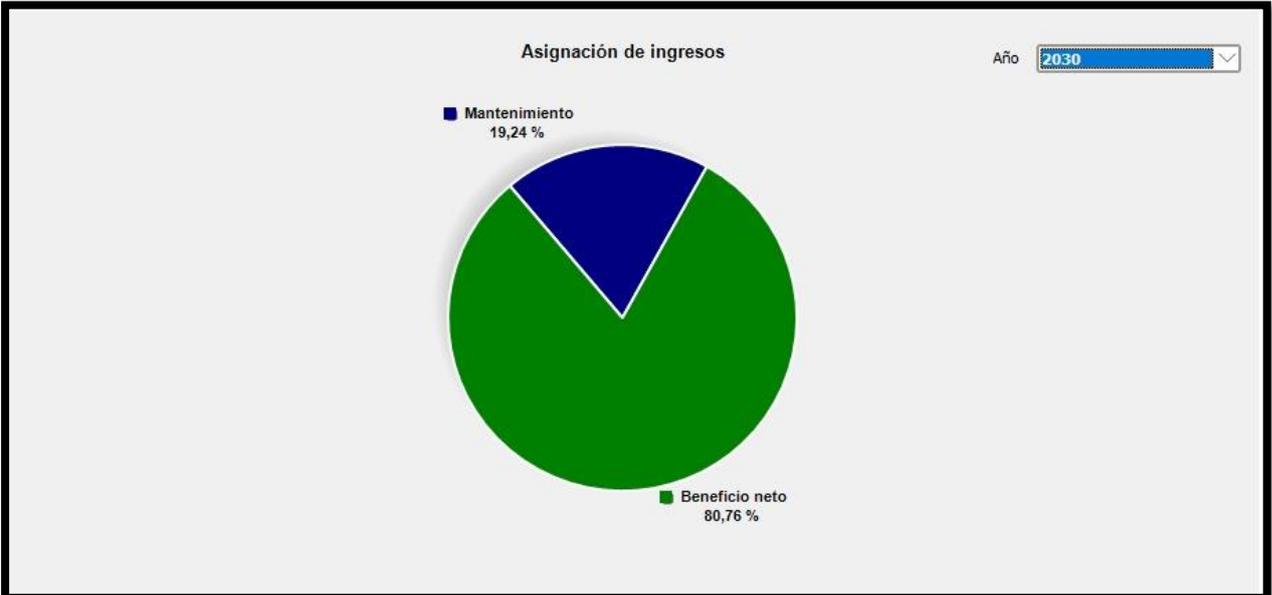


Ilustración 65 Diagrama circular de ingresos año 2030

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El sistema de bombeo de agua alimentado por energía solar está ubicado en las coordenadas de latitud y longitud (-2.1445,-79.949), a un ángulo de inclinación en verano de 0° y en invierno de 25°.lo permite un mayor aprovechamiento de la energía según la estación del año.
- El proyecto es autónomo y consta de 2 subsistemas, uno para el día que funciona con la energía obtenida directamente de los paneles solares, y el otro para la noche que rige su funcionamiento en almacenar energía en baterías, para su utilización posterior.
- El sistema fotovoltaico tiene una potencia de 1000 W que abastece el sistema de bombeo para proporcionar agua a 250 personas, con una eficiencia de 60.2%, adicionalmente se tiene la posibilidad de añadir carga eléctrica al proyecto.
- El programa de control del sistema consta con una interfaz de usuario donde se proporciona información técnica y a tiempo real de cada elemento del proyecto, con la finalidad de brindar una correcta supervisión para el usuario final.
- El costo total del proyecto es de \$ 8,923.20. Según el flujo de caja acumulada el valor de la inversión se cubre a los 4 años y medios, tomando en cuenta que la vida útil para este sistema es de 10 años, se tendrá 6 años y medios de ganancias.
- En términos de afectaciones por inflación del 1.05, para el año 2021 se tiene que los costos de mantenimiento rondan el 17,51%, mientras que para el año 2030 este será del 19,24% lo que indica que este proyecto es rentable a largo plazo.

Recomendaciones

- Para mantener la eficiencia y rentabilidad del proyecto se debe de realizar un cambio de bomba al tercer año y un cambio de batería a los 5 años.
- En caso de requerir añadir carga eléctrica al sistema se hace uso de un inversor para convertir la energía de DC a AC.
- Si se necesita extraer agua de un lago o de un pozo, solo se debe cambiar la bomba puesto a que dependiendo del tipo de extracción de agua esta es sumergible o no.
- Si se desea implementar en otro lugar se debe de realizar un estudio geográfico puesto a que la posición de captación de los rayos solares influye mucho en la generación de potencia del proyecto.
- El mantenimiento se realiza cada 6 meses para comprobar que el sistema esté funcionando correctamente y corregir cualquier anomalía.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. A. Morales, Abastecimiento de agua para comunidades rurales, Machala: Universidad Técnica de Machala, 2015.
- [2] Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo (BMZ), «Guía de Protección Ambiental Tomo I,» Deutschland, Die Deutsche Bibliothek - CIP, 1995, p. 597.
- [3] J. W. J. d. W. V., «Sistemas de Bombeo,» de *Sistemas de Bombeo*, Wekker & Asociados, C.A, 2004, p. 34.
- [4] «www.mheducation.com,» [En línea]. Available: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>. [Último acceso: 30 10 2020].
- [5] «Monsolar.com,» [En línea]. Available: <https://www.monsolar.com/blog/que-es-y-que-hace-un-regulador-de-carga-solar/>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [6] [En línea]. Available: <https://www.luminotecnia.com.py/blog/67/Sabes-que-es-una-fotocelula-y-en-donde-se-utilizan>. [Último acceso: 6 Noviembre 2020].
- [7] C. y. Yanez, «visitaecuador,» 5 Diciembre 2002. [En línea]. Available: <https://visitaecuador.com/ve/mostrarRegistro.php?idRegistro=15946>. [Último acceso: 4 Diciembre 2020].
- [8] BOCON, «BOCON,» BoProductDetail, 6 Enero 2005. [En línea]. Available: <http://www.bocondalian.com/BoProductDetail.aspx?id=74>. [Último acceso: 6 Enero 2021].
- [9] SENECA, «AUTOMATION INTERFACE,» linee-di-prodotto, [En línea]. Available: <https://www.seneca.it/es/linee-di-prodotto/strumentazione-da-quadro-e-di-misura/convertitori-isolatori-compatti-serie-k/convertitori-di-temperatura/k109pt/>. [Último acceso: 6 Enero 2021].
- [10] «Monsolar,» [En línea]. Available: <https://www.monsolar.com/fotovoltaica-aislada/reguladores-de-carga.html>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].
- [11] «Sotysolar,» [En línea]. Available: <https://sotysolar.es/blog/que-son-los-inversores-fotovoltaicos>. [Último acceso: 4 Noviembre 2020].

6. ANEXOS

6.1 Pantallas de la Interfaz HMI

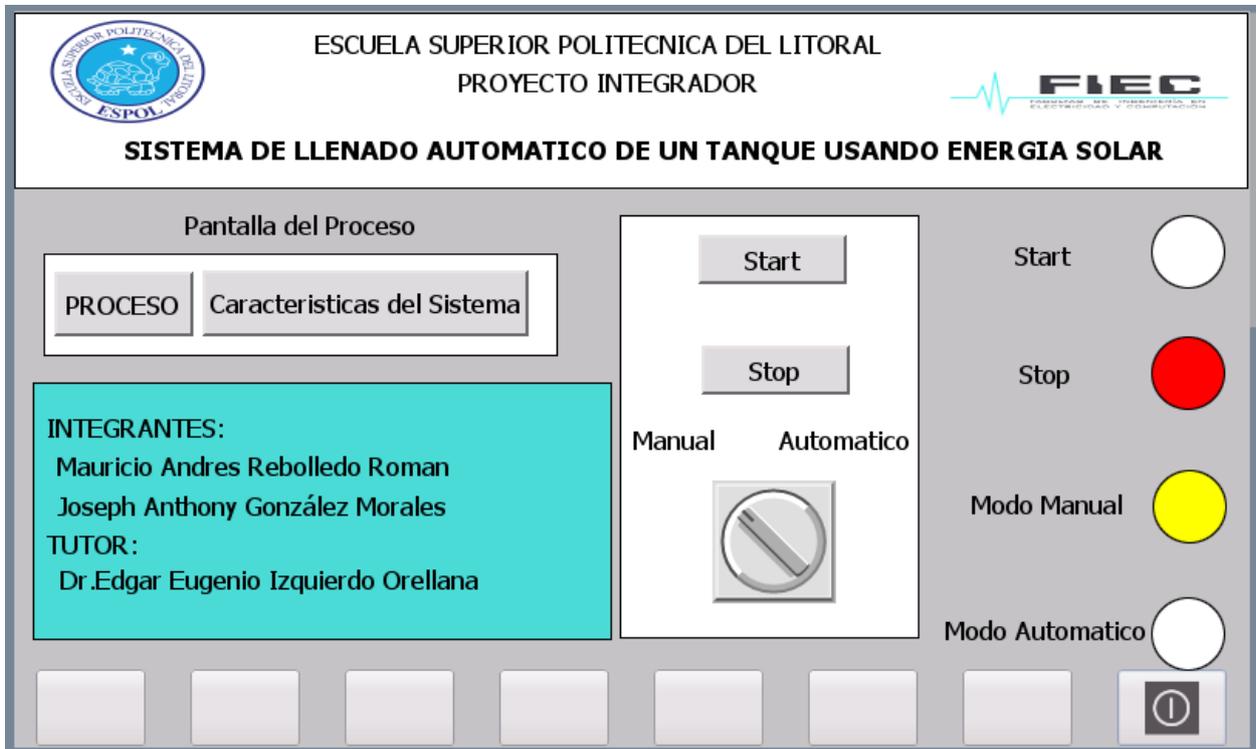


Ilustración 66 Pantalla Principal

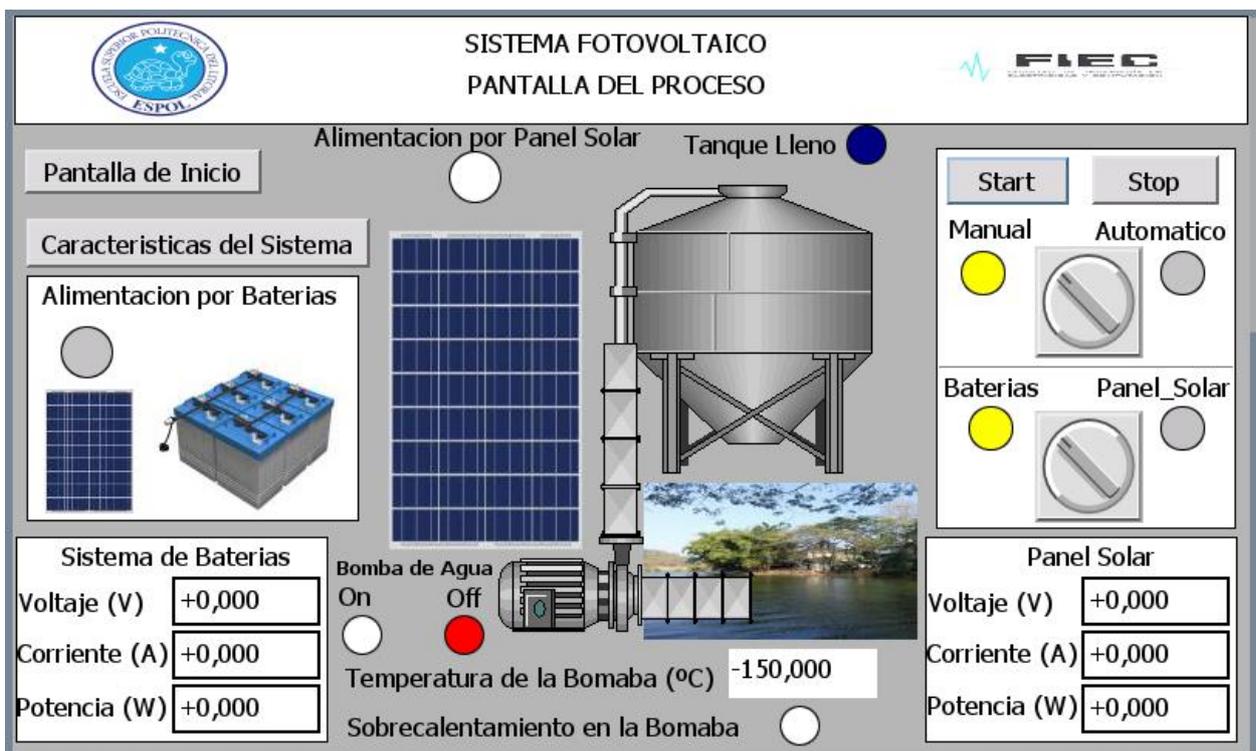


Ilustración 67 Pantalla del Proceso



SISTEMA FOTOVOLTAICO PANTALLA DE CARACTERISTICAS DEL SISTEMA



SISTEMA DE PANEL SOLAR

SISTEMA DE BATERIAS

BOMBA DE AGUA

TANQUE INDUSTRIAL

PANTALLA DE PROCESO

PANTALLA PRINCIPAL

Ilustración 68 Pantalla de Características del Sistema



SISTEMA FOTOVOLTAICO Panel solar de 250 Wp policristalino



DATOS FISICOS

Tipo de celda	silicio policristalino
Longitud	1655 mm
Anchura	992 mm
Espesor	45,0 mm
Peso	22,5 kg

DATOS ELECTRICOS EN STC

Potencia máxima (Pmax)	250 Wp
Voltaje a máxima potencia (Vmp)	30,68 V
Corriente a máxima potencia (Imp)	8,31 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	37,31 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	9,06 A
Eficiencia del panel	15,40%
Tolerancia de potencia (positiva)	3%



Controlador

Controlador de carga fotovoltaica 48V 40A
Tipo de carga PWM, pantalla LCD, control inteligente.
Compensación de temperatura; Protecciones: cortocircuito,
descarga profunda, sobretensión de entrada, sobrecorriente.

Ilustración 69 Pantalla del Sistema Fotovoltaico



SISTEMA FOTOVOLTAICO

Batería solar especial de plomo-ácido



X



12V / 150AH por pieza
Batería solar especial de plomo-ácido, completamente sellada, ciclo profundo, tipo de mantenimiento gratuito
Vida útil: 5 ~ 6 años

Datos de placa de la batería	
Voltaje del paquete de baterías	12 V
Capacidad Global	160 Ah
Energía almacenada (80% DOD)	1,5 kWh
Peso total	74 kg
Num. De ciclos a 80% DOD	1300

Ilustración 70 Pantalla de Sistema de Baterías



SISTEMA FOTOVOLTAICO

BOMBAS DE AGUA DULCE PENTAIR SHURFLO AQUA KING II 5.0



X



Características de la bomba

Tecnología de bomba	Membrana/Diafragma		
Motor	Motor CC, imán permanente		
Potencia máxima	140 W	Voltaje	12 V
		Corriente máx.	10.8 A
Presión Min / Nom / Máx	69	206	284 kPa
Caudal corresp.	0.7	0.4	0.2 m ³ /h
Potencia corresp.	65	65	65 W
Eficiencia	20.1	36.7	28.4 %

Ilustración 71 Pantalla de las características de la bomba

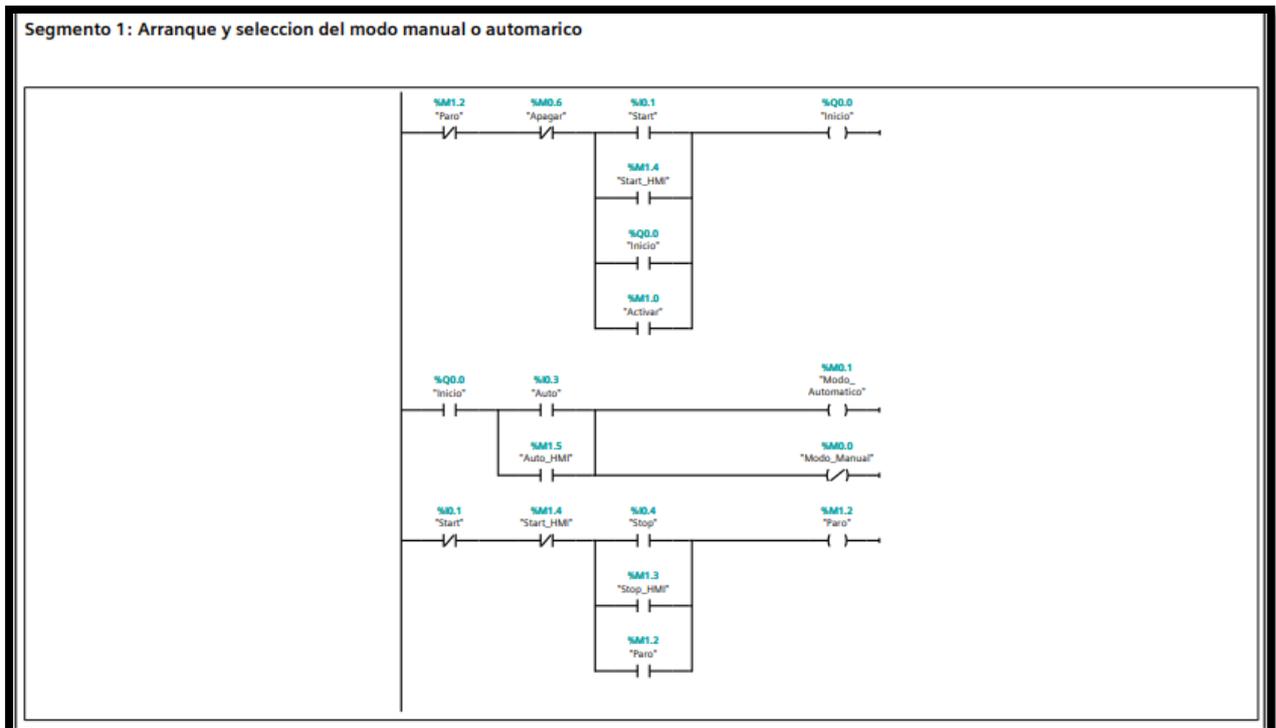


SISTEMA FOTOVOLTAICO TANQUE INDUSTRIAL DE 10 m³



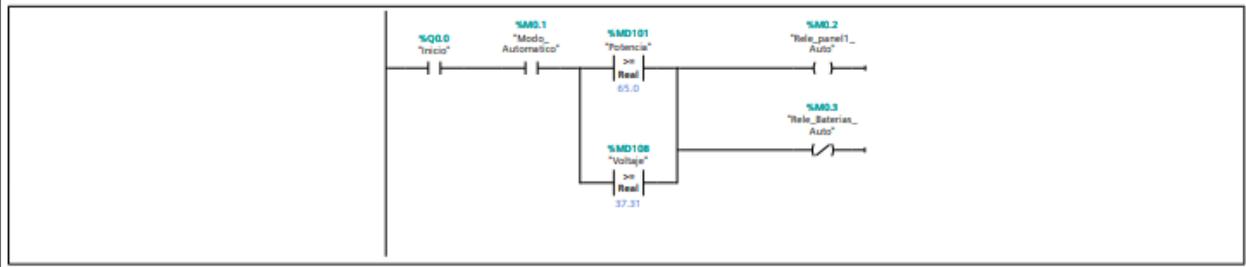
Ilustración 72 Pantalla de las Características del Tanque

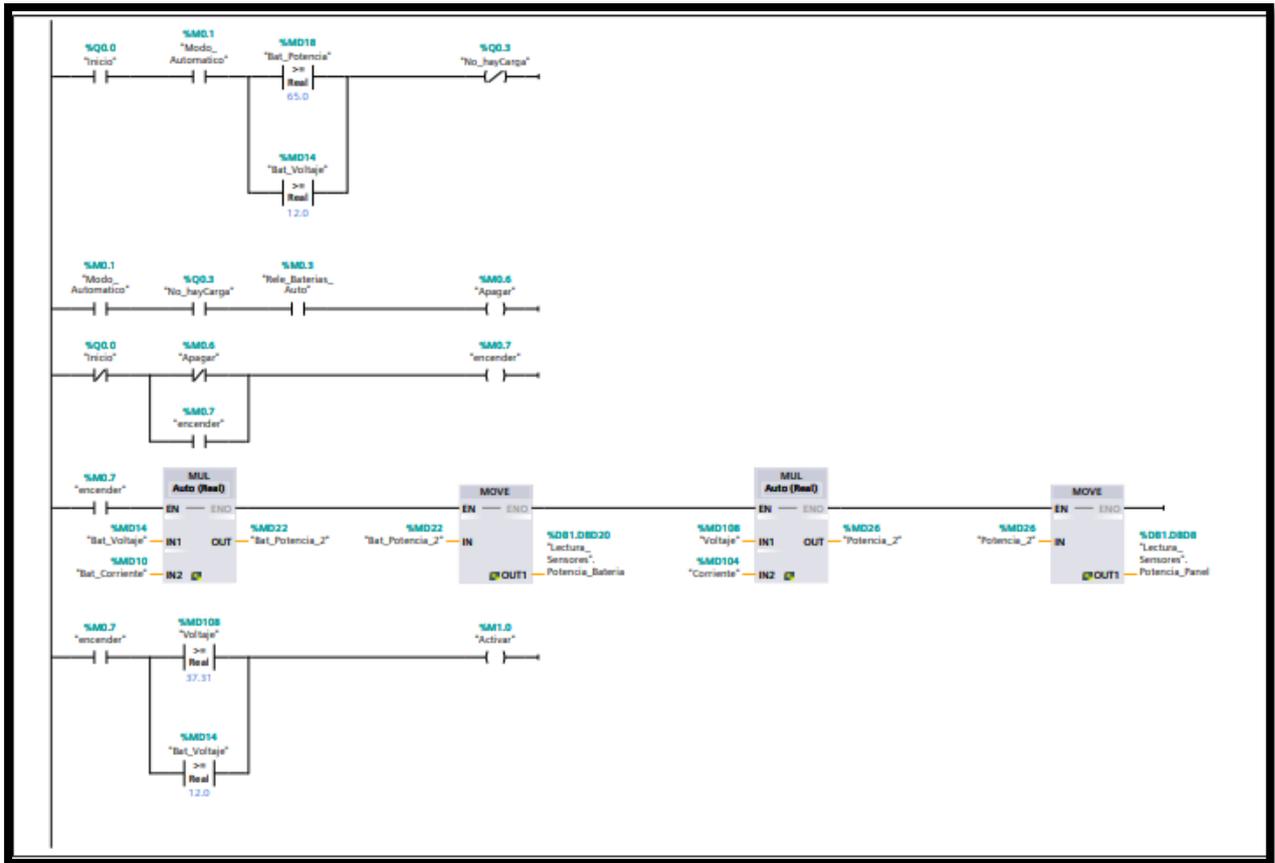
6.2 Código cargado en el PLC



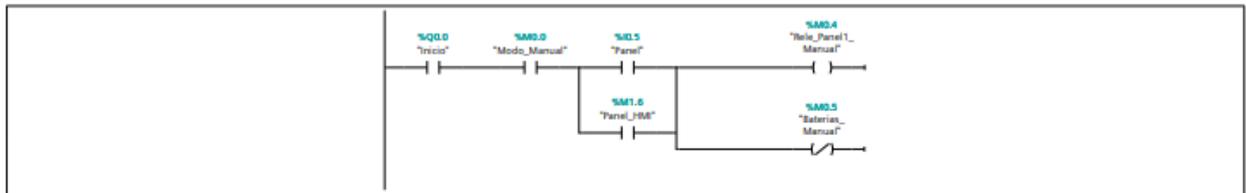


Segmento 3: Control de la potencia del panel y baterias(Automatico)



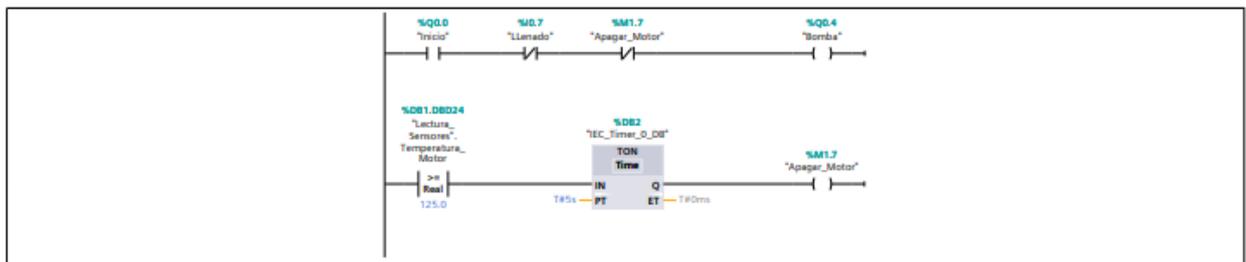


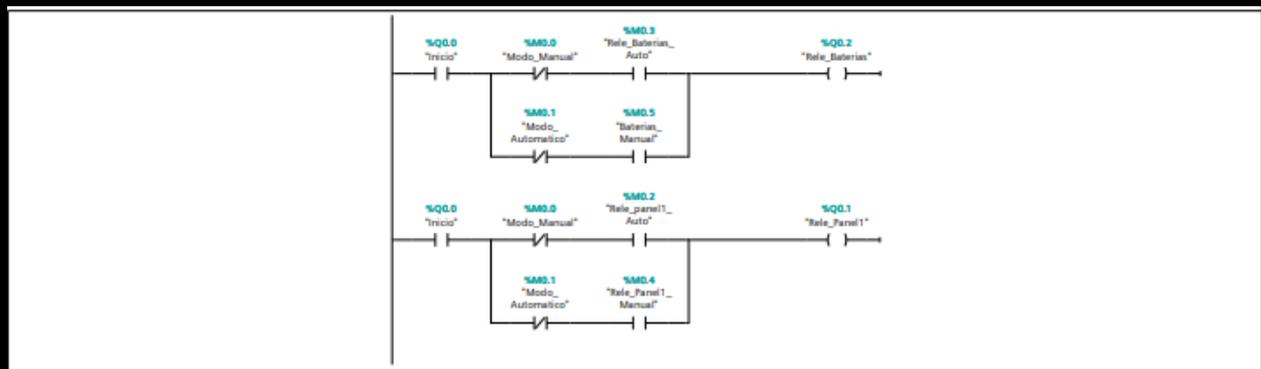
Segmento 5: control de potencia en modo manual



Segmento 6:

Control de llenado del tanque





Segmento 8: ALARMAS



