



**Implementación de un sistema solar de bombeo para el tanque elevado del colegio
Marco Fidel Suárez Sede 4, Coello-Tolima.**

Miguel Ángel Castro Olivero
Código 20451621441

Jaime Gutiérrez Suárez
Código 21131613631

Universidad Antonio Nariño
Programa Ingeniería Mecánica y Electromecánica
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Ibagué, Colombia
2022

**Implementación de un sistema solar de bombeo para el tanque elevado del colegio
Marco Fidel Suárez Sede 4, Coello-Tolima**

Miguel Ángel Castro Olivero
Jaime Gutiérrez Suárez

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecánico e ingeniero Electromecánico

Director
MSc. Luis Fernando Pesca Angulo

Línea de Investigación:
Hidráulica, Mecánica de fluidos, Automatización y generación de energía
Grupo de Investigación:
Research in Energy and Materials

Universidad Antonio Nariño
Programa Ingeniería Mecánica y Electromecánica
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Ibagué, Colombia
2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado,
“Implementación de un sistema solar de bombeo para el tanque elevado del colegio Marco
Fidel Suárez Sede 4, Coello-Tolima”,
cumple con los requisitos para optar
Al título de Ingeniero Mecánico y Electromecánico.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Ibagué, 2 de junio de 2022

Contenido

| | pág. |
|--|------|
| Resumen..... | 1 |
| Abstract..... | 2 |
| Introducción | 3 |
| 1.1 Objetivo general | 4 |
| 1.2 Objetivos específicos..... | 4 |
| 1.3 Planteamiento del problema | 6 |
| 1.4 Justificación..... | 8 |
| 2. Marco teorico | 9 |
| 2.1 Descripción del sistema de bombeo fotovoltaico..... | 10 |
| 2.2 Bomba hidráulica | 11 |
| 2.2.1 Bombas centrífugas | 12 |
| 2.2.2 Bombas de desplazamiento positivo | 13 |
| 2.2.3 Aplicaciones recomendables para cada tipo de bomba | 15 |
| 2.3 Paneles solares..... | 16 |
| 2.3.1 Estructura física del panel solar | 17 |
| 2.3.2 Parámetros eléctricos..... | 18 |
| 2.3.3 Orientación e inclinación del panel | 20 |
| 2.4 Regulador | 21 |
| 2.5 Sistema de acumulación | 23 |
| 2.5.1 Características eléctricas | 24 |
| 2.5.2 Tipos de baterías | 26 |
| 2.6 Inversor..... | 27 |
| 2.7 Sensores de nivel..... | 28 |
| 2.8 Cableado eléctrico | 30 |
| 3. Ingeniería del proyecto | 32 |
| 3.1 Caudal del proyecto..... | 32 |
| 3.2 Cálculo y selección Bomba hidráulica | 34 |
| 3.2.1 Cabeza de succión neta positiva NPSH..... | 41 |
| 3.3 Paneles solares..... | 43 |
| 3.3.1 Descripción de la zona de estudio y radiación solar | 43 |
| 3.3.2 Demanda eléctrica total E_T | 44 |
| 3.3.3 Selección del panel | 45 |
| 3.3.4 Orientacion e inclinacion del panel solar | 47 |
| 3.4 Cálculo y selección de las baterías | 48 |
| 3.5 Selección del regulador | 49 |
| 3.6 Selección del inversor | 50 |

| | |
|--|----|
| 3.7 Sensores de nivel..... | 51 |
| 3.8 Cableado eléctrico, circuito de potencia y control | 52 |
| 3.8.1 <i>Circuito de potencia y control</i> | 53 |
| 4. Operación y mantenimiento | 58 |
| 4.1 Operación | 58 |
| 4.2 Mantenimiento | 59 |
| 4.2.1 <i>Paneles solares</i> | 60 |
| 4.2.2 <i>Sistema de acumulación</i> | 61 |
| 4.2.3 <i>Regulador de voltaje</i> | 61 |
| 4.2.4 <i>Inversor</i> | 62 |
| 4.2.5 <i>Bomba de agua</i> | 62 |
| 5. Resultados | 65 |
| 5.1 Montaje e instalación del sistema solar fotovoltaico para sistema de bombeo automático | 65 |
| 5.2 Costo de la instalación..... | 68 |
| 6. Conclusiones | 70 |
| 6.1 Recomendaciones..... | 71 |
| Referencias..... | 73 |
| Anexos | 75 |

Lista de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. <i>Tanque elevado colegio Marco Fidel Suarez sede 4</i> | 7 |
| Figura 2. <i>Sistema aislado de bombeo de agua con acumulación de energía</i> | 9 |
| Figura 3. <i>Bombas centrifugas sumergible y de superficie</i> | 13 |
| Figura 4. <i>Bomba de cilindro y de diafragma</i> | 14 |
| Figura 5. <i>Tipo de bomba recomendada en función del volumen diario requerido y la carga dinámica total</i> | 16 |
| Figura 6. <i>Partes de un panel solar fotovoltaico</i> | 18 |
| Figura 7. <i>Curvas características tensión-intensidad (en azul) y tensión-potencia (en rojo) de un panel fotovoltaico</i> | 19 |
| Figura 8. <i>Conexionado de paneles solares en serie, paralelo y mixto</i> | 20 |
| Figura 9. <i>Inclinación óptima para los paneles solares</i> | 21 |
| Figura 10. <i>Regulador y conexiones an la instalación solar fotovoltaica</i> | 23 |
| Figura 11. <i>Curvas profundidad de descarga vs vida útil en ciclos</i> | 25 |
| Figura 12. <i>Tipos de conexión para baterías</i> | 26 |
| Figura 13. <i>Conexionado del inversor en sistemas aislados de la red</i> | 28 |
| Figura 14. <i>Sensor de nivel horizontal para agua tipo flotador</i> | 29 |
| Figura 15. <i>Circuito electrónico para sensor de nivel flotante en sistema de bombeo automático</i> | 30 |
| Figura 16. <i>Levantamiento planímetro sistemas de tanque elevado y subterráneo Colegio Marco Fidel Suarez sede N°4</i> | 33 |
| Figura 17. <i>Componentes hidráulicos y dimensiones del sistema de bombeo</i> | 35 |
| Figura 18. <i>Factor de resistencia en accesorios</i> | 37 |

| | |
|--|----|
| Figura 19. <i>Estimación del factor de fricción a partir del número de Reynolds y la rugosidad relativa</i> | 39 |
| Figura 20. <i>Selección del tipo de bomba</i> | 40 |
| Figura 21. <i>Presión de vapor a temperatura de operación para el agua.</i> | 42 |
| Figura 22. <i>NPSH Real para la bomba modelo BP1ME050</i> | 42 |
| Figura 23. <i>Localización geográfica y radiación solar área del proyecto</i> | 43 |
| Figura 24. <i>Promedio mensual de radiación solar para el municipio de Ibagué</i> | 44 |
| Figura 25. <i>Características eléctricas y físicas del módulo seleccionado</i> | 46 |
| Figura 26. <i>Vista en planta localizando el panel solar.</i> | 48 |
| Figura 27. <i>Características eléctricas y físicas Batería MA12-55</i> | 49 |
| Figura 28. <i>Regulador seleccionado</i> | 50 |
| Figura 29. <i>Inversor</i> | 51 |
| Figura 30. <i>Sensor de nivel tipo flotador</i> | 52 |
| Figura 31. <i>Panel de control</i> | 54 |
| Figura 32. <i>Operación del panel de control</i> | 59 |
| Figura 33. <i>Instalación bomba centrífuga de 0.5 HP</i> | 65 |
| Figura 34. <i>Paneles solares policristalinos en serie y su instalación sobre cubierta</i> | 66 |
| Figura 35. <i>Gabinete con sistema de control, regulación y almacenamiento.</i> | 67 |

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. <i>Caudal de diseño y tiempo de llenado tanque elevado</i> | 34 |
| Tabla 2. <i>Cálculo de las perdidas menores</i> | 38 |
| Tabla 3. <i>Demanda eléctrica total ET</i> | 44 |
| Tabla 4. <i>Relación entre consumo total y radiación solar para determinar el mes peor (Rmax)</i> | 45 |
| Tabla 5. <i>Calculo sección cableado eléctrico</i> | 53 |
| Tabla 6. <i>Mantenimiento preventivo trimestral paneles solares</i> | 60 |
| Tabla 7. <i>Mantenimiento preventivo anual bomba hidráulica</i> | 63 |
| Tabla 8. <i>Orden de trabajo</i> | 64 |
| Tabla 9. <i>Costos de la instalación solar de bombeo Colegio Marco Fidel Suarez sede N°4</i> | 68 |

Lista de Anexos

| | |
|---|----|
| Anexo A. Bomba Centrífuga EVANS BP1ME050 | 75 |
| Anexo B. Panel Solar RESUN policristalino..... | 77 |
| Anexo C. Batería tipo AGM MA12-55 | 79 |
| Anexo D. Regulador PWM 4830..... | 80 |
| Anexo E. Inversor BELTTT | 82 |
| Anexo F. Diagramas eléctricos de potencia y control | 84 |
| Anexo G. Manual de operación y mantenimiento | 86 |
| Anexo H. Factura de compra | 91 |

Dedicatoria

Mi proyecto de grado está dedicado a Dios por permitirme culminar con éxito mi tan anhelada carrera, por darme buena salud y fortaleza en todo momento, por ser mi guía espiritual en este largo camino, gracias a él superé momentos difíciles y me levanté para culminar con éxito.

A toda mi familia por el apoyo incondicional, por siempre impulsarme a ser mejor y lograr con éxito mi carrera, a mis hijos y esposa que son mi fuente de motivación e inspiración para salir adelante.

A mis padres, por ser pilar fundamental en mi vida, por haberme traído a este mundo, inculcarme buenos valores y darme la mejor educación que hace que sea perseverante y que pueda cumplir con mis ideales, a mis hermanas por siempre estar para mí, sabes que este logro también es suyo, a mis tías, por su apoyo incondicional, sus consejos cada vez que lo necesité, a los valiosos profesores que me impartieron sus conocimientos y me ayudaron en cada paso que di, a la Facultad de Ingeniería por recibirme y brindarme la mejor educación con excelentes profesores, a mis grandes amigos, pues siempre fueron bastón de apoyo a lo largo de la carrera y sobre todo en los últimos meses cuando realizaba la tesis que hoy les dedico, y a todo los que aportaron un granito de arena en este trabajo, fueron muchas las manos amigas encontradas en este proceso. Este logro también es de ustedes.

Jaime Gutiérrez Suárez

*Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres, mi esposa y mi hija,
Quienes fueron el apoyo familiar, moral y sentimental, para mi logro alcanzado.*

Agradeciéndoles mucho...,

Miguel Ángel Castro Olivero

Agradecimientos

Agradezco al profesor ingeniero mecánico Sr. Luis Fernando Pesca Angulo, como asesor y director del trabajo de investigación, el cual me acompañó desde su inicio hasta el final del mismo; siendo el respetado docente, catedrático de la Universidad Antonio Nariño de la ciudad de Ibagué (Tolima), institución educativa del orden superior donde culminé de conformidad, el programa académico de Ingeniería Mecánica.

Igualmente, manifiesto mis agradecimientos a la institución educativa colegio Marco Fidel Suárez Sede 4 de Coello (Tolima), donde se llevó a cabo la actividad de campo, la cual fue susceptible al desarrollo del trabajo de investigación. Reiterando, el agradecimiento a la rectora Lic. Luz Mary Ramírez Martínez, de la nombrada institución.

A lo anterior, como estudiante de la Universidad Antonio Nariño de la ciudad de Ibagué (Tolima), destaco conmensurablemente mis agradecimientos, que fueron conducentes al logro de mi propósito académico esperado.

Resumen

El presente documento contiene la metodología utilizada para la implementación de un sistema automático de bombeo para suministrar agua potable al tanque elevado del Colegio Marco Fidel Suarez sede 4 Vereda Potrerillo, del municipio de Coello-Tolima, empleando como fuente de energía un sistema solar fotovoltaico. Para lograr el objetivo propuesto se inicia con la determinación de las condiciones físicas del emplazamiento, tales como levantamiento planimétrico de los tanques subterráneo y elevado (estimando una altura neta de succión de 18 m mediante la ecuación de energía), volumen de agua (4.86 m^3), ubicación geográfica (4.25° de latitud norte y 74.98° de longitud oeste), condiciones de irradiación solar promedio mensual ($4500 \text{ W/m}^2\text{h}$), a partir de las cuales se logra determinar y seleccionar una bomba tipo centrífuga con una capacidad de 8 gpm y una potencia de 0.5 HP; para suministrar energía al equipo de bombeo se seleccionó un sistema solar fotovoltaico aislado de la red, con 2 paneles policristalinos de 340 W, dos baterías tipo AGM secas de 12 V y 55 Ah, un regulador tipo PWM y un inversor de onda pura con una potencia máxima de 1500W. Posteriormente se lleva a cabo el montaje y puesta en marcha del sistema observando un buen comportamiento según los parámetros de funcionamiento establecidos. Finalmente se hace entrega del proyecto a las directivas del colegio con los manuales de operación y mantenimiento. Costo de la instalación siete millones doscientos nueve mil seiscientos pesos (\$7.209.600)

Palabras clave: bombeo, automático, energía solar

Abstract

This document contains the methodology used for the implementation of an automatic pumping system to supply drinking water to the elevated tank of the Colegio Marco Fidel Suarez, site 4 Vereda Potrerillo, in the municipality of Coello-Tolima, using a photovoltaic solar system as an energy source. To achieve the proposed objective, it begins with the determination of the physical conditions of the site, such as planimetric survey of the underground and elevated tanks (estimating a net suction height of 18 m through the energy equation), volume of water (4.86 m³), geographical location (4.25° north latitude and 74.98° west longitude), average monthly solar irradiation conditions (4500 W/m²h), from which it is possible to determine and select a centrifugal type pump with a capacity of 8 gpm and a power of 0.5 HP; To supply energy to the pumping equipment, a photovoltaic solar system isolated from the network was selected, with 2 polycrystalline panel of 340 W, two 12 V and 55 Ah AGM type battery, a PWM type regulator and a pure wave inverter with a power 1500W maximum. Subsequently, the assembly and start-up of the system is carried out, observing good behavior according to the established operating parameters. Finally, the project is delivered to the school directors with the operation and maintenance manuals. Installation cost seven million two hundred nine thousand six hundred pesos (\$7,209,600)

Keywords: pumping, automatic, solar energy

Introducción

La implementación de proyectos con suministro de energía basada en fuentes limpias y renovables pertenecientes al Sistema Interconectado Nacional (SIN), así como los sistemas aislados y de pequeña escala ha tomado gran impulso en Colombia en los últimos años, se prevé para el 2022 un crecimiento de 50 veces la capacidad instalada en fuentes alternativas pasando de 292 MW a 2500 MW para el 2022 (ANALITIK, 2021), fruto en parte por las necesidades en regiones apartadas y por las políticas de transición energética del gobierno y los compromisos que este ha adquirido con la comunidad internacional en las diferentes Conferencias sobre el Cambio Climático de las Naciones Unidas (COP). La mayor cantidad de proyectos en energías renovables en el territorio nacional emplean como fuente primaria sistemas fotovoltaicos y eólicos; en particular el proyecto que aquí se presenta emplea energía solar fotovoltaica de tipo aislado que permitirá el bombeo de agua potable desde un tanque subterráneo hasta un tanque elevado por medio de una motobomba para garantizar el suministro del recurso hídrico a la población escolar del Colegio Marco Fidel Suarez sede 4 Vereda Potrerillo, del municipio de Coello-Tolima. Esta tecnología ha demostrado a lo largo del tiempo su confiabilidad en regiones apartadas y su multiplicidad de aplicaciones en suministro de agua potable, así como para aplicaciones agrícolas (irrigación), ganaderas (abrevaderos), etc.

A partir de la necesidad presentada en la institución educativa rural, la cual carece en la actualidad de un sistema de bombeo automático, surge la pregunta de investigación: ¿es posible suministrar agua potable al tanque elevado del colegio Marco Fidel Suarez sede 4 para garantizar el servicio a la comunidad académica mediante la implementación, construcción y puesta a punto

de un sistema de bombeo automatizado empleando como fuente de energía un sistema solar fotovoltaico?

Gracias al cálculo y selección de los diferentes componentes de los cuales se constituye el sistema hidráulico y de suministro de energía, se puede asegurar que es posible.

El tema elegido (Implementación de un sistema solar de bombeo para el tanque elevado del colegio Marco Fidel Suárez Sede 4, Coello-Tolima) sirve para suplir una importante necesidad en la institución educativa y como aporte social desde la Universidad Antonio Nariño hacia la población, de paso sirve como un claro ejemplo en el área de generación de energía mediante energías limpias y a su vez permitirá promocionar y sensibilizar a la comunidad en general sobre temas relacionados con el cambio climático y sus efectos.

Para cumplir con esta propuesta se ha planteado los siguientes objetivos:

1.1 Objetivo general

Implementar un sistema automatizado de bombeo de agua energizado con sistema solar fotovoltaico, que garantice el abastecimiento diario al tanque de almacenamiento de agua del colegio Marco Fidel Suárez Sede 4, Vereda Potrerillo, Coello - Tolima.

1.2 Objetivos específicos

- Determinar las condiciones de consumo, ubicación geográfica del proyecto, radiación solar y condiciones físicas de la instalación necesarias para el diseño y selección del sistema.
- Realizar el montaje final del sistema de bombeo de agua automatizado garantizando su funcionamiento con un sistema de alarma antirrobo.

- Elaborar y presentar el procedimiento de uso, operación y mantenimiento del sistema de bombeo.

El presente documento presenta un marco teórico el cual aborda siete capítulos que presentan los principales conceptos que sirven como base para el diseño de la instalación solar fotovoltaica para un sistema de bombeo. Un diseño metodológico en el cual se aborda el cálculo y selección de componentes de la instalación y finalmente un capítulo de resultados en el cual se presentan los principales aspectos y conclusiones fruto del proyecto.

1.3 Planteamiento del problema

El cambio climático se manifiesta de diferentes formas, una de ellas es la disminución de los caudales de las fuentes hídricas de las cuales se surten los sistemas de acueductos, tal es el caso de la quebrada Gualanday que surte del recurso a la vereda Potrerillo del municipio de Coello-Tolima, donde se manifiesta una sensible disminución del torrente acuático, no solo por el fenómeno antes mencionado sino también por la deforestación de la cabecera de la quebrada y el uso para regadío de los diferentes cultivos de otras veredas aledañas, actividad que tiene mayor frecuencia en las horas del día teniendo como efecto adicional la pérdida de presión en la red y por ende el deficiente suministro de agua potable para el tanque elevado del cual se surte la institución educativa Marco Fidel Suarez.

Ante el bajo caudal de la quebrada Gualanday durante las horas diurnas, la electrobomba que se utilizaba (fue robada) en el colegio Marco Fidel Suárez sede 4, no alcanzaba a succionar la cantidad adecuada de agua que permitiera el abastecimiento requerido del tanque elevado que tiene la Institución Educativa, el cual se muestra en la figura 1.

Es necesario entonces que se aproveche el horario nocturno cuando el caudal de la quebrada aumenta, pero esto implica la presencia de una persona encargada del encendido y apagado de la bomba una vez el tanque subterráneo alcance su nivel de capacidad de almacenamiento. Lo anterior se solucionaría con la implementación de un sistema automático de bombeo de agua que funcione con energía solar de tal manera que se garantice el funcionamiento de la bomba en cualquier hora del día.

Figura 1. *Tanque elevado colegio Marco Fidel Suarez sede 4*



Fuente: el autor

Lo anterior requiere de un diseño detallado del sistema de bombeo de agua automático, la determinación de las variables que permitirán el cálculo y la selección de los diferentes equipos para suministrar la energía a todo el sistema, así como el montaje final. Finalmente, la elaboración y presentación de los manuales de mantenimiento y guía de operación. En la actualidad el colegio Marco Fidel Suárez, sede 4, no cuenta con una electrobomba ya que la que se venía utilizando fue hurtada por lo cual es necesario también que el sistema se instale en un lugar seguro.

1.4 Justificación

La ejecución de este proyecto tiene sustento en las siguientes razones:

1. Es necesario mejorar las condiciones sanitarias e higiénicas para el desarrollo adecuado del proceso de enseñanza-aprendizaje que se adelanta en la institución educativa de la vereda, de tal manera que se cumpla con los lineamientos estipulados por el Ministerio de Educación Nacional (MEN) en cuanto al uso de agua. (MEN, 2020)

2. Se busca solucionar una problemática que incide en el normal desarrollo del proceso de enseñanza-aprendizaje lo que puede generar problemas de rendimiento académico por parte de la población estudiantil e ineficacia en los recursos que invierte el Estado para el sostenimiento de la Institución, todo esto debido al incumplimiento de los lineamientos que se establecen por el MEN.

3. Ayuda a garantizar que se brinde el servicio educativo para la formación académica de la población estudiantil del sector lo cual es un pilar en el desarrollo y la superación de las condiciones de desigualdad económica y social de un pueblo o comunidad, atendiendo al principio del derecho a la educación para todos y que se establece en la Constitución Política de Colombia en los artículos 44, 67 entre otros (Congreso de la Republica, 1991)

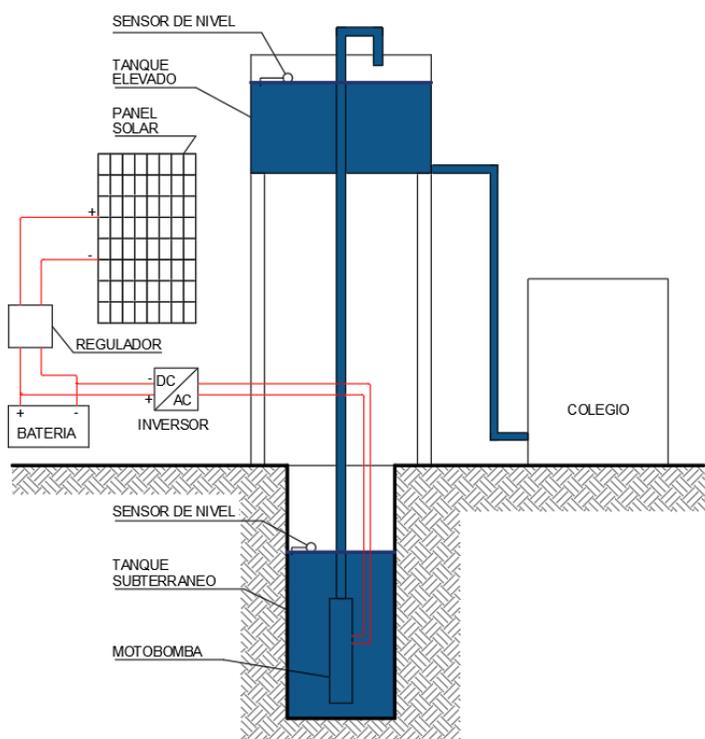
4. Con el control automático de encendido y apagado de la electrobomba, la institución se evitaría tener que encargar a una persona para que encienda y apague diariamente la electrobomba con el agravante de que en las horas de la noche no hay quien realice esta labor y es cuando más se puede aprovechar el caudal de la quebrada.

5. Se hace un aprovechamiento de la energía solar limpia y renovable, que es muy abundante en esta región debido a sus condiciones climáticas y a la vez está casi inutilizada en nuestro medio.

2. Marco teorico

Los sistemas de bombeo de agua para satisfacer las necesidades de la población, agrícolas y ganaderas en sitios aislados, con problemas de suministro o simplemente para aprovechar el recurso solar han convertido a los sistemas fotovoltaicos en una práctica usual y rentable. Este capítulo describe y presenta los diferentes elementos de los cuales consta. En el sistema implementado en este proyecto (véase Figura 2), el agua es bombeada desde un depósito subterráneo a un tanque elevado principalmente en horas de la noche cuando el suministro de agua es suficiente para la operación de la bomba (sumergible o de superficie). Esto hace necesario el almacenamiento de energía captada durante las horas de asolación.

Figura 2. Sistema aislado de bombeo de agua con acumulación de energía



Fuente: el autor

2.1 Descripción del sistema de bombeo fotovoltaico

Un sistema de bombeo fotovoltaico está compuesto esencialmente de tres subsistemas:

- Subsistema fotovoltaico.
- Subsistema motobomba.
- Subsistema de acumulación y distribución.

El subsistema fotovoltaico a su vez está conformado por un sistema de acondicionamiento de potencia (controlador, baterías, inversor DC/AC, cableado, etc.) entre los paneles solares y el grupo motobomba. El sistema debe estar debidamente instalado y protegido, se emplean sensores de nivel tanto en el pozo como en el depósito de acumulación para evitar desperdicio de agua y operación en vacío. Para llevar a cabo los cálculos y selección de los componentes fotovoltaicos, es necesario estimar la potencia de la bomba mediante la estimación de la cabeza neta de la bomba. Esta se determina por la suma de la diferencia de nivel entre el nivel del agua entre el pozo y el tanque elevado (marcado por los sensores de nivel) y las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios (en función de la longitud, diámetros y material de fabricación). Las principales variables que inciden en la configuración de un sistema de bombeo empleando como fuente de energía paneles solares son:

Las variables hidráulicas. La profundidad del nivel del agua en el tanque subterráneo bajo la superficie; la altura geométrica o de elevación sobre la superficie del suelo (en este caso, hasta el tanque elevado); las pérdidas de presión (equivalente en metros) fruto de la fricción a lo largo de los ductos y los diferentes accesorios adicionales de presión en tuberías y accesorios.

Las variables de radiación y climatológicas. La radiación incidente en el lugar en dependencia de la posición geográfica (latitud, longitud, altura sobre el nivel del mar), la hora del

día y el mes del año, así como condiciones de nubosidad y sombras determinan la energía suministrada por el panel solar al sistema.

De acuerdo a estas variables, pueden resultar diferentes tipos de configuraciones para un sistema de bombeo con fuente en energía solar: según la disposición de la bomba en sumergible, flotante, de succión superficial; según el tipo de bomba, centrífuga o de desplazamiento positivo y según el tipo de corriente, en continua o alterna.

2.2 Bomba hidráulica

Dispositivos que transforman la energía mecánica en energía hidráulica. Se distinguen dos tipos de bombas en aplicaciones solares: bombas de desplazamiento positivo y bombas centrífugas. Las bombas de desplazamiento positivo tienen un volumen que varía por el movimiento de una parte móvil (lóbulo, pistón, engranaje, etc.) forzando al fluido que las llena a dirigirse en una dirección determinada (descarga de la bomba), siendo la más empleada la de pistón; para alturas elevadas y bajo caudal.

Las bombas centrífugas logran la transformación de la energía gracias a la rotación de alabes o paletas. A diferencia de las bombas de desplazamiento positivo, estas manejan un mayor caudal. Cuando la altura de succión es elevada, se puede presentar fenómenos de cavitación, pueden disponerse con más de un cuerpo en dependencia de la altura de descarga.

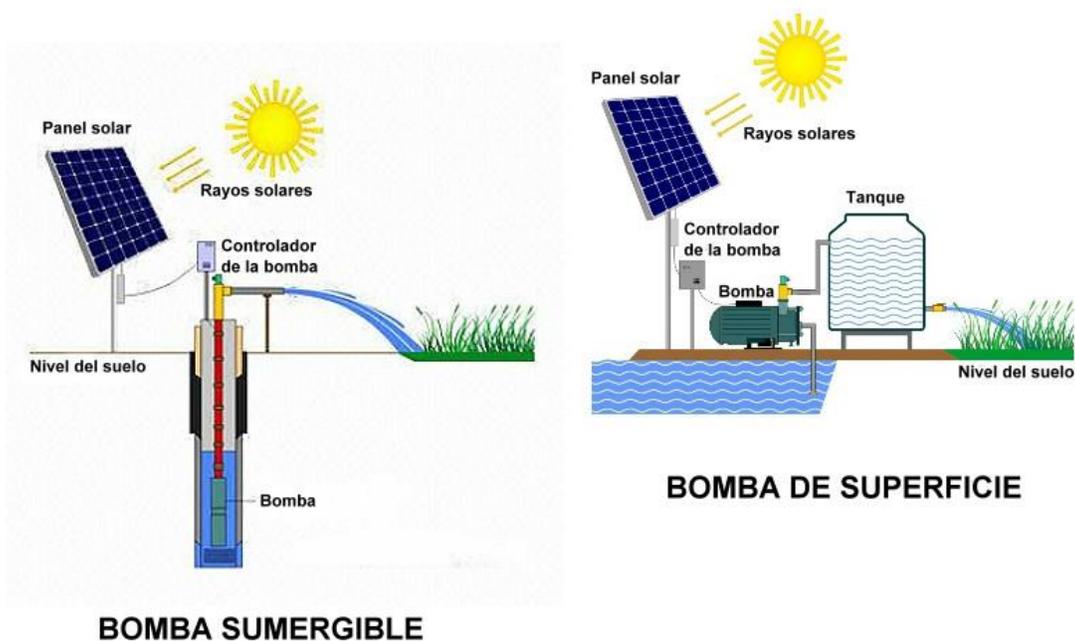
La forma más adecuada para relacionar tanto altura como caudal a cierto régimen de velocidad es la curva característica; adicionalmente también se puede relacionar la eficiencia, la cual disminuye con la velocidad de rotación. Constructivamente son más sencillas, con menos partes móviles, económicas y fácil mantenimiento.

De acuerdo al punto de toma del líquido se clasifican en sumergibles, flotantes y de superficie. Cuando el pozo tiene un diámetro pequeño y el volumen de líquido varía en función de la altura se emplean bombas sumergibles. Si la fuente del líquido tiene una gran superficie, tal como un lago, río o pozo de diámetro considerable se emplean bombas flotantes. Las bombas de superficie se emplean para alturas de aspiración menores a 6 metros y donde el rango de nivel del fluido no varía drásticamente. (Action, 2017)

2.2.1 Bombas centrífugas

Están dotadas de un impulsor que gracias a la fuerza centrífuga y la velocidad elevada permiten el ingreso del fluido de forma axial (por el eje del rodete) y lo impelen de forma radial. En sistemas fotovoltaicos de bombeo se pueden presentar sumergibles y superficiales con una capacidad de bombear agua a unos 50 metros o más, dependiendo del tipo de rodete y la cantidad. Se fabrican para diferentes alturas de bombeo y caudales, los cuales se incrementan con la velocidad de rotación. En el caso de las bombas que se instalan superficialmente tienen la desventaja de trabajar inadecuadamente con alturas de succión superiores a los 8 metros, mientras la principal ventaja es la facilidad de inspección y mantenimiento. El grupo motor-bomba puede tener diferentes configuraciones, por ejemplo, motor acoplado directamente al eje del impulsor (superficiales y sumergibles) tal como se puede observar en la figura 3 (Bombas solares, 2021), otras emplean el motor en la superficie y la bomba sumergida unidos por un eje, algunas bombas emplean rotores acoplados en serie (de paso múltiple); en todo caso las bombas sumergibles son selladas con sistema de lubricación en aceite o por agua.

Figura 3. Bombas centrífugas sumergible y de superficie



Fuente: Bombas solares: una tecnología limpia, 2021 Recuperado de

<https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/bombas-de-agua-funcionamiento>

2.2.2 Bombas de desplazamiento positivo

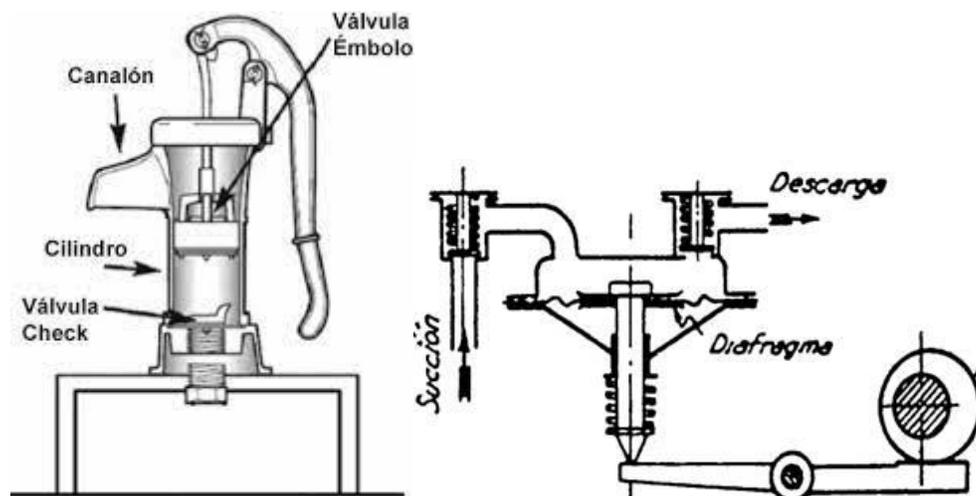
Las bombas de desplazamiento positivo son empleadas para bajos caudales y cuando la altura de bombeo es alta. Presentan diferentes formas constructivas con principio de movimiento alternativo o rotacional siendo el caudal proporcional al volumen desplazado en el interior del dispositivo, siendo más eficientes que las bombas centrífugas. En aplicaciones solares se pueden encontrar las siguientes:

- Bombas de cilindro.

Los sistemas de suministro de agua mediante bombas de cilindro han tenido gran aplicación en lugares donde no hay redes de electricidad y su accionamiento es mediante tracción animal, humana o el viento, una bomba de cilindro se puede observar al costado izquierdo de la figura 4

(Evans, 2021). El principio de funcionamiento consiste en el llenado del espacio cilíndrico cuando el pistón baja y la extracción del fluido cuando el pistón sube, presentándose un flujo no continuo. En la actualidad el sistema es motorizado y el suministro de energía es proporcionado por paneles solares o sistemas eólicos. La energía eléctrica necesaria para su funcionamiento es requerida solo en una parte del ciclo de bombeo, deben estar conectadas a un controlador de corriente para aprovechar al máximo la potencia suministrada por un sistema fotovoltaico en caso que este sea utilizado.

Figura 4. Bomba de cilindro y de diafragma



Fuente: Bomba de jarra y puyón, 2021. Recuperado de

https://www.evans.com.mx/media/manuales/Mp_BombaJarra_Puyon_70080139.pdf

- Bombas de diafragma

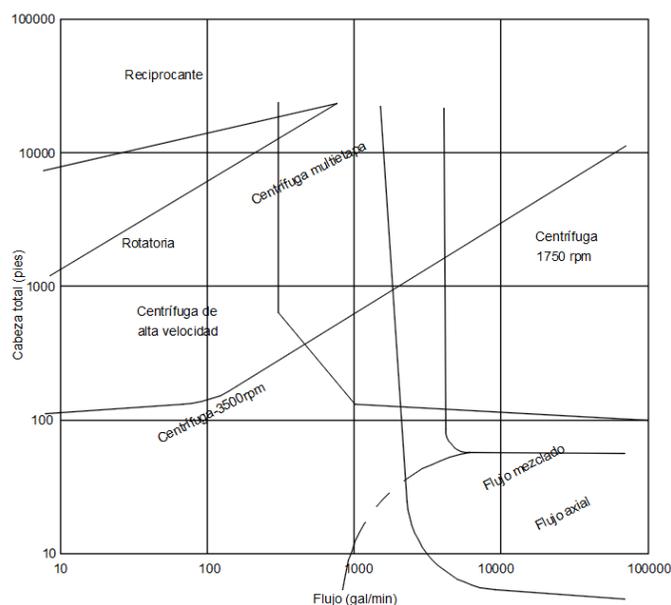
Este tipo constructivo de bomba logra el desplazamiento del líquido gracias a diafragmas flexibles y altamente resistentes y a un par de válvulas que controlan la succión y descarga del cuerpo de la bomba (ver figura 4, derecha). Generalmente los diafragmas son fabricados de caucho

reforzado y materiales sintéticos. En la actualidad gracias a la calidad del material del diafragma se requiere mantenimiento cerca de los tres años de funcionamiento continuo. Existen modelos tanto sumergibles como superficiales. En relación al costo son económicas.

2.2.3 Aplicaciones recomendables para cada tipo de bomba

La selección apropiada del tipo de bomba para la aplicación requerida busca el equilibrio entre eficiencia, consumo de energía, caudal, altura de bombeo. Un fabricante puede ofrecer diferentes alternativas entre bombas centrífugas y volumétricas, todas ellas deben usar la energía eficientemente ya que en algunos casos esta es costosa o de difícil consecución en el sitio de la aplicación (combustibles fósiles). En todo caso, la selección del equipo adecuado debe estar en el rango óptimo de operación, las más eficientes son las de desplazamiento positivo de pistón, pero su empleo se reduce a caudales bajos, aunque con altura de bombeo elevada. Un método para seleccionar adecuadamente el tipo de bomba a utilizar es suministrado por los propios fabricantes, allí se hace necesario definir el caudal requerido y estimar cual es la carga dinámica total, que incluye la altura geométrica, así como las pérdidas por fricción en tuberías y accesorios. Un ejemplo de este tipo de diagramas se puede observar en la figura 5 (Mott, 1996), donde en el eje vertical se encuentra la escala de altura dinámica y en el eje horizontal el caudal requerido, la intersección indica el tipo de bomba recomendable para el sistema.

Figura 5. Tipo de bomba recomendada en función del volumen diario requerido y la carga dinámica total



Fuente: Adaptado de Mecánica de fluidos aplicada de Robert Moot, 1996.

2.3 Paneles solares

Se denomina panel solar a un conjunto de células conectadas eléctricamente de tal manera que, al ser encapsuladas y ensambladas sobre un marco y debidamente protegidas de la intemperie, el resultado es un dispositivo que transforma la energía contenida en la radiación solar en energía eléctrica por medio del efecto fotovoltaico arrojando tensiones que varían de 6, 12,24 o Voltios.

Las células solares se fabrican en materiales semiconductores de los cuales el más utilizado es el silicio que dependiendo de su proceso de obtención se pueden clasificar en:

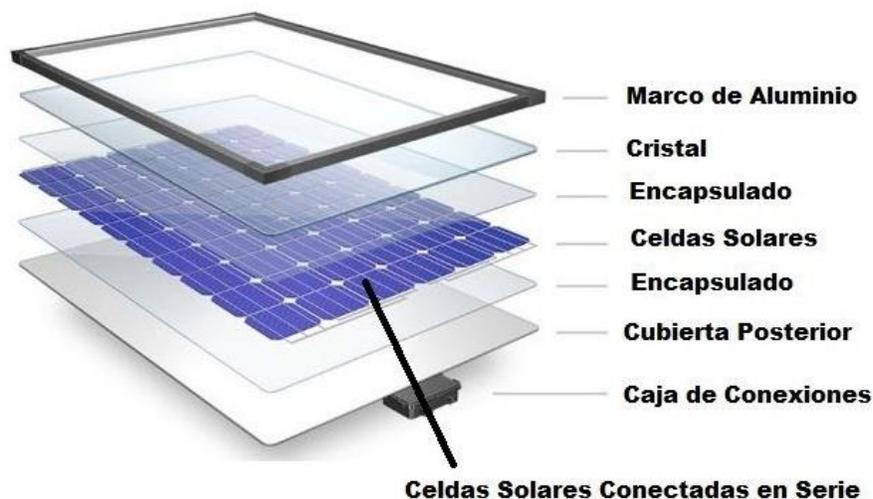
- **Silicio monocristalino (M-Si):** son los más empleados gracias a su confiabilidad y vida útil (10 años), aunque ligeramente más costosos que los otros tipos pues su proceso de fabricación consume más energía y mayor tiempo. Se forman a partir de un único cristal.

- Silicio policristalino (P-Si): con una menor eficiencia son ligeramente más baratos que los módulos de silicio monocristalino. La solidificación del silicio se da de forma lenta en un molde rectangular dando como resultado muchos cristales.
- Módulos de silicio amorfo (a-Si): son los de menor precio, pero al mismo tiempo los de menor eficiencia, también se les conoce como células de capa delgada. Se fabrican mediante el depósito de diferentes variedades de sustratos, entre los más empleados recientemente están: Celdas solares sensibilizadas por colorante (DSC), aleaciones de cobre indio galio y selenio (CIS o CIGS), telurio de cadmio (CdTe) y otros silicios de película delgada (TF-Si).

2.3.1 Estructura física del panel solar

El panel solar se presenta generalmente en un marco rectangular de aluminio aislado y sellado herméticamente con una cubierta en vidrio (de cara al sol) el cual tiene la función de permitir el paso de la luz radiante, mientras protege de los elementos ambientales tales como la lluvia y el polvo, se elabora en vidrio templado con bajo contenido en hierro. Al interior el panel las células solares van encapsuladas por plástico EVA (acetato vinil etileno) protegiendo también los terminales eléctricos, actúa como aislante térmico al tiempo que permite el paso de los rayos solares hasta las células. En la parte posterior del panel se emplean materiales resistentes al medio ambiente y que tienen buena reflexión generalmente de color blanco (Tedlar, EVA, Polyvinilos, etc.). La caja de conexión eléctrica da continuidad al circuito formado por el arreglo de las células solares al interior del panel entregando dos cables un terminal positivo y uno negativo (algunas veces toma a tierra). (Solar, 2021). En la figura 6 (Tecnología, 2021) se puede observar la composición típica de un panel solar monocristalino.

Figura 6. *Partes de un panel solar fotovoltaico*



Fuente: Área tecnología, 2021. Recuperado de <https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>

2.3.2 Parámetros eléctricos

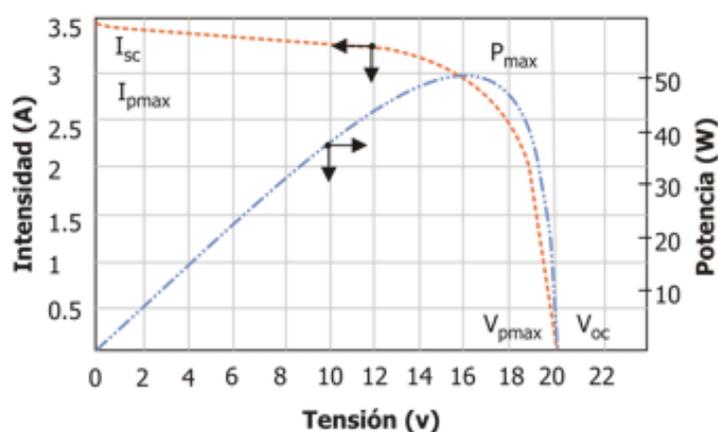
Los parámetros eléctricos de un panel son suministrados por los fabricantes, siendo los principales (Díaz & Carmona, 2010):

- Potencia máxima o pico ($P_{\text{máx}}$): como su nombre lo indica es el punto de máxima potencia que puede entregar un panel solar en el momento en el que el producto corriente y tensión alcanzan su máximo. Se da en Vatios (w)
- Tensión en el punto de potencia máxima (V_{mpp}): cuando el panel alcance su máxima potencia es la tensión en voltios (V) que este puede suministrar.
- Corriente en el punto de potencia máxima (I_{mpp}): cuando el panel alcance su máxima potencia es la corriente en amperios (A) que este puede suministrar.
- Corriente de cortocircuito (I_{sc}): corresponde la máxima corriente que entrega el módulo entre sus terminales positivo y negativo cuando la tensión es cero, por tanto, la potencia también es nula.

- Tensión de circuito abierto (V_{OC}): tensión en los terminales de conexión cuando no hay carga conectada en el panel representa la máxima tensión que puede dar un módulo.

En la figura 7, se presenta el ejemplo para un panel solar de curvas de tensión vs intensidad y tensión vs potencia.

Figura 7. *Curvas características tensión-intensidad (en azul) y tensión-potencia (en rojo) de un panel fotovoltaico*

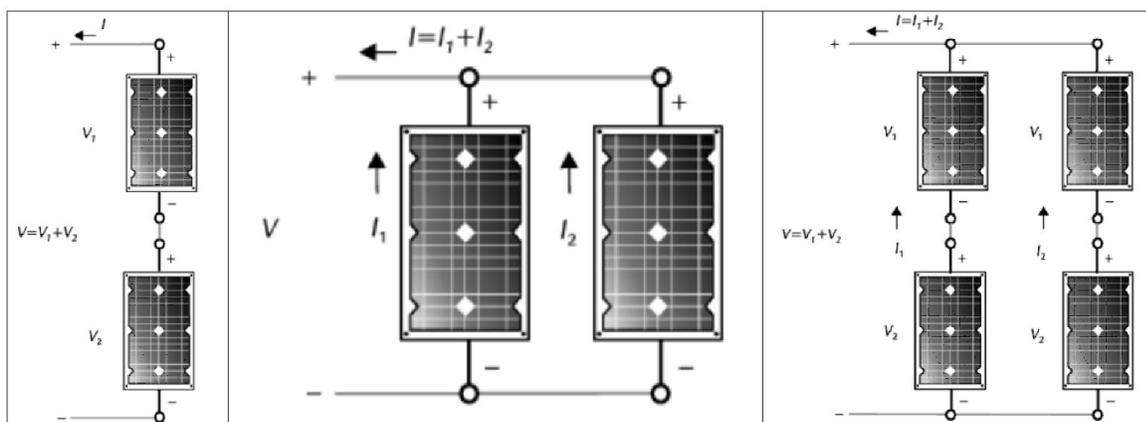


Nota: La curva de potencia es el producto entre tensión e intensidad. Adaptado de: Unidad 1. Componentes de una instalación solar fotovoltaica, T. Díaz y G. Carmona, 2010. McGraw Hill. Recuperado de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

Agrupamiento de módulos: La interconexión entre paneles solares se puede realizar ya sea en serie, paralelo o mixto, todo en dependencia de los valores deseados de tensión y corriente. Al conectar módulos en serie la tensión de salida es la suma individual de cada uno de los paneles, la corriente es única. En la figura 8 se puede observar un par de paneles solares conectados en serie. Cuando la conexión es en paralelo la tensión de salida es la misma que es proporcionada por cada panel en forma individual, mientras la corriente es la suma total. Cuando los módulos se conectan

en serie y posteriormente en paralelo, (Figura 8), la tensión de salida y la corriente suministrada por el conjunto se suman. (Villalva, 2012)

Figura 8. Conexión de paneles solares en serie, paralelo y mixto



Fuente: Adaptado de Energía Solar Fotovoltaica. Conceitos e Aplicações. Gradella Villalva, M., Gazoli, J.R. (2012)

2.3.3 Orientación e inclinación del panel

La máxima capacidad de generación de un panel solar se produce cuando los rayos solares inciden sobre la superficie de forma perpendicular, aquí se hace necesario entonces orientar el panel respecto al norte-sur (azimut) y dar un ángulo de inclinación respecto a un plano horizontal para obtener de este su máxima eficiencia (ver figura 9). Para orientar un panel en el hemisferio norte, el panel debe apuntar al sur; lo mismo desde el hemisferio sur, el panel debe dirigirse al norte, siempre y cuando no interfieran elementos que produzcan sombra sobre la superficie del panel.

En lo referente al ángulo de inclinación, esta se puede estimar conociendo la latitud geográfica mediante la ecuación:

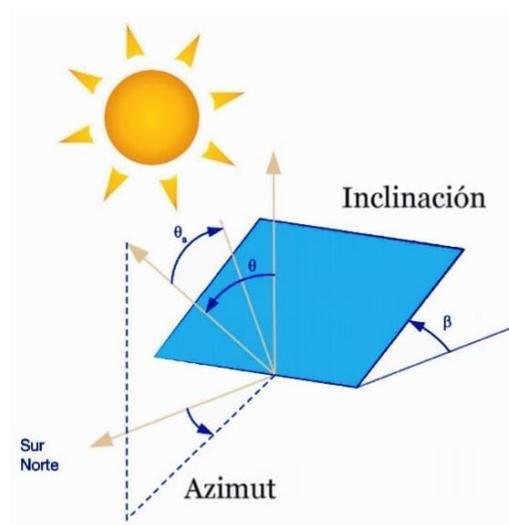
$$\beta = 3.7 + (0.69 \times \varphi)$$

Donde:

β : es el ángulo de inclinación en grados

φ : es la distancia de un paralelo y la línea del ecuador en grados (positivo al norte, negativa al sur)

Figura 9. *Inclinación óptima para los paneles solares*



Fuente: Adaptado de https://i.ytimg.com/vi/RB_CLZ_UB90/maxresdefault.jpg

2.4 Regulador

Es un dispositivo electrónico encargado de regular como su nombre lo indica el flujo de corriente desde los paneles hacia las baterías una vez estas han alcanzado su carga completa y al mismo tiempo controla el flujo de carga hacia el inversor en caso que este sea utilizado.

En la actualidad el mercado ofrece diversos tipos de reguladores siendo los más recomendables aquellos con desconexión automática por baja tensión (LVD) e indicadores luminosos del estado de carga. Durante el proceso de carga, su objetivo es garantizar la carga suficiente al sistema de baterías y evitar la sobrecarga, mientras que en el proceso de descarga debe garantizar el suministro eléctrico suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería. (Díaz & Carmona, 2010).

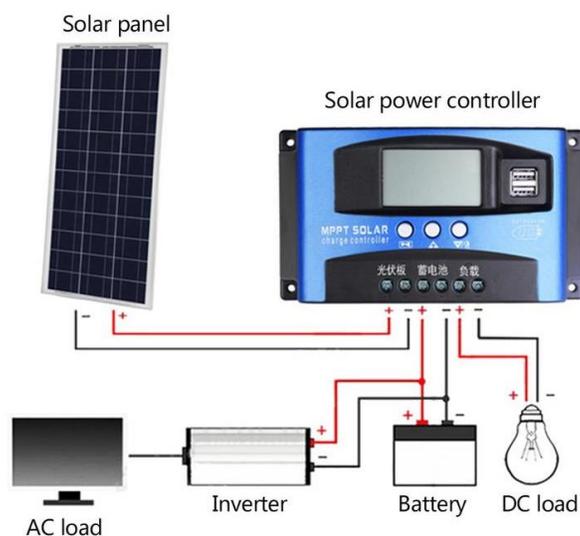
En caso de sobrecarga, el regulador dispone el conjunto de paneles en circuito abierto, cortando el paso de corriente de los paneles hacia el sistema de acumulación. En caso de sobre descarga, suspende el suministro eléctrico a los puntos de consumo o emitir una alarma lumínica o sonora indicando esto que la tensión en las baterías está por debajo a los niveles mínimos de seguridad. (Abella, 2010)

Cuando se dimensiona una instalación solar fotovoltaica se realiza de tal forma que se garantice el suministro de energía eléctrica bajo las condiciones menos favorables de irradiación solar, esto puede provocar en temporadas de elevada radiación solar una sobre carga en los acumuladores, por ello la necesidad del regulador en el sistema, el cual puede representar hasta un 5% del costo total de la misma. Los reguladores se pueden clasificar según:

- La tecnología del interruptor de conexión-desconexión en relé electromagnético o de estado sólido.
- Estrategia de desconexión del consumo. Por tensión, algoritmos de cálculo de estado de carga y gestión de carga.
- Posición del interruptor de control de generación, en serie o paralelo.

En la figura 10 muestra la ubicación y el conexionado de un regulador en un sistema solar fotovoltaico con salidas en corriente continua y alterna.

Figura 10. Regulador y conexiones an la instalación solar fotovoltaica



Fuente: Ojacob. Controlador de carga solar, 2021. Adaptado de

https://www.ojacobc.com/index.php?main_page=product_info&products_id=527201

Los fabricantes entregan los parámetros de tensión nominal y la intensidad máxima de trabajo como características eléctricas y peso, dimensiones, materiales, especificaciones de seguridad, temperaturas de operación, etc.

2.5 Sistema de acumulación

El sistema de acumulación está formado por baterías diseñadas especialmente para esta aplicación, se hacen necesarias para cumplir cualquiera de las siguientes funciones:

- Durante periodos de alta radiación y/o bajo consumo almacena energía eléctrica.
- Suministrar energía eléctrica en periodo de baja o nula radiación solar (días nubados o en la noche).
- Proveer energía eléctrica en forma estable y regulada a los equipos de consumo. En algunos casos la corriente requerida en el consumo es superior a la proporcionada por el panel solar (generalmente en el arranque)

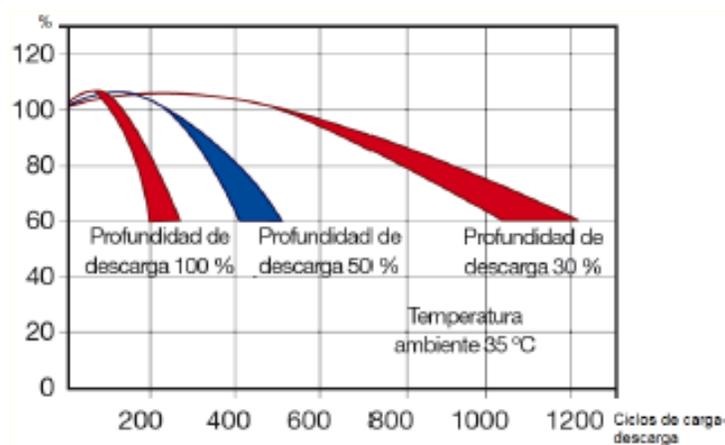
2.5.1 Características eléctricas

Al dimensionar una instalación solar fotovoltaica, se debe considerar la capacidad de acumulación respecto al sistema de generación (Abella, 2010). Un exceso de acumulación respecto a la generación fotovoltaica provocaría en la batería dificultades para poder cargarse completamente, por el contrario, una baja acumulación implicaría poca autonomía y por ende la falta de suministro eléctrico en los consumos. Otro aspecto a considerar es que la tensión de trabajo de los paneles sea superior al de las baterías, de tal forma que el proceso de carga de las mismas y el funcionamiento del regulador sean correctos. Entre las características eléctricas de un sistema de acumulación podemos destacar:

- La capacidad. Es la cantidad de corriente que puede obtenerse en una descarga completa de la batería, (con carga completa en la unidad). Se da en amperios-hora (A·h), es el producto entre la corriente de descarga de la batería y el tiempo durante el que está actuando. Como ejemplo, una batería con capacidad de 120 A·h puede suministrar 120 A en una hora (se especifica C1), o 12 A en diez horas (se especifica C10). C1 y C10 se refiere al tiempo de descarga, en aplicaciones fotovoltaicas es común 100 horas como tiempo de descarga (C100).
- Eficiencia de carga. Relación entre energía utilizada para recargar la batería, sobre la energía almacenada real, siendo el ideal el 100%.
- Autodescarga. Cuando una batería en circuito abierto no está en operación durante cierto periodo de tiempo presenta una descarga que puede oscilar en el 10% de su capacidad.
- Profundidad de descarga. Una vez con carga total, es el porcentaje de energía que la unidad suministra durante un ciclo. Si la batería de 120Ah descarga 12 Ah representa una profundidad de descarga de 10%. La profundidad de descarga se relaciona directamente con la

vida útil del acumulador; En la figura 11 se puede observar que entre mayor sea la profundidad de descarga menor será el número de ciclos de operación (menor vida útil). Se definen como descargas superficiales aquellas que están por debajo del 20% (generalmente descargas diarias) y descargas profundas hasta un 80% (de varios días).

Figura 11. *Curvas profundidad de descarga vs vida útil en ciclos*



Fuente: Adaptado de “Unidad 1. Componentes de una instalación solar fotovoltaica”, por T. Díaz y G. Carmona, 2010. McGraw Hill. Recuperado de <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>

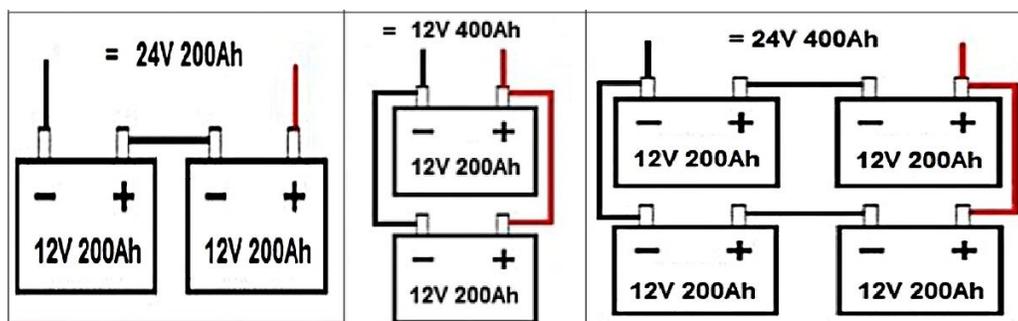
Las baterías suelen estar formadas por elementos individuales de 2 V que se conectan en serie proporcionando tensiones de 12 V, 24 V, 48 V, etc. Las baterías se conectan en serie, paralelo o en un arreglo mixto. En la figura 12 se puede observar los diferentes tipos de arreglos.

Conexión en serie. La tensión del arreglo es la suma de cada batería siendo la corriente la misma para una unidad.

En el conexionado en paralelo la tensión del grupo es la misma que para una unidad, mientras la corriente es la suma del grupo.

Arreglo mixto. Se emplea para aumentar simultáneamente la tensión y corriente conectando primero en serie para obtener la tensión deseada y luego en paralelo para aumentar la corriente de salida.

Figura 12. *Tipos de conexión para baterías*



Nota: la primera columna corresponde a conexión en serie, la segunda columna a un arreglo en paralelo y la última columna a un arreglo mixto. Adaptado de Baterías y amperios. Recuperado de <https://bateriasyamperios.wordpress.com/2014/04/07/conexiones-en-serie-y-en-paralelo-para-varias-baterias/>

2.5.2 Tipos de baterías

En aplicaciones fotovoltaicas se utilizan dos tipos principales: baterías de plomo-ácido y níquel-cadmio (Ni-Cd). Siendo las de plomo-ácido las más económicas, mientras que las de níquel-cadmio son más costosas, pero con mayores ventajas frente a las de plomo tales como, mayor vida útil frente a descargas profundas o el no deterioro frente, una menor autodescarga y menor mantenimiento.

También existen en el mercado otros tipos de baterías, tales como las de níquel-hierro, níquel-zinc, zinc-cloro o las de Ion-litio, que en la actualidad son las más recomendadas en aplicaciones fotovoltaicas.

2.6 Inversor

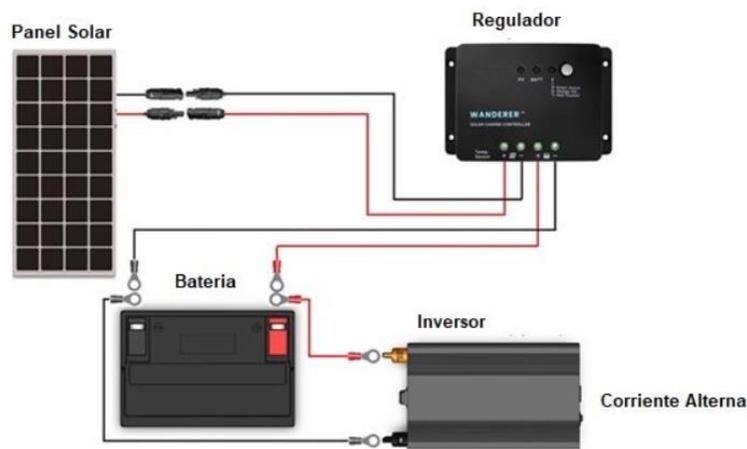
Es un dispositivo electrónico que convierte la corriente continua proporcionada por los paneles y almacenada en las baterías en corriente alterna, para la selección de este dispositivo se debe tener en cuenta: la estabilidad del voltaje de salida, el rango de tensión de entrada, la potencia nominal y pico, la eficiencia, la forma de la onda (cuadrada, sinusoidal modificada y pura), etc.

El inversor debe ir conectado a la batería en sistemas autónomos, tal como se observa en la figura 13, por temas de sobrecargas; en general estos equipos disponen de una protección de bajo voltaje en la batería que corta el suministro de energía en caso que se presente.

La selección del inversor en instalaciones aisladas de la red depende de la tensión nominal en corriente continua a la entrada y corriente alterna a la salida, así como la potencia nominal (Areatecnologia, 2021), La tensión nominal de entrada debe ser igual a la tensión del sistema acumulador, para baterías de 24V la tensión de entrada al inversor debe ser 24V, la tensión de salida puede ser de 110, 220 o 440V a 60 Hz. En relación a la potencia nominal debe ser la suma de todos los consumos funcionando al mismo tiempo por un factor de seguridad de 25%, por ejemplo, para 3 lámparas de 20W (60W) la potencia nominal del inversor debe ser mínimo 75W.

La situación cambia cuando en la instalación hay motores ya que se debe trabajar con la potencia Parente (VA) y no las activas (W), pues el pico se presenta durante los arranques.

Figura 13. *Conexión del inversor en sistemas aislados de la red*



Fuente: Conexión del inversor a la batería, 2021. Adaptado de Areatecnologia. Recuperado de

https://www.areatecnologia.com/electricidad/inversor-fotovoltaico.html#Caracter%C3%ADsticas_de_un_Inversor

Tipos de inversores

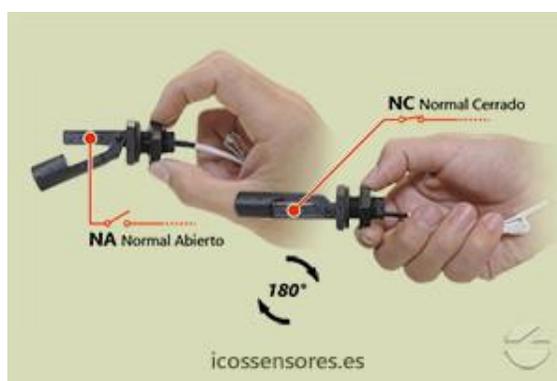
- De onda cuadrada. Son los más económicos del mercado. Se basan en una rectificación simple de la onda de corriente continua de entrada, con muy poca modulación o filtrado. La onda que resulta presenta gran contenido de armónicos o ruido, siendo muy elevada, cercano al 40%, con un rendimiento bajo alrededor del 50 o 60%.
- Los inversores de onda sinusoidal modificada presentan un contenido de armónicos o ruido del 20% y sus rendimientos son mayores al 90%.
- Los inversores senoidales puros tienen un filtrado más fino de la señal generada. En general son la mejor opción para la alimentación de cargas AC.

2.7 Sensores de nivel

Un sensor de nivel al que se le conoce también como interruptor o sensor de boya, es un instrumento que funciona con un switch y un flotador magnético. El movimiento relativo del

flotador hace apertura o cierre de un circuito eléctrico; se emplean para censar el nivel de depósitos que contienen líquidos indicando mediante una señal ON/OFF cuando alcanzan el nivel deseado, esta señal puede ser acústica, lumínica o simplemente una señal eléctrica para ser recibida por un controlador tipo Arduino, microcontrolador, convertidor de frecuencia o relé para activar o desactivar bombas hidráulicas. En la figura 14 se observa un sensor de nivel tipo flotador.

Figura 14. *Sensor de nivel horizontal para agua tipo flotador*

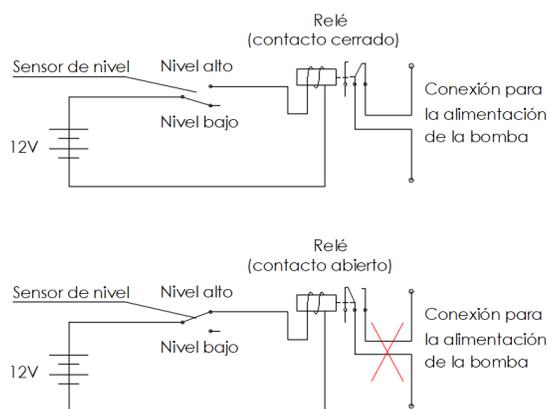


Fuente: ECOSENSORES, 2022. Recuperado de: <http://www.eicos.com/datos-tecnicos/que-es-un-sensor-de-nivel/>

Los sensores de nivel en sistemas hidráulicos cumplen una doble función, la primera es registrar una altura del nivel del agua determinada máximo o mínimo y la otra evitar las pérdidas del líquido. El control de nivel máximo evita desperdicios de agua y envía una señal de parada al equipo de bombeo, en un tanque elevado el sensor envía una señal al controlador para detener la operación de la bomba. El control de nivel mínimo protege al equipo de bombeo de trabajo en vacío, el cual puede afectar la vida útil del mismo. Un depósito, por ejemplo, subterráneo con un nivel bajo de líquido, debe mantener fuera de operación a la bomba; mientras un nivel mínimo en un tanque elevado es la señal ON para la operación del sistema de bombeo, la conjugación de diferentes estados dará la señal de entrada en operación de la bomba (nivel mínimo en tanque elevado, nivel máximo en tanque subterráneo). La figura 15 presenta un circuito electrónico para nivel de

agua en el tanque elevado: el switch flotante en el nivel bajo, conserva al relé en posición cerrada permitiendo la entrada en operación de la bomba (figura 15, superior), mientras el sensor en nivel alto abre el contacto del relé sacando de operación a la bomba (figura 15, inferior)

Figura 15. Circuito electrónico para sensor de nivel flotante en sistema de bombeo automático



Fuente: el autor

2.8 Cableado eléctrico

De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana NTC 2050 (2020) los materiales de conducción eléctrica en sistemas solares fotovoltaicos deben ser de tipo UFG o USE con una caída de tensión eléctrica menor al 1% entre regulador y batería. Son materiales tipo cable o alambre en cobre recubierto de material aislante. LA norma también recomienda que las distancias entre el generador y el grupo de control y regulación sea la menor posible. Un sistema de bombeo que utiliza la energía del sol como fuente también utiliza otros dispositivos tales como:

- Fusible. Elemento cuya función es el corte del suministro de energía ante una sobrecarga o cortocircuito, se debe localizar al menos entre regulador-batería y batería-consumo (NTC 2050, 2020) para protección de cableado se elige de tal manera que la máxima corriente se encuentre entre el 50 al 80% de su capacidad nominal.

- Interruptor. Swicht, permite el paso o no de la corriente. En sistemas solares fotovoltaicos se ubican en serie entre los generadores y el regulador, inversor y consumo. Los hay diferenciales y magnetotérmicos.

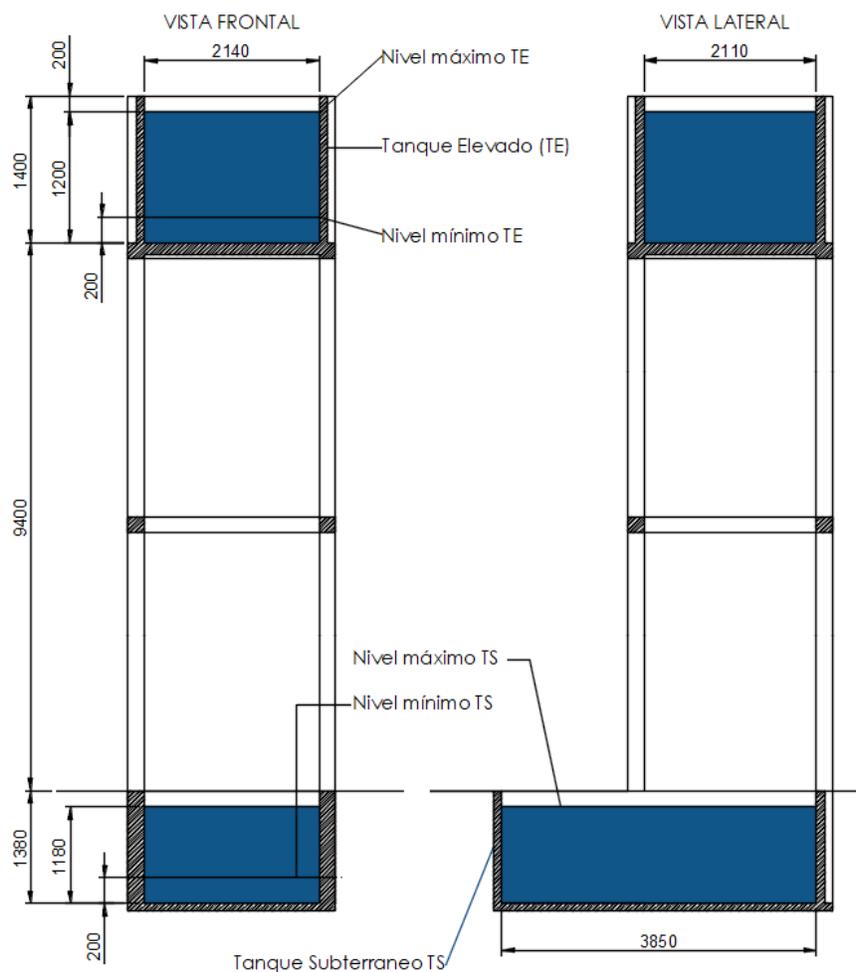
3. Ingeniería del proyecto

En este capítulo se presenta la metodología seguida para determinar inicialmente el caudal del proyecto y mediante la distribución del sistema de bombeo estimar la carga neta necesaria para seleccionar el tipo de bomba. Una vez se determinan sus características se abordará el diseño y selección de los componentes del sistema solar fotovoltaico y el sistema de control.

3.1 Caudal del proyecto

El caudal del proyecto corresponde a aquel que debe ser bombeado desde el tanque subterráneo (TS) hacia el tanque elevado (TE), infraestructura existente en el sitio, al igual que el circuito hidráulico que abastece los diferentes puntos de suministro de la institución educativa. A partir del levantamiento planimétrico de los tanques (véase figura 16) se logra determinar la capacidad de almacenamiento en 11.36 m^3 para el TS y 4.86 m^3 para el TE. La entrada en funcionamiento de la bomba se dará cuando el nivel en el TE baje al mínimo y en el TS este al máximo; el apagado se dará cuando el nivel del agua alcance el máximo en el TE o mientras en el TS se encuentre en un nivel mínimo.

Figura 16. Levantamiento planímetro sistemas de tanque elevado y subterráneo Colegio Marco Fidel Suarez sede N°4



Fuente: el autor

Nota: dimensiones expresadas en milímetros.

Para estimar el caudal de la bomba se asume un diámetro comercial de tubería en PVC RD21 de 1" cuya área de flujo es de $5.06 \times 10^{-4} \text{ m}^2$, de igual forma se asume una velocidad al interior de la tubería de 1 m/s la cual es un valor entre la mínima 0.6 m/s y máxima de 6 m/s recomendada por el fabricante para no exceder las presiones de trabajo (Pavcowavin, 2021). El caudal de diseño es determinado en la tabla 1.

Tabla 1. Caudal de diseño y tiempo de llenado tanque elevado

| | | |
|---|--------------------------------------|--------------|
| Caudal: $Q = vA$ | 0.0005 m³/s | 8 gpm |
| v: velocidad | 1 m/s | |
| A: área de flujo | 5.06x10 ⁻⁴ m ² | |
| tiempo de llenado: $t = \frac{V_{TE}}{60Q}$ | 162 minutos | |
| V_{TE} : volumen tanque elevado | 4.86m ³ | |

Fuente: el autor

Nota: galones por minuto (gpm). Elaboración propia. El tiempo corresponde a un llenado total

3.2 Cálculo y selección Bomba hidráulica

Mott (1996) en su libro mecánica de fluidos aplicada señala que para determinar la potencia de la bomba se debe emplear la siguiente ecuación:

$$P_B = \frac{Q\rho gh_B}{746 e}$$

Donde:

P_B : potencia de la bomba en HP

Q : caudal de diseño 0.0005m³/s

ρ : densidad del agua 1000 kg/m³ (a 20°C y presión atmosférica)

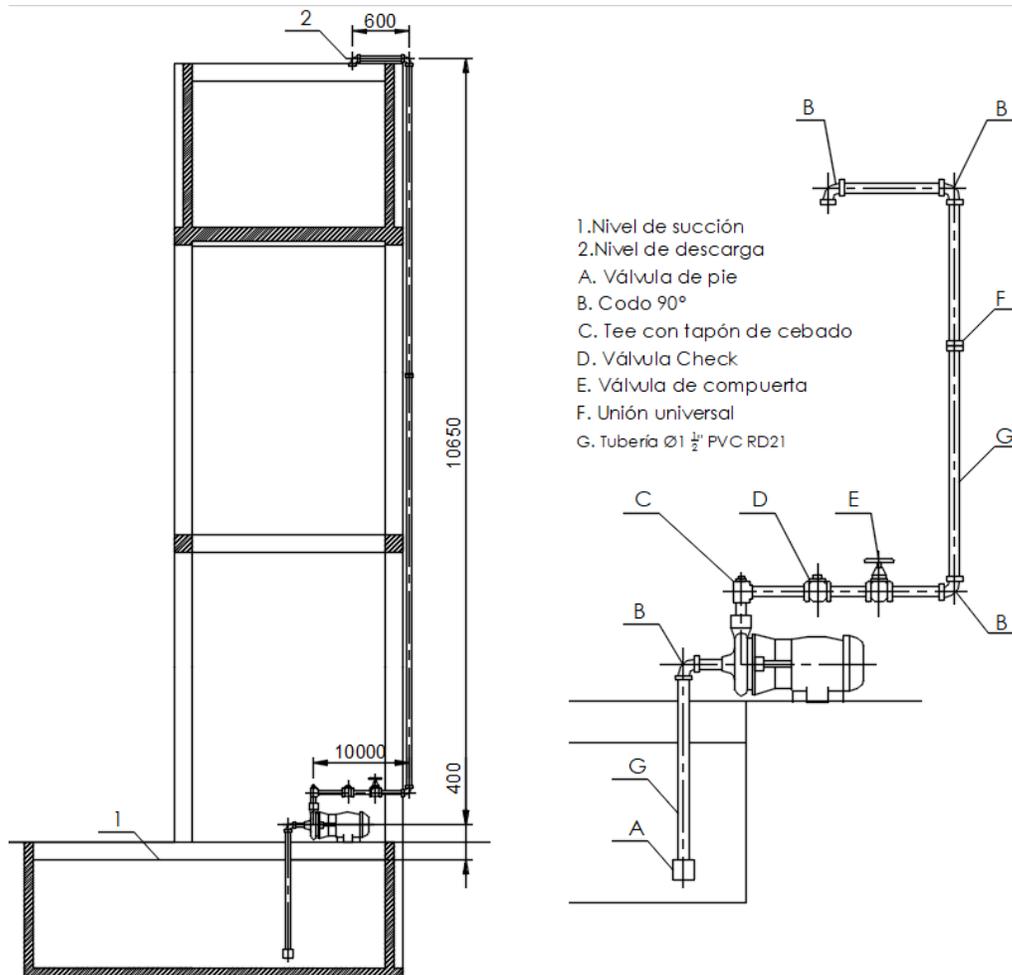
g : gravedad 9.81 m/s²

h_B : cabeza neta de la bomba en m

e : eficiencia de la bomba 75%

El caudal de diseño ha sido establecido en el subcapítulo anterior, restando por calcular la cabeza neta de la bomba, la cual mediante la ecuación de Bernoulli generalizada (Mott, 1996) y la geometría mostrada en la figura 17 se puede determinar.

Figura 17. Componentes hidráulicos y dimensiones del sistema de bombeo



Fuente: el autor

Nota: dimensiones en milímetros.

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + h_B = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + h_{f_{1 \rightarrow 2}}$$

Considerando los puntos 1 y 2 de la figura 17 y asumiendo que la presión tanto en 1 como en 2 corresponde a la atmosférica, que la velocidad del agua sobre la superficie en 1 (v_1) es nula y despejando para la cabeza neta de la bomba resulta:

$$h_B = (h_2 - h_1) + \frac{v_2^2}{2g} + h_{f_{1 \rightarrow 2}}$$

Donde:

h_B : cabeza neta de la bomba en m

$(h_2 - h_1)$: altura de bombeo, entre los puntos 2 y 1 (11.05 m)

v_2^2 : velocidad del agua en el punto 2 (1m/s)

g : gravedad 9.81 m/s²

$h_{f_{1-2}}$: Pérdida de energía del fluido por conducción entre la succión y la descarga en m

Pero las pérdidas de energía en la línea de conducción se deben a la fricción sobre las paredes internas del conducto (PVC), más las pérdidas que producen cada uno de los accesorios o pérdidas menores (válvulas, tee, codos, etc).

$$h_{f_{1 \rightarrow 2}} = h_A + h_B + h_C + h_D + h_E + h_F + h_G$$

h_A : pérdida por válvula de pie

h_B : pérdida por codos a 90°

h_C : pérdida por tee con tapón de cebado

h_D : pérdida por válvula check

h_E : pérdida por válvula de compuerta

h_F : pérdida por unión universal

h_G : pérdida por fricción en la tubería de succión y descarga

Para calcular las pérdidas en los accesorios o denominadas también pérdidas menores (desde h_A hasta h_F) se emplea la siguiente ecuación (Mott, 1996):

$$h_i = K_i \left(\frac{v^2}{2g} \right)$$

Donde:

K_i : es el factor de resistencia y está definido como $(Le/D) ft$ se encuentra tabulado para diferentes accesorios como se puede observar en la figura 18 (es adimensional); donde (Le/D) se denomina proporción de longitud equivalente.

Figura 18. Factor de resistencia en accesorios

| COEFICIENTES PARA PERDIDAS EN ACCESORIOS Y CODOS | |
|---|----------|
| Accesorios | K_m |
| Válvula de globo, completamente abierta | 10 |
| Válvula en Angulo, completamente abierta | 5 |
| Válvula de cheque, completamente abierta | 2.5 |
| Válvula de compuerta, completamente abierta | 0.2 |
| Válvula de compuerta, con $\frac{3}{4}$ de apertura | 1.0-1.15 |
| Válvula de compuerta, con $\frac{1}{2}$ de apertura | 5.6 |
| Válvula de compuerta, con $\frac{1}{4}$ de apertura | 24 |
| Codo de radio corto ($r/d= +- 1$) | 0.9 |
| Codo de radio mediano | 0.75-0.8 |
| Codo de gran radio ($r/d= +- 1.5$) | 0.6 |
| Codo de 45° | 0.4-0.42 |
| Retorno (curva en u) | 2.2 |
| Tee en sentido recto | 0.3 |
| Tee a través de la salida lateral | 1.8 |
| Unión | 0.3 |
| Ye de 45°, en sentido recto | 0.3 |
| Ye de 45°, salida lateral | 0.8 |
| Entrada recta a tope | 0.5 |
| Entrada con boca encampanada | 0.1 |
| Entrada con tubo reentrante | 0.9 |
| salida | 1 |

Fuente: Perdidas de cargas localizadas o en accesorios, 2017. Recuperado de

<https://www.hidraulicafacil.com/2017/07/perdida-de-carga-localizada-o-en.html>

Ahora se determina el valor para las pérdidas menores con una velocidad de 1m/s promedio al interior de la tubería. (Véase tabla 2)

Tabla 2. Cálculo de las pérdidas menores

| Accesorio | k | Cantidad de accesorios | $\left(\frac{v^2}{2g}\right) m$ | Perdidas en accesorios $h_i = K_i \left(\frac{v^2}{2g}\right)$ |
|--------------------------------|-----|------------------------|---------------------------------|--|
| Válvula de pie | 0.9 | 1 | 0.05 | 0.045 |
| Codo 90° estándar | 0.9 | 4 | 0.05 | 0.18 |
| Tee | 1.8 | 1 | 0.05 | 0.09 |
| Cheque | 2.5 | 1 | 0.05 | 0.125 |
| Válvula de compuerta | 0.2 | 1 | 0.05 | 0.001 |
| Unión universal | 0.3 | 1 | 0.05 | 0.015 |
| Total, pérdidas menores | | | | 0.456 m |

Fuente: El autor

Para determinar la pérdida por fricción en la tubería h_G se emplea la ecuación de Darcy y el número de Reynolds (Mott, 1996):

$$h_G = f \times \left(\frac{L}{D}\right) \times \left(\frac{v_2^2}{2g}\right)$$

$$Re = \frac{vD\rho}{\mu}$$

Donde:

f : es el factor de fricción que depende primero del tipo de flujo (laminar o turbulento y el cual se determina con el número de Reynolds) y segundo de la rugosidad relativa D/ε .

L : es la longitud de la tubería 30m (horizontal + vertical)

D : diámetro interno 0.0254m

ε : rugosidad del PVC se considera un ducto liso (Mott, 1996)

D/ε : 29120

v : velocidad del agua en el interior del conducto (1m/s)

ρ : densidad del agua 1000 kg/m^3 (a 20°C y presión atmosférica)

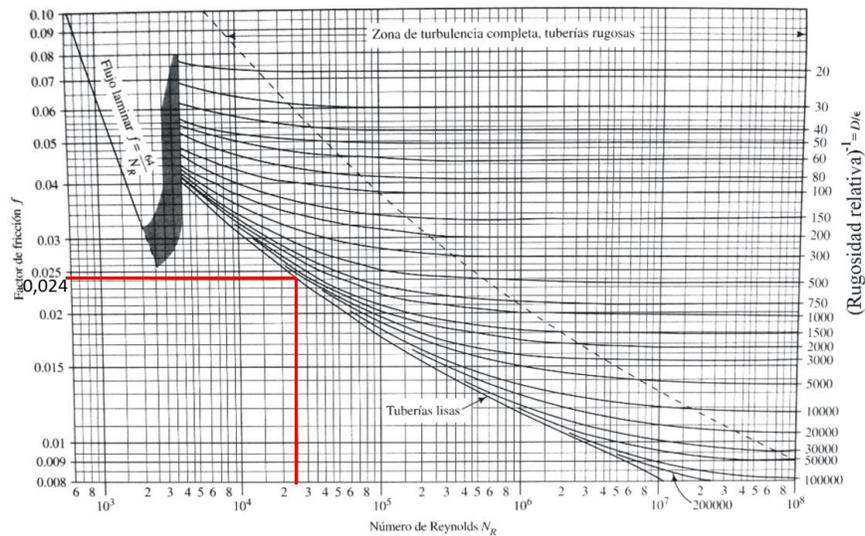
μ : viscosidad dinámica del agua a 20°C ($1,02 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$) (Mott, 1996)

Resolviendo para el número de Reynolds:

$$Re = 24901$$

Ahora con el diagrama de Moody (figura 19) para un valor del número de Reynolds de $2.5 \cdot 10^4$ y conducto liso, el valor del factor de fricción es $f=0.024$.

Figura 19. Estimación del factor de fricción a partir del número de Reynolds y la rugosidad relativa



Fuente: Adaptado de Mecánica de fluidos aplicada de Robert Moot, 1996. Pag 241

Solucionando para la ecuación de Darcy se tiene que las pérdidas por fricción en la tubería son de:

$$h_G = 0.024 \times \left(\frac{30m}{0.0254m} \right) \times \left(\frac{1m^2}{19.62m} \right) = 1.44m$$

Ahora podemos determinar la pérdida total en el sistema como:

$$h_{f_{1 \rightarrow 2}} = 0.456m + 1.44 = 1.90m$$

La cabeza neta de la bomba es:

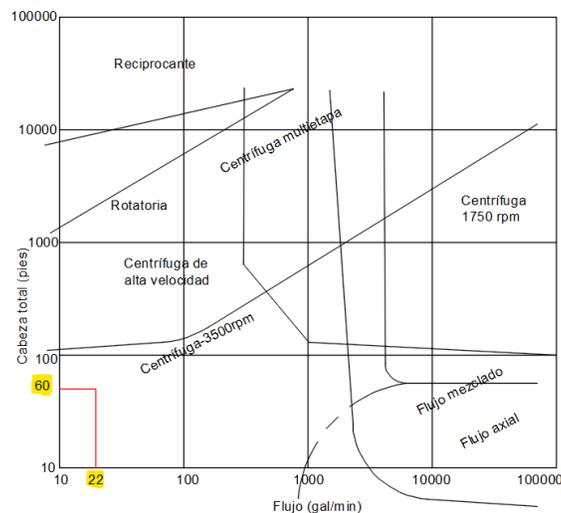
$$h_B = (11.05m) + \frac{1 \frac{m^2}{s^2}}{19.62 \frac{m}{s^2}} + 1.90m = 13m$$

La potencia de la bomba es entonces:

$$P_B = \frac{(0.0005m^3/s)(1000kg/m^3)(9.81m/s^2)(13m)}{746(0.75)} = 0.11 HP$$

Para un caudal de 8 gpm, una altura de bombeo de 13 m se selecciona una bomba tipo centrífuga de acuerdo a la figura 20 (selección del tipo de bomba) escogiendo un equipo marca EVANS, modelo BP1ME050, con una potencia de 0.5 HP, altura óptima de elevación 20 m y un caudal máximo de 52 lpm. La ficha técnica se presenta en el Anexo A.

Figura 20. Selección del tipo de bomba



Fuente: Adaptado de Mecánica de fluidos aplicada de Robert Moot, 1996.

3.2.1 Cabeza de succión neta positiva NPSH

Definida por varios autores como la diferencia de presión de succión y la de saturación de un fluido durante el funcionamiento de bombas, se calcula para determinar qué tan cerca está el líquido de pasar a vapor y por ende presentarse fenómenos de cavitación. Mott, 2006 señala que la $NPSH_{calculada} > NPSH_{Real}$ (suministrada por el fabricante en graficas). La $NPSH_{Real}$ está expresada así:

$$NPSH_{Real} = h_{sp} \pm h_s - h_f - h_{vp}$$

Donde:

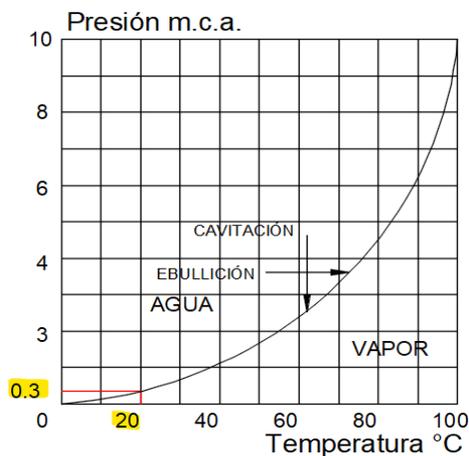
h_{sp} : es la presión estática absoluta sobre el fluido (presión atmosférica 101.3KPa), sobre el peso específico del agua (9.81KN/m^3) 10.3 m.

h_s : diferencia de nivel entre la superficie del agua (nivel más bajo) y el eje de succión de la bomba.
1.18 m

h_f : las perdidas menores desde la válvula de pie hasta la entrada a la bomba (de la tabla 2, válvula de pie y un codo de 90° , 0.09m)

h_{vp} : presión de vapor a temperatura de bombeo (20°C) según la figura 21, corresponde a 0.3m.

Figura 21. Presión de vapor a temperatura de operación para el agua.



Fuente: Mecánica de fluidos aplicada. Moot 1996.

Luego:

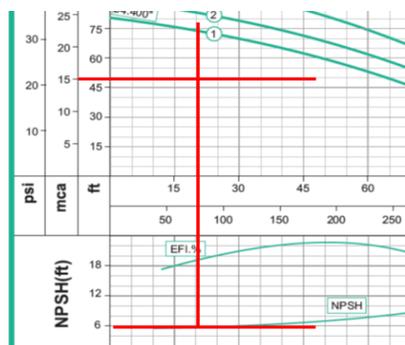
$$NPSH_{Real} = 10.3m - 1.18m - 0.09m - 0.3m = 8.73m$$

De la figura 22 correspondiente a la bomba seleccionada se puede observar que la $NPSH_{Real}$ es de 6 pies, aproximadamente 1.8 m, cumpliendo que la bomba es adecuada para operar sin presentar cavitación:

$$NPSH_{calculada} > NPSH_{Real}$$

$$8.73m > 1.8m$$

Figura 22. $NPSH$ Real para la bomba modelo BP1ME050



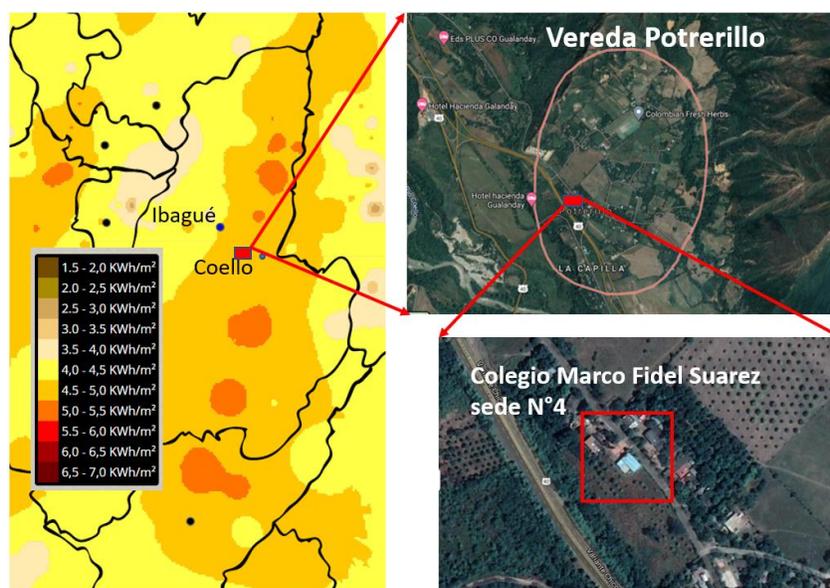
Fuente: Evans. Adaptado de <https://evans.com.mx/bombas-de-superficie/residencial/bomba-periferica-0-5-hp-bp1me050.html>

3.3 Paneles solares

3.3.1 Descripción de la zona de estudio y radiación solar

Potrerrillo es una vereda perteneciente al municipio de Coello-Tolima localizado a 4.25° de latitud norte y 74.98° de longitud oeste, el cual presenta en diciembre el mes peor de radiación solar con 4332.7 Wh/m^2 (IDEAM, 2022), en la figura 23 y la 24 se puede observar la zona de irradiación solar y la ubicación geográfica del proyecto, así como el promedio mensual de irradiación global para la estación más cercana en el municipio de Ibagué.

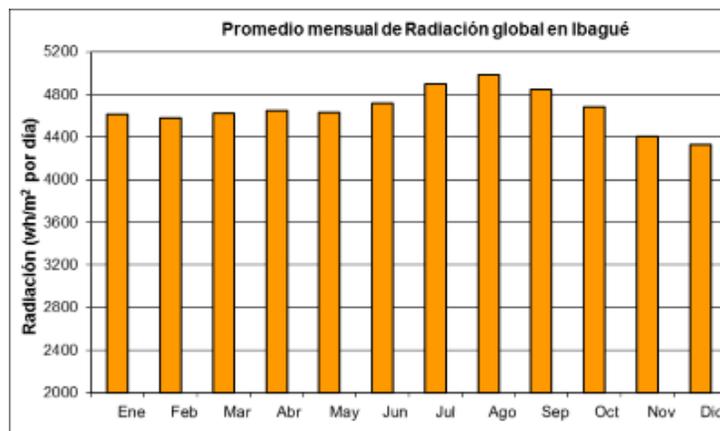
Figura 23. Localización geográfica y radiación solar área del proyecto



Fuente: Adaptado de Irradiación Global Horizontal y Google Earth. Recuperado de

<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html> y <https://www.google.com/intl/es/earth/>

Figura 24. Promedio mensual de radiación solar para el municipio de Ibagué



Fuente: Adaptado de Irradiación Global Horizontal. Recuperado de

<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html>

3.3.2 Demanda eléctrica total E_T

Con el cálculo de la potencia de la bomba y considerando pérdidas eléctricas y factores climáticos entre otros, el consumo total de la instalación (E_2) se incrementa con un factor de seguridad (FS) del 15%. En la estimación de la demanda eléctrica total (E_T) el consumo es en corriente alterna por lo que se considera la eficiencia del inversor la cual es del 90% (R_i). (FUNIBER, 2019) En la tabla 3 se presentan los resultados.

Tabla 3. Demanda eléctrica total E_T

| Tipo de instalación | Institución de Educación Media | | | |
|---------------------|--------------------------------|--------------------|--------------|----------------------|
| Tipo de consumo | CONTINUO | 7 días a la semana | | |
| | MEDIO | 5 días a la semana | X | |
| | BAJO | 2 días a la semana | | |
| Elemento de consumo | A. POTENCIA (W) | B. CANTIDAD | C. Horas/día | D. Energía $E_T=ABC$ |

| | | | | |
|--------------------------------------|--------------|---|------|---------------------|
| Bomba centrífuga | 372 | 1 | 0.75 | $E_1=279$ Wh/día |
| Eficiencia del inversor R_i | 90% | | | |
| Total $E_2=E_1(100/R_i)$ | 310 Wh/día | | | |
| Factor de seguridad | 15% | | | |
| Consumo total $E_T=E_2(1+FS/100)$ | 356.5 Wh/día | | | |

Fuente: el autor. Nota: se considerarán los consumos para todos los meses iguales.

3.3.3 Selección del panel

Estimado el consumo eléctrico total ($E_T=356.5$ Wh/día) y la radiación solar promedio solar incidente (R_m) empleando la metodología del mes peor, se establece la relación entre los dos valores mes a mes para determinar posteriormente el número de paneles necesarios (FUNIBER, 2019). En la tabla 4 se presentan los resultados obteniendo una máxima relación (R_{max}) para los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero con $R_{max}=0.08$.

Tabla 4. Relación entre consumo total y radiación solar para determinar el mes peor (R_{max})

| Mes | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Consumo KWh/día | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| Radiación Mensual R_m KWh/m ² día | 4.45 | 4.45 | 4.6 | 4.65 | 4.65 | 4.7 | 4.85 | 5.00 | 4.81 | 4.7 | 4.4 | 4.35 |
| Relación Máxima $R_{max}=E_T/R_m$ | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.14 | 0.07 | 0.08 | 0.08 |

| | | | | | | | | | | | | |
|----------|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|
| Mes peor | X | X | | | | | | | | | X | X |
|----------|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|---|---|

Fuente: el autor

A partir de una variada oferta de paneles se opta por un panel solar policristalino marca CRADY solar referencia CSP-6P-340W de 340 W de potencia máxima, cuyas características eléctricas y físicas se pueden observar en la figura 25 y el anexo B.

Figura 25. Características eléctricas y físicas del módulo seleccionado

| CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN CONDICIONES STC* | | | | | | | | | |
|--|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Potencia Nominal (Pmax) | 300W | 305W | 310W | 315W | 320W | 325W | 330W | 335W | 340W |
| Tensión de circuito abierto (Voc) | 45.3V | 45.4V | 45.5V | 45.6V | 45.7V | 45.8V | 45.9V | 46.0V | 46.1V |
| Corriente de cortocircuito (Isc) | 8.68A | 8.76A | 8.85A | 8.93A | 9.04A | 9.15A | 9.26A | 9.38A | 9.50A |
| Tensión a potencia nominal (Vmp) | 36.7V | 36.8V | 36.9V | 37.0V | 37.1V | 37.2V | 37.3V | 37.4V | 37.5V |
| Corriente a potencia nominal (Imp) | 8.18A | 8.29A | 8.41A | 8.52A | 8.63A | 8.74A | 8.85A | 8.96A | 9.07A |
| Eficiencia del modulo (%) | 15.46 | 15.72 | 15.98 | 16.23 | 16.49 | 16.75 | 17.01 | 17.26 | 17.52 |
| Temperatura de trabajo | -40° C to +85° C | | | | | | | | |
| Max. tensión de sistema | 1000V DC | | | | | | | | |
| Resistencia al fuego | Tipo 1 (en cumplimiento con UL1703) / Clase C (IEC61730) | | | | | | | | |
| Max calibre de fusible | 15A | | | | | | | | |

| CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS | |
|---------------------------|--|
| Tipo de celda | Policristalino de 156x156mm |
| Número de celdas | 72 (6x12) |
| Dimensiones del módulo | 1956x992x40mm |
| Peso | 22.5kg |
| Cubierta frontal | 3.2mm con vidrio atemperado con recubrimiento AR |
| Marco | Aleación de aluminio anodizado |
| Caja de conexión | IP67, 3 diodos |
| Cable | 4mm ² , 1000mm |
| Conectores | MC4 o MC4 compatible |

| CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA | |
|---|--------------|
| NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) | 45° C ± 2° C |
| Coefficientes de temperatura para Pmax | -0.41%/° C |
| Coefficientes de temperatura para Voc | -0.31%/° C |
| Coefficientes de temperatura para Isc | 0.05%/° C |

| EMBALAJE | |
|--|--------------------------------------|
| Embalaje standard | 21 módulos/pallet |
| Cantidad de módulos por container 20ft | 210 módulos |
| Cantidad de módulos por container 40ft | 462 módulos(GP)/ 506 módulos (HQ) |

Fuente: Temper, fotovoltaica. Recuperado de <https://www.grupotemper.com/categoria/paneles-solares>

Conociendo la potencia del panel seleccionado y su eficiencia (17.5%) se emplea la siguiente expresión para determinar la potencial real suministrada (FUNIBER, 2019):

$$Pr = Pmax \times \eta$$

$$Pr = 340W \times 0.175 = 0.0595KW$$

A partir de P_r es posible establecer el número de paneles necesarios mediante la expresión (FUNIBER, 2019):

$$Np = \frac{Rmax}{Pr}$$

$$Np = \frac{0.08}{0.0595} = 1.34$$

Es decir, se requiere de dos paneles con una potencia total instalada $P_T = 680 \text{ W}$ siempre y cuando la inclinación y orientación sean las adecuadas.

3.3.4 Orientación e inclinación del panel solar

Como se mencionó en el subcapítulo 2.3.3, la orientación es hacia el sur y el ángulo de inclinación se estima conociendo la latitud geográfica mediante la ecuación (FUNIBER, 2019):

$$\beta = 3.7 + (0.69 \times \varphi)$$

$$\beta = 3.7 + (0.69 \times 4.25^\circ) = 6.63^\circ$$

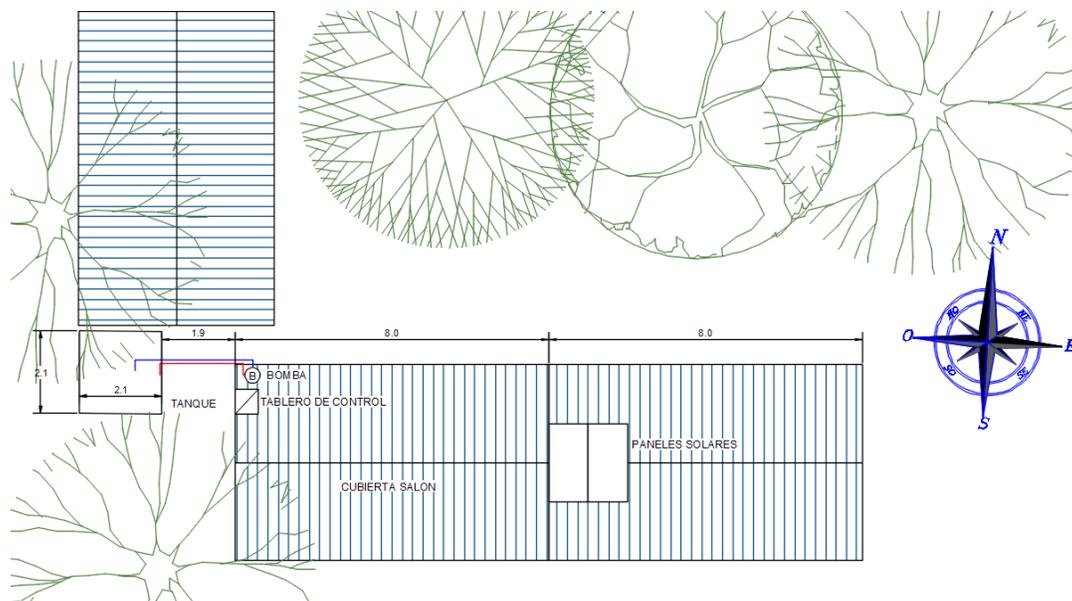
Donde:

β : es el ángulo de inclinación en grados

φ : es la distancia de un paralelo y la línea del ecuador en grados (positivo al norte 4.25°)

En la figura 26 se observa la disposición del panel sobre la cubierta de una de las aulas del colegio donde se dispondrá de un gabinete para los equipos auxiliares, debidamente ventilado y asegurado.

Figura 26. Vista en planta localizando el panel solar.



Fuente: el autor

3.4 Cálculo y selección de las baterías

Considerando 2 días de autonomía sin recibir radiación solar (D), con una profundidad de descarga máxima de 80% (Pd) y una autodescarga del 10% (Pac), con una tensión de 24 V se logra determinar mediante la siguiente ecuación la capacidad de la batería (C), (FUNIBER, 2019):

$$C = \frac{E_T \times D \times 100}{Pd \times V}$$

Donde:

E_T : Estimado el consumo eléctrico total 356.5 Wh/día que afectado por la autodescarga del acumulador Pac (10%), equivale a $ET=1.1E_T$, es decir 392.15 Wh/día.

V : tensión del sistema 24V

Evaluando:

$$C = \frac{\left(392.15 \frac{\text{Wh}}{\text{día}}\right) \times 2 \text{ dias} \times 100}{80 \times 24V}$$

$$C = 40.84Ah$$

De acuerdo a la aplicación, costo y capacidad se selecciona una batería tipo AGM seca marca Magna referencia MA12-55 de 12 V y 55 Ah (Ver anexo C), se requiere de dos baterías en serie para obtener la tensión de diseño de 24 V.

En la figura 27 se presentan las características eléctricas y físicas de la batería seleccionada.

Figura 27. Características eléctricas y físicas Batería MA12-55

● Specifications

| | | | |
|-------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|
| Nominal Voltage | | 12V | |
| Rated capacity (10 hour rate) | | 55Ah | |
| Dimensions | Total Height | T9 | 232 mm (9.13 inches) |
| | | T16 | 216 mm (8.43 inches) |
| | Height | 208 mm (8.19 inches) | |
| | Length | 230 mm (9.10 inches) | |
| | Width | 138 mm (5.43 inches) | |
| Weight Approx | | 17.0 Kg (37.57 lbs) | |

Fuente: Coexito. Recuperado de: <https://coexito.com.co/lineas-de-productos/sistema-de-respaldo/>

3.5 Selección del regulador

Para establecer una protección eficiente del sistema de acumulación se determina un 10% más de potencia que para el panel seleccionado es de Imp: 9.07, es decir 9.97 A, como están conectados en paralelo 19.94 A. Después de revisar varias alternativas se selecciona un regulador marca MPPT referencia 4830, el cual es recomendado para trabajar con baterías tipo seco y paneles conectados a 12, 24 o 36V. Corresponde a un regulador tipo PWM los cuales son más sencillos y actúan como interruptores entre las placas fotovoltaicas y la batería forzando al panel solar a

trabajar a la tensión de la batería sin instalaciones extras. Se requiere de un solo regulador cuya información técnica es suministrada en el anexo D. En la figura 28 se observan las características del equipo seleccionado.

Figura 28. *Regulador seleccionado*



Modelos

| MODELO | 4830 |
|---------------------------|--------------|
| VOLTAJE MÁXIMO DE BATERÍA | 12/24/36/48V |
| VOLTAJE PANEL | 150V |
| CORRIENTE DE CARGA | 30A |
| CORRIENTE DE DESCARGA | 20A |

Fuente: Todo en energía solar 2022. Recuperado de <https://www.todoensolar.com/Regulador-solar-Mppt-de12/24v-de-20A-y-100v-Cynetic->

3.6 Selección del inversor

La tensión de entrada corresponde a 24V; la potencia suministrada por el generador es de (P_T 680W con un incremento de 20%) P_T 816W, con una corriente máxima de entrada I_{mp} 9.97 A y corriente de cortocircuito de I_{sc} 9.5 A por panel (Subcapítulo 2.3.3, figura 25). El sistema requiere una tensión de salida de 110V en corriente alterna a una frecuencia de 60 Hz.

Con estas variables se hace selección de un inversor marca BELTTT de onda pura referencia PST-1500-24V con una potencia máxima de 1500W (la más próxima y cercana a la potencia de diseño) con voltaje de entrada entre los 21 a 33 V una eficiencia del 85%. En la figura 29 se puede observar una imagen del inversor seleccionado; la ficha técnica se presenta en el anexo E.

Figura 29. *Inversor*



Fuente: SOLARTEX Energía para Colombia 2022. Recuperado de:

<https://www.solartex.co/tienda/producto/inversor-onda-pura-1500w-24v-belttt/>

3.7 Sensores de nivel

Se emplean 2 flotadores de nivel eléctricos de 15 amperios. Cada uno cumple una doble función la cual consiste en controlar el vaciado y llenado de los tanques subterráneo y elevado, este dispositivo eléctrico incluye un contrapeso para la calibración, permitiendo así el encendido o apagado de la electrobomba de forma automática. En la figura 30 se presenta el tipo de sensor utilizado y sus características físicas y eléctricas.

Figura 30. *Sensor de nivel tipo flotador*

| | | |
|------------------------|---------------------------------------|--|
| Tipo | Interruptor de nivel, cámara sencilla |  |
| Material | Plástico con contrapesa | |
| Voltaje | 250V/110V AC | |
| Corriente | 10 A | |
| Cable de extensión | 1 mm ² x 2m | |
| Grado de protección | IP68CS | |
| Temperatura de trabajo | 0°C a 80°C | |

Fuente: el autor

En el tanque elevado del colegio Marco Fidel Suárez Sede 4, Coello-Tolima se instalaron para el vaciado y llenado un circuito de 2 flotadores eléctricos invertidos y conectados en serie por potencia como se ilustra en el plano de potencia SV y SLL, para el control de encendido o apagado de la electrobomba. (Anexo F)

3.8 Cableado eléctrico, circuito de potencia y control

Como se mencionó en el marco teórico, la sección del cableado para un sistema solar fotovoltaico sigue la Norma Técnica Colombiana NTC 2050 sección 690, correspondiente al código eléctrico colombiano. Para estimar el área de sección transversal del conductor se utiliza la siguiente ecuación (FUNIBER, 2019):

$$S = \frac{0.036 \times L \times I \times 100}{V \times Ct}$$

Donde:

S: Área en mm²

L: Longitud entre los puntos a conectar en metros (m)

I: intensidad del tramo a conectar en amperios (A)

V: tensión en el tramo en voltios (V)

Ct: Caída de tensión máxima señalada en la norma en porcentaje (%)

En la tabla 5 se puede observar los resultados para cada tramo, así como el tipo de cable seleccionado. Igualmente, en la figura 30 se presenta un plano correspondiente al circuito eléctrico del sistema.

Tabla 5. *Calculo sección cableado eléctrico*

| Tramo | Longitud L (m) | Corriente I (A) | Tensión V (V) | Caída de tensión Ct (%) | Sección transversal S (mm ²) | Calibre AWG | Según NTC2050 690-54 |
|--------------------|----------------|-----------------|---------------|-------------------------|--|-------------|----------------------|
| Conexión panel | 1.5 | 9.07 | 36 | 1 | 1.36 | #16 | #12 |
| Panel-regulador | 20 | 18.14 | 36 | 2.9 | 12.5 | #8 | #2/0 |
| Regulador-batería | 1 | 18.14 | 24 | 2.9 | 0.93 | #18 | #2/0 |
| Batería-inversor | 1 | 18.14 | 24 | 2.9 | 0.93 | #18 | #2/0 |
| Inversor-bomba | 20 | 5 | 120 | 2.9 | 1.03 | #16 | #12 |
| Sensor-controlador | 20 | 0.5 | 5 | 2.9 | 2.48 | #12 | #12 |

Fuente: el autor

Sin embargo, la norma NTC 2050, sección 690-74 señala que la interconexión entre baterías debe ser en cable #2/0AWG lo mismo que la conexión de batería-regulador, baterías-inversor.

El circuito desde tablero de control a líneas de distribución a los puntos de consumo (bomba) deben emplear cable #12 AWG. (NTC 2050, 2020)

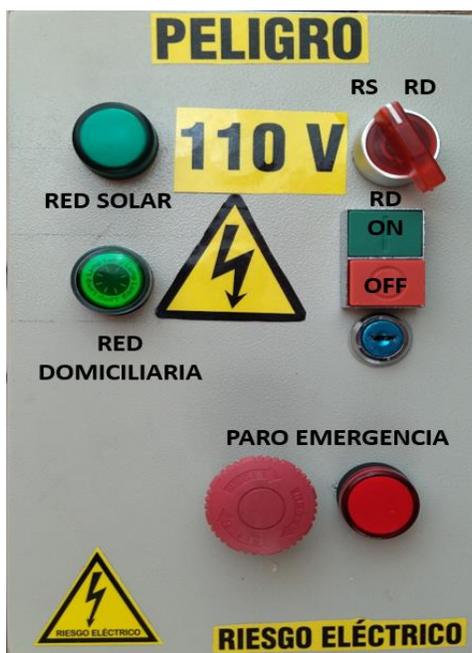
3.8.1 Circuito de potencia y control

El sistema de alimentación de la motobomba se puede realizar utilizando dos fuentes, la primera es la red domiciliaria y la segunda es el sistema solar fotovoltaico, para ello se utiliza un tablero o gabinete referencia I-0302 como el que se observa en la figura 31, contiene una perilla

selectora que permite conmutar entre las dos fuentes, luces led indicadoras y paro de emergencia, a su interior se encuentra el sistema de protección contra sobrecarga con relé térmico de sobrecarga NR2-25, con rango de ajuste de protección 5,5 – 8 A, 2 contactos de alarma NO NA para protección del motor.

Se utiliza un relé como protección para la bomba como lo podemos observar en el plano de potencia como k1.

Figura 31. Panel de control



Fuente: el autor

En el tablero de control se instalan 3 contactores para cerrar o abrir el circuito según se requiera manejando cargas de potencia, que son llamados KM1 que es contactor que maneja la red domiciliar, KM2 que es el contactor red solar y KM3 que es contactor de la electrobomba, cuyas características eléctricas son:

Contactor NC1-0910

NC1-0910 110V 50/60Hz

Número de polos: 3

Corriente AC3: 9A

Corriente AC1: 20A

Voltaje bobina: 110VAC

Contactos auxiliares: 1NA

Dimensiones: H 76 x W 47 x D 82mm

Los breakers se instalan en el circuito de potencia para proteccion en la red domiciliaria como se puede ver en el plano de potencia (anexo F) representado por Q1, cuyas especificaciones son:

Breaker C45N

Marca:vecas

Numero de polos:2

Tension: 415vc

Corriente: 10 amperios

El breaker Q2 se instala para proteccion del circuito de control de la bomba como se ilustra en el plano de control, las caracteristicas tecnicas son:

HIBD63-N C2

Marca hyundai

Numero de polos: 1

Tension de 240/415vc

Corriente:2 amperios

El circuito de control y potencia se complementa con 3 pilotos electrónicos led ND16, a 110V AC con 10 mA se encargan de dar alerta a un tablero de control. En la figura 31 se observa su disposición, su señal indica:

- El verde oscuro indica y representa el funcionamiento correcto de la red solar.
- El verde claro indica y representa el funcionamiento correcto de la red domiciliaria.
- El rojo indica y representa una falla en el sistema de control

Para realizar la conmutación entre suministro de energía de red domiciliaria o sistema solar fotovoltaico se emplea un interruptor selector S2SR-S7W2A, 1 bloque NO y otro 1 bloque NC trabajando de forma simultánea, rango de trabajo: 110VAC, 15mA – 600VAC, 15Ma. Corriente: DC13A, AC15. En el plano de control como se referencia como M1. El sistema selector es complementado por un pulsador doble rojo-verde liso 04-25-030 cuyas especificaciones técnicas son:

Diámetro: 22mm

Color: Rojo + Verde Botones Lisos

Material de la Base: Plástica

Grado de Protección: IP40

Certificaciones: IEC/EN60947-5-1

Temperatura de Trabajo: -5°C a 40°C

Capacidad Eléctrica: 3 Amperios a 240V (AC-15) / 1.9 Amperios 415V (AC-15)

Incluye: 1 Bloque de Contactos Abierto (NA) + 1 Bloque de Contactos Cerrado (NC). Después de direccionar el sistema por medio del interruptor selector S2SR-S7W2A se requiere accionar el

pulsador doble (S0 rojo, S1verde) para habilitar la red domiciliaria como se ilustra en el plano de control (anexo F)

4. Operación y mantenimiento

El sistema automático de bombeo está conformado por un grupo de generación eléctrico, un sistema hidráulico y un sistema de control eléctrico con accionamiento mecánico. A continuación, se presenta un manual de operación y el mantenimiento preventivo que puede ser realizado por personal de mantenimiento de la institución educativa. Para fallos que implique desmontaje o alguna operación específica se requiere de personal técnico capacitado.

4.1 Operación

El sistema se entrega puesto a punto de tal manera que requiera de la intervención mínima en su operación (sistema automático de bombeo), la cual consiste en seleccionar el modo de alimentación ya sea mediante la red domiciliaria o del sistema de acumulación solar. Dicha selección se hará por temas de fallos en el grupo de generación de energía solar, por mantenimiento, por falta de carga de las baterías por días nublados o por caída de la red domiciliaria. En el tablero de control de acuerdo al modo de operación se debe efectuar el siguiente procedimiento el cual se ilustra en la figura 32.

Alimentación solar:

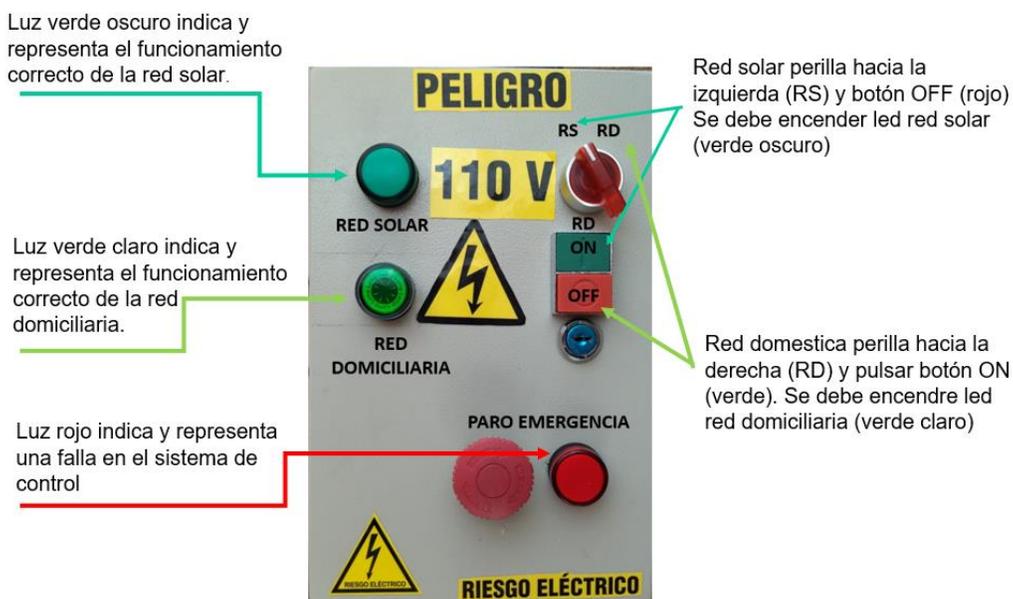
1. Girar perilla selectora a la izquierda RS y presionar OFF del pulsador doble.
2. El led verde oscuro debe encender.

Alimentación red domiciliaria:

1. Girar perilla selectora a la derecha RD y presionar ON del pulsador doble.
2. El led verde claro debe encender.

Para suspender cualquier tipo de alimentación eléctrica al sistema se pulsa el paro de emergencia.

Figura 32. Operación del panel de control



Fuente: el autor

4.2 Mantenimiento

Con el objetivo de garantizar la vida útil y funcionalidad de la instalación de bombeo solar en la institución escolar Marco Fidel Suarez sede N°4 se hace necesario llevar a cabo ciertas actividades de mantenimiento de manera periódica y regular. Dado que la institución no cuenta con personal de mantenimiento capacitado para efectuar labores tan especializadas, las pautas aquí mencionadas corresponden a un mínimo que un encargado de las instalaciones físicas del edificio puede realizar, por ello algunos de los componentes de la instalación se seleccionaron libres de mantenimiento (baterías, regulador, inversor).

Se deben llevar a cabo una inspección visual periódica al menos cada mes y cumplir con un mantenimiento preventivo al menos una vez al año.

4.2.1 Paneles solares

Su rendimiento se ve diezmado cuando su superficie cristalina se ve opacada por suciedad siendo necesario realizar labores de limpieza de al menos 3 a 4 veces al año o más si el ambiente es denso y contaminado. En la tabla 6 se presenta el mantenimiento preventivo para ser realizado al menos de manera trimestral.

Tabla 6. *Mantenimiento preventivo trimestral paneles solares*

| | | | |
|---|-----------------------------|---|--------|
| Colegio Marco Fidel Suarez Sede N°4 | Mantenimiento Preventivo | Frecuencia: Cada 3 Meses | Fecha: |
| Equipo a mantener: panel solar | | | |
| Herramientas: Trapo seco, balde para agua o manguera, esponja suave, equipo de seguridad (arnés, lentes, guantes y botas), herramientas de mano. | | | |
| Materiales: Agua, jabón lavaloz | | | |
| Descripción: | | Actividad: | |
| Inspección visual ante presencia de superficies rotas, suciedad u otro defecto sobre la superficie del panel | | Si no hay roturas en el cristal protector proceder a humedecer la superficie del panel con manguera o con paño húmedo, después de lo cual se debe adicionar una cantidad moderada de jabón. Retirar el exceso de jabón y suciedad con agua. Con paños secos retirar humedad de las superficies. | |
| Presencia de corrosión o anclajes de los paneles sueltos | | Limpiar con trapo y lija las superficies, limpiar con disolvente, pintar con anticorrosivo y pintura de aceite. Revisar apriete de tornillos | |

Observaciones:

Fuente: el autor

Se recomienda no utilizar jabón en abundancia ni dejar restos de él sobre la superficie. La limpieza no se debe realizar en época de vientos fuertes pues este transporta polvo que se puede depositar sobre la superficie húmeda. Utilizar manguera sin adaptadores que eleven la presión del chorro o hidro lavadoras que puedan dañar la superficie de vidrio del panel.

Como los paneles están ubicados en la cubierta se debe utilizar arnés y equipo de seguridad en lo posible por personal capacitado en trabajo en altura. En caso de daños eléctricos se debe solicitar la intervención de personal técnico calificado.

4.2.2 Sistema de acumulación

Las baterías utilizadas son selladas y libre de mantenimiento, sin embargo, se debe revisar de manera periódica (cada 3 meses) el conexionado, presencia de sulfatación u otro daño como sopladuras. El daño de las baterías requiere de su cambio.

4.2.3 Regulador de voltaje

El regulador seleccionado es libre de mantenimiento como se mencionó en la introducción del capítulo, sin embargo, es recomendable realizar al menos una inspección periódica cada año verificando principalmente el tema de conexiones eléctricas libres de corrosión o quemaduras en los terminales, los problemas eléctricos que presente este equipo pueden ser el resultado de una cadena de sucesos relacionados con una mala carga de la batería, sobrecargas del sistema, etc. Por ello se instalaron las protecciones correspondientes.

4.2.4 Inversor

Como el sistema genera corriente continua y el equipo de salida (bomba) funciona en corriente alterna este dispositivo se convierte en uno de los más importantes por ello es necesario realizar actividades de mantenimiento al menos mensual y una general anualizada.

Mensual: limpieza superficial e interna de filtro de aire y ventilador. Verificación de conexiones

Anual: Inspección visual del sellado de carcasa, limpieza general, revisión de conexiones. Verificación del funcionamiento del ventilador y ruidos mecánicos

4.2.5 Bomba de agua

Como todos los equipos requiere de mantenimiento periódico para su buen funcionamiento, se pueden realizar operaciones diarias, mensuales y anuales. Entre de las actividades diarias y mensuales se puede mencionar inspección visual de presencia de fugas, partes oxidadas o ruidos fuertes durante su funcionamiento, ante lo cual es necesario parar el sistema y proceder a las reparaciones a que hubiere lugar por parte de personal capacitado. Para el mantenimiento preventivo de la bomba anualizado se presenta la tabla 7.

Tabla 7. Mantenimiento preventivo anual bomba hidráulica

| | | | |
|---|-----------------------------|---|--------|
| Colegio Marco Fidel Suarez Sede N°4 | Mantenimiento Preventivo | Frecuencia: Cada Año | Fecha: |
| Equipo a mantener: bomba hidraulica | | | |
| Herramientas: Herramientas de mano, soplador, brocha | | | |
| Materiales: Lubricante, trapo seco, cinta aislante y teflón. | | | |
| Descripcion: | | Actividad: | |
| Inspección visual ante presencia de fugas, ruidos y fallos en la carcasa, así como quemaduras en las conexiones eléctricas. | | Examinar los sellos y acoples de succión y descarga. Ante la presencia de fallos, con el equipo apagado y desconectado del sistema hidráulico y eléctrico proceder al cambio de repuestos utilizando la herramienta adecuada. Sopleteado de bornes, limpieza con limpiador de contactos de circuitos eléctricos, verificación y cambio de material aislante a que hubiere lugar | |
| Cambio de rodamientos | | En caso necesario por desalineación del eje, vibración o desajuste según la referencia del fabricante, utilizar extractor de rodamientos y prensa, de lo contrario lubricar con aceite o grasa según recomendación del fabricante. | |
| Observaciones: | | | |

Fuente: el autor

Para llevar un registro histórico de actividades de mantenimiento realizadas o por realizar se propone un formato de orden de trabajo como el mostrado en la tabla 8. Un manual de operación y mantenimiento para ser entregado al Colegio se presenta en el anexo 7.

Tabla 8. *Orden de trabajo*

| | | | |
|--|------------------|-------------|--|
| Colegio Marco Fidel Suarez Sede N°4 | Orden de Trabajo | | |
| | | | |
| Clase de Mantenimiento | Preventivo: | Correctivo: | |
| Asignado a: | | | |
| Fecha de Ejecución: | | | |
| Descripción del Trabajo: | | | |
| | | | |
| Quien ordena y aprueba: | | Fecha: | |

Fuente: el autor

5. Resultados

5.1 Montaje e instalación del sistema solar fotovoltaico para sistema de bombeo automático

Una vez calculados y seleccionados los elementos constitutivos del sistema y cotizados en el mercado se procede a realizar la instalación, la cual está conformada por:

- Bomba centrífuga de superficie EVANS BP1ME050 de 0.5 HP, 110 V a 3450 rpm con tuberías de succión y descarga de diámetro 1" tipo PVC RD21 para manejar un caudal de 8 gpm hasta una altura de 13 m. En la figura 33 se observa la ubicación de la bomba durante el proceso de instalación.

Figura 33. *Instalación bomba centrífuga de 0.5 HP*



Fuente: el autor

- Paneles solares policristalinos marca CRADY solar referencia CSP-6P-340W de potencia conectados en paralelo con una tensión de 36 V y suplir una demanda eléctrica total de 356.5Wh/día. En la figura 34 se observan los paneles y su instalación sobre la cubierta. Su localización se realiza para evitar zonas de sombra producidas por la abundante vegetación del colegio.

Figura 34. *Paneles solares policristalinos en serie y su instalación sobre cubierta*



Fuente: el autor

- Regulador de voltaje marca MPPT referencia 4830, el cual es recomendado para trabajar con baterías tipo AGM y paneles conectados a 12, 24 o 36V. Corresponde a un regulador tipo PWM. Se localiza dentro de un gabinete dentro de un aula de clase bajo los paneles solares, ubicados en la parte alta del espacio dispuesto para la localización de los equipos dentro de un aula por temas de seguridad y por disposición de la dirección de la institución, no siendo necesario instalar un sistema de alarma antirrobo. Allí también se localiza el inversor y las baterías tal como se aprecia en la figura 35.

Figura 35. Gabinete con sistema de control, regulación y almacenamiento.



Fuente: el autor. Nota: la imagen de la derecha corresponde a prueba de funcionamiento.

- Las baterías seleccionadas e instaladas son tipo AGM marca Magna referencia MA12-55 de 12 V y 55 Ah. Se montaron dos baterías en serie para suplir 2 días de autonomía.
- El inversor instalado corresponde a la marca BELTTT de onda pura referencia PST-1500-24V con una potencia máxima de 1500W con 50ª de resistencia.
- El sistema de control y alimentación de la motobomba se realiza utilizando dos fuentes, la primera es el sistema solar fotovoltaico y la segunda la red domiciliaria, para ello se instaló un tablero de referencia I-0302 el cual contiene una perilla selectora que permite conmutar entre las dos fuentes, luces led indicadoras y paro de emergencia, en su interior se encuentra el sistema de protección contra sobrecarga con relé térmico de sobre carga NR2-25, se utiliza un relé como protección para la bomba y se instalaron 3 contactores para cerrar o abrir el circuito según se requiera manejando cargas de potencia. Dos breakers se instalan en el circuito de potencia para proteccion en la red domiciliaria y para proteccion del circuito de control de la bomba.

5.2 Costo de la instalación

Una vez finalizado todo el proceso de instalación y puesta a punto del sistema solar de bombeo automático en la tabla 9 y anexo H, se presenta los costos parciales y total del proyecto, resultando en un total de siete millones doscientos nueve mil seiscientos pesos (\$7.209.600)

Tabla 9. *Costos de la instalación solar de bombeo Colegio Marco Fidel Suarez sede N°4*

| Descripción | Cantidad | Valor Unitario | Valor Parcial |
|---|----------|----------------|-----------------|
| Bomba centrifuga 110VAC de consumo 5,4A | 1 | \$ 150.000,00 | \$ 150.000,00 |
| Paneles solares de 340w | 2 | \$ 750.000,00 | \$ 1.500.000,00 |
| PWM solar charge controller a 24V de 30A | 1 | \$ 350.000,00 | \$ 350.000,00 |
| Baterías MAGNA AGM secas de 12V 55A | 2 | \$ 395.000,00 | \$ 790.000,00 |
| Inversor de 1500w BELLT de onda pura a 24v con 50A de resistencia | 1 | \$ 850.000,00 | \$ 850.000,00 |
| Metros cable AWG calibre 6. Para la conexión de baterías controlador e inversor | 3 | \$ 23.000,00 | \$ 69.000,00 |
| Metros de cable encauchado de calibre 14 para la bomba ½. | 30 | \$ 6.000,00 | \$ 180.000,00 |
| Gabinete del sistema solar 600mm*900mm | 1 | \$ 150.000,00 | \$ 150.000,00 |
| Flotador eléctrico control nivel de 15 amperios. | 2 | \$ 35.000,00 | \$ 70.000,00 |
| Gabinete de control referencia I-0302 | 1 | \$ 40.000,00 | \$ 40.000,00 |
| metros Cable de calibre 16 para la el sistema de control | 6 | \$ 3.500,00 | \$ 21.000,00 |
| Relé térmico de sobre carga chnt NR2-25 | 1 | \$ 40.000,00 | \$ 40.000,00 |
| Contactador chnt NC1-0910 | 3 | \$ 30.000,00 | \$ 90.000,00 |
| Protección C45N VECAS 2 polos | 1 | \$ 10.000,00 | \$ 10.000,00 |
| Protección HIBD63-N C2 Hyundai 1 polo | 1 | \$ 7.000,00 | \$ 7.000,00 |

| | | | |
|--|----|--------------|------------------------|
| pilotos led ND16-22DS/4C | 3 | \$ 7.000,00 | \$ 21.000,00 |
| Paro de emergencia NP2-S174 | 1 | \$ 20.000,00 | \$ 20.000,00 |
| Interruptor selector S2SR-S7W2A | 1 | \$ 30.000,00 | \$ 30.000,00 |
| Pulsador doble rojo verde liso 04-25-030 | 1 | \$ 16.000,00 | \$ 16.000,00 |
| Bornera de riel | 1 | \$ 10.000,00 | \$ 10.000,00 |
| Metros de Tubería accesorios | 25 | \$ 12.000,00 | \$ 300.000,00 |
| Subtotal | | | \$ 4.714.000,00 |
| Subtotal IVA incluido (19%) | | | \$ 5.609.660,00 |
| transportes y fletes | | | \$ 1.000.000,00 |
| Mano de obra | | | \$ 600.000,00 |
| Total | | | \$ 7.209.660,00 |

Fuente: el autor

6. Conclusiones

- Se logró determinar mediante visita en situ de las condiciones de la obra civil, capacidades de los depósitos subterráneo y elevado de los tanques y altura, así como de los espacios disponibles para la instalación del sistema, el cual se ubicó al interior de una de las aulas por solicitud expresa de la dirección del colegio Marco Fidel Suarez, para garantizar el no saqueo o robo de los elementos del sistema, de igual manera se logra localizar geográficamente el lugar del proyecto para determinar mediante mapas de radiación solar disponibles en red de la disponibilidad y calidad del recurso solar.
- Una vez determinadas las variables como caudales y radiación solar del lugar se procedió al cálculo y selección de los diferentes elementos constitutivos del sistema de bombeo automático, dando como resultado dos paneles solares policristalinos de 340W cada uno y 37.5 V conectados en paralelo, dos baterías de 12 V conectadas en serie de 55 Ah, sistema de control e inversión de corriente y el respectivo sistema de control y cableado. Se llevó a cabo la instalación y la puesta en marcha del sistema observando que cumple con las expectativas del estudio. Por la ubicación de los equipos no fue necesario instalar un sistema antirrobo. El costo final de la instalación resulta en siete millones doscientos nueve mil seiscientos pesos (\$7.209.600)
- Se ofrecen en el mercado nacional múltiples opciones de equipos y precios para este tipo de sistema no convencional de generación de energía eléctrica, siendo hoy una alternativa para aquellas zonas que no se encuentran conectadas al Sistema Interconectado Nacional.
- Se elaboró un manual de operación y mantenimiento el cual se entrega junto con la instalación solar al Colegio Marco Fidel Suarez Sede 4, dicho manual presenta procedimientos básicos a realizar por el personal de mantenimiento de la institución, recalcando que intervenciones

más específicas requieren de personal especializado, por temas de seguridad y vida útil de los equipos.

- Se logra mediante este proyecto de grado hacer un aporte desde la Universidad Antonio Nariño sede Ibagué como proyección social hacia a la comunidad y en particular a los niños y niñas del plantel educativo Marco Fidel Suarez, quienes en ocasiones por falta del suministro o disponibilidad de agua deben suspender labores académicas viendo afectado su desarrollo integral.
- El grado de confianza y seguridad alcanzada con este proyecto es alta, pues la intervención humana durante la operación se reduce al cambio de la fuente de energía solar a domiciliaria, principalmente para tareas de mantenimiento.

6.1 Recomendaciones

Se recomienda básicamente seguir las pautas del manual de operación y mantenimiento, efectuar las labores, principalmente de limpieza de los tanques y de la superficie de los paneles solares para garantizar un normal funcionamiento del sistema.

Las instalaciones del Colegio Marco Fidel Suarez quedan abiertas para los estudiantes de la Universidad Antonio Nariño puedan efectuar visitas técnicas y hacer intervenciones relacionadas con generación de energía utilizando sistemas solares fotovoltaicos, proyección social efectuando labores de mantenimiento.

Referencias

- Abella, A. (2010). *Dimensionado de sistemas fotovoltaicos*. Madrid, España: SAPT Publicaciones Técnicas SRL.
- Action, P. (2017). *Bombeo de agua mediante energía solar fotovoltaica*.
- Analitik, V. (11 de Agosto de 2021). *Capacidad de energía renovable en Colombia se duplicaría para 2021*. <https://www.valoraanalitik.com/2021/08/11/capacidad-energia-renovable-colombia-duplicaria-para-2021/>
- Areatecnología. (2021). *Inversor fotovoltaico*.
https://www.areatecnologia.com/electricidad/inversor-fotovoltaico.html#Caracter%C3%ADsticas_de_un_Inversor
- Bombas solares*. (2021). www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y-accesorios/bombas-de-agua-funcionamiento
- Congreso de la Republica. (1991). *Constitución política de Colombia*.
<https://dapre.presidencia.gov.co/normativa/normativa/Constitucion-Politica-Colombia-1991.pdf>.
- Díaz, T., & Carmona, G. (2010). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*. McGraw Hill. <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Evans. (2021). *Bomba de jarra y puyón*.
https://www.evans.com.mx/media/manuales/Mp_BombaJarra_Puyon_70080139.pdf
- Funiber. (2019). *Energía solar fotovoltaica. Módulo MA060, MA060*. España.

Instituto Colombiana de Normas Técnicas. (2020). *Código Eléctrico Colombiano-Norma Técnica Colombiana NTC*. Bogota: ICONTEC.

IDEAM. (Enero de 2022). *Atlas de radiación solar, ultravioleta y ozono de Colombia*.
<http://atlas.ideam.gov.co/basefiles/Anexo-Promedios-mensuales-de-Irradiacion-Global-Media.pdf>

Mataix, C. (s.f.). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas* (2a. ed.). Alfaomega.

Ministerio de Educación Nacional. (2020). *Lineamientos para la prestación del servicio de educación en casa y en presencialidad bajo el esquema de alternancia y la implementación de prácticas de bioseguridad en la comunidad educativa*.
https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-39904_recurso_1.pdf.

Mott, R. (1996). *Mecánica de fluidos aplicada* (4a. ed.). Mexico: Prentice Hall.

Pavcowavin. (2021). *Manuales técnicos*. <https://pavcowavin.com.co/manuales-tecnicos>

Solar, E. (2021). *Páneles de energía solar fotovoltaica*. <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/estructura-de-un-panel-fotovoltaico>

Tecnología, A. (2021). *Páneles solares*.

<https://www.areatecnologia.com/electricidad/paneles-solares.html>

Villalva, G. (2012). *Energía solar fotovoltaica*. Sao Paulo, Brasil.

Anexos

Anexo A. Bomba Centrifuga EVANS BP1ME050

FICHA TÉCNICA

Bomba Periférica 0.5 Hp



MODELO

BP1ME050

CARACTERÍSTICA ESPECIAL

La mayor presión y flujo de su categoría.

MARCA

EVANS

CATEGORIA

Bombas de Superficie



MOTOR

| | |
|--------------------|-----------|
| Tipo de Motor | Eléctrico |
| Marca del motor | Evans |
| Potencia del Motor | 0.50 HP |
| RPM del Motor | 3450 RPM |
| Voltaje | 115 V |
| Fases del motor | 1 |
| Corriente | 5 A |
| Protección termica | Si |
| Longitud de cable | 1 m |

BOMBA

| | |
|-----------------------------|---|
| Tipo de Bomba | Superficie |
| Flujo Optimo | 20.00 LPM |
| Altura Optima | 16.00 m |
| Numero de etapas | 1 etapas |
| Diametro de succion | 1.00 pulg |
| Diametro de descarga | 1.00 pulg |
| Tipo de impulsor | Cerrado |
| Material del cuerpo | Hierro Gris |
| Material del impulsor | Latón |
| Temperatura Maxima del Agua | 40° C |
| Incluye | Inserto de acero inoxidable y cinta teflón. |

INFORMACION ADICIONAL

| | |
|------------------------|--------------------------|
| Dimensiones de empaque | 28.00 X 14.00 X 17.00 cm |
| Garantia | 1 año |
| Peso neto | 5.00 kg |

USOS

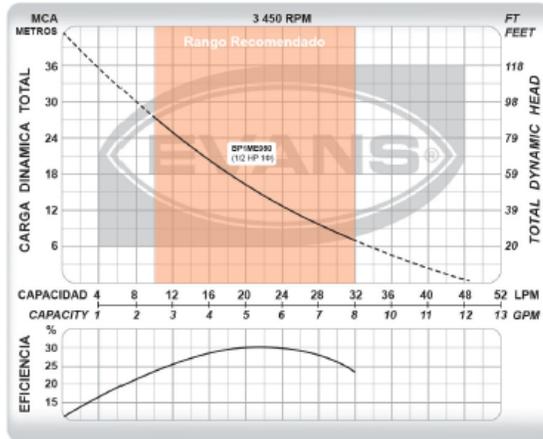
Ideal para llenado de tinacos a grandes elevaciones o con hidroneumáticos hasta 30-50 psi.

BENEFICIOS

- Inserto de acero inoxidable 304 evita que se atasque el impulsor.
- Motor embobinado de cobre y protección térmica. Silencioso
- La única que puede presurizar a 30-50psi por su excelente presión y desempeño. •Autocebante.



Bomba Periférica 0.5 Hp



MODELO

BP1ME050

CARACTERISTICA ESPECIAL

La mayor presión y flujo de su categoría.

MARCA

EVANS

CATEGORIA

Bombas de Superficie



USOS

Ideal para llenado de tinacos a grandes elevaciones o con hidroneumáticos hasta 30-50 psi.

BENEFICIOS

- Inserto de acero inoxidable 304 evita que se atasque el impulsor.
- Motor embobinado de cobre y protección térmica. .Silencioso
- La única que puede presurizar a 30-50psi por su excelente presión y desempeño. •Autocebante.

Anexo B. Panel Solar RESUN policristalino

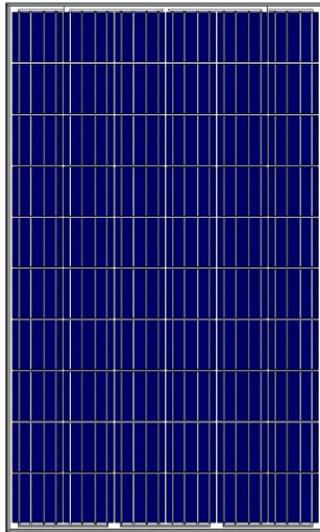
CSP-6P 300-340W

Paneles Solares



CSP-6P 300-340W

MÓDULOS SOLARES POLI-CRISTALINOS



VENTAJAS Y CARACTERÍSTICAS DESTACADAS

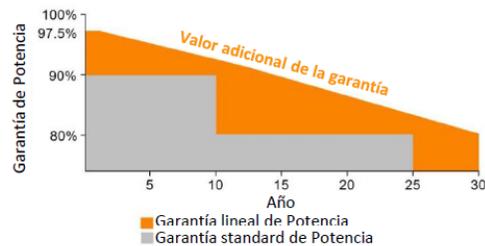
- Módulos de alta eficiencia de conversión hasta el 17.52%, mediante el uso de celdas solares de alta eficiencia y avanzada tecnología de fabricación.
- Bajo grado de degradación y excelente comportamiento a condiciones de altas temperaturas y bajo nivel lumínico.
- Robusto marco de aluminio que garantiza la resistencia del módulo ante cargas producidas por el viento de hasta 2400Pa y de nieve hasta 5400Pa.
- Alta fiabilidad frente a condiciones medioambientales extremas (probado en tests de atmosfera salina, amoniaco y granizo).
- Resistencia a la posible degradación inducida (PID).
- Potencia con tolerancia positiva (0 ~ +3%).

CERTIFICACIONES

- IEC61215, IEC61730, IEC62716, IEC61701, CE, ETL(USA), JET(Japan), J-PEC(Japan), MCS(UK), CEC(Australia), FSEC(FL-USA), CSI Eligible(CA-USA), Israel Electric(Israel), Kemco(South Korea), InMetro(Brazil), TSE(Turkey).
- ISO9001:2008: Quality management system.
- ISO14001:2004: Environmental management system.
- OHSAS18001:2007: Occupational health and safety management system.

GARANTÍA ESPECIAL

- 12 años de garantía de producto.
- Garantía para la potencia de los módulos: 12 años para el 91,2% de la potencia de salida nominal y 30 años hasta un 80,6% de la potencia de salida nominal.



CSP-6P 300-340W

Paneles Solares



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN CONDICIONES STC*

| | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Potencia Nominal (Pmax) | 300W | 305W | 310W | 315W | 320W | 325W | 330W | 335W | 340W |
| Tensión de circuito abierto (Voc) | 45.3V | 45.4V | 45.5V | 45.6V | 45.7V | 45.8V | 45.9V | 46.0V | 46.1V |
| Corriente de cortocircuito (Isc) | 8.68A | 8.76A | 8.85A | 8.93A | 9.04A | 9.15A | 9.26A | 9.38A | 9.50A |
| Tensión a potencia nominal (Vmp) | 36.7V | 36.8V | 36.9V | 37.0V | 37.1V | 37.2V | 37.3V | 37.4V | 37.5V |
| Corriente a potencia nominal (Imp) | 8.18A | 8.29A | 8.41A | 8.52A | 8.63A | 8.74A | 8.85A | 8.96A | 9.07A |
| Eficiencia del modulo (%) | 15.46 | 15.72 | 15.98 | 16.23 | 16.49 | 16.75 | 17.01 | 17.26 | 17.52 |
| Temperatura de trabajo | -40° C to +85° C | | | | | | | | |
| Max. tensión de sistema | 1000V DC | | | | | | | | |
| Resistencia al fuego | Tipo 1 (en cumplimiento con UL1703) / Clase C (IEC61730) | | | | | | | | |
| Max calibre de fusible | 15A | | | | | | | | |

*Condiciones STC: Irradiancia 1000W/m², temperatura ambiente 25° C, AM1.5

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS EN CONDICIONES NOCT*

| | | | | | | | | | |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Potencia Nominal (Pmax) | 221W | 224W | 228W | 232W | 236W | 239W | 243W | 247W | 251W |
| Tensión de circuito abierto (Voc) | 41.7V | 41.8V | 41.9V | 42.0V | 42.1V | 42.2V | 42.3V | 42.4V | 42.5V |
| Corriente de cortocircuito (Isc) | 7.03A | 7.10A | 7.17A | 7.23A | 7.32A | 7.41A | 7.50A | 7.60A | 7.70A |
| Tensión a potencia nominal (Vmp) | 33.4V | 33.5V | 33.6V | 33.7V | 33.8V | 33.9V | 34.0V | 34.1V | 34.2V |
| Corriente a potencia nominal (Imp) | 6.62A | 6.69A | 6.79A | 6.89A | 6.98A | 7.05A | 7.15A | 7.25A | 7.34A |

*Condiciones NOCT: Irradiancia 800W/m², temperatura ambiente 20°C, Vel.viento 1m/s

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

| | |
|------------------------|--|
| Tipo de celda | Policristalino de 156x156mm |
| Número de celdas | 72 (6x12) |
| Dimensiones del módulo | 1956x992x40mm |
| Peso | 22.5kg |
| Cubierta frontal | 3.2mm con vidrio atemperado con recubrimiento AR |
| Marco | Aleación de aluminio anodizado |
| Caja de conexión | IP67, 3 diodos |
| Cable | 4mm², 1000mm |
| Conectores | MC4 o MC4 compatible |

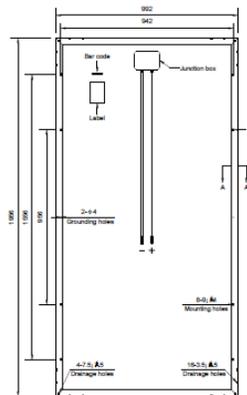
CARACTERÍSTICAS DE TEMPERATURA

| | |
|---|--------------|
| NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) | 45° C ± 2° C |
| Coefficientes de temperatura para Pmax | -0.41%/° C |
| Coefficientes de temperatura para Voc | -0.31%/° C |
| Coefficientes de temperatura para Isc | 0.05%/° C |

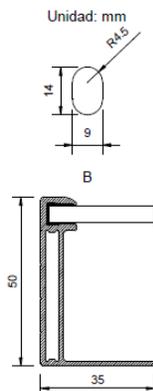
EMBALAJE

| | |
|--|--------------------------------------|
| Embalaje standard | 21 módulos/pallet |
| Cantidad de módulos por container 20ft | 210 módulos |
| Cantidad de módulos por container 40ft | 462 módulos(GP)/ 506 módulos (HQ) |

PLANOS



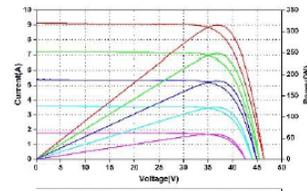
Vista Trasera



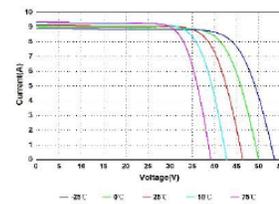
Sección A-A

Las especificaciones en esta ficha técnica pueden estar sujetas a cambios sin previo aviso

CURVAS IV



Curvas Corriente-tensión y potencia a diferentes irradiancias



Curvas Corriente-tensión a diferentes temperaturas



info@grupotemper.com
tec@grupotemper.com
www.grupotemper.com

Temper Energy International, S.L.
Polígono Industrial, Nave 18, E-33199 Granda Siero, Asturias, Spain
T: +34 985 793 204 / F: +34 985 986 341

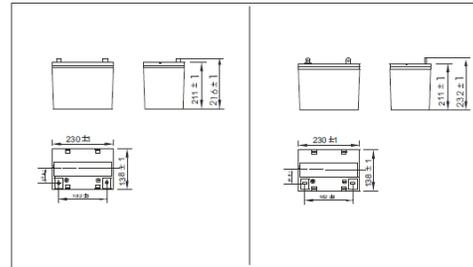
Anexo C. Batería tipo AGM MA12-55



MA12-55



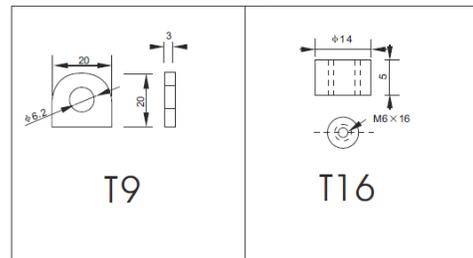
Outer dimensions (mm)



Specifications

| | | | |
|-------------------------------|--------------|----------------------|----------------------|
| Nominal Voltage | | 12V | |
| Rated capacity (10 hour rate) | | 55Ah | |
| Dimensions | Total Height | T9 | 232 mm (9.13 inches) |
| | | T16 | 216 mm (8.43 inches) |
| | Height | 208 mm (8.19 inches) | |
| | Length | 230 mm (9.10 inches) | |
| Width | | 138 mm (5.43 inches) | |
| Weight Approx | | 17.0 Kg (37.57 lbs) | |

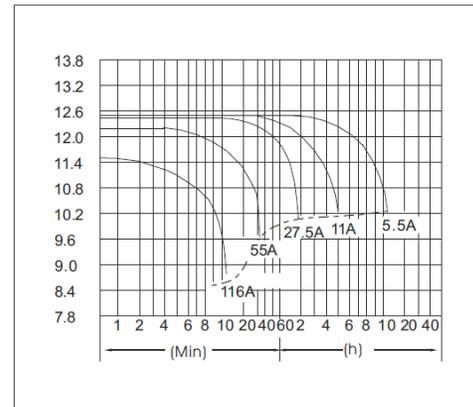
Terminal Type (mm)



Characteristics

| | | |
|--|-------------------------------------|---|
| Capacity 25°C (77°F) | 10 hour rate (5.5 A) | 55.0 AH |
| | 5 hour rate (8.8 A) | 44.0 AH |
| | 1 hour rate (33 A) | 33.0 AH |
| Internal Resistance | Full charged Battery at 25°C (77°F) | approx 6.5 mΩ |
| Capacity affected by Temperature (10hour rate) | 40°C (104°F) | 102% |
| | 25°C (77°F) | 100% |
| | 0°C (32°F) | 85% |
| | -15°C (5°F) | 65% |
| Self-Discharge at 25°C (77°F) | Capacity after 3 month storage | 91% |
| | Capacity after 6 month storage | 82% |
| | Capacity after 12 month storage | 64% |
| Terminal | | T9, T16 |
| Charge (constant Voltage) | Cycle | Initial Charging Current less than 22 A Voltage 14.10-14.40V |
| | Float | Voltage 13.50-13.80V |

Discharge Curves 25 °C (77°F)



| Constant Current(Amp) and Constant Power(Watt) Discharge Table at 25 °C (77°F) | | | | | | | | | | | | |
|--|------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Time | 5min | 10min | 15min | 30min | 1h | 2h | 3h | 4h | 5h | 8h | 10h | 20h |
| 9.60V | A | 176 | 116 | 94 | 63 | 33.0 | 19.3 | 14.1 | 11.0 | 9.1 | 6.4 | 3.1 |
| | W | 1818 | 1239 | 1003 | 674 | 356.4 | 211.4 | 157.3 | 123.8 | 103.2 | 73.7 | 36.3 |
| 10.20V | A | 171 | 105 | 88 | 60 | 31.0 | 18.4 | 13.8 | 10.7 | 8.9 | 6.3 | 3.0 |
| | W | 1822 | 1169 | 986 | 673 | 350.8 | 211.7 | 159.2 | 124.7 | 103.9 | 73.4 | 35.5 |
| 10.50V | A | 165 | 94 | 77 | 56 | 30.0 | 17.9 | 13.4 | 10.6 | 8.8 | 6.2 | 3.0 |
| | W | 1802 | 1066 | 879 | 646 | 347.7 | 208.0 | 156.4 | 123.6 | 103.2 | 73.1 | 35.8 |
| 10.80V | A | 159 | 88 | 72 | 52 | 29.0 | 17.5 | 13.1 | 10.4 | 8.6 | 6.1 | 3.0 |
| | W | 1785 | 1018 | 825 | 599 | 338.0 | 204.8 | 154.3 | 122.7 | 101.4 | 71.7 | 35.4 |
| 11.10V | A | 154 | 83 | 66 | 46 | 28.1 | 17.1 | 12.7 | 10.1 | 8.4 | 5.9 | 2.8 |
| | W | 1743 | 958 | 770 | 541 | 329.9 | 201.5 | 150.3 | 120.5 | 99.8 | 70.5 | 34.0 |

Anexo D. Regulador PWM 4830

REGULADOR DE CARGA MPPT SR-ML 12/24/36/48V 30A

MANUAL DE USO



Modelos

| | |
|---------------------------|--------------|
| MODELO | 4830 |
| VOLTAJE MÁXIMO DE BATERÍA | 12/24/36/48V |
| VOLTAJE PANEL | 150V |
| CORRIENTE DE CARGA | 30A |
| CORRIENTE DE DESCARGA | 20A |



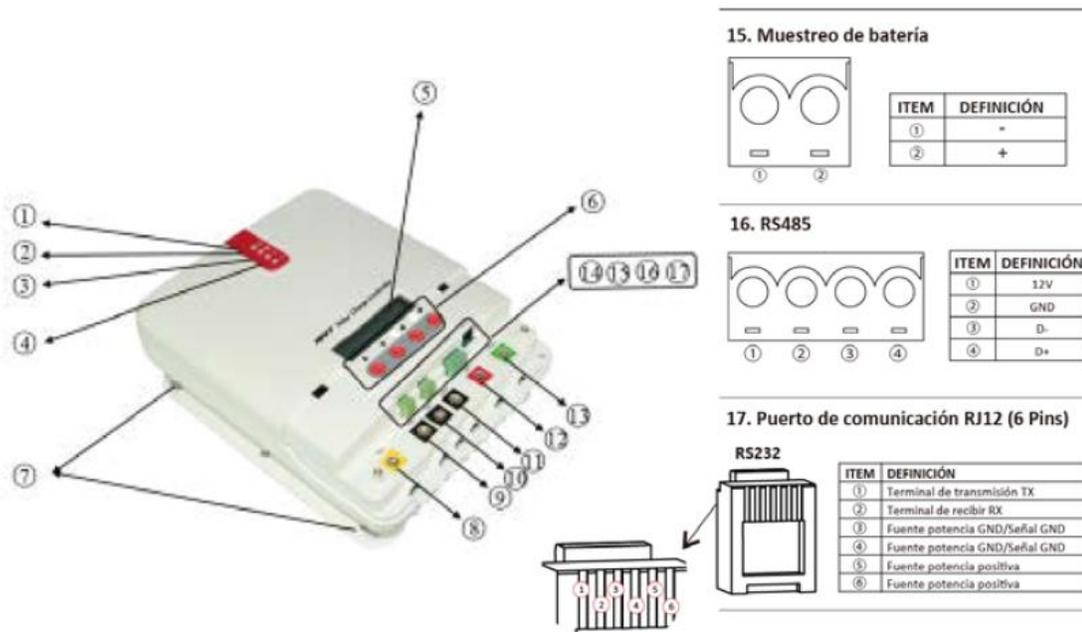


Fig 1. Apariencia e interfaz del regulador

| Nº | Item | Nº | Item |
|----|------------------------------|----|--|
| 1 | Indicador de carga en curso | 10 | Terminal negativo de batería |
| 2 | Indicador de batería | 11 | Terminal negativo de carga |
| 3 | Indicador de carga | 12 | Terminal positivo de batería |
| 4 | Indicador de fallo | 13 | Terminal positivo de carga |
| 5 | Pantalla LCD | 14 | Interfaz de muestreo de temperatura externa |
| 6 | Botones de operación | 15 | Interfaz de compensación de voltaje de batería |
| 7 | Agujero de instalación | 16 | Interfaz de comunicación RS485 |
| 8 | Terminal positivo de paneles | 17 | Interfaz de comunicación RS232 |
| 9 | Terminal negativo de paneles | | |

Anexo E. Inversor BELTTT

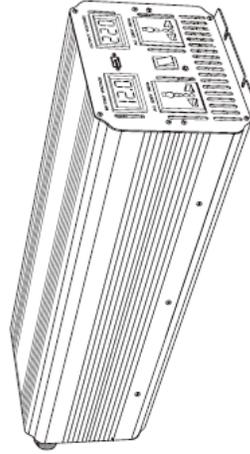
BELTTT®

Power Inverter

Solar Power Generation System

BEP150S / BEP300A / BEP500S
 BEP600S / BEP800S / BEP1000S
 BEP1500S / BEP2000S
 BEP3000S / BEP5000S

Pure Sine Wave Inverter Manual



To ensure reliable service, the inverter must be used properly. Please read the instruction manual before use. Particular attention should be paid to the warning and attention of this brochure. Caution for certain conditions and practices that may cause damage to the inverter. Make clear warning statements about certain conditions and practices that may cause bodily harm. Please read all instructions before using the inverter. Please read this instruction manual carefully so that it can be used correctly. Remember to read the "safety precautions" section before you use it to make sure it's safe to use. After reading the instructions, please complete the warranty card for safekeeping, to keep on for reference.

WARNING To avoid harm to you and others, here are some of the following security considerations. Be sure to follow the meanings of the various flags. See the following.

- Inflammable gas**
When connected to a battery, sparks are produced. Make sure there is no flammable gas before connecting. Flammable gas when charging and discharging. It should be well ventilated and should not be stored in other places where it is flammable.
- No parallel with city power**
Do not connect the inverter with the power supply, it will damage the inverter and cause the danger of electric shock.
- Minors are prohibited from using them**
Cannot be used by minors, inverter output is high voltage, may lead to electric shock risk.
- No disassembly or assembly**
Do not disassemble or modify the inverter without permission. Unauthorized removal may touch the internal parts and cause electric shock and inverter damage.
- Bar contacts are prohibited**
Do not place bars or other metal objects at the opening or socket of the inverter. This may touch the internal parts and cause electric shock and inverter damage.
- Wet hands, do not touch**
Do not touch the body and plug with wet hands, which may cause electric shock and personal safety.
- Keep away from fire and high temperatures**
For fire prevention, do not place the inverter and battery when running in flame and high temperature region.
- No throwing**
Bumping the inverter can cause damage and other safety hazards.
- Medical equipment disabled**
This inverter has not been tested and can not be used in medical equipment.
- Please connect the ground wire.**
In order to ensure the safety of use, please connect the ground wire.



Moisture proof and waterproof
Please pay attention to moisture proof and waterproof. The inverter may cause short circuit, fire and electric shock due to humidity or water in flow.

Please insert completely
Please insert the load device plug into the inverter socket completely. If the plug is fully inserted at the end, it may lead to electric shock and overheating. Please do not use damaged plugs, power outlets, electrical wires.

Product characteristics

- The inverter is equipped with perfect protection circuit. Provide safe automatic shutdown function, including overload protection, input high-low voltage protection, to prevent damage to your inverter.
- The inverter has advanced anti-interference technology, fully functional protection circuit and soft start circuit, convenient operation mode.
- modify the string wave output, inverter provides AC, USB output interface;
- instantaneous power up to 1000W, efficiency as high as 94%.

Product detail parameters

| MODEL | BEP150S | BEP300A | BEP500SA | BEP600S | BEP1000S | BEP2000S | BEP3000S | BEP5000S |
|---------------------------------|---|------------|------------|------------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| Rated Power | 150W | 300W | 500W | 600W | 800W | 1000W | 1200W | 1600W |
| Peak Power | 300W | 600W | 1000W | 1200W | 1600W | | | |
| Output | | | | | | | | |
| Frequency | | | | | | | | |
| WaveForm | | | | | | | | |
| Battery Voltage | 12V / 24V / 48V (Optional) | | | | | | | |
| Charge Voltage | 10-15V(12V) / 20-30V(24V) / 40-60V(48V) | | | | | | | |
| No load Current | 0.6A(12V) | 0.8A(12V) | 0.8A(12V) | 0.6A(12V) | 0.6A(24V) | 0.3A(48V) | 0.3A(48V) | 0.3A(48V) |
| Efficiency | ≥90% | | | | | | | |
| Low Voltage Alarm | 11(12V) / 21V(24V) / 42V(48V) | | | | | | | |
| Battery Low Voltage Protection | 10V±0.5V(12V) / 20V±0.5V(24V) / 40V±0.5V(48V) | | | | | | | |
| Battery High Voltage Protection | 15V±0.5V(12V) / 30V±0.5V(24V) / 60V±0.5V(48V) | | | | | | | |
| Other protection | High temperature protection, Short-circuit Protection, Overload Protection, Short-circuit Protection, Overload Protection | | | | | | | |
| USB | 5V / 500mA | | | | | | | |
| FAN | Smart Fan, Automatic startup of high temperature and load | | | | | | | |
| Operating environment | Temperature 0°C-40°C@100%load, Humidity: 20%-80%RH, No refrigeration | | | | | | | |
| Size(mm) | 160*95*55 | 172*150*58 | 260*150*78 | 262*150*76 | 309*180*172 | | | |
| Weight(g) | 530 | 910 | 1700 | 1800 | 3060 | | | |

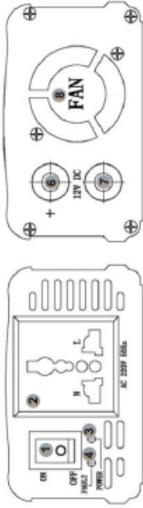
| MODEL | BEP1000S | BEP1500S | BEP2000S | BEP3000S | BEP5000S |
|---------------------------------|---|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Rated Power | 1000W | 1500W | 2000W | 3000W | 5000W |
| Peak Power | 2000W | 3000W | 4000W | 6000W | 10000W |
| Output | | | | | |
| Frequency | 50Hz / 60Hz (Optional) | | | | |
| WaveForm | Pure Sine Wave | | | | |
| Battery Voltage | 12V / 24V / 48V (Optional) | | | | |
| Charge Voltage | 10-15V(12V) / 20-30V(24V) / 40-60V(48V) | | | | |
| No load Current | 0.8A(12V) | 1.8A(12V) | 3.0A(12V) | 3.8A(12V) | 2.5A(24V) |
| Efficiency | 0.6A(24V) | 1.0A(24V) | 1.5A(24V) | 2.0A(24V) | 1.4A(48V) |
| Low Voltage Alarm | 0.3A(48V) | 0.5A(48V) | 0.8A(48V) | 1.2A(48V) | 1.4A(48V) |
| Battery Low Voltage Protection | 11(12V) / 21V(24V) / 42V(48V) | | | | |
| Battery High Voltage Protection | 10V±0.5V(12V) / 20V±0.5V(24V) / 40V±0.5V(48V) | | | | |
| Other protection | High temperature protection, Short-circuit Protection, Overload Protection, Short-circuit Protection, Overload Protection | | | | |
| USB | 5V / 500mA | | | | |
| FAN | Smart Fan, Automatic startup of high temperature and load | | | | |
| Operating environment | Temperature 0°C-40°C@100%load, Humidity: 20%-80%RH, No refrigeration | | | | |
| Size(mm) | 367*150*76 | 452*150*142 | 454*180*142 | 529*180*142 | 655*180*167 |
| Weight(g) | 2750 | 4000 | 4900 | 6020 | 8000 |

Remarks: Please select the corresponding parameters according to the

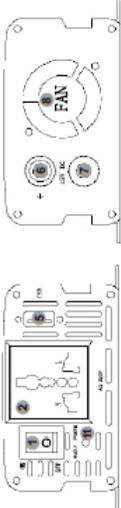
This series of pure sine wave inverter is suitable for:
 Household appliances: TV, refrigerator, freezer, washing machine, air conditioner, power tools: electric drills, pumps, cutting machines, motors, hand mills...
 Office equipment: computers, printers, copiers, fax machines, network equipment...
 On-board equipment: inverter can be connected to the car capacitor, suitable for all kinds of on-board applications.

Pure sine wave inverter front and rear panel diagram

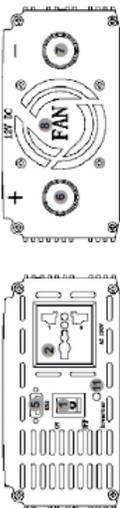
BEP150S Panel diagram



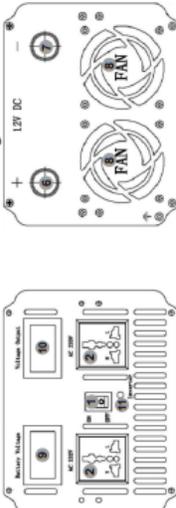
BEP300A/500SA Panel diagram



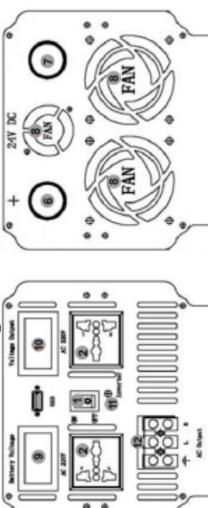
BEP1000S Panel diagram



BEP800S/1500S/2000S/3000S Panel diagram



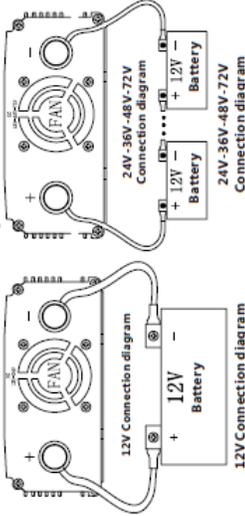
BEP5000S Panel diagram



1. Powerswitch
2. AC output socket
3. Power indicator
4. Status indicator
5. USB Interface
6. Positive (red)
7. Negative (black)
8. Cooling fan
9. Voltage input monitor
10. Voltage output monitor
11. Double color status indicator
12. AC output interface

The product panel is for reference only. Please refer to the actual product.

Install the connection step:



Refer to the above connection diagram

1. First turn off the power switch of the inverter.
2. Use a black DC cable to connect the negative terminal of the battery to the black terminal of the inverter.
3. Connect the positive terminal of the battery to the red terminal of the inverter with a red DC cable.
4. Plug the power supply plug of the power equipment into the output socket of the inverter.

Disassembly steps:

1. First turn off the power switch of the inverter;
2. Pull out the power plug of the load.
3. Remove the red DC cable;
4. Remove the black DC cable

For example, when the power of an AC load is 100W, the current supplied by the power supply must be 100W/110V=0.91A. In the use of a larger current, you can use several batteries in parallel to use. The most important thing is to ensure that there is enough cross-sectional area of the connecting cable. This manual does not list all battery pack types. The battery's charging and battery configuration belong to another professional category.

Installation method

1. Wiring diagram is only for basic reference, please contact professional technical personnel for actual installation.
2. Since it may be necessary to connect the battery for these operations, make sure there is no flammable gas around before connecting.

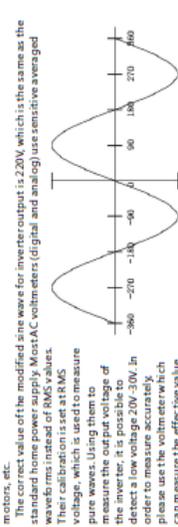
Connect the inverter and the battery with the cables supplied with the inverter (excluding the high-power mode cable). The red cable is connected to the red terminal of the inverter input terminal and the positive terminal of the battery. The black cable is connected to the inverter input terminal black and battery negative. Please ensure that all cables are stable and reliable. Improper connection may result in overheating of the cable, damage to terminals and signs. At the same time, the light of the fan will display green. The inverter is protected if the light display is red, so try to solve it before using. (Check whether the battery voltage is too high or too low, the inverter output is overload or short circuit).

3. Inverter must be connected to the same nominal voltage of the battery. 12V inverter connected to the 12V battery. 24V inverter connected to the 24V battery.
4. Before you plug in all your power devices, make sure all devices are shut down. You can open your device one by one, if your device is not overloaded, now can work properly. If LED glows red, it's overloaded. You need to reduce load and restart to work.

In the installation of connecting cables should use a suitable cable, such as 220V output cable is too long or the wire cross-sectional area is too small, there will be a lot of power loss. The battery and inverter connection cable is not standardized, the cable is too long, the cross-sectional area is too small, bad connection parts, will cause a lot of power loss. Performance for the lack of output power, the battery voltage is too low, short working hours, and even turn on the alarm does not work. At the same time, the cable should be waterproof, electric strength must meet the requirements of the use of the environment.

Performance introduction

An inverter is a power supply that converts direct current (batteries, solar cells, wind turbines, etc.) into alternating current. Because of the high frequency inverter used in power conversion technology, ferrite transformer to replace the old bulky iron core transformer. This is why the inverter of our company is lighter weight and less bulky than other inverters that have similar rated power. When the inverter works in the inverter mode, the output waveform is modified sine wave. It is a practical wave which waveform characteristic is similar to pure sine wave. This waveform is more suitable for linear load and switching power supply of electronic equipment, such as light bulbs, rice cookers, 37" saving lamps, etc.. It can also be applied to inductive loads, such as transformer motors, etc.



Using environment

In order to achieve the best use effect, please put the inverter in the surface of the smooth place, such as the ground, the floor of the car, or other solid surface. Let the inverter power line can be fixed easily. The working place should meet the following standards:

1. Do not allow the inverter to contact with water or other liquid to keep the inverter away from moisture or water.
2. Do not place the inverter near the heating vents or other heating devices. Keep the inverter out of the sun as much as possible.
3. Keeping the ventilation and the absence of obstructions around it ensure that air is free to circulate. When the inverter is working, do not put something on the inverter. The inverter fan is used to help dissipate the heat.
4. Be careful not to use inverters near flammable materials or places where flammable gases can be gathered.

The battery not only provides a dc voltage of 11V to 15V, but also provides sufficient current to the inverter. The power supply of the inverter is a good way to estimate the power of the load by the current required for a load, it can be estimated by dividing the power of the load by 1.1.

Rated current and actual use of equipment

The nominal current or power of most power tools, household appliances and video and audio equipment is much smaller than the nominal power range of the inverter, but overload protection equipment when they are started. Inverter is the most easy to drive resistive load or switching power supply load. Because the resistive load is a linear load, it can work full load. Such as electric stove, rice cooker, LCD TV and other equipment.

Some audio-visual equipment and electric tools to a greater level than resistive load power can work normally, such as say as TV, computer, air conditioner, etc. The inverter can work 2 to 6 times the working current is required to start. The ability to non-specific loads is subject to test.

Warning

Continuous frequently open and close inverters can cause damage.
Non-professional technicians, do not open inverter shell

Common problem

Electric tools and microwave ovens cannot start
Carefully read the information on each power tool and accurately determine the input power of the tool. Whether the output power is enough to run the tools and microwave ovens, remember that power tools may need 2 to 6 times power requirements.

Television interference

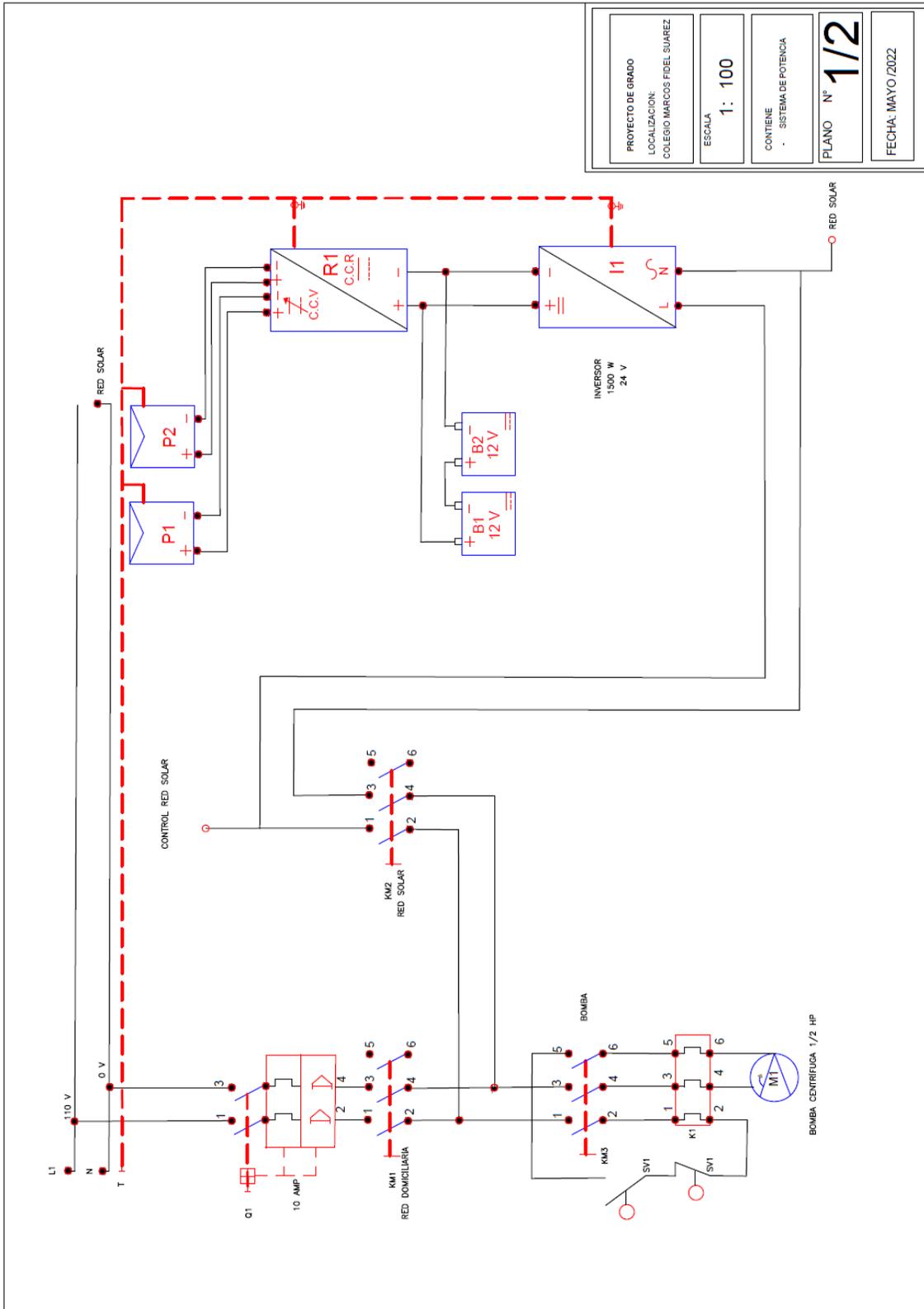
The inverter has little interference with the television signal. However, in some cases, some disturbances are still visible, especially when the television signal is weak. Please try the following methods:

1. Try to keep the inverter away from the TV antenna or lengthen the TV antenna cable, quality antenna cable with good shielding effect.
2. Adjust the direction of the inverter.
3. Ensure that the antenna provides strong signal strength to the TV set, and use high quality antenna cable with good shielding effect.
4. When you watch TV, do not run high power electrical equipment or tools.
5. The re is no way to completely disappear some of the old TV interference.

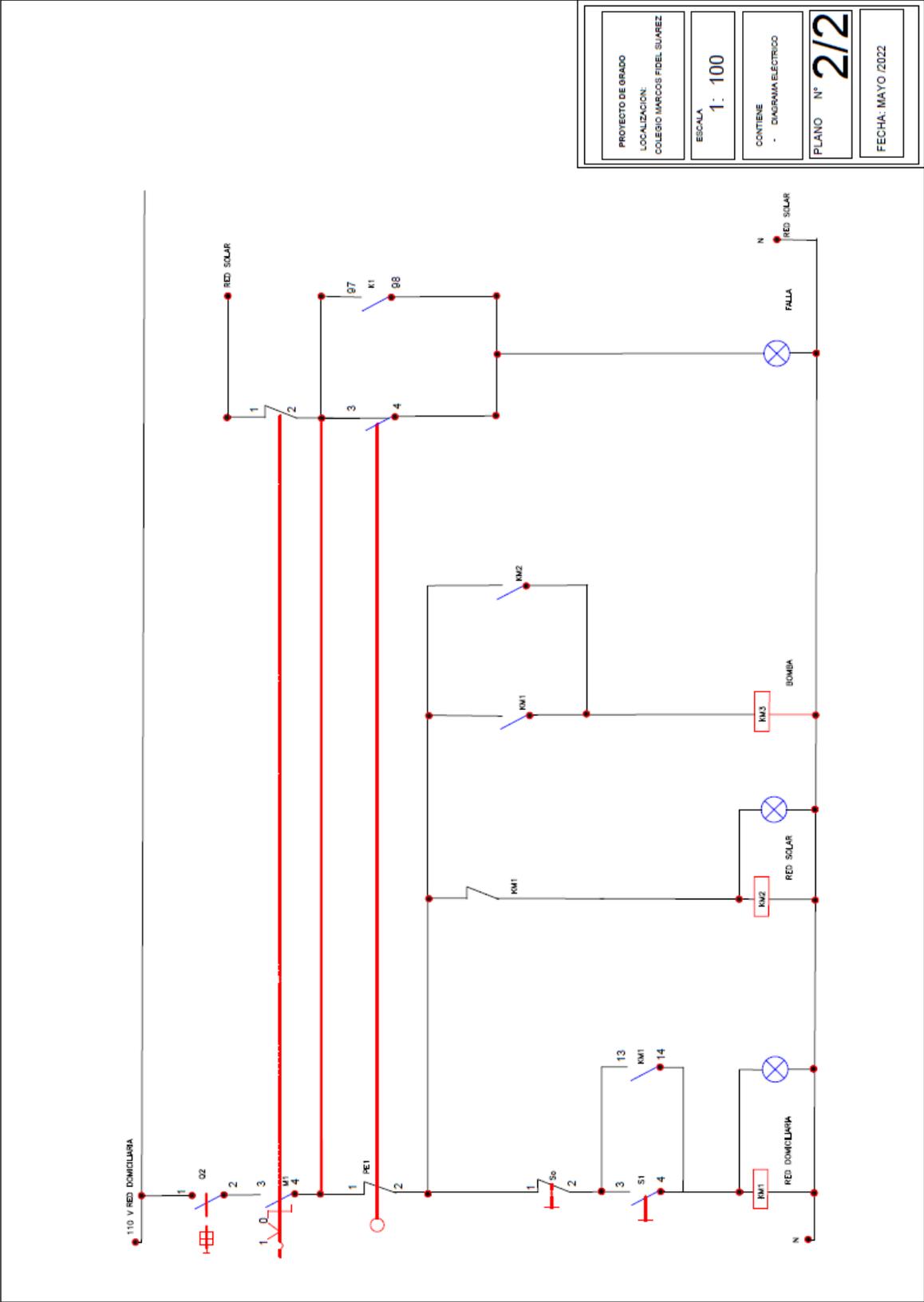
Warning

Normally the fuse will not burn out unless serious circuit failure occurs.
When the inverter fails, please do not try to repair it yourself. Please contact professional technician to deal with the machine, there will be warning high voltage electric shock hazard.

Anexo F. Diagramas eléctricos de potencia y control



| |
|---|
| PROYECTO DE GRADO LOCALIZACION: COLEGIO MARCOS FIDEL SUAREZ |
| ESCALA 1: 100 |
| CONTIENE · SISTEMA DE POTENCIA |
| PLANO N° 1/2 |
| FECHA: MAYO /2022 |



| | | | |
|--|-------------------------|----------------------------------|---------------------|
| PROYECTO DE GRADO LOCALIDAD: COLEGIO MARCOS FIDEL SUAREZ | ESCALA 1: 100 | CONTIENE - DIAGRAMA ELECTRICO | PLANO N° 212 |
| | | | FECHA: MAYO /2022 |

Operación

En el tablero de control de acuerdo al modo de operación se debe efectuar el siguiente procedimiento el cual se ilustra en la figura 1.

Alimentación solar:

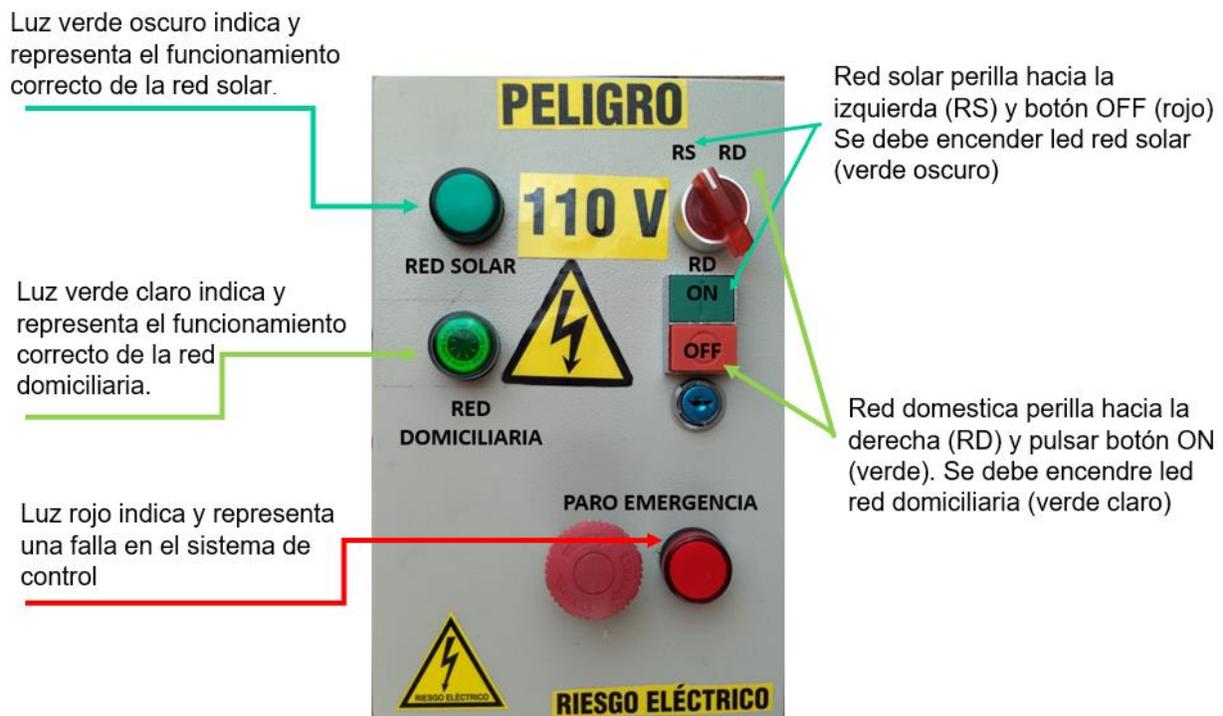
3. Girar perilla selectora a la izquierda RS y presionar OFF del pulsador doble.
4. El led verde oscuro debe encender.

Alimentación red domiciliaria:

3. Girar perilla selectora a la derecha RD y presionar ON del pulsador doble.
4. El led verde claro debe encender.

Para suspender cualquier tipo de alimentación eléctrica al sistema se pulsa el paro de emergencia.

Figura 1. Operación del panel de control



Mantenimiento

Paneles solares

Tabla 1. *Mantenimiento preventivo trimestral paneles solares*

| | | | |
|---|--------------------------|---|--------|
|  | MANTENIMIENTO PREVENTIVO | FRECUENCIA: CADA 3 MESES | FECHA: |
| EQUIPO A MANTENER: PANEL SOLAR | | | |
| HERRAMIENTAS: Trapo seco, valde para agua o manguera, esponja suave, equipo de seguridad (arnés, lentes, guantes y botas), herramientas de mano. | | | |
| MATERIALES: Agua, jabón lavaloz | | | |
| DESCRIPCION: | | ACTIVIDAD: | |
| Inspección visual ante presencia de superficies rotas, suciedad u otro defecto sobre la superficie del panel | | Si no hay roturas en el cristal protector proceder a humedecer la superficie del panel con manguera o con paño húmedo, después de lo cual se debe adicionar una cantidad moderada de jabón. Retirar el exceso de jabón y suciedad con agua. Con paños secos retirar humedad de las superficies. | |
| Presencia de corrosión o anclajes de los paneles sueltos | | Limpiar con trapo y lija las superficies, limpiar con disolvente, pintar con anticorrosivo y pintura de aceite. Revisar apriete de tornillos | |
| OBSERVACIONES: | | | |

Fuente: el autor

Se recomienda no utilizar jabón en abundancia ni dejar restos de él sobre la superficie. La limpieza no se debe realizar en época de vientos fuertes pues este transporta polvo que se puede depositar sobre la superficie húmeda. Utilizar manguera sin adaptadores que eleven la presión del chorro o hidro lavadoras que puedan dañar la superficie de vidrio del

panel. Como los paneles están ubicados en la cubierta se debe utilizar arnés y equipo de seguridad en lo posible por personal capacitado en trabajo en altura. En caso de daños eléctricos se debe solicitar la intervención de personal técnico calificado.

Sistema de acumulación.

Las baterías utilizadas son selladas y libre de mantenimiento, sin embargo, se debe revisar de manera periódica (cada 3 meses) el conexionado, presencia de sulfatación u otro daño como sopladuras. El daño de las baterías requiere de su cambio.

Regulador de voltaje

El regulador seleccionado es libre de mantenimiento como se mencionó en la introducción del capítulo, sin embargo, es recomendable realizar al menos una inspección periódica cada año verificando principalmente el tema de conexiones eléctricas libres de corrosión o quemaduras en los terminales, los problemas eléctricos que presente este equipo pueden ser el resultado de una cadena de sucesos relacionados con una mala carga de la batería, sobrecargas del sistema, etc. Por ello se instalaron las protecciones correspondientes.

Inversor

Como el sistema genera corriente continua y el equipo de salida (bomba) funciona en corriente alterna este dispositivo se convierte en uno de los más importantes por ello es necesario realizar actividades de mantenimiento al menos mensual y una general anualizada.

Mensual: limpieza superficial e interna de filtro de aire y ventilador. Verificación de conexiones

Anual: Inspección visual del sellado de carcasa, limpieza general, revisión de conexiones. Verificación del funcionamiento del ventilador y ruidos mecánicos

Bomba de agua

Como todos los equipos requiere de mantenimiento periódico para su buen funcionamiento, se pueden realizar operaciones diarias, mensuales y anuales. Entre de las actividades diarias y mensuales se puede mencionar inspección visual de presencia de fugas, partes oxidadas o ruidos fuertes durante su funcionamiento, ante lo cual es

necesario parar el sistema y proceder a las reparaciones a que hubiere lugar por parte de personal capacitado. Para el mantenimiento preventivo de la bomba anualizado se presenta la tabla 2.

Tabla 2. Mantenimiento preventivo anual bomba hidráulica

| | | | |
|--|-------------------------------------|--|---------------|
|  | <p>MANTENIMIENTO PREVENTIVO</p> | <p>FRECUENCIA: CADA AÑO</p> | <p>FECHA:</p> |
| <p>EQUIPO A MANTENER: BOMBA HIDRAULICA</p> | | | |
| <p>HERRAMIENTAS: Herramientas de mano, soplador, brocha</p> | | | |
| <p>MATERIALES: Lubricante, trapo seco, cinta aislante y teflón.</p> | | | |
| <p>DESCRIPCION:</p> | | <p>ACTIVIDAD:</p> | |
| <p>Inspección visual ante presencia de fugas, ruidos y fallos en la carcasa, así como quemaduras en las conexiones eléctricas.</p> | | <p>Examinar los sellos y acoples de succión y descarga. Ante la presencia de fallos, con el equipo apagado y desconectado del sistema hidráulico y eléctrico proceder al cambio de repuestos utilizando la herramienta adecuada. Sopleteado de bornes, limpieza con limpiador de contactos de circuitos eléctricos, verificación y cambio de material aislante a que hubiere lugar</p> | |
| <p>Cambio de rodamientos</p> | | <p>En caso necesario por desalineación del eje, vibración o desajuste según la referencia del fabricante, utilizar extractor de rodamientos y prensa, de lo contrario lubricar con aceite o grasa según recomendación del fabricante.</p> | |
| <p>OBSERVACIONES:</p> | | | |

Fuente: el autor

Tabla 3. Orden de trabajo



COLEGIO MARCO FIDEL SUAREZ SEDE N°4

ORDEN DE TRABAJO

| | | | | | | | |
|--------------------------|--|--|--|-------------|--|-------------|--|
| CLASE DE MANTENIMIENTO | | | | PREVENTIVO: | | CORRECTIVO: | |
| ASIGNADO A: | | | | | | | |
| FECHA DE EJECUCIÓN: | | | | | | | |
| DESCRIPCION DEL TRABAJO: | | | | | | | |
| QUIEN ORDENA Y APRUEBA: | | | | FECHA: | | | |

Fuente: el autor

Anexo H. Factura de compra



NIT: 93.236.729-2 REGIMEN SIMPLIFICADO

FABRICACIÓN E IMPORTACIÓN DE TODA LA LINE ELECTRÓNICA PARA PLANTA ELÉCTRICAS EN TODA LA MARCAS.
TABLERO ELÉCTRICOS TIPO INDUSTRIAL, AUTOMATIZACIÓN Y MANTENIMIENTO DE PLANTAS
VENTA Y ALQUILER DE PLANTA

FABRICACIÓN DE KIT SOLARES, LAMPARAS ,ELECTROBOMBAS SOLAR, CERCA PARA GANADO CON USB

CRA 4C N° 25 – 50 TELEFONOS 3124608530 - 3128563429

IBAGUE - TOLIMA

| | | |
|---|-------------------------------------|-----------------|
| SEÑOR(ES): <i>Miguel angel castro olivero</i> | FACTURA N° 2096 | |
| C.C.: <i>1105060470</i> | | |
| DIRECCION : | FECHA : 01 <i>abril</i> 2022 | PAGOS DE : |
| TELEFONO : <i>3172537906</i> | REMISION N°: | VENCIMIENTO: |
| PAIS / CIUDAD /DPTO : <i>Ibague (Tolima)</i> | | DIA MES AÑO |

| U/N | CODIGO | REFERENCIA / DETALLE | VALOR U/N | TOTAL |
|-----|--------|---|-----------|-----------|
| 1 | | Bomba centrífuga 110VAC de consumo 5,4A | 150.000 | 150.000 |
| 2 | | Paneles solares de 340w | 750.000 | 1.500.000 |
| 1 | | PWM solar charge controller a 24V de 30A | 350.000 | 350.000 |
| 2 | | Baterías MAGNA AGM secas de 12V 55A | 395.000 | 790.000 |
| 1 | | Inversor de 1500w BELLT de onda pura a 24v con 50A de resistencia | 850.000 | 850.000 |
| 3 | | Metros cable AWG calibre 6. Para la conexión de baterías controlador e inversor | 23.000 | 69.000 |
| 30 | | Metros de cable encauchado de calibre 14 para la bomba ½. | 6000 | 180.000 |
| 1 | | Gabinete del sistema solar 600mm*900mm | 150.000 | 150.000 |
| 2 | | Flotador eléctrico control nivel de 15 amperios. | 35.000 | 70.000 |
| 1 | | Gabinete de control referencia I-0302 | 40.000 | 40.000 |
| 6 | | metros Cable de calibre 16 para la el sistema de control | 3.500 | 21.000 |
| 1 | | Relé térmico de sobre carga chnt NR2-25 | 40.000 | 40.000 |
| 3 | | Contacto chnt NC1-0910 | 30.000 | 90.000 |
| 1 | | Protección C45N VECAS 2 polos | 10.000 | 10.000 |
| 1 | | Protección HIBD63-N C2 Hyundai 1 polo | 7000 | 7000 |
| 3 | | pilotos led ND16-22DS/4C | 7000 | 21.000 |
| 1 | | Paro de emergencia NP2-S174 | 20.000 | 20.000 |
| 1 | | Interruptor selector S2SR-S7W2A | 30.000 | 30.000 |
| 1 | | Pulsador doble rojo verde liso 04-25-030 | 16.000 | 16.000 |
| 1 | | Bornera de riel | 10.000 | 10.000 |
| 25 | | Metros de Tubería accesorios | | 300.000 |

UNA VEZ ENTREGADA LA MERCARCIA NO ACEPTAMOS DEVOLUCIONES:

TOTAL \$ 4.779.000

NOTA: TIEMPO DE ENTREGA DE 8 A 10 DÍAS
GARANTÍA: 1 AÑO POR DEFECTOS DE FABRICACIÓN
FORMA DE PAGO : 70% ANTICIPADO, Y SALDO A LA ENTREGA
VALIDEZ DE LA OFERTA: 1 SEMANA POR VARIACIÓN DEL DOLAR

ACEPTADO (Firma y sello)
C.C./Nit:

