

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA SOLAR PARA
REDUCIR EL COSTO ENERGÉTICO EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN
BATANGRANDE, LAMBAYEQUE**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

ALEXI FERNANDEZ FERNANDEZ

ASESOR

JORGE ALBERTO VILLANUEVA ZAPATA

<https://orcid.org/0000-0002-2529-1161>

Chiclayo, 2022

**DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA SOLAR
PARA REDUCIR EL COSTO ENERGÉTICO EN EL CULTIVO
DE MAÍZ EN BATANGRANDE, LAMBAYEQUE**

PRESENTADA POR:

ALEXI FERNANDEZ FERNANDEZ

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR:

Alejandro Segundo Vera Lazaro
PRESIDENTE

Lucio Antonio Llontop Mendoza
SECRETARIO

Jorge Alberto Villanueva Zapata
VOCAL

Dedicatoria

A dios por darme la salud y la fortaleza en todo momento, gracias por darme una familia maravillosa en especial a mis padres Dermal y Elvia por su cariño, esfuerzo y apoyo incondicional para convertirme en lo que ahora soy.

A mis hermanos quienes en todo momento supieron darme fuerzas y motivación en situaciones de dificultad para lograr uno de los objetivos más anhelados.

Agradecimientos

A la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo a la facultad de ingeniería en especial a la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, por toda su plana docente en los conocimientos brindados durante mi formación profesional.

Asimismo, un agradecimiento especial al Ing. Jorge Alberto Villanueva Zapata por todo su apoyo en la orientación impartida durante el desarrollo de esta tesis.

FERNANDEZ

INFORME DE ORIGINALIDAD

20%

INDICE DE SIMILITUD

20%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

10%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3%

2

es.scribd.com

Fuente de Internet

2%

3

es.slideshare.net

Fuente de Internet

1%

4

tesis.usat.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

idoc.pub

Fuente de Internet

1%

6

Submitted to Universidad de Jaén

Trabajo del estudiante

<1%

7

archive.org

Fuente de Internet

<1%

8

repositorio.unac.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

9

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

ÍNDICE

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 13 |
| ABSTRACT | 14 |
| I. INTRODUCCIÓN | 15 |
| 1.1 Situación Problemática | 16 |
| 1.2 Objetivos | 17 |
| 1.2.1 Objetivo General | 17 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos | 17 |
| 1.3 Justificación | 18 |
| 1.4 Formulación del problema..... | 18 |
| II. MARCO TEÓRICO | 19 |
| 2.1 Antecedentes..... | 19 |
| 2.2 Bases Teóricas | 20 |
| 2.2.1 Localización | 20 |
| 2.2.2 Condiciones Climatológicas | 21 |
| 2.2.3 Energía..... | 21 |
| 2.2.4 La energía solar y su aplicación..... | 22 |
| 2.2.5 Factibilidad de la operación solar..... | 22 |
| 2.2.6 Consideraciones para elaboración del proyecto | 23 |
| 2.2.7 Otras fuentes de energía..... | 23 |
| 2.2.8 Características del bombeo | 23 |
| 2.2.9 Modelado de componentes de la práctica de bombeo solar..... | 24 |
| 2.2.9.1 Radiación solar | 25 |
| 2.2.9.2 Motor | 26 |
| 2.2.9.3 Bomba | 26 |
| 2.2.10 Sistemas fotovoltaicos basado en el motor | 27 |
| 2.2.11 Parámetros de rendimiento de una bomba solar | 28 |
| 2.2.12 Equipo de Bombeo compatible en los sistemas fotovoltaicos | 29 |
| 2.2.12.1 Bombas centrífugas..... | 29 |
| 2.2.12.2 Bombas Volumétricas | 31 |
| 2.2.12.3 Bombas neumáticas de cilindro | 32 |
| 2.2.12.4 Bombas de membrana o diafragma | 32 |
| 2.2.13 Cálculo para el sistema de bombeo | 32 |
| 2.2.13.1 Potencia de bombeo hidráulico | 32 |
| 2.2.13.2 Altura dinámica total (TDH)..... | 32 |
| 2.2.13.3 Altura estática | 33 |

| | | |
|-------------|--|-----------|
| 2.2.13.4 | Perdidas por fricción para tuberías largas | 33 |
| 2.2.13.5 | Pérdida por fricción para accesorios de tubería..... | 35 |
| 2.2.14 | Módulos Fotovoltaicos | 36 |
| 2.2.14.1 | Eficiencia..... | 38 |
| 2.2.14.2 | Materiales de fabricación | 39 |
| 2.2.15 | Efectos de las condiciones ambientales en el sistema fotovoltaico..... | 40 |
| 2.2.16 | Sistemas autónomos | 42 |
| III. | METODOLOGÍA | 43 |
| 3.1 | Tipo y nivel de investigación..... | 43 |
| 3.1.1 | Tipo..... | 43 |
| 3.1.2 | Nivel | 43 |
| 3.2 | Criterios de selección | 43 |
| 3.3 | Técnica de recolección de datos | 43 |
| 3.4 | Población y muestra | 43 |
| 3.4.1 | Población | 43 |
| 3.4.2 | Muestra | 43 |
| 3.5 | Metodología del diseño | 44 |
| 3.6 | Operacionalización de variables | 45 |
| 3.7 | Matriz de consistencia | 46 |
| IV. | RESULTADOS | 47 |
| 4.1. | EVALUACIÓN DE CULTIVOS EN LA ZONA DE PROYECTO | 47 |
| 4.1.1 | Cultivos..... | 47 |
| 4.1.2 | Sentidos para evaluar los problemas de cultivo | 49 |
| 4.1.3 | Niveles de marchitez para saber cuándo regar..... | 50 |
| 4.1.4 | Textura de suelo | 50 |
| 4.1.5 | Cómo estimar cuanta humedad del suelo está disponible para el cultivo..... | 51 |
| 4.2 | CÁLCULO DE LA DEMANDA HÍDRICA PARA EL CULTIVO POR HECTÁREA DE TERRENO | 52 |
| 4.2.1 | Proceso de evapotranspiración..... | 52 |
| 4.2.1.1 | Evaporación..... | 52 |
| 4.2.1.2 | Transpiración..... | 53 |
| 4.2.2 | Evapotranspiración de referencia (ET ₀)..... | 53 |
| 4.2.2.1 | Cálculo de la presión atmosférica..... | 55 |
| 4.2.2.2 | Cálculo de la constante psicométrica..... | 56 |
| 4.2.2.3 | Cálculo de la pendiente de la curva de presión de vapor (Δ)..... | 56 |
| 4.2.2.4 | Cálculo de la presión real de vapor (e _a)..... | 56 |
| 4.2.2.5 | Cálculo de la presión media de vapor de saturación(e _s)..... | 57 |
| 4.2.2.6 | Cálculo del flujo de calor del suelo (G)..... | 57 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.2.7 Cálculo de la radiación extraterrestre (R_a) | 58 |
| 4.2.2.8 Cálculo de la radiación neta en la superficie de cultivo (R_n) | 59 |
| 4.2.3 Evapotranspiración del cultivo (ET_c)..... | 62 |
| 4.3. CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA HÍDRICO Y ELÉCTRICO POR HECTÁREA DE CULTIVO | 64 |
| 4.3.1 Cálculo de la bomba sumergible y reservorio | 64 |
| 4.3.1.1 Perfil del pozo..... | 64 |
| 4.3.1.2 Cálculo de la altura total del sistema de bombeo | 65 |
| 4.3.1.3 Cálculo de la potencia hidráulica | 67 |
| 4.3.1.4 Cálculo del reservorio y tiempo de llenado | 67 |
| 4.3.1.5 Selección de la bomba sumergible a utilizar..... | 69 |
| 4.3.2 Cálculo y selección del panel fotovoltaico | 70 |
| 4.3.2.1 Angulo de inclinación optima del panel | 70 |
| 4.3.2.2 Horas solar pico más crítico o desfavorable | 71 |
| 4.3.2.3 Influencia de la temperatura en la celda del panel fotovoltaico | 74 |
| 4.3.2.4 Cálculo y distribución de paneles FV | 75 |
| 4.3.2.5 Cálculo de la distancia de sombreado entre estructuras | 76 |
| 4.3.3 Cálculo del inversor..... | 78 |
| 4.3.4 Cálculo de la sección del conductor | 79 |
| 4.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR CON PVSYST Y CONFIGURACIÓN DEL INVERSOR | 81 |
| 4.1 Dimensionado del sistema de bombeo solar con PVsyst | 81 |
| 4.1.1 Consideraciones iniciales..... | 81 |
| 4.1.2 Orientación..... | 81 |
| 4.1.3 Necesidades del Agua..... | 82 |
| 4.1.4 Sistema en su conjunto..... | 82 |
| 4.1.5 Producción del sistema | 84 |
| 4.1.6 Balance de Resultados de PVsyst..... | 85 |
| 4.1.7 Diagrama de perdidas..... | 87 |
| 4.1.8 Parámetro de sombreado cercano al conjunto fotovoltaico | 88 |
| 4.2 Configuración del inversor para el funcionamiento automático del sistema de bombeo | 89 |
| 4.2.1 Pantalla LCD y partes de conexión | 89 |
| 4.2.2 Modelo de configuración del inversor empleando la pantalla LCD | 90 |
| 4.2.3 Consideraciones de entrada del inversor | 90 |
| 4.2.4 Consideraciones y conexión a la salida del inversor..... | 91 |
| 4.2.5 Sensor de pozo y reservorio | 91 |

| | |
|--|------------|
| 4.5 EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DE LA FUENTE DE ENERGÍA .. | 92 |
| 4.5.1 Valor Actualizado Neto (VAN) | 92 |
| 4.5.2 Taza Interna de Retorno (TIR)..... | 92 |
| 4.5.3 El payback o periodo de recuperación de la inversión (PRI) | 92 |
| 4.5.4 Análisis técnico del costo energético para un sistema a motobombas | 93 |
| 4.5.5 Presupuesto del proyecto | 93 |
| 4.5.6 Evaluación Económica..... | 95 |
| V. CONCLUSIONES | 97 |
| VI. RECOMENDACIONES | 98 |
| VII. BIBLIOGRAFÍA | 99 |
| VIII. ANEXOS | 101 |

Lista de Tablas

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 1. | Localización del proyecto en coordenadas UTM (WGS84) | 20 |
| Tabla 2. | Ventajas y desventajas para proyectos que necesiten de energía solar | 22 |
| Tabla 3. | Comparación de motor de CA y CD. | 28 |
| Tabla 4. | Bombas de desplazamiento positivo | 30 |
| Tabla 5. | Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico | 31 |
| Tabla 6. | Perdidas por fricción en tuberías PVC y GI | 34 |
| Tabla 7. | Accesorios que ocasionan perdidas por fricción localizada | 36 |
| Tabla 8. | Comparación de dos sistemas de bombeo tipo autónomo | 42 |
| Tabla 9. | Operacionalización de variable independiente | 45 |
| Tabla 10. | Operacionalización de variable dependiente | 45 |
| Tabla 11. | Matriz de consistencia..... | 46 |
| Tabla 12. | Cultivos que se siembran con mayor frecuencia | 47 |
| Tabla 13. | Datos meteorológicos y climatológicos | 55 |
| Tabla 14. | Resumen del cálculo de la evapotranspiración de referencia | 60 |
| Tabla 15. | Determinación mensual de la evapotranspiración de referencia. | 61 |
| Tabla 16. | Coeficientes de cultivo Kc [24] | 62 |
| Tabla 17. | Factores de conversión para expresar la evapotranspiración | 62 |
| Tabla 18. | Evapotranspiración de cultivos en m ³ /ha-día y la conversión del caudal requerido en m ³ /s..... | 63 |
| Tabla 19. | Resumen de los parámetros calculados..... | 67 |
| Tabla 20. | Modelo de la bomba sumergible a seleccionar..... | 69 |
| Tabla 21. | Ángulos de inclinación en base a latitudes..... | 71 |
| Tabla 22. | Parámetros irradiación global horizontal | 72 |
| Tabla 23. | Energía media producida..... | 73 |
| Tabla 24. | Características eléctricas | 73 |
| Tabla 25. | Características mecánicas..... | 73 |
| Tabla 26. | Características de temperatura del panel..... | 74 |
| Tabla 27. | Elección del nivel de tensión para el sistema | 75 |
| Tabla 28. | Cálculo de distancia de sombra entre paneles FV | 77 |
| Tabla 29. | Equivalencias de sección de conductor en mm ² y AWG | 80 |
| Tabla 30. | Secciones de conductor a utilizar | 80 |
| Tabla 31. | Verificación de caída de tensión por tramo..... | 80 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Tabla 32. | Condiciones de operación de la bomba..... | 82 |
| Tabla 33. | Producción anual de sistema | 84 |
| Tabla 34. | Balance de resultados de PVsyst | 85 |
| Tabla 35. | Procedimiento para la configuración del inversor por medio de la pantalla LCD..... | 90 |
| Tabla 36. | Presupuesto del proyecto planteado..... | 94 |
| Tabla 37. | Flujo de caja y evaluación económica | 95 |
| Tabla 38. | Indicadores económicos VAN,TIR y Payback..... | 96 |

Lista de Figuras

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 1. | Lugar de ubicación del proyecto..... | 21 |
| Figura 2. | Selección de tecnología de bombeo | 24 |
| Figura 3. | Principales componentes del sistema..... | 25 |
| Figura 4. | Irradiancia en un día soleado | 26 |
| Figura 5. | Curvas características de una bomba sumergible | 27 |
| Figura 6. | Bomba centrífuga..... | 29 |
| Figura 7. | Tipos de Bombas sumergibles de la marca pedrollo | 30 |
| Figura 8. | Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico | 31 |
| Figura 9. | Panel solar fotovoltaico | 37 |
| Figura 10. | Célula solar..... | 37 |
| Figura 11. | Célula fotovoltaica en paralelo con diodos de derivación..... | 38 |
| Figura 12. | Eficiencias de células fotovoltaicas | 39 |
| Figura 13. | Efectos de la irradiancia en las características de las células fotovoltaicas [15]..... | 40 |
| Figura 14. | Efectos de la temperatura de la celda solar en las características de la celda fotovoltaica [15]..... | 41 |
| Figura 15. | Diagrama de flujo del diseño..... | 44 |
| Figura 16. | Representación gráfica de cultivos | 47 |
| Figura 17. | Condiciones actuales que se encuentra el maíz | 48 |
| Figura 18. | Estimación de tiempo en regar una hectárea de cultivo..... | 48 |
| Figura 19. | Sistemas de bombeo que utilizan actualmente | 49 |
| Figura 20. | Cultivo de maíz..... | 49 |
| Figura 21. | Niveles de marchitez para saber cuándo regar [22]..... | 50 |
| Figura 22. | Formas para establecer la textura de suelo..... | 51 |
| Figura 23. | Prueba en campo para la determinación de textura de suelo..... | 51 |
| Figura 24. | Representación de una estoma..... | 52 |
| Figura 25. | Partición de la evapotranspiración y el índice del área foliar..... | 53 |
| Figura 26. | Características del cultivo hipotético de referencia | 54 |
| Figura 27. | Curva característica de la evapotranspiración de referencia por mes | 61 |
| Figura 28. | Demanda hídrica por cultivo en m ³ /ha.día | 63 |
| Figura 29. | Perfil del pozo..... | 64 |
| Figura 30. | Reservorio para almacenamiento..... | 68 |
| Figura 31. | Bomba sumergible seleccionada..... | 70 |
| Figura 32. | Inclinación de panel solar..... | 70 |

| | | |
|------------|---|----|
| Figura 33. | Distribución de paneles solares serie-paralelo Era Solar 340W/24V | 76 |
| Figura 34. | Configuración de sombreado..... | 76 |
| Figura 35. | Carta solar..... | 77 |
| Figura 36. | Emplazamiento de los paneles solares | 78 |
| Figura 37. | Angulo de inclinación y azimut del panel..... | 81 |
| Figura 38. | Características del Pozo y del almacenamiento..... | 82 |
| Figura 39. | Eficiencia vs Irradiancia del panel Era Solar 340W | 83 |
| Figura 40. | Corriente vs voltaje del panel Era Solar 340W | 84 |
| Figura 41. | Energía normalizada por kWp instalado en el sistema | 86 |
| Figura 42. | Energía incidente mensual..... | 86 |
| Figura 43. | Diagrama de perdidas anual | 87 |
| Figura 44. | Simulación de PVsyst con definición de sombras cercanas..... | 88 |
| Figura 45. | Pantalla LCD y partes de conexión..... | 89 |
| Figura 46. | Cable de conexión..... | 91 |
| Figura 47. | Niveles de sensor | 91 |
| Figura 48. | Representación gráfica del PRI | 96 |

RESUMEN

El acceso al agua en diferentes partes de la región Lambayeque es limitado, cuya producción de sus cultivos no es factible para los agricultores. Para ello, utilizan motobombas y electrobombas para la expulsión de agua subterránea los cuales perjudica a sus condiciones económicas en mantenimientos sucesivos, asimismo de la emisión del gas contaminante de dióxido de carbono (CO₂). Esta tesis ha tenido como objetivo general diseñar un sistema de bombeo con energía solar cuyo fin busca reducir el costo energético del riego de cultivo de maíz en el centro poblado Batangrande destinada especialmente al pequeño agricultor con una demanda hídrica por hectárea de 64.29 m³/día. El sistema estará conformado por una bomba sumergible de marca Pedrollo y modelo 4SR33G/20 2HP trifásico 380V, 8 módulos fotovoltaicos de 340 W cada uno dando una potencia total de 2720Wp, un inversor Hoberteck modelo HSPL1500HA/ 1500W y de un reservorio para el almacenamiento de agua con una autonomía de 2 días. De tal manera que su operación será automática mediante dos sensores tanto para el pozo y el reservorio, en donde cada sensor permitirá la detección de nivel de agua bajo, medio y alto con el fin de evitar que en temporadas del año la bomba opere en seco. Para su configuración automática se ha tenido en cuenta un modelo de pantalla LCD donde se establecen periodos de prendido y apagado del sistema esto según el requerimiento del mismo agricultor. Asimismo, para el presupuesto planteado se obtuvieron indicadores económicos del VAN de S/ 32,661.47 y TIR de 20% representando la viabilidad y factibilidad de dicho proyecto.

Palabras Clave: Sistema de bombeo, módulos fotovoltaicos, costo energético, cultivo de maíz

ABSTRACT

Access to water in different parts of the Lambayeque region is limited, whose production of their crops is not feasible for farmers. To do this, they use motor and electric pumps for the expulsion of underground water which damages their economic conditions in successive maintenance, also of the emission of the polluting gas of carbon dioxide (CO₂). The general objective of this thesis was to design a pumping system with solar energy whose purpose is to reduce the energy cost in the irrigation of corn crops in the Batangrande populated center, especially for the small farmer with a water demand per hectare of 64.29 m³/day. The system will consist of a Pedrollo submersible pump model 4SR33G/20 2HP triphasic 380V, 8 photovoltaic modules of 340W each giving a total power of 2720Wp, a Hoberteck model HSPL1500HA/1500W inverter and a reservoir for storing water with an autonomy of 2 days. In such a way that its operation will be automatic through two sensors for both the well and the reservoir, where each sensor will allow the detection of low, medium and high water level in order to prevent the pump from operating dry during seasons of the year. For its automatic configuration, an LCD screen model has been taken into account where periods of on and off of the system are established according to the requirement of the farmer himself. Likewise, for the proposed budget, economic indicators of NPV of S/.32,661.47 and IRR of 20% were obtained, representing the viability and feasibility of said project.

Keywords: Pumping system, photovoltaic modules, energy cost, corn crop

I. INTRODUCCIÓN

El sector agrícola a través de los últimos tiempos ha carecido del recurso hídrico, especialmente en aquellos lugares donde los canales de riego están distantes a los cultivos. Por lo tanto, a limitado la comercialización a la agroindustria ya que solamente son utilizados para el consumo familiar, así que es importante incentivar al pequeño productor que puedan utilizar nuevas tecnologías como el sistema de bombeo con energía solar para la extracción de agua subterránea para cubrir sus necesidades principalmente en el riego de sus cultivos y a si puedan mejorar su productividad.

Si se considera en términos de valor añadido a la productividad, la reasignación del suministro de agua a cultivos representa una salida obvia para aumentar el nivel de ingresos en los agricultores. Para lograr cuyo fin es importante el cambio sustancial tanto en la gestión y tecnología asociada que permita dar un mayor control en el suministro de agua al agricultor. A consecuencia la agricultura se ve afectada a la más sensible escasez de agua, A veces el sector agrícola es considerado como usuario residual del agua luego del sector industrial y doméstico, sin embargo supone el 90% de uso consultivo y un 70% de extracciones globales de agua dulce [1].

En las zonas distantes del centro poblado Batangrande donde no llega la red eléctrica, los agricultores disponen de sistemas de bombeo de agua subterránea a través de motobombas por su fácil instalación. Las motobombas por ser máquinas que funcionan con combustibles fósiles (diésel), generan altos impactos negativos en el medio ambiente como la emisión del dióxido de carbono (CO_2), altos costos en el bombeo de agua por el precio de combustible y por otro lado durante su operación el mantenimiento es muy costoso, Estas causas impiden el desarrollo de los pequeños agricultores de Batangrande al cual pensamos en mejorar.

1.1 Situación Problemática

En diversos países del mundo el agua como recurso natural, en la actualidad cumple un rol importante en múltiples necesidades de la actividad humana dando lugar en mayor parte de su utilización para riego agrícola.

Por lo tanto, la repartición al nivel mundial en cuanto al aprovechamiento del agua se encuentra dividida por tres grandes sectores, para uso agrícola 70%, industrial un 20% y uso doméstico un 10% [2].

Según la Autoridad Nacional del Agua (ANA), establece que el 80% de agua es utilizado para uso agrícola, 12% poblacional, 6% industrial y 2% minería [3].

La explotación del agua subterránea en mayor medida al nivel nacional se ve reflejado por los agricultores en donde emplean máquinas de combustión interna y bombas hidráulicas. Para el riego de sus cultivos instalados ya sea tubulares o a tajo abierto, usan como fuente de energía a los combustibles fósiles del petróleo y la gasolina, lo cual genera costos elevados en operación y mantenimiento de los sistemas de bombeo, añadido a ello la contaminación atmosférica local y daños a la salud misma de agricultor por la emisión de gases tóxicos de dichos combustibles [4].

En Batangrande los pequeños productores del sector agrícola de la región Lambayeque ha permitido de que los agricultores pierdan parte de su producción. Pese a ello han construido pozos para la extracción de agua por medio de motobombas el cual es limitante en la producción agrícola, dado que el agua no es expulsada de manera permanente por lo que generaría altos costes económicos debido al uso excesivo del diésel.

Ante ello, se ve la necesidad de diseñar un sistema de bombeo de agua con energía solar con la finalidad de mejorar sus ingresos de los agricultores y condiciones de vida por la fuente de energía que utiliza. El sistema operara en óptimas condiciones ya que se adapta a las condiciones climatológicas del lugar, cuya extracción de agua será permanente durante el día en cuanto lo requiera el agricultor. Asimismo, es importante señalar su uso racional en la actividad agrícola ya que puede traer grandes impactos a largo plazo, con utilización de nuevas tecnologías que permitan dar una mayor productividad.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de bombeo con energía solar automatizado para reducir el costo energético en el cultivo de maíz en Batangrande, Lambayeque.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar una evaluación de cultivos en el área de influencia del proyecto.
- Determinar la demanda hídrica para el abastecimiento de cultivo de maíz por hectárea de terreno con el método de Penman Monteith.
- Calcular y diseñar el sistema hídrico y eléctrico que se requiere por hectárea de cultivo.
- Dimensionar los módulos fotovoltaicos mediante el software PVsyst, así como la configuración del inversor para el funcionamiento automático del sistema de bombeo.
- Realizar el análisis del costo energético anual para un sistema de bombeo utilizando energía diésel y la evaluación económica de la fuente de energía FV a utilizar.

1.3 Justificación

Social

Mediante el diseño de sistema de bombeo con energía solar para cultivo de maíz se logrará que los agricultores puedan abastecerse de manera eficiente del recurso natural del agua, contribuyendo a que sus tierras agrícolas generen mayor producción logrando así incorporarse en el mercado nacional. Asimismo, permitirá el abastecimiento de sus necesidades básicas como: la preparación de alimentos, aseo personal entre otros que se requiera su utilización.

Económico

Con este diseño garantizara una inversión relativamente bajo a mediano plazo, pero a largo plazo generara muchos beneficios en los agricultores como los costos de mantenimiento durante su operación ya que casi son nulos durante su vida útil y por otra parte la energía que utilizara el sistema de bombeo es totalmente renovable, es decir no se acaba con el tiempo.

Ambiental

Se prevé que con este diseño se evita la emisión de gases contaminantes como el CO₂ de tal manera que se mejorara la calidad de vida del agricultor y de su entorno.

Tecnológico

El uso de sistemas convencionales en gran medida que vienen utilizando los agricultores por la fácil instalación en zonas aisladas de la red eléctrica para el riego de sus cultivos no abastecen en gran medida sus tierras. Por lo tanto, con el diseño del sistema de bombeo utilizando tecnología fotovoltaica permitirá que los productores mejoren su producción.

1.4 Formulación del problema

¿Será posible reducir el costo energético en el cultivo de maíz en Batangrande mediante la aplicación de un sistema de bombeo con energía solar?

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

Según Krishnamoorthi y Kaviyarasu, 2015 [5] realizaron un estudio sobre el diseño e implementación de un sistema de bombeo solar como una solución viable para cubrir las necesidades agrícolas remotas, como el bombeo de agua para cultivos o ganado, cuyo sistema fue diseñado para ubicaciones lejanas donde se hizo funcionar para ver su beneficio y confiabilidad, lo que se obtuvo fue de 0,25L/min cuando la radiación solar supera los 90W, cuyo flujo aumento linealmente a un máximo de 1L/min esto dependía del ajuste del controlador, así como de la radiación solar de 16 a 18 A logrando finalmente bombear un promedio de 576 litros/día.

Schilardi Carlos et.al, 2019 [6] plantearon el diseño de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para el funcionamiento de un grupo de bombeo de riego por goteo para una extensión de 18,83 ha de Viñedo, cuyo dimensionamiento se realizó mediante el método intuitivo de la demanda anual neta y bruta para una hectárea. Asimismo, se determinó el mes más crítico (agosto) todo ello se llevó a cabo mediante una herramienta computacional Excel con programación Visual Basic con la interfaz periférica serial (SPI) como medio de automatizar el sistema

Roberto Valer et.al. 2016 [7] los sistemas de bombeo suelen ser cada vez más competitivos para el uso agrícola generalmente en áreas remotas es decir donde existe fuentes de energía los cuales no son confiables o en todo caso no estén disponibles. Como alternativa de los PVPS tradicionales para su configuración emplea el variador de velocidad, cuyo rendimiento fue probado en una instalación de prueba de bombeo y en una variedad de sitios en el campo generando resultados satisfactorios como la competitividad económica de un PVPS y en el costo de ciclo de vida que compara a un variador de velocidad convencional PVPS-C y uno de velocidad variable del sistema de bombeo PVPS-VSD. Un variador de velocidad (VSD) es un dispositivo electrónico que controla la velocidad y el par de un motor de inducción mediante el uso de un controlador proporcional, integral y derivado (PID) que varía la frecuencia y la tensión de alimentación del motor.

La utilización de los variadores de frecuencia para los sistemas de bombeo solar son los más empleados debido a su costo y vida útil que tienen estos equipos, así como permiten monitorear en tiempo real las variables de operación tales como la velocidad de la bomba (rpm), la corriente en amperios y la potencia que es uno de los parámetros relacionados con la irradiancia solar, es decir mientras la irradiancia incrementa durante un periodo de tiempo la potencia de igual forma lo hace logrando de esta manera extraer agua en la mayor cantidad posible.

Sin embargo, la mejor alternativa nació debido a la no existencia del suministro eléctrico a aquellos lugares de bosques secos donde no había la presencia de afluentes

cercanos en ese sentido solo disponían de norias y pozos. La antigüedad de estos pozos estaba proyectada para 25 años y cuya profundidad se encontraban entre 30 a 80 metros. Para suplir la necesidad y mejorar el suministro de agua se optó por diseñar un sistema de bombeo solar para consumo residencial y la mejora de las actividades agrícolas [8].

En esta investigación el tiempo de prueba fue desde el 30 de agosto al 6 de septiembre, el volumen promedio durante un día suministrado en campo fue de 4.17m³/día; a pesar de las buenas condiciones de radiación solar que disponía el lugar de proyecto, pero en si impedía el bombeo continuo de agua por el abatimiento del pozo. Las eficiencias tanto de la bomba y el panel solar representaron 26.12% y 95,54% el producto de ambos fue la eficiencia global del sistema con 24.96% . En el Perú en las zonas alto andinas los lugares remotos, las familias tienen poco acceso a la electricidad y deficiencias en cuanto a la captación de agua, por ello es importante los sistemas solares como alternativa viable por ser una de las energías limpias e inagotables, además de que los costos de su adquisición con el paso del tiempo están disminuyendo considerablemente [9].

El bombeo para los cultivos en la región Boyacá alimentados con energía solar corresponde a una solución práctica para fines agrícolas. Las unidades productivas requerían de motobombas con combustibles fósiles perjudicando dos factores económicos y el medio ambiente. Para el logro de una mejor eficiencia y buena calidad en los procesos fue importante implementar técnicas e instrumentos [10].

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Localización

El proyecto cuya ubicación se encuentra en el centro poblado Batangrande del distrito de Pítipo a una distancia de 41 km de la provincia de Chiclayo a una altura de 120 m.s.n.m, cuya área para su implementación alberga de 130 m² y un perímetro de 46 m. El terreno es ligeramente llano por lo que no se requiere de maquinaria para excavaciones profundas. Mediante Google Earth Pro se detalla las coordenadas de la zona del proyecto con el sistema UTM WGS 84.

Tabla 1. Localización del proyecto en coordenadas UTM (WGS84)

| UTM WGS84 | | | | GRADOS, MINUTOS Y SEGUNDOS | |
|-----------|--------|----------------------|-----------------------|----------------------------|--------------|
| Zona | Puntos | Dirección al sur (m) | Dirección al este (m) | Latitud | Longitud |
| 17M | P1 | 9282569.00 | 651336.00 | 6°29'19.31" | 79°37'53.04" |
| 17M | P2 | 9282542.00 | 651330.00 | 6°29'20.19" | 79°37'53.23" |
| 17M | P3 | 9282536.00 | 651354.00 | 6°29'20.38" | 79°37'52.45" |
| 17M | P4 | 9282564.00 | 651361.00 | 6°29'19.47" | 79°37'52.22" |

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se muestra la distribución del área del proyecto en el cual se desea implementar dicho proyecto según las coordenadas antes mencionadas:



Figura 1. Lugar de ubicación del proyecto

Fuente: Google Earth

2.2.2 Condiciones Climatológicas

El clima en la zona de proyecto es variado según las estaciones del año llegando a tener una temperatura máxima promedio anual de 29.50 C°, temperatura mínima promedio anual de 17.51 C°. Así como también otros factores como: la humedad relativa media anual de 89,81% y con una velocidad de viento media anual de 4.75m/s.

2.2.3 Energía

En nuestro medio que vivimos la energía se ha vuelto un ente importante permitiendo suplir muchas necesidades que el ser humano por sí solo no lo hace, es decir genera trabajo, movimiento y es inherente a los sistemas físicos, además este puede ser convertido para su uso, almacenado y luego ser transferido.

El desarrollo del modelo económico de cualquier país se logra en base a la energía, por lo que el hombre es incapaz de hacerla por si solo para llevar a cabo trabajos de cualquier índole. En nuestro medio existen diferentes fuentes de energía entre ellas están las energías renovables por tener un fuerte potencial en la obtención de energía eléctrica y las no renovables entre ellas están los combustibles fósiles. A los recursos inagotables se denominan renovables, es decir, se mantienen en el tiempo y entre ellas está la energía solar y eólica. La tecnología solar transforma la luz solar en electricidad logrando así cubrir múltiples necesidades en lugares distantes de la red eléctrica [11].

A la fecha la red eléctrica no llega a las zonas distantes de Batangrande y emplean como fuente de energía a los combustibles fósiles (diésel), para el riego de sus cultivos generando altos costos.

2.2.4 La energía solar y su aplicación

La aplicación de la tecnología solar en diversas tareas domésticas representa una alternativa real en el sector industrial y agropecuario. Para ello es importante realizar un análisis de factibilidad técnica y económica y así determinar si es la apropiada para dicho estudio. Sin embargo, la aplicación más común para bombeo de agua en el ámbito agropecuario es: sistemas de secado de productos agrícolas, calentadores de agua, congeladores y otros fines como la electrificación doméstica [11].

2.2.5 Factibilidad de la operación solar

Para muchos casos los beneficiados alejados de las fuentes convencionales de la energía eléctrica, los sistemas fotovoltaicos son una solución viable en cuanto a costos de operación, de tal modo que el proyectista y usuario deben de conocer a detalle las ventajas y desventajas que ofrecen los sistemas solares [11]. Los sistemas solares representan sin lugar a duda una solución viable para zonas aisladas para satisfacer las múltiples necesidades de las personas, permitiéndoles dar mayor ahorro económico a futuro en el usuario, por otro lado, es importante que el usuario conozca a detalle los costos que se requieran para su implementación, así como el tiempo de recuperación de lo invertido.

Tabla 2. Ventajas y desventajas para proyectos que necesiten de energía solar



Fuente: Aprende Institute. Obtenido de: <https://cutt.ly/IvnCkeC>

2.2.6 Consideraciones para elaboración del proyecto

Para la elaboración de un proyecto con bombeo solar requiere de recursos y un tiempo adecuado, puesto que la inversión en primera instancia es relativamente alta por lo que se recomienda realizar un estudio con sumo cuidado. En el tiempo que se este realizando un diseño de este tipo se debe considerar los siguientes puntos [11].

- La existencia de diferentes fuentes de energía como el diésel, viento, la electricidad de distribución y entre otros.
- El uso al cual se pretende dar al agua extraída con aplicación en irrigación, consumo humano, aguadero para ganado, etc.
- La peculiaridad del bombeo en cuanto a la distancia, pozo de extracción, volumen y el nivel de descarga del agua.
- La existencia de la demanda solar en el lugar geográfico.

2.2.7 Otras fuentes de energía

La existencia de las fuentes de energía es el primer elemento que se debe analizar con cuidado. Se debe investigar la separación que hay de la red eléctrica más cercana al lugar de obra o la presencia de motores de combustión interna para que de alguna manera verificar si se pueda rehabilitar o en todo caso extender la red que podría ser más costeable. En cuanto a la red eléctrica una de las preguntas que se tiene en cuenta es ¿Que tan lejos deberá estar la red para que su extensión sea rentable?, cuya respuesta es variable debido a dos zonas las desérticas y montañosas. Las desérticas podría costar unos ocho mil dólares por km, en cambio las montañosas el precio subiría a unos 20 mil dólares. En consecuencia, la opción solar se considera como mejor alternativa para proyectos donde la red de distribución está a más de medio kilómetro [11].

2.2.8 Características del bombeo

La capacidad de agua que se requiere diariamente de un sistema de bombeo no es capaz una señal del tamaño y el costo. Además, se debe de conocer la altura dinámica total HDT (la sima de bombeo más el nivel de descarga más la perdida de carga por fricción en la distancia total de la tubería). Por lo tanto, un sistema requiere de mucha más energía para extraer un metro cubico de agua de una altura dinámica total de diez metros que una de cinco metros [11].

Para conseguir más beneficios, el agua debe emplearse en un alto valor para el titular, de tal manera que debe observarse que el agua no sea más cara que el producto. Por otro lado, el ciclo hidráulico en un proyecto nos permite decidir que tecnología es la más apropiada [11].

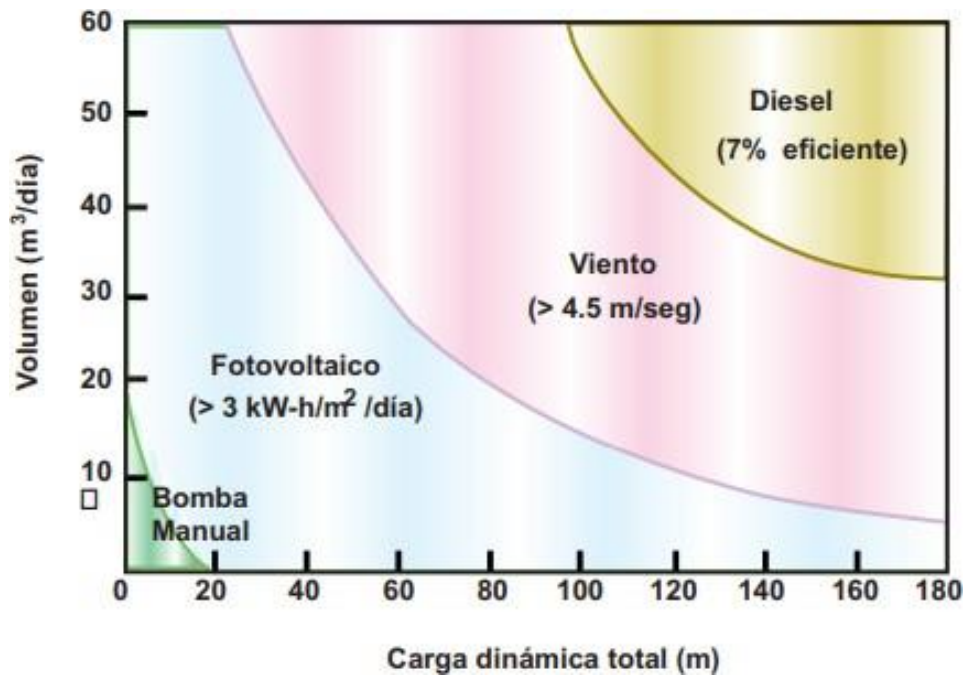


Figura 2. Selección de tecnología de bombeo

Fuente: Guía para el desarrollo de proyectos fotovoltaicos, Vol. 1.

2.2.9 Modelado de componentes de la práctica de bombeo solar

Normalmente, la práctica de bombeo de agua consta de tres componentes: el campo fotovoltaico, la corriente continua (CC) motor y bomba. Cada componente tiene sus propias características operativas, que son: las características I-V para el campo fotovoltaico y el motor de CC y las características de par velocidad para el motor y la bomba. El motor de DC impulsa la bomba cuyos requisitos de par varían con la velocidad a la que se impulsa. El motor de CC se opera por la energía generada a partir de la matriz fotovoltaica cuyas características I- V dependen de forma no lineal de la energía solar variaciones de la radiación y de la corriente consumida por el motor de CC [12].

Los componentes principales del sistema son: matriz fotovoltaica para proporcionar electricidad, motor de CC o de CA, bomba, tanque de almacenamiento, seguidor del punto de máxima potencia (MPPT) y de un inversor para bombas en CA. Se supone que el campo solar tiene una configuración fija y mirando al sur para recibir la mayor cantidad de radiación solar incidente. El rastreador de punto de máxima potencia es adoptado para obligar al campo fotovoltaico a trabajar a la máxima potencia, mejorando así la eficiencia del sistema [12].

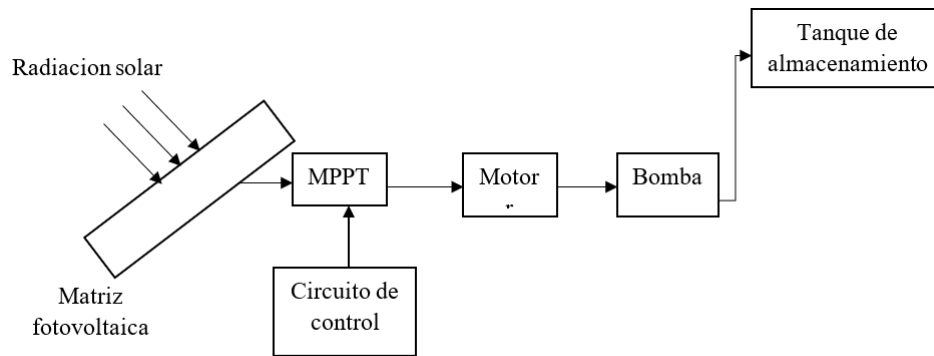


Figura 3. Principales componentes del sistema

Figura: Goneim A

Por ello, en esta investigación no se utilizará un sistema de almacenamiento de energía ya que estaría aumentando técnicamente el costo del sistema de bombeo.

2.2.9.1 Radiación solar

La energía solar alrededor del 1/3 de la energía total se intercepta en la tierra externamente de la atmosfera que en un año llega a la tierra. En tanto el 70% se desploma a los mares, pero la energía que tan solo queda es $1.52 * 10^{17}$ kWh, esto equivale que en un año cae sobre la tierra miles de ciclos el cual se traduce en el consumo de energía mundial [13].

Radiación Solar Directa: Es aquella radiación solar que choca sobre un área sin haber sufrido alguna alteración en su recorrido por unidad de tiempo y unidad de área [13].

Radiación Solar Reflejada: Es la radiación que alcanza sobre una superficie derivado de la reflexión solar en el suelo y en diferentes cuerpos por unidad de tiempo y área [13].

Radiación Difusa: Viene a ser la suma de ambas radiaciones tanto de la solar reflejada y directa [13].

Horas Sol Pico: Tiene que ver con el número de horas de sol durante un día correspondiente a la radiación global de $1000\text{W}/\text{m}^2$ durante un periodo de tiempo [13].

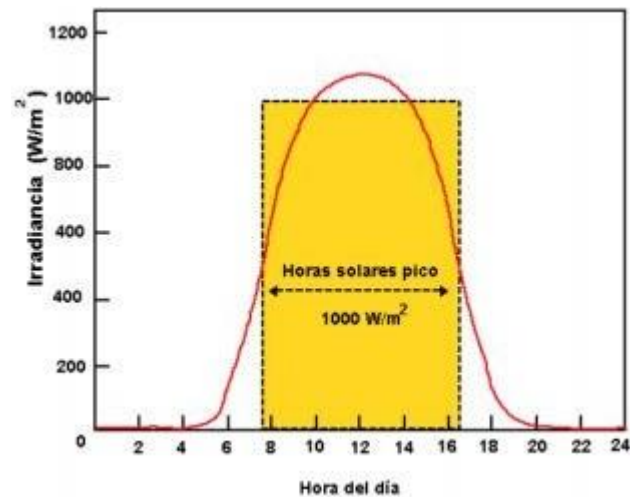


Figura 4. Irradiancia en un día soleado

Fuente: La hora solar pico equivalente, definición e interpretación. Cuba,2017.

Albedo o Reflectancia: Es aquella relación que existe entre la superficie que incide sobre ella de la radiación reflejada [13].

2.2.9.2 Motor

Los motores son máquinas rotativas el cual se encargan de la transformación de la energía eléctrica dotada de un generador en energía mecánica. Los rendimientos son elevados para aquellas aplicaciones de bombeo solar a pequeña escala [13].

En cuanto a las partes principales de un motor eléctrico de corriente directa (CD), viene a ser el estator que es la parte fija y rotor la parte móvil, hay otra parte que ba montado en el mismo eje del rotor y rotan en simultaneo [13].

2.2.9.3 Bomba

Las bombas son máquinas que se distinguen en dos tipos fundamentales tales como el de desplazamiento positivo y las bombas que tiene que ver con intercambio de movimiento o llamadas bombas dinámicas. Las bombas de desplazamiento positivo tienen gran aplicación industrial [13].

Las bombas dinámicas son las encargadas de transferir el movimiento mediante las paletas giratorias, dado que la más aprovechada es la bomba centrífuga y estas se diseñan para niveles manométricos determinados y distributivo, mayor caudal que las de desplazamiento positivo. Por tanto, no son apropiados para alturas de aspiración mayores a los 5 y 6 metros lo que dificultaría muchos cuerpos dependiendo de la impulsión necesaria. [13].

En la figura 5, hace una relación correspondiente a las variables sobre la capacidad que se requiere bombear con respecto a su altura total, así como otros parámetros sobre su rendimiento en % y la potencia absorbida expresada en kW.

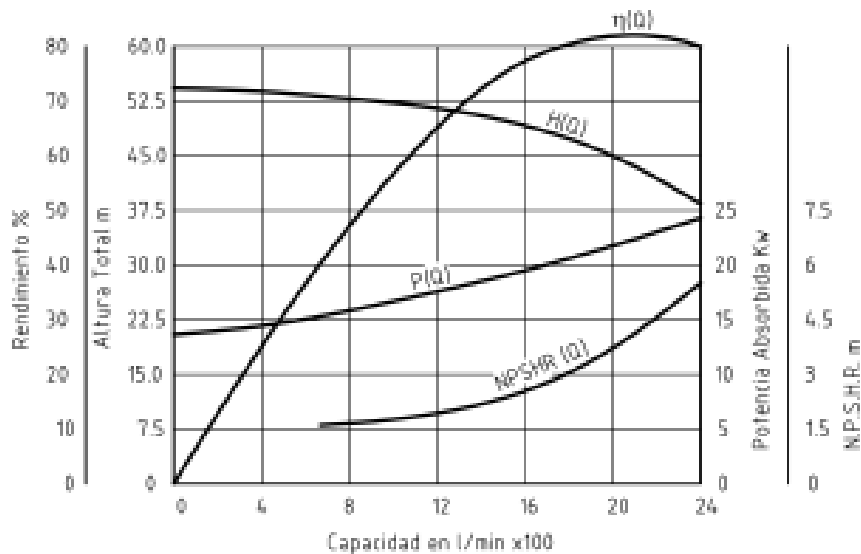


Figura 5. Curvas características de una bomba sumergible

Fuente: Área mecánica, julio 2011

2.2.10 Sistemas fotovoltaicos basado en el motor

Los sistemas de bombeo de agua trifásicos constan de una matriz fotovoltaica, un convertidor DC-DC, un inversor, un motor de inducción y la bomba de agua. Como el motor de bombeo de CA no se puede conectar directamente a las celdas fotovoltaicas, se utiliza el convertidor DC-CA con el algoritmo de seguimiento MPPT, que se conecta al inversor para convertir el voltaje DC en voltaje variable para el motor de inducción [14].

Tabla 3. Comparación de motor de CA y CD.

| Características | DIFERENCIAS | |
|---------------------------------------|--|--|
| | Motores AC | Motores DC |
| Naturaleza de la corriente de entrada | La CA es la principal potencia de entrada del motor CA. | La DC es la principal potencia de entrada del motor DC. |
| Fase de suministro | Se utilizan tanto suministro monofásico como trifásico. | Solo se utiliza suministro monofásico. |
| Posición de la armadura | En los motores de CA, las armaduras no giran, pero el campo magnético sí. | En el motor de DC, la armadura gira mientras que el campo magnético no gira. |
| Costo de mantenimiento | La reparación del motor de CA no es costosa. | La reparación del motor de CD es costosa. |
| Escobillas de carbón | El motor de CA no utiliza escobillas de carbón. | El motor de CD utiliza escobillas de carbón. |
| Esperanza de vida | Los motores de CA tienen una vida útil más larga. | Los motores de CD no tienen una vida prolongada. |
| Control de velocidad | La velocidad del motor de CA se controla variando la frecuencia de la corriente. | La velocidad de los motores de CD se controla variando la corriente de los devanados del inducido. |
| Proceso de conmutación | El proceso de conmutación está ausente en los motores de CA. | El proceso de conmutación está presente en los motores de CD. |

Fuente: Bereket Fola Gugunto, pag.37

2.2.11 Parámetros de rendimiento de una bomba solar

El rendimiento de una bomba fotovoltaica depende principalmente del caudal de agua que está influenciado por el clima y condiciones del lugar, especialmente la irradiancia solar y las variaciones de temperatura del aire. El rendimiento de la bomba solar depende del requerimiento de agua, el tamaño del tanque y acumulación de agua, la altura (m) por la cual se debe levantar el agua, el agua debe ser bombeado (m^3), energía potencial del campo fotovoltaico (kWh), energía en la bomba (kWh), energía solar no aprovechada (kWh), eficiencia de la bomba (%) y eficiencia del sistema (%) y la alteración diurna en la presión de la bomba debido al cambio en la irradiancia y la presión compensación [15].

El rendimiento del sistema de bombeo solar tiene que estar relacionado con los siguientes parámetros.

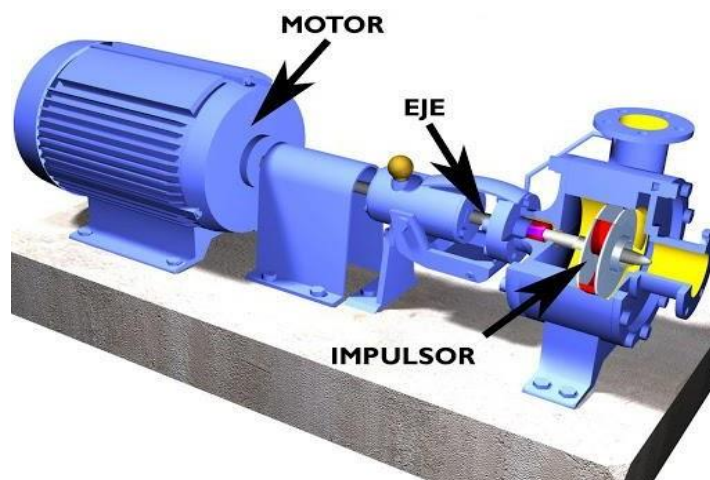
- Recurso de radiación solar en el lugar.
- Altura dinámica total (TDH): Suma de la altura de aspiración (altura desde el lugar de absorción hasta la bomba), altura de descarga (viene ha ser el nivel que hay desde la entrada de la bomba hasta el almacenamiento) y pérdidas por fricción.
- Volumen de agua.
- Afluencia total de agua requerida.
- Energía hidráulica: es aquella energía potencial solicitada para llevar el fluido desde un punto bajo hacia el nivel de descarga.

2.2.12 Equipo de Bombeo compatible en los sistemas fotovoltaicos

2.2.12.1 Bombas centrífugas

Las bombas centrífugas se caracterizan por tener un impulsor para mover el agua por medio de una fuerza centrífuga y poseen una alta velocidad que permite arrastrar agua mediante su eje y lo extrae radialmente a la tubería el cual este conectado. Las bombas las podemos encontrar de dos tipos: las superficiales y las sumergibles dado que son aptos para bombear agua a alturas mayores de 60 metros, dependiendo de la cantidad y los tipos de impulsores. La salida del agua se incrementa gracias a su velocidad rotacional y están optimizadas para una condición angosta de alturas dinámicas totales. En cuanto a las bombas superficiales su instalación se hace al nivel del suelo cuya ventaja es que se pueden inspeccionar y dar servicio técnico fácilmente, y tienen una limitante que no trabajan de manera adecuada si el pozo de succión esta por encima de los 8 metros [13].

Figura 6. Bomba centrífuga



Fuente: Cindex.2018

Existen variedades de bombas centrífugas sumergibles que se adaptan a los sistemas fotovoltaicos.



Figura 7. Tipos de Bombas sumergibles de la marca pedrollo

Fuente: Obtenido de: <https://cutt.ly/YVsK0iZ>

Las bombas centrífugas sumergibles se caracterizan por estar unidos una tras otra motor y bomba en forma vertical, además por poseer varios impulsores a este le denominan como bombas de paso múltiple. En consecuencia, existen otras bombas donde el motor se localiza en la parte externa y los impulsores completamente sumergidos cuya selección dependerá de las necesidades y características del proyecto [13].

Tabla 4. Bombas de desplazamiento positivo

| | | |
|--------------------|------------------------------------|------------------------|
| Centrifugas | Diseño interno del impulsor | Voluta difusora |
| | | Turbina |
| | | Propela |
| | Posición | Eje vertical |
| | | Eje horizontal |
| | Posición de succión | Superior |
| | | Inferior |
| | Tipo de impulsor | Abierto |
| | | Semiabierto |
| | | Cerrado |
| | Dirección de la carga | Radial |
| | | Axial |
| | Acoplamiento con el motor | Flecha |
| | | Banda |
| | | Cadena |

Fuente: Laboratorio y taller de proyectos, UNAM de Mexico,2018.

Todas las bombas sumergibles se encuentran selladas por completo con el fin de evitar la contaminación del agua al ser derramado ese aceite que contiene en su interior. Por otro lado, existen también bombas que utilizan como medio de lubricante el agua y cuyo requisito de estas es que no deben operar en seco por el cual no sufran calentamiento [13].

2.2.12.2 Bombas Volumétricas

Este tipo de bombas volumétricas o llamado también de desplazamiento positivo se usan para sistemas de bombeo donde se requiera caudales bajos y de grandes profundidades. Algunas de estas bombas poseen una cámara sellada contenida un pistón y un cilindro para el movimiento de volúmenes de agua, y otras contienen un diafragma y un pistón [13].

Tabla 5. Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico

| | | |
|--------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| Desplazamiento positivo | Reciprocantes | Pistón |
| | | Embolo |
| | | Diafragma |
| | Rotatorias, de posición | Engranés |
| | | Tornillos |
| | | Lóbulos |
| | Diseño especial | Pistón con volumen Variable |
| | | Variable |

Fuente: Laboratorio y taller de proyectos. UNAM de Mexico,2018.

En cada ciclo que estas bombas mueven el agua hacia arriba, cuyo caudal se comporta de manera proporcional al volumen de agua, es decir a un funcionamiento eficiente a intervalos de cargas dinámicas. Para que el sistema pueda bombear mayor flujo de agua es importante que la radiación solar aumente de forma significativa [13].



Figura 8. Bombas de desplazamiento positivo o volumétrico

Fuente: <https://bombasdeagua.tech/desplazamiento-positivo/>

2.2.12.3 Bombas neumáticas de cilindro

Las bombas neumáticas de cilindro han sido muy utilizadas en aplicaciones de bombeo mecánico energizadas por tensión animal o humana, así como también por el viento, cuyo principio de funcionamiento se da de la siguiente manera cuando el pistón baja segrega la acumulación de agua a su cavidad y cuando este se eleva, impulsa el agua hacia la superficie [13].

Para el funcionamiento de la bomba solo se aplica una parte del periodo de bombeo la energía eléctrica. Para el aprovechamiento máximo de la potencia otorgada por la matriz fotovoltaica las bombas de esta naturaleza deberán estar siempre enlazados a un controlador de corriente [13].

2.2.12.4 Bombas de membrana o diafragma

Las bombas de membrana trasladan el agua vía diafragmas de un material dúctil y resistente. De tal manera que los diafragmas se hacen de caucho protegido de materiales sintéticos. Hoy en día, estos materiales podrían tener una duración de 2 a 3 años de funcionamiento constante de acuerdo al sometimiento de la calidad de agua [13].

Cuando se dispone una bomba de este tipo siempre se debe considerar el gasto que representa la sustitución de diafragmas en un periodo de 2 a 3 años. Más aun, muchas de estas bombas tienen un motor de corriente directa con escobillas [13].

2.2.13 Cálculo para el sistema de bombeo

2.2.13.1 Potencia de bombeo hidráulico

Para un sistema de bombeo hidráulico depende básicamente de dos parámetros importantes para su calculo que tiene que ver con el caudal requerido y de la altura dinámica total [16].

Viene dado de la siguiente formula:

$$P_H = \frac{\rho * g * Q * TDH}{1000 * 3600 * \eta} \quad (1)$$

Donde: ρ ; es la densidad del agua (kg/m^3); g la aceleración de la gravedad (m/s^2); Q caudal requerido para el sistema (m^3/s); TDH altura dinámica total (m); η la eficiencia de la bomba.

2.2.13.2 Altura dinámica total (TDH)

La carga hidráulica total o altura dinámica total comprende de dos términos esenciales que son la altura estática y las pérdidas de fricción por la tubería.

La TDH representa la energía necesaria que la bomba debe transferir al agua para hacerla superar el salto geodésico (Carga Estática) y las caídas de presión (Pérdida por Fricción).

En algunos casos también hay una contribución relacionada con la presión de entrega (cabezal de presión) pero en este caso es cero porque el agua llega a un tanque con una superficie libre [17].

Para el caso de una bomba sumergible que impulsa agua desde un pozo hasta el tanque elevado el TDH se determina teniendo en cuenta la siguiente ecuación:

$$\text{TDH} = \text{Altura Estática} + \text{Perdidas por fricción} \quad (2)$$

2.2.13.3 Altura estática

La Cabeza Estática en el caso de una bomba sumergida en un pozo con tanque elevado es la energía gravitacional que se le debe dar al agua bombeada para superar el salto geodésico. Es la distancia entre el nivel de agua bombeada y el punto de entrada del tanque o el nivel de agua del tanque, el que sea mayor. Tenga en cuenta que en el caso de una bomba sumergida, se evalúa partiendo de la superficie libre de agua de bombeo y no desde el nivel de la bomba. La profundidad de la bomba no determina la altura estática [17].

La altura estática se puede hallar de la siguiente manera:

$$\text{Altura estática} = \text{Nivel dinámico} + \text{tanque de elevación} \quad (3)$$

2.2.13.4 Perdidas por fricción para tuberías largas

En este caso, la hipótesis de “tuberías largas” debido a la corta longitud no se considera para el cálculo de la pérdida por fricción. Por lo tanto, el valor total viene dado por la suma de las pérdidas por fricción en la tubería que va de la bomba al tanque y las pérdidas por fricción concentradas debidas a accesorios y válvulas [17].

Además, se utiliza un nuevo método que permite el cálculo de la pérdida por fricción distribuida así como se muestra en la tabla 6.

2.2.13.5 Pérdida por fricción para accesorios de tubería

Las pérdidas por fricción concentradas se deben a obstáculos como, por ejemplo, curvas, codos, válvulas, cambios bruscos de presión (cambios de sección), que puede encontrar el fluido a medida que fluye dentro de la tubería. Surgen debido a las turbulencias provocadas por estos obstáculos [17].

Normalmente, para el dimensionamiento de las tuberías, se utiliza un método directo en el que la pérdida por fricción concentrada es una parte de la altura cinética del fluido. De hecho, se puede considerar que la pérdida de carga provocada por las turbulencias que se producen en tales discontinuidades está ligada a la pérdida de energía cinética del fluido. Con este método, las pérdidas de carga localizadas se pueden calcular con la siguiente fórmula: [17].

$$\Delta H = k \frac{V^2}{2g} \quad (5)$$

Donde V es la velocidad promedio del fluido m/s y k es un parámetro adimensional y esta depende de la configuración geométrica de la tubería.

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad (6)$$

Donde D es el diámetro de la tubería.

En la tabla 7 se muestra los coeficientes k según los accesorios que ocasionan pérdidas de presión localizada.

Tabla 7. Accesorios que ocasionan perdidas por fricción localizada

| Accesorios que ocasiona la perdida de presión localizada | K |
|--|------|
| Ampliacion gradual | 0.30 |
| Boquillas | 2.75 |
| Compuerta abierta | 1.00 |
| Controlador de caudal | 2.50 |
| Codo de 90 grados | 0.90 |
| Codo de 45 grados | 0.40 |
| Curva de 90 grados | 4.40 |
| Curva de 45 grados | 0.20 |
| Curva de 22 1/2 grados | 0.10 |
| Entrada normal en canal | 0.50 |
| Entrada de borda | 1.00 |
| Existencia de pequeñas derivaciones | 0.03 |
| Unión | 0.40 |
| Medidor Venturi | 2.50 |
| Reducción gradual | 0.15 |
| Registro de ángulo,abierto | 5.00 |
| Registro de gaveta, abierto | 0.20 |
| Registro de globo, abierto | 1.00 |
| Salida del tubo | 1.00 |
| Tee. Pase directo | 0.60 |
| Tee. salida lateral | 1.30 |
| Tee. Salida bilateral | 1.80 |
| Válvula de pie (sapo) | 1.75 |
| Válvula de retención | 2.50 |
| Velocidad | 1.00 |

Fuente: Riego y drenaje

2.2.14 Módulos Fotovoltaicos

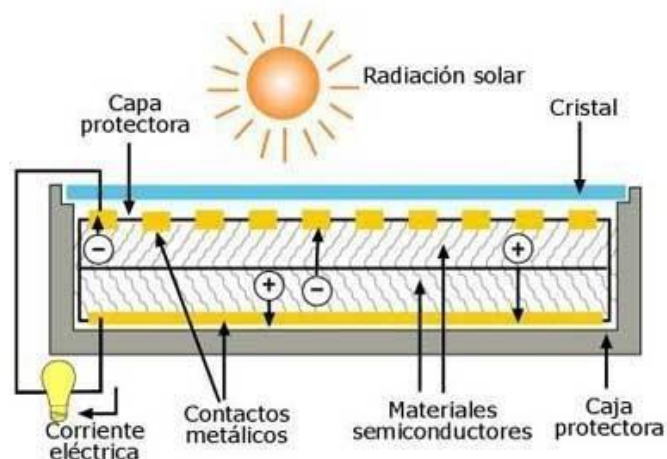
Los módulos fotovoltaicos están diseñados para el suministro de energía fotovoltaica aprovechable, el cual radica en una práctica de varios componentes, contenidos paneles solares para impregnar y convertir la luz del sol en electricidad, para esto se necesita de un inversor solar para transformar la salida de corriente continua a alterna, así como montaje, cableado y otros accesorios eléctricos para alinear un sistema de trabajo. Asimismo, pueden utilizarse un sistema de rastreo solar para mejorar la eficiencia general del sistema e incluir una solución de batería integrada, ya que se espera que disminuyan los precios de los módulos de almacenamiento. Rigurosamente hablando, una matriz solar solo abarca el conjunto de paneles solares, la parte perceptible del sistema solar, y no incluye todo el resto del hardware, a diminuto resumido como equilibrio del sistema [18].

Figura 9. Panel solar fotovoltaico



Fuente: Aula Facil. Obtenido de: <https://cutt.ly/IvZzdb9>

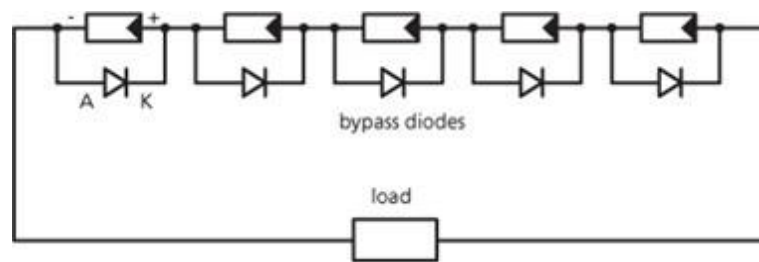
Cada celda solar está conformada de al menos dos revestimientos de material semiconductor y están dispuestos de material de silicio, generando electricidad de corriente continua gracias al movimiento desordenado de los electrones [19].



Fuente: Aula Facil. Obtenido de: <https://cutt.ly/IvZzdb9>

Hay muchas condiciones que ocurren durante la operación que causan una interrupción en el sistema, como una sombra parcial. Sin embargo, para evitarlo, se puede conectar un diodo de derivación en antiparalelo como se muestra en la figura 11. No es necesario estar en paralelo con cada celda, pero puede ser suficiente con varias celdas [19].

Figura 11. Célula fotovoltaica en paralelo con diodos de derivación



Fuente: by Abdulhamid Alshamani, pag.24

Por otro lado, estos diodos son muy eficientes debido a que no causan pérdidas porque no funcionan en condiciones normales de funcionamiento. Si algunas celdas se sombrearan, la corriente de CC de salida de otras celdas fluiría a través de diodos, protegiendo el panel solar del sobrecalentamiento que daría lugar a la celda [19].

2.2.14.1 Eficiencia

Existe una disputa sana entre instituciones científicas internacionales. En los laboratorios se alcanzaron eficiencias de más de 45%. Lamentablemente faltan años, hasta que estos productos de mejores eficiencias sean disponibles comercialmente a precios aceptables [20].

Por lo que la utilización común se usan paneles de silicio por su alta fiabilidad a precios razonables. Los paneles de celdas monocristalinas son las más eficientes, seguidas por las policristalinas. Entretanto los mejores paneles monocristalinos superan ligeramente el 20%, la mayoría de los paneles en producción hoy captan alrededor del 16% de la energía utilizable de la luz [20].

Para usos especiales (por ejemplo satélites y el Mars Rover) se producen módulos de arseniuro de galio (GaAs) que alcanzan una eficiencia de 30% o unir varios elementos en células fotovoltaicas multiunión, superando 45% en laboratorios. Al someterse de la construcción, los módulos fotovoltaicos pueden producir electricidad a partir de un rango de continuidad de luz, pero generalmente no pueden cubrir todo el rango solar (específicamente, luz ultravioleta, infrarroja y luz baja o difusa) [20].

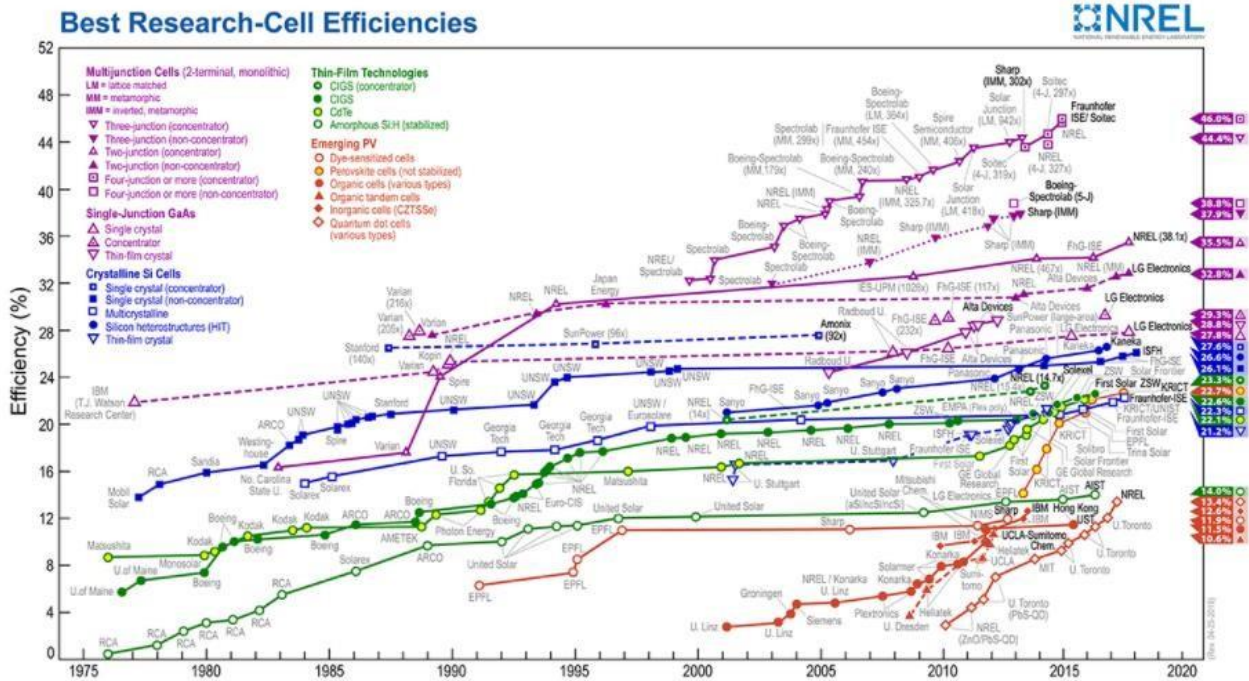


Figura 12. Eficiencias de células fotovoltaicas

Fuente: Nacional Renewable Energy Laboratory, NREL (<https://www.nrel.gov>)

2.2.14.2 Materiales de fabricación

Silicio Monocristalino: Las células solares fabricadas solo de cristal de silicio de muy alto poder, cuya eficiencia ha llegado hasta el 17%. Los módulos de esta naturaleza son los más representativos en el mercado mostrando confiabilidad ya que algunos fabricantes garantizan de una vida útil de hasta 25 años [21].

Silicio Policristalino: Dado que su mismo nombre indica que esta tecnología está formada por muchos cristales de silicio, cuyo fin fue disminuir los costos de fabricación. En comparación a las de monocristalino esta tecnología es un poco inferior y están en el orden del 15% y cuya vida útil está comprendida para 20 años [21].

Silicio Amorfo: El término amorfo, es decir, no presenta forma en su estructura geométrica. Esta tecnología de módulos de silicio ha cambiado considerablemente en los últimos años. Hoy en día su eficiencia va en aumento en un rango de 5 a 10% y su garantía puede estar entre 10 años dependiendo del fabricante [21].

2.2.15 Efectos de las condiciones ambientales en el sistema fotovoltaico

a) Irradiancia

La medida de la cantidad de luz solar que cae sobre una superficie determinada se llama irradiancia. Cuanta más energía producirá una celda cuando mayor irradiancia cae en una celda solar. En efecto el voltaje y la corriente de salida fotovoltaica aumentan a medida que aumenta el nivel de irradiación. En general, cuando no hay cambio en la temperatura de la celda, el incremento en el nivel de irradiación conduce a un incremento teórico en la tensión de potencia máxima. La figura 13 se muestra los efectos de la irradiancia sobre las características de las células fotovoltaicas [14].

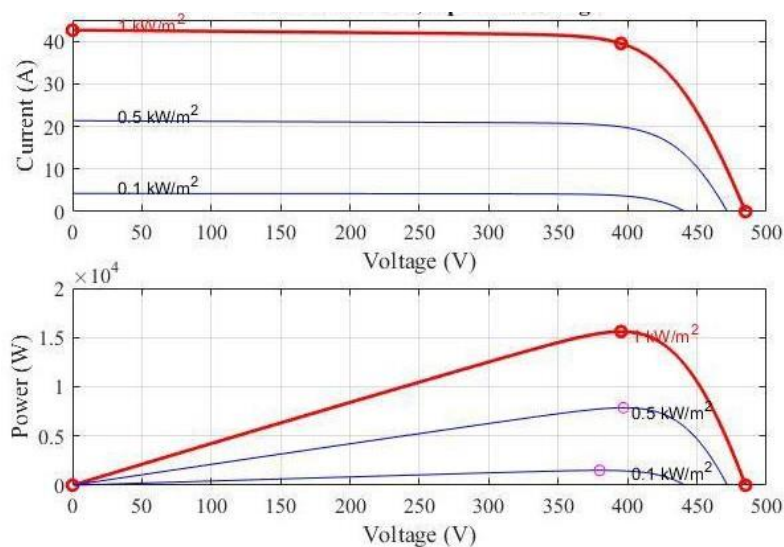


Figura 13. Efectos de la irradiancia en las características de las células fotovoltaicas [15].

Fuente: Bereket Fola Gugunto, pag.30

Por otro lado, la corriente de cortocircuito I_{sc} depende total y linealmente del nivel de irradiancia, por lo que la corriente de potencia máxima se cambia. Sin embargo, la energía total que recibe el sistema del sol permanece relativamente constante de un año a otro. El ángulo del sol, el clima brumoso, las nubes que pasan y la contaminación del aire pueden afectar los niveles de irradiancia [14].

b) Temperatura

La faja prohibida del semiconductor se contrae y la tensión de circuito abierto V_{oc} disminuye a medida que aumenta la temperatura. Una vez más, la banda prohibida del intrínseco el semiconductor se encoge a medida que aumenta la temperatura y se absorbe más energía incidente. Para elevar los portadores de carga de la banda de valencia a la banda de conducción, un mayor porcentaje de la luz incidente tiene suficiente energía. Se obtiene una fotocorriente más grande; por lo tanto, I_{sc} aumenta

para un aislamiento dado y las células fotovoltaicas tienen un coeficiente de temperatura positivo de I_{sc} . A continuación, se muestra en la figura 14 como incide los efectos de la temperatura en una celda solar [14].

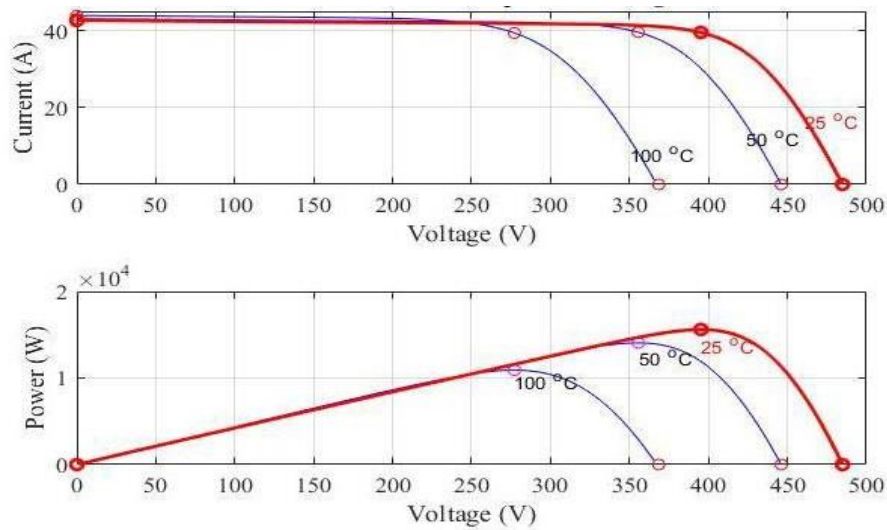


Figura 14. Efectos de la temperatura de la celda solar en las características de la celda fotovoltaica [15].

Fuente: Bereket Fola Gugunto, pag.31

Las atribuciones de irradiancia y la temperatura de una celda sobre sus características como se ven en la figura 13, respectivamente. En la figura 13 al incrementar la irradiancia cuyo voltaje de circuito abierto aumenta logarítmicamente mientras que la corriente de cortocircuito lo hace de manera lineal. Por otro lado la temperatura en la figura 14 indica que a medida que aumenta la temperatura de la celda la corriente de cortocircuito aumenta ligeramente. Asimismo, se puede decir que el voltaje de circuito abierto disminuye linealmente con la temperatura de la celda, haciendo que su eficiencia de la celda disminuya considerablemente.

2.2.16 Sistemas autónomos

Sistemas aislados de la red eléctrica donde la energía producida y su consumo se hace en el mismo lugar. En la siguiente tabla se muestra una comparación del sistema con energía fotovoltaica y sistema de motor diésel.

Tabla 8. Comparación de dos sistemas de bombeo tipo autónomo

| TIPO DE SISTEMA | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---|--|--|
| Sistema con energía fotovoltaica | <ul style="list-style-type: none"> -Bajo mantenimiento -Larga vida confiable -Sin combustible y sin humos -Fácil de instalar | <ul style="list-style-type: none"> -Costo inicial relativamente alto. -Rendimientos bajos en el tiempo nublado. |
| Sistema de motor diésel | <ul style="list-style-type: none"> -Costos de capital moderados -Fácil de instalar. - Puede ser portátil. | <ul style="list-style-type: none"> -Necesita mantenimiento y reemplazo. -Visitas al sitio necesarias veces. -Consiste en ruido, humos, problemas de suciedad. -El combustible suele ser caro y el suministro es intermitente |

Fuente: Bereket Fola Gugunto,pag.34

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de investigación

3.1.1 Tipo

El presente trabajo de investigación fue de tipo aplicada-correlacional, cuyo fin busca generar conocimientos directos para suplir las necesidades del pequeño productor con un aporte riguroso en la utilización de nuevas tecnologías que permitan una mayor producción de cultivo.

3.1.2 Nivel

El nivel es analítico como parte de un estudio en términos de factibilidad del diseño del sistema de bombeo con energía solar, bajo condiciones técnicas y económicas.

3.2 Criterios de selección

Los criterios que se tuvieron en cuenta para la selección fueron los siguientes:

- Disponibilidad del recurso solar.
- Disminuir el uso de energías fósiles para el riego de cultivo.
- Tiempo de vida.
- Mejorar la productividad en los agricultores.

3.3 Técnica de recolección de datos

La técnica y recolección de datos de esta investigación se realizaron a través de la observación directa, toma de fotos y encuestas en el lugar de estudio.

3.4 Población y muestra

3.4.1 Población

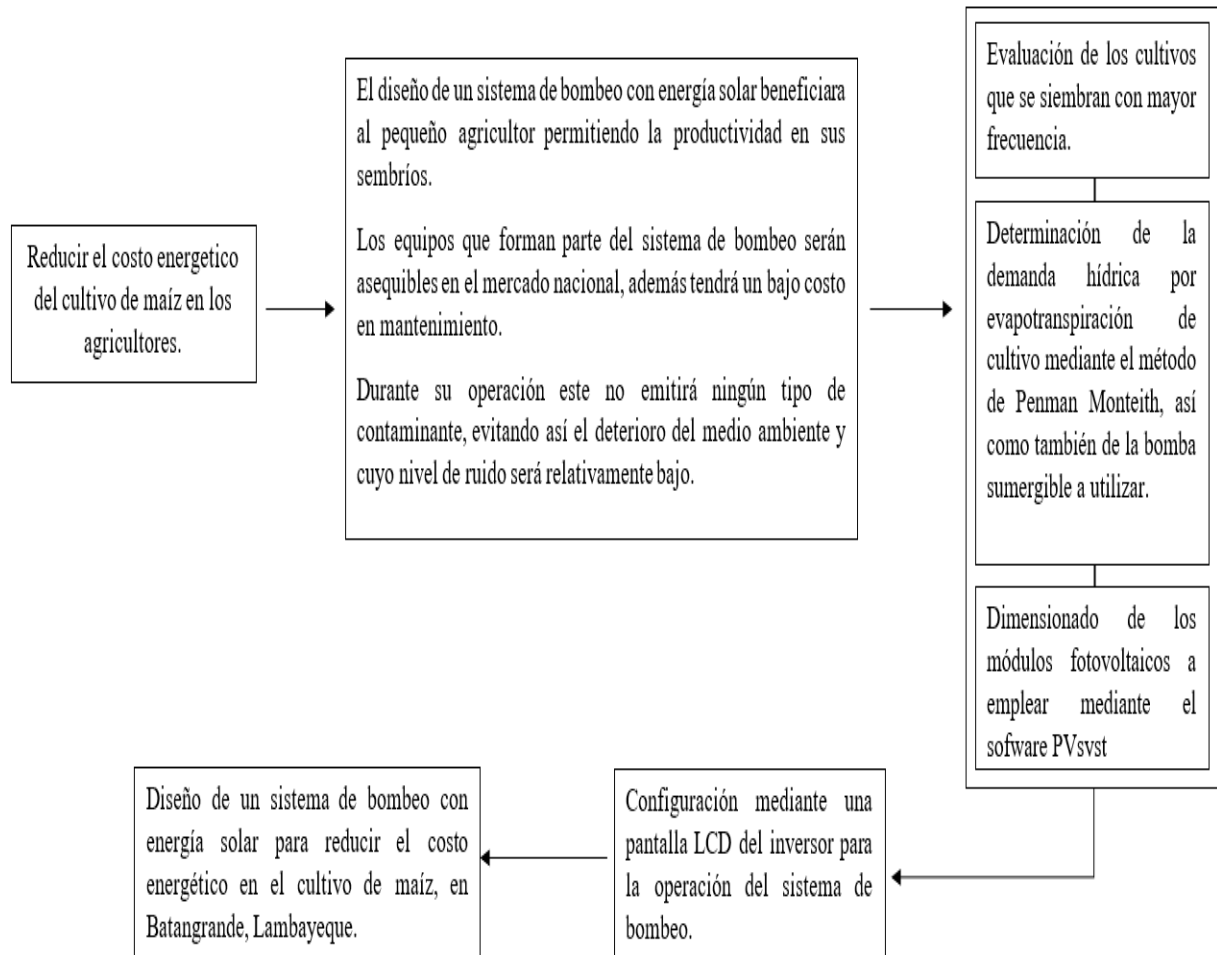
Como parte de la población se tiene como unidad de estudio al diseño del sistema de bombeo con energía solar como beneficio para el agricultor.

3.4.2 Muestra

La muestra fue representada mediante el tipo de muestreo aleatorio simple, es decir de toda la población se consignó a solo diez agricultores encuestados el cual se caracteriza por tener las mismas posibilidades de ser escogido para tal estudio.

3.5 Metodología del diseño

Figura 15. Diagrama de flujo del diseño



Fuente: Elaboración propia

3.6 Operacionalización de variables

Tabla 9. Operacionalización de variable independiente

| Variables | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensiones | Indicadores | Ítems |
|--|---|---|-----------------------|---------------------|--------------|
| Variable independiente Diseño de un sistema de bombeo. | Son dispositivos que permiten elevar o extraer grandes volúmenes de agua. | El diseño del sistema de bombeo permitirá aumentar la eficiencia hidráulica | Eficiencia hidráulica | Cargas/Alturas | m |
| | | | | Potencia Hidráulica | kW |
| | | | | Velocidad | m/s |
| | | | | Presión | Pa |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10. Operacionalización de variable dependiente

| Variables | Definición conceptual | Definición operacional | Dimensiones | Indicadores | Ítems |
|--|--|--|-----------------------------|--------------------|----------------------|
| Variable dependiente Reducir el costo energético en el cultivo de maíz | Es la energía que el sistema consume para extraer agua de la profundidad del suelo para abastecer al cultivo de maíz | Con una buena radiación solar será capaz de proveer la demanda hídrica del cultivo | Demanda hídrica del cultivo | Caudal | m ³ /h.ha |
| | | | | Radiación solar | W/m ² |
| | | | Costo de energía | Potencia Eléctrica | kW _p |
| | | | | Costo anual | soles |

Fuente: Elaboración Propia

3.7 Matriz de consistencia

Tabla 11. Matriz de consistencia

| Problema | Objetivos General | Hipótesis General | Variables |
|--|--|---|---|
| ¿Será posible reducir el costo energético en el cultivo de maíz en Batangrande mediante la aplicación de un sistema de bombeo con energía solar? | Diseñar un sistema de bombeo con energía solar automatizado para reducir el costo energético en el cultivo de maíz en Batangrande, Lambayeque. | El diseño de un sistema de bombeo con energía solar permitirá al pequeño agricultor abastecerse del recurso hídrico mejorando su capacidad de producción dado que su fuente energética es inagotable. | Variable Independiente Diseño de un sistema de bombeo |
| | Específicos | Específicos | |
| | 1. Realizar una evaluación de cultivos en el área de influencia del proyecto. | 1. La evaluación del tipo de cultivos que siembran con mayor frecuencia es clave para el diseño del sistema. | |
| | 2. Determinar la demanda hídrica para el abastecimiento de cultivo de maíz por hectárea de terreno con el método de Penman Monteith. | 2. Si se determina la demanda hídrica para el abastecimiento agrícola, entonces, el agricultor tendrá agua suficiente para cubrir sus necesidades. | Variable Dependiente Reducir el costo energético en el cultivo maíz |
| | 3. Calcular y diseñar el sistema hídrico y eléctrico que se requiere por hectárea de cultivo. | 3. Mediante el diseño del sistema hídrico y eléctrico permitirá cubrir la necesidad en el riego agrícola | |
| | 4. Dimensionar los módulos fotovoltaicos mediante el software PVSyst, así como la configuración del inversor para el funcionamiento automático del sistema de bombeo. | 4. El dimensionar los módulos fotovoltaicos, repercutirá en gran medida la potencia que puede entregar al sistema. | |
| | 5. Realizar el análisis del costo energético anual para un sistema de bombeo utilizando energía diésel y la evaluación económica de la fuente de energía FV a utilizar | 5. La reducción del costo energético que podría tener el agricultor al reemplazar las motobombas mediante un sistema de bombeo con energía solar repercutirá en gran medida el ahorro del agricultor | |

IV. RESULTADOS

4.1. EVALUACIÓN DE CULTIVOS EN LA ZONA DE PROYECTO

4.1.1 Cultivos

En la encuesta realizada (Anexo 1), se evidencio que en la mayor parte de los agricultores de Batangrande cultivan maíz y yuca, donde cada agricultor tiene de 3 a 5 hectáreas de cultivo y que para regar una hectárea generan gastos económicos más de 80 soles.

En la tabla 12, se muestra los cultivos que con mayor frecuencia siembran los agricultores.

Tabla 12. Cultivos que se siembran con mayor frecuencia

| Cultivos | Cantidad (ha) | Acumulado | Porcentaje |
|----------------|---------------|-----------|-------------|
| Maíz | 9 | 9 | 36% |
| Yuca | 7 | 16 | 28% |
| Lenteja | 2 | 18 | 8% |
| Frejol de palo | 1 | 19 | 4% |
| Arroz | 3 | 22 | 12% |
| Camote | 1 | 23 | 4% |
| Cebolla | 2 | 25 | 8% |
| Total | 25 | | 100% |

Fuente: Elaboración Propia

En la figura 16 se muestra que en la mayor parte de los agricultores de Batangrande cultivan el maíz con un 36%, yuca con 28% y arroz en algunos lugares con un 12% según la encuesta realizada. También otros cultivos pero en menor escala como la lenteja representando un 8%, frejol de palo 4%, camote 4% y cebolla un 8%.

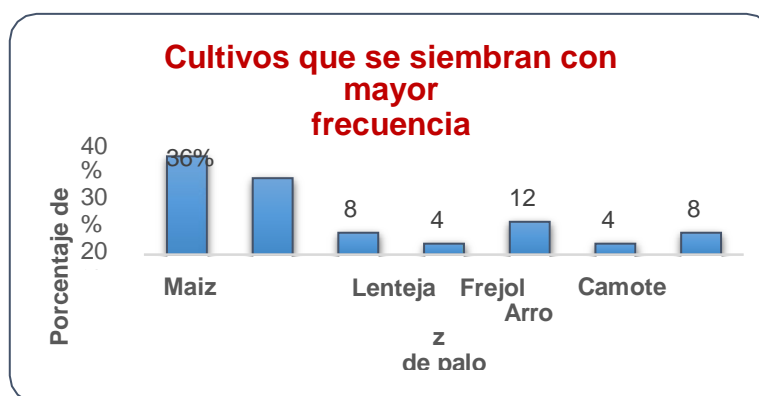


Figura 16. Representación gráfica de cultivos

Fuente: Elaboración Propia

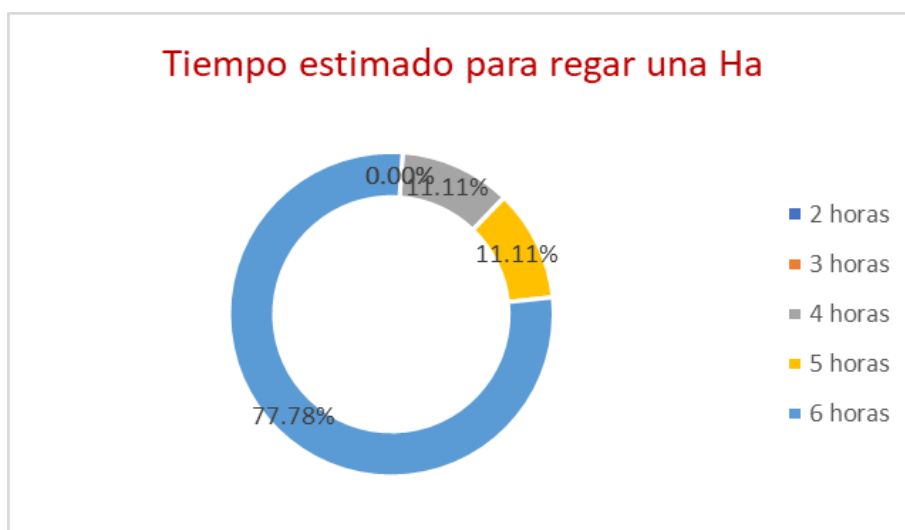
En algunas parcelas de cultivo se ha identificado de que han sufrido cambios significativos de las plantas debido a la falta del recurso hídrico, por lo que el agricultor se ha visto afectado en cuanto a su producción y a la inversión de la misma. En la figura 17 se puede visualizar el maíz que ha cambiado a color amarillo perjudicando su desarrollo.

Figura 17. Condiciones actuales que se encuentra el maíz



Dada la visita al lugar de estudio y la encuesta realizada se ha determinado que los sistemas de bombeo lo hacen a través de motobombas para el riego de sus cultivos generando costos en la compra de combustible y mantenimientos periódicos. Además, indican un 77.78% el tiempo estimado para regar una hectárea lo hacen en 6 horas.

Figura 18. Estimación de tiempo en regar una hectárea de cultivo



Fuente: Elaboración Propia



Figura 19. Sistemas de bombeo que utilizan actualmente

En la figura 19 se muestra el sistema de bombeo que son utilizados actualmente para la extracción del agua subterránea para el abastecimiento del cultivo agrícola así como también para consumo. Es evidente decir que estos sistemas están perjudicando daños en cuanto a su salud misma del agricultor, así como también al medio ambiente. Por otro lado, en la figura 20 se aprecia el verdor del cultivo gracias al nutriente principal del agua.



Figura 20. Cultivo de maíz

4.1.2 Sentidos para evaluar los problemas de cultivo

El usar los sentidos en los cultivos y el suelo ayudan a percibir de manera significativa los problemas que estarían afectando [22].

Cuando se sienten los cultivos que sus hojas crecen rápidamente, es decir se sienten frescas y suaves es así que no necesitan en ese momento de recurso hídrico. En cambio, cuando las hojas se sienten bajo estrés se sientan demasiado calientes o estén marchitas y ásperas estas necesitan en sí de riego.

El olor del suelo que provocaría cuando se encuentre anegado huele agrio, como si fuese el cultivo con carbón y un olor parecido a pescado descompuesto.

El gusto que puede provocarse al intentar probar el agua del riego que particularmente estos pueden percibirse como salinos y efectivamente a gusto de sal.

4.1.3 Niveles de marchitez para saber cuándo regar

Teniendo en cuenta el método evolucionado por R. A. Fischer. La estimación de la marchitez se debe hacer en un día considerando desde las 11 de la mañana y las 3 de la tarde. Para lograr cuyo propósito se debe de coger la hoja verde más baja de un tallo y quitar todo el material muerto de su extremo. Por lo tanto, cuando la hoja está túrgida queda por encima de la posición horizontal y se registra como 0. Para el valor 4 es el de una hoja que se mantiene caída, que es el peor de los casos [22].

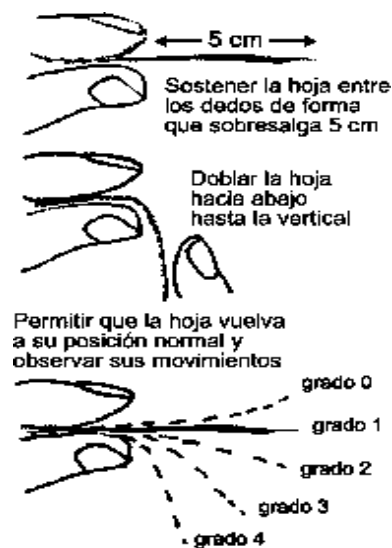


Figura 21. Niveles de marchitez para saber cuándo regar [22]

4.1.4 Textura de suelo

Para lograr la textura de suelo de manera aproximada se ha tenido en cuenta poniendo unas cucharadas de suelo sobre la palma de la mano sin impurezas, para luego añadirle unas gotas de agua. Al finalizar el proceso se debe escurrir y mezclar el suelo hasta que se adhiera a la mano. La medida en que se pueda moldear, como en la figura, dará una idea aproximada de su clase de textura [22].

A) Arena. El suelo permanece suelto y en granos simples y puede ser amontonado, pero no moldeado.

B) Franco arenoso. Puede ser esculpido de forma esférica y se desglosa fácilmente; con más sedimentos.

C) Limo. Esto puede ser disminuido en cilindros cortos.

D) Franco. Las partes iguales de arena, residuos y arcilla que pueden ser mezcladas en una trenza gruesa de 15 cm de largo que se fractura al doblarse.

E) Franco arcilloso. El suelo puede ser mezclado como indica la letra D pero puede ser cuidadosamente doblado en U sin destruirse.

F) Arcilla liviana. El suelo es uniforme que al redoblar en un círculo tiende a agrietarse un poco.

G) Arcilla. Este tipo de textura se maneja como si fuera plastilina y puede ser doblado en un círculo sin agrietarse.

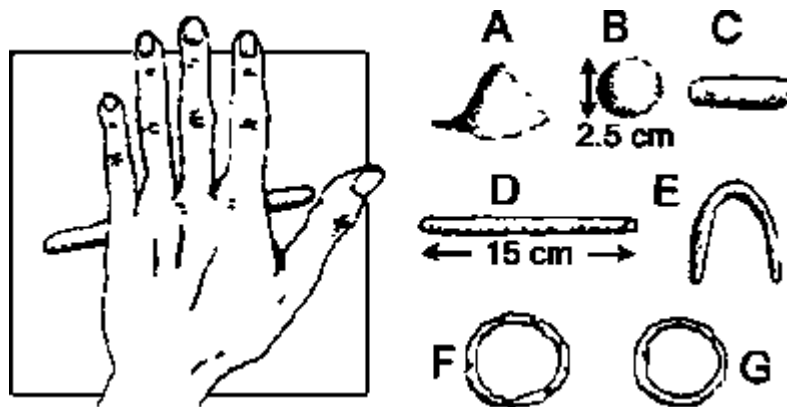


Figura 22. Formas para establecer la textura de suelo

La textura de suelo realizado en la zona estratégica de estudio es del tipo limo formando cilindros cortos en algunas partes, pero en la mayoría de los casos se ha establecido que es arcilla, es decir este se comporta como plastilina logrando unir sus dos extremos sin haber sufrido cambios como el agrietamiento.



Figura 23. Prueba en campo para la determinación de textura de suelo

4.1.5 Cómo estimar cuanta humedad del suelo está disponible para el cultivo

Las raíces pueden eventualmente crecer hasta 1,2 m de profundidad, pero si llegan a menos de 1 m la cantidad de humedad disponible se reduce en forma proporcional. Por ello si se estima donde solo las raíces han crecido a tan solo 0.5m de profundidad en casos extremos [22]. Es importante señalar que las raíces que crecen los cultivos bajo el suelo tienen distintas profundidades el cual permiten consumir mayor cantidad de agua cuando estas están en pocas profundidades.

La humedad de suelo para la zona de proyecto está comprendida entre el 50% a 75% de capacidad de campo con estrés probable, debido a que forma una bola y una cinta entre los dedos representando de agua disponible de $\pm 140\text{mm}$.

4.2 CÁLCULO DE LA DEMANDA HÍDRICA PARA EL CULTIVO POR HECTÁREA DE TERRENO

La demanda hídrica que se requiere para abastecer el cultivo, se calculara mediante el método de Penman Monteith.

4.2.1 Proceso de evapotranspiración

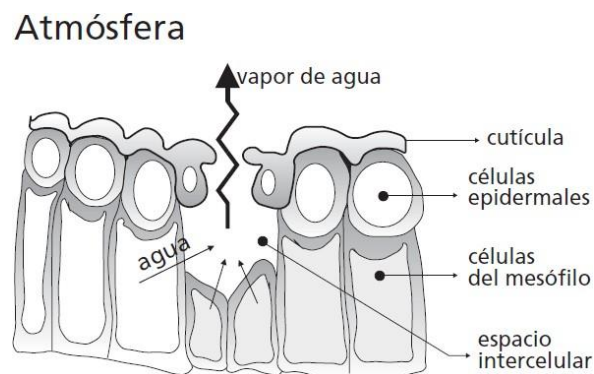
Se entiende por evapotranspiración (ET) a la composición de dos procesos separados por los que el agua se desaprovecha a través del área del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo [23].

4.2.1.1 Evaporación

La evaporación es la sucesión por el cual el agua líquida se convierte en vapor de agua es decir en evaporación y se aparta del área evaporante (separación de vapor). En tanto el agua se evapora de una variedad de superficies, tales como lagos, ríos, caminos, suelos y la vegetación mojada [23].

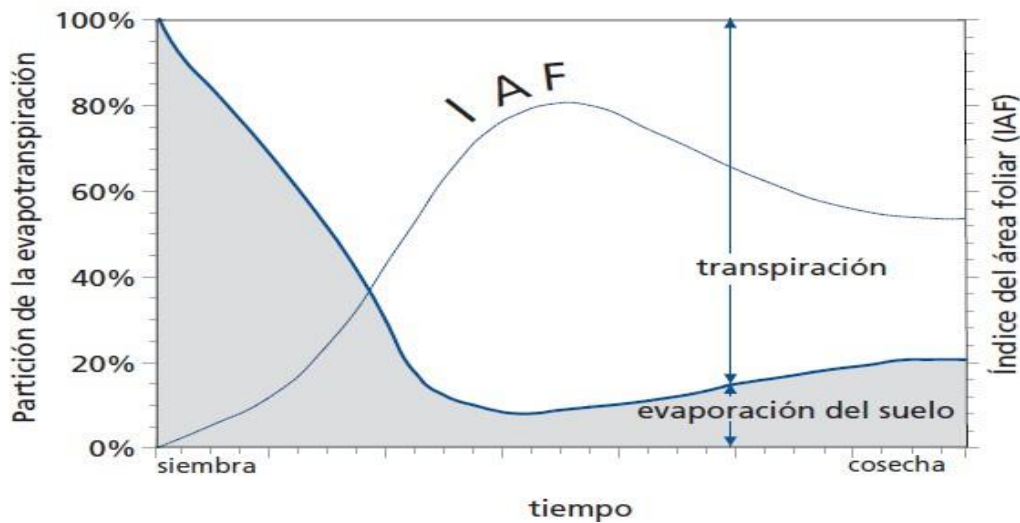
Para cambiar la fase de las moléculas del agua de líquido a vapor se requiere energía. La radiación solar en forma directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire, proporcionan esta energía. La fuerza impulsora para retirar el vapor de agua de una superficie evaporante es la discrepancia entre la presión del vapor de agua en la superficie evaporante y la presión de vapor de agua de la atmósfera adyacente [23].

Figura 24. Representación de una estoma



Fuente: Evapotranspiración de cultivo, Roma.2006, pag.23

Figura 25. Partición de la evapotranspiración y el índice del área foliar



Fuente: Evapotranspiración de cultivo, Roma.2006,pag.23

4.2.1.2 Transpiración

La transpiración radica cuando la remoción de agua a la atmósfera debido al agua en estado líquido contenida en los tejidos de la planta [23].

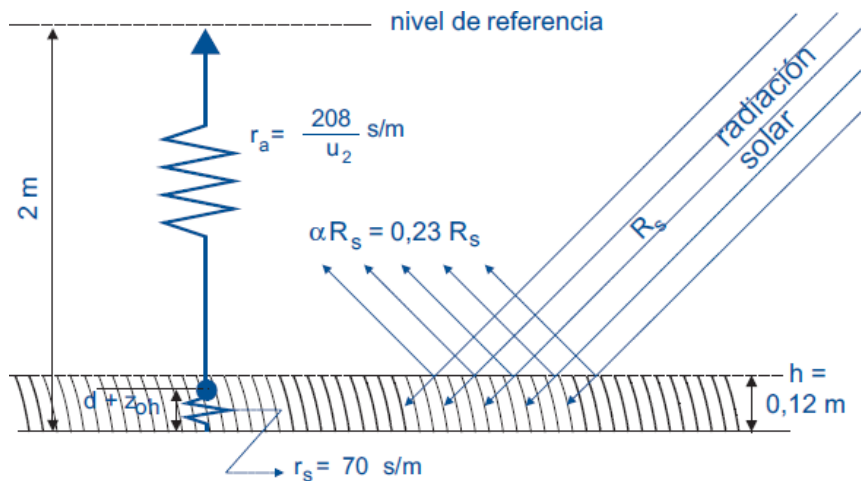
Sin embargo, la transpiración al igual que la evaporación directa, depende en muchos casos del aporte de energía, del gradiente de presión del vapor y de la velocidad del viento. Por lo que, la radiación, la temperatura del aire, la humedad atmosférica y el viento también deben ser considerados en su determinación. El contenido de agua del suelo y la capacidad del suelo de conducir el agua a las raíces también determinan la tasa de transpiración, así como la salinidad del suelo y del agua de riego [23].

4.2.2 Evapotranspiración de referencia (ET₀)

Para la evaporación y la transpiración suelen ocurrir simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. En primer lugar las etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. En la Figura 25 se presenta la evapotranspiración dividida en dos elementos evaporación y transpiración en relación con el área foliar por unidad de superficie de suelo debajo de él. En el momento de la siembra, casi el 100% de la ET ocurre en forma de evaporación, mientras que cuando la cubierta vegetal es completa, más del 90% de la ET ocurre como transpiración [23].

Para el supuesto de referencia de cultivo hipotético para el pasto, según la FAO la altura asumida es de 0.12m, resistencia superficial fija de 70 s/m y un albedo de 0,23.

Figura 26. Características del cultivo hipotético de referencia



Fuente: Evapotranspiración de cultivo, Roma.2006, pag.45.

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad (7)$$

Donde : ET_0 es la evapotranspiración de referencia (mm/día); R_n es la radiación neta en la superficie de cultivo ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{-día}$); R_a es la radiación extraterrestre (mm/día); G es el flujo de calor del suelo ($\text{MJ}/\text{m}^2\text{-día}$); T es la temperatura media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 es la velocidad del viento a 2 m de altura (m/s); e_s es la presión de vapor de saturación (kPa); e_a es la presión real de vapor (kPa); $e_s - e_a$ es el déficit de presión de vapor (kPa); Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); γ es la constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)

Para determinar la evapotranspiración de referencia del cultivo se ha tenido en cuenta los datos climáticos promedios mensuales de temperatura máxima y mínima obtenidos de (Senamhi), correspondientes al año 2020 y por ausencia de datos en cuanto a la humedad relativa, velocidad del viento, horas de sol y precipitación necesarios para dicho cálculo se ha tomado del programa RETScreen Expert todo en base al lugar de estudio (Batangrande), con una latitud de $6^{\circ}28'60''\text{S}$ y una elevación sobre el nivel del mar de 120 m.

Tabla 13. Datos meteorológicos y climatológicos

| Mes | HR | Tmax | Tmin | Viento | | Horas de sol |
|-----------------|-------|---------|---------|--------|-------|--------------|
| | % | °C | °C | Km/h | m/s | Horas |
| Enero | 73.20 | 31.47 | 19.83 | 16.92 | 4.70 | 12.45 |
| Febrero | 71.70 | 32.64 | 21.49 | 14.40 | 4.00 | 12.30 |
| Marzo | 72.80 | 32.18 | 21.17 | 14.40 | 4.00 | 12.13 |
| Abril | 75.00 | 30.63 | 19.53 | 16.56 | 4.60 | 11.97 |
| Mayo | 76.00 | 29.5 | 18.24 | 18.36 | 5.10 | 11.82 |
| Junio | 77.20 | 28.11 | 15.16 | 17.28 | 4.80 | 11.75 |
| Julio | 78.00 | 27.53 | 14.56 | 15.84 | 4.40 | 11.78 |
| Agosto | 78.40 | 27.64 | 13.86 | 16.56 | 4.60 | 11.90 |
| Setiembre | 77.30 | 27.17 | 14.79 | 18.72 | 5.20 | 12.07 |
| Octubre | 76.00 | 28.17 | 15.57 | 19.08 | 5.30 | 12.23 |
| Noviembre | 74.90 | 27.17 | 14.79 | 18.72 | 5.20 | 12.40 |
| Diciembre | 74.20 | 28.46 | 18.30 | 18.36 | 5.10 | 12.48 |
| Promedio | 75.39 | 29.22 | 17.27 | 17.10 | 4.75 | 12.11 |
| Fuente | suelo | Senamhi | Senamhi | | Suelo | Nasa |

Fuente: Datos obtenidos de Senamhi y RETScreen Expert

Para dicho análisis se ha tomado en cuenta el mes de febrero por tener una de las temperaturas máximas.

Todos los parámetros están expresados en promedio mensual: temperatura máxima diaria Tmax= 32,64 °C, la temperatura mínima diaria Tmin= 21.49 °C, velocidad diaria de viento (u2)= 4 m/s, radiación solar horizontal (Rs)=19.98 MJ m⁻² día⁻¹, para febrero la temperatura media diaria(Tmes,i)= 27.06°C, para enero la temperatura media diaria(Tmes,i-1)=25,65°C, humedad relativa media diaria (Hmedia)= 71.70%.

4.2.2.1 Cálculo de la presión atmosférica

Dado que la evaporación en niveles elevados acontece gracias a la caída de la presión atmosférica que se manifiesta mediante una constante psicrométrica. Para efectos de cálculo este valor es pequeño cuyo valor medio para una zona es suficiente. Entonces para determinar la presión que puede aplicarse una simplificación de la ley de los gases ideales, a una elevación de 120 m.s n.m y temperatura atmosférica estándar de 20°C [23].

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5.26} \quad (8)$$

Donde, P es la presión atmosférica (kPa) y z es la elevación sobre el nivel del mar (m).

$$P = 101.3 \left(\frac{293 - 0,0065z}{293} \right)^{5.26} = 99.89kPa$$

4.2.2.2 Cálculo de la constante psicométrica

La constante psicométrica se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\gamma = \frac{C_p * P}{\varepsilon * \lambda} \quad (9)$$

Donde, γ es la constante psicométrica ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$), P es la presión atmosférica (kPa), ε es el cociente del peso molecular de vapor de agua/aire seco = 0.622, λ es el calor latente de vaporización $2.45(\text{MJ kg}^{-1})$, C_p es el calor específico a presión constante $1,013 \times 10^{-3}(\text{MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1})$

Para determinar la constante psicométrica se tomará en cuenta en primer lugar el cálculo de presión atmosférica con una elevación de 120m dado en el lugar de estudio.

Remplazando la presión atmosférica en la ecuación (9) obtenemos la constante psicométrica.

$$\gamma = \frac{1.013 \times 10^{-3} \text{MJ kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} * 99.89 \text{kPa}}{0.662 * 2.45 \text{MJ kg}^{-1}} = 0.0664 \text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$$

4.2.2.3 Cálculo de la pendiente de la curva de presión de vapor (Δ)

Para el cálculo se tomará en cuenta la temperatura del aire de $25.60 \text{ } ^\circ\text{C}$ correspondiente al mes de febrero y de las condiciones climatológicas y meteorológicas.

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0,6108 * \varepsilon^{\left(\frac{12,27 * T}{T + 237,3} \right)} \right]}{(T + 237,3)^2} \quad (10)$$

Donde: Δ ; es pendiente de la curva de presión de vapor en $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$ y T es la temperatura del aire $^\circ\text{C}$.

$$\Delta = \frac{4098 * \left[0,6108 * \varepsilon^{\left(\frac{12,27 * 25,60}{25,60 + 237,3} \right)} \right]}{(25,60 + 237,3)^2} = 0.1196 \text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$$

4.2.2.4 Cálculo de la presión real de vapor (e_a)

Para determinar la presión real de vapor se tomará como valor la humedad relativa media de 71.70% y la temperatura media diaria del mes de febrero 27.06°C .

$$e^0(T_{media}) = 0,6108 * \varepsilon^{\left[\frac{(12,27 * T_{media})}{T_{media} + 237,3} \right]}$$

$$e^0(T_{media}) = 0,6108 * \varepsilon^{\left[\frac{(12,27 * 27,06)}{(27,06 + 237,3)} \right]} = 3.57 \text{kPa}$$

Por lo tanto, la presión real de vapor esta dado por:

$$e_a = \frac{HR_{media}}{100} e^0(T_{media}) \quad (11)$$

$$e_a = \frac{71,70}{100} * 3,57 \text{kPa} = 2.56 \text{kPa}$$

4.2.2.5 Cálculo de la presión media de vapor de saturación(e_s)

La presión media de vapor de saturación será determinada en base a dos variables ya conocidas como el promedio mensual de la temperatura máxima diaria y del promedio mensual de la temperatura mínima diaria.

Para el promedio mensual de la temperatura máxima diaria de 32.64 °C.

$$e^0(T_{max}) = 0,6108 * \varepsilon^{\left[\frac{12,27 * T_{max}}{T_{max} + 237,3}\right]} \quad (12)$$

$$e^0(T_{max}) = 0,6108 * \varepsilon^{\left[\frac{12,27 * 32,64}{32,64 + 237,3}\right]} = 4,93kPa$$

Para el promedio mensual de la temperatura mínima diaria de 21,49 °C, reemplazando en la ecuación 12 se tiene lo siguiente:

$$e^0(T_{min}) = 0,6108 * \varepsilon^{\left[\frac{12,27 * 21,49}{21,49 + 237,3}\right]} = 2,56kPa$$

Entonces la presión media de vapor de situación queda expresada como el promedio de ambas presiones de vapor de su temperatura máxima y mínima.

$$e_s = \frac{e^0(T_{max}) + e^0(T_{min})}{2} \quad (13)$$

$$e_s = \frac{4,93kPa + 2,56kPa}{2} = 3,75kPa$$

En consecuencia, el déficit de presión de vapor viene a ser la diferencia de la presión de vapor de saturación (e_s) y la presión de vapor real (e_a).

$$e_s - e_a = 1,19kPa$$

4.2.2.6 Cálculo del flujo de calor del suelo (G)

Para determinar el flujo de calor del suelo se hará en el mes de febrero, en base a temperaturas medias.

$$G_{mes,i} = 0,14(T_{mes,i} - T_{mes,i-1}) \quad (14)$$

Donde, $G_{mes,i}$ es el flujo de calor del suelo ($MJ m^{-2} dia^{-1}$), $T_{mes,i}$ es la temperatura media en el mes i (°C), $T_{mes,i-1}$ es la temperatura media en el mes $i-1$ (°C).

Reemplazando los datos de las temperaturas medias en el mes de febrero 27,06 °C y para el mes de enero $i-1 = 25,65$ °C.

$$G_{febrero} = 0,14(27,06 \text{ °C} - 25,65 \text{ °C}) = 0,197 MJ m^{-2}dia^{-1}$$

4.2.2.7 Cálculo de la radiación extraterrestre (R_a)

La radiación extraterrestre para cualquier día del año y para diversas latitudes se puede estimar en función de la constante solar, declinación solar, y la época del año.

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} G_{CS} d_r [\omega_s \text{sen}(\varphi) \text{sen}(\delta) + \text{cos}(\varphi) \text{cos}(\delta) \text{sen}(\omega_s)] \quad (15)$$

Donde: R_a es radiación extraterrestre ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G_{CS} es la constante solar cuyo valor es $0,082 \text{MJ m}^{-2} \text{ min}^{-1}$; d_r es la distancia relativa inversa Tierra - sol (adimensional); ω_s es el ángulo de radiación a la puesta del sol (rad); φ es la latitud (rad) y δ es la declinación solar (rad).

Para determinar la radiación extraterrestre se tomara el 15 de febrero, con un total de 46 días contados desde el 1 de enero y la latitud de $6^\circ 28' 60'' \text{S}$ (considerando que para el hemisferio sur es negativo).

Conversión de la latitud a grados decimales: $-(6+28/60+-60/3600) = -6.48 \text{ S}$ y en radianes es igual $\frac{\pi}{180} (-6.48) = -0.113 \text{rad}$.

Número de días del año contados desde el 1 de enero: $J=46$ días

- Distancia relativa inversa Tierra – sol

$$d_r = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (16)$$

$$d_r = 1 + 0.033 * \cos\left(\frac{2\pi}{365} * 46\right) = 1.023$$

- Declinación solar

$$\delta = 0.409 * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) \quad (17)$$

$$\delta = 0.409 * \text{sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1.39\right) = -0.23 \text{rad}$$

- Angulo de la radiación a la puesta del sol

$$\omega_s = \text{arcos}[-\text{tag}(\varphi) \text{tag}(\delta)] \quad (18)$$

Reemplazando valores de la latitud (φ) y la declinación solar se tiene lo siguiente:

$$\omega_s = \text{arcos}[-\text{tag}(-0,113) \text{tag}(-0.23)] = 1.59 \text{rad}$$

Reemplazando los valores calculados para determinar la radiación extraterrestre en la ecuación 15, se obtiene lo siguiente.

$$R_a = \frac{24 * 60}{\pi} (0.082 MJ m^{-2} min^{-1})(1.023)[1.59 * \text{sen}(-0.113)\text{sen}(-0.23) + \text{cos}(-0.113)\text{cos}(-0.23)\text{sen}(1.59)]$$

$$R_a = 38.76 MJ m^{-2} \text{ día}^{-1}$$

Para convertir de de $MJ m^{-2} \text{ día}^{-1}$ a $mm/\text{día}$ solo se multiplica por el factor de 0.408.

$$R_a = 0.408(38.76) = 15.81 mm/\text{día}$$

4.2.2.8 Cálculo de la radiación neta en la superficie de cultivo (R_n)

- Radiación diaria en un día despejado (R_{SO})

$$R_{SO} = (0.75 + 2 * 10^{-5}z)R_a \quad (19)$$

Donde z es la elevación de la estación sobre el nivel del mar (m).

$$R_{SO} = (0.75 + 2 * 10^{-5} * 120) * 38.76 = 29.16 MJ m^{-2} \text{ día}^{-1}$$

- Radiación neta solar de onda corta (R_{ns})

$$R_{ns} = (1 - \alpha)R_s \quad (20)$$

Donde:

R_{ns} : Radiación neta solar o de onda corta ($MJ m^{-2} \text{ día}^{-1}$)

α : albedo o coeficiente de reflexión del cultivo, que es 0,23 para el cultivo hipotético de referencia (adimensional)

R_s : Radiación solar ($MJ m^{-2} \text{ día}^{-1}$)

$$R_{ns} = (1 - 0.23) * 19.98 MJ m^{-2} \text{ día}^{-1} = 15.38 MJ m^{-2} \text{ día}^{-1}$$

- Radiación neta de la onda larga

$$R_{nl} = \sigma \left[\frac{T_{\max,k^4} + T_{\min,k^4}}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{e_a}) \left(1.35 \frac{R_s}{R_{SO}} - 0.35 \right) \quad (21)$$

Donde:

R_{nl} : Radiación neta de onda larga ($MJ m^{-2} \text{ día}^{-1}$)

σ : Constante de Stefan-Boltzmann ($4.903 \times 10^{-9} MJ K^{-4} m^{-2} \text{ día}^{-1}$)

T_{\max,k^4} : Temperatura máxima absoluta $K = ^\circ C + 273.16$

- T_{\min,k^4} : Temperatura mínima absoluta $K=^{\circ}C+273.16$
 R_s : Radiación solar horizontal ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$)
 e_a : Presión real de vapor (kPa)
 R_{so} : Radiación en un día despejado ($MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$)

Remplazando datos se tiene:

$$R_{nl} = 4.903 \times 10^{-9} \left[\frac{305.8^4 + 294.65^4}{2} \right] (0.34 - 0.14\sqrt{2.56}) \left(1.35 \frac{19.98}{29.16} - 0.35 \right)$$

$R_{nl} = 2.26 MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ Por lo tanto, la radiación neta viene a ser la diferencia de la radiación solar de onda corta y la radiación solar de onda larga.

$$R_n = (R_{ns} - R_{nl}) = 12.72 MJ\ mm^{-2}\ dia^{-1}$$

Finalmente reemplazando en la ecuación (7) que corresponde a la evapotranspiración de referencia con todos los valores encontrados se obtiene lo siguiente.

$$ET_0 = \frac{0.408 * 0.1196(12.72 - 0.197) + 0.0664 \frac{900}{32.64 + 273} * 4(1.19)}{0.1196 * 0.0664(1 + 0.34 * 4)}$$

$$ET_0 = 5.58 mm/día$$

En la tabla 14, se detalla el resumen del cálculo realizado para la determinación de la evapotranspiración de referencia correspondiente al mes de febrero.

Tabla 14. Resumen del cálculo de la evapotranspiración de referencia

| | |
|--|-------------------------------|
| Constante psicométrica (γ) | 0.0664 kPa $^{\circ}C^{-1}$ |
| Pendiente de la curva de presión de vapor (Δ) | 0.1196 kPa $^{\circ}C^{-1}$ |
| Presión real de vapor (e_a) | 2.56 kPa |
| Presión media de vapor de saturación (e_s) | 3.75 kPa |
| Flujo de calor del suelo (G) | 0.197 $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ |
| Radiación extraterrestre (R_a) | 38.76 $MJ\ m^{-2}\ dia^{-1}$ |
| Radiación neta en la superficie de cultivo (R_n) | 12.72 $MJ\ mm^{-2}\ dia^{-1}$ |
| Evapotranspiración de referencia (ET_0) | 5.58 mm/día |

Fuente: Elaboración Propia

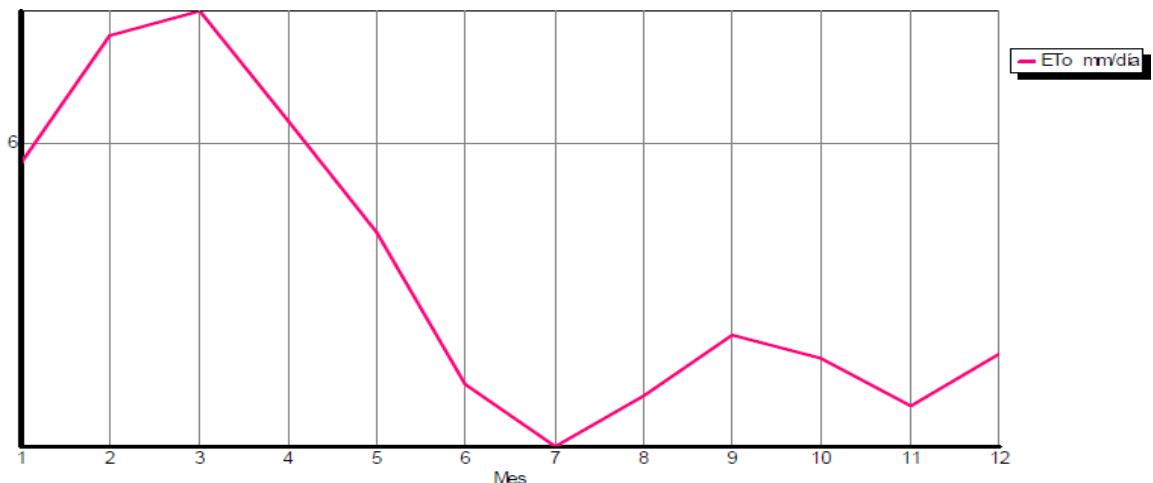
Para efecto del cálculo de la evapotranspiración de referencia en mm/día por mes se ha utilizado el software CROPWAT 8.0 (Penman Monteith), con los datos meteorológicos del lugar de proyecto.

Tabla 15. Determinación mensual de la evapotranspiración de referencia.

| Mes | Temp Min °C | Temp Max °C | Humedad % | Viento m/s | Insolación horas | Rad MJ/m ² /día | ET _o mm/día |
|------------|----------------|----------------|--------------|---------------|---------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Enero | 19.4 | 31.5 | 73 | 4.7 | 12.4 | 26.2 | 5.94 |
| Febrero | 21.5 | 32.6 | 72 | 4.0 | 12.3 | 27.5 | 6.35 |
| Marzo | 21.2 | 32.2 | 73 | 4.0 | 12.1 | 28.2 | 6.43 |
| Abril | 19.5 | 30.6 | 75 | 4.6 | 11.9 | 27.8 | 6.07 |
| Mayo | 18.2 | 29.5 | 76 | 5.1 | 11.8 | 26.7 | 5.71 |
| Junio | 15.2 | 28.1 | 77 | 4.8 | 11.7 | 25.9 | 5.21 |
| Julio | 14.6 | 27.5 | 78 | 4.4 | 11.7 | 26.1 | 5.01 |
| Agosto | 13.9 | 27.6 | 78 | 4.6 | 11.9 | 27.3 | 5.18 |
| Septiembre | 14.8 | 27.6 | 77 | 5.2 | 12.1 | 28.0 | 5.37 |
| Octubre | 15.6 | 27.2 | 76 | 5.3 | 12.2 | 27.4 | 5.30 |
| Noviembre | 14.8 | 27.2 | 75 | 5.2 | 12.4 | 26.4 | 5.14 |
| Diciembre | 18.3 | 28.5 | 74 | 5.1 | 12.4 | 25.7 | 5.31 |
| Promedio | 17.3 | 29.2 | 75 | 4.7 | 12.1 | 26.9 | 5.59 |

Fuente: FAO CROPWAT 8.0

Figura 27. Curva característica de la evapotranspiración de referencia por mes



Fuente: FAO CROPWAT 8.0

4.2.3 Evapotranspiración del cultivo (ET_c)

Para condiciones estándar la evapotranspiración del cultivo. Se cree que no existen condiciones en la mejora del cultivo debido a la tensión hídrica o salina, cohesión del cultivo, plagas y enfermedades, aspecto de malezas o descenso de fertilidad. Puesto que el valor de ET_c es encontrado a través del enfoque del coeficiente del cultivo, donde las consecuencias de los contextos del tiempo atmosférico son incorporadas en ET₀ y las características del cultivo son asociadas en el coeficiente de cultivo [23].

$$ET_c = K_c * ET_0 \quad (22)$$

Donde, K_c es el coeficiente del cultivo (adimensional), ET₀ es la vapotranspiración de referencia (mm/día)

La finalidad de la combinación de la transpiración del cultivo y la evaporación del suelo se componen en un coeficiente único del cultivo. El coeficiente único K_c reúne las características del cultivo y los efectos medios de la evaporación en el suelo [23].

- Coeficientes de los cultivos en la zona de proyecto.

Tabla 16. Coeficientes de cultivo K_c [24]

| Cultivo | K _c | | | Altura Max. Cultivo (m) |
|----------------|--------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|
| | K _c (inicial) | K _c (medio) | K _c (final) | |
| Maíz | 0.15 | 1.15 | 0.50 | 1.50 |
| Yuca | 0.30 | 0.80 | 0.30 | 1.00 |
| Lenteja | | 1.10 | 0.30 | 0.50 |
| Frejol de palo | 0.50 | 1.05 | 0.9 | 0.40 |
| Arroz | 1.05 | 1.20 | 0.90 | 1.00 |
| Camote | | 1.15 | 0.65 | 0.40 |
| Cebolla | | 1.05 | 0.75 | 0.40 |

Fuente: Elaboración propia

- Se tomará en cuenta los valores de K_c(medio) para determinar la evapotranspiración de cada cultivo dado que es el momento donde las plantas necesitan la mayor cantidad de agua. Para determinar la demanda hídrica en m³/ha-día se tendrá en cuenta la tabla 17 de los factores de conversión.

Tabla 17. Factores de conversión para expresar la evapotranspiración

| | Altura de agua | volumen por unidad de área | | energía por unidad de área * |
|---|----------------------|---|------------------------------------|--------------------------------------|
| | mm día ⁻¹ | m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹ | l s ⁻¹ ha ⁻¹ | MJ m ⁻² día ⁻¹ |
| 1 mm día ⁻¹ | 1 | 10 | 0,116 | 2,45 |
| 1 m ³ ha ⁻¹ día ⁻¹ | 0,1 | 1 | 0,012 | 0,245 |
| 1 l s ⁻¹ ha ⁻¹ | 8,640 | 86,40 | 1 | 21,17 |
| 1 MJ m ⁻² día ⁻¹ | 0,408 | 4,082 | 0,047 | 1 |

Fuente: Evapotranspiración de cultivo, Roma.2006,pag.25

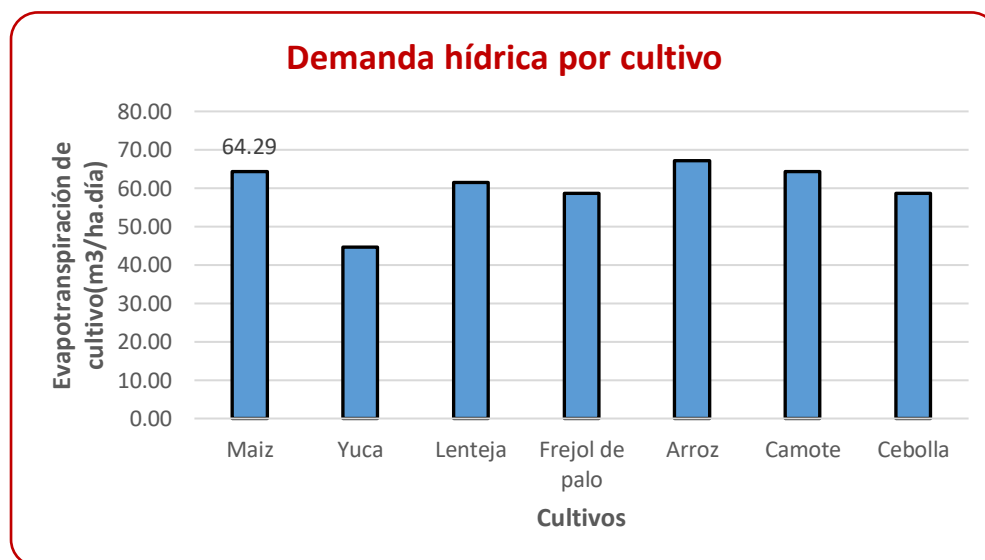
Tabla 18. Evapotranspiración de cultivos en m³/ha-día y la conversión del caudal requerido en m³/s

| Cultivo | Evapotranspiración de cultivos | | | | | | | |
|----------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------|--------------------------|----------|------------------------|--------------------------------------|
| | Cantidad (ha) | ET _o (mm/día) | K _c (medio) | ET _c | | | | Caudal requerido (m ³ /s) |
| | | | | (mm/día) | (m ³ /día.ha) | (l/s.ha) | (m ³ /s.ha) | |
| Maíz | 9 | 5.59 | 1.15 | 6.43 | 64.29 | 0.745706 | 0.000745706 | 0.006711354 |
| Yuca | 7 | 5.59 | 0.80 | 4.47 | 44.72 | 0.518752 | 0.000518752 | 0.003631264 |
| Lenteja | 2 | 5.59 | 1.10 | 6.15 | 61.49 | 0.713284 | 0.000713284 | 0.001426568 |
| Frejol de palo | 1 | 5.59 | 1.05 | 5.87 | 58.70 | 0.680862 | 0.000680862 | 0.000680862 |
| Arroz | 3 | 5.59 | 1.20 | 6.71 | 67.08 | 0.778128 | 0.000778128 | 0.002334384 |
| Camote | 1 | 5.59 | 1.15 | 6.43 | 64.29 | 0.745706 | 0.000745706 | 0.000745706 |
| Cebolla | 2 | 5.59 | 1.05 | 5.87 | 58.70 | 0.680862 | 0.000680862 | 0.001361724 |
| Total | 25 | | | 41.93 | 419.25 | 4.8633 | 0.0048633 | 0.016891862 |

Fuente: Elaboración Propia

De la tabla 18, se muestra el cálculo de la evapotranspiración para cada uno de los cultivos como es el caso del maíz, yuca, lenteja, frejol de palo, arroz, camote y cebolla con un total de 419.25 m³/ha.día.

Figura 28. Demanda hídrica por cultivo en m³/ha.día



Fuente: Elaboración Propia

4.3. CÁLCULO Y DISEÑO DEL SISTEMA HÍDRICO Y ELÉCTRICO POR HECTÁREA DE CULTIVO

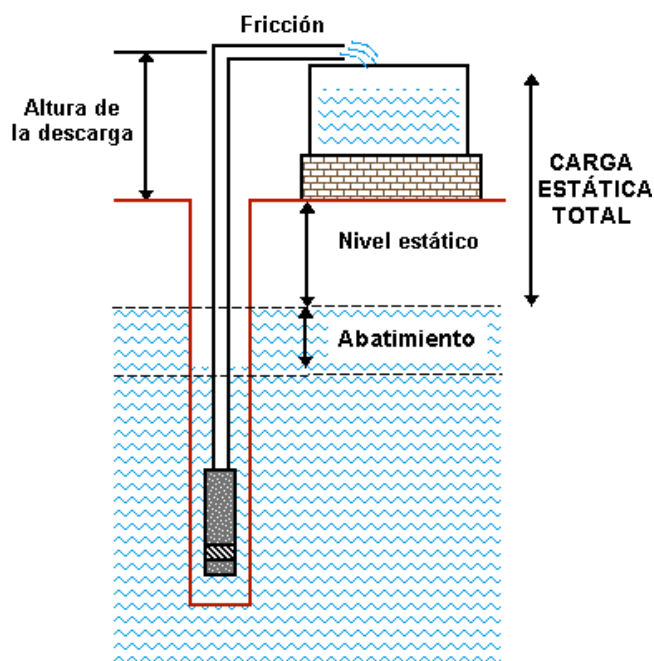
Para el cálculo del sistema hídrico de cada uno de los cultivos se observa que tienen ligeras variaciones debido a su coeficiente de cultivo de cada uno de ellos. Para efecto de este estudio se tendrá en cuenta el cultivo de maíz con una demanda hídrica de $64.29 \text{ m}^3/\text{ha.día}$ para el diseño del sistema de bombeo con energía solar. Dado que en la mayor parte de los agricultores de Batangrande siembran este tipo de cultivo.

4.3.1 Cálculo de la bomba sumergible y reservorio

4.3.1.1 Perfil del pozo

El pozo estará constituido por diferentes partes tales como el abatimiento, nivel estático, altura de descarga, fricción y de la carga estática total.

Figura 29. Perfil del pozo



Fuente: Leno Emmanuel y Angel Ruben, UNAM 2018.

Las dimensiones y características de los pozos en su gran mayoría los agricultores manifiestan que tienen aproximadamente 30m de profundidad con el fin de aprovechar el mayor caudal para sus cultivos y otros datos que se han sido medidos y estimados para lograr realizar el diseño del sistema.

Datos característicos del pozo:

- Profundidad del pozo : 30m
- Carga o nivel estático : 8m
- Nivel o altura de descarga del tanque : 6m
- Carga estática total : 14m
- Abatimiento : 12m
- Distancia del pozo hasta el tanque : 2m

4.3.1.2 Cálculo de la altura total del sistema de bombeo

La altura total con el que trabaja generalmente la bomba consta básicamente de tres partes principales:

- Un cabezal dinámico o abatimiento H_d (se sabe que cuando se produce una acción de bombeo, el nivel del agua desciende y después de varias horas se estabiliza). El nivel en estas circunstancias estabilizadas se llaman cabeza dinámica [24].
- Un cabezal debido a la elevación de los tubos de entrega desde el suelo (H_e).
- Una cabeza debido a la fricción (H_f)
- Una cabeza de velocidad (H_v)

La suma total representa la altura del sistema de bombeo.

$$H_T = H_d + H_e + H_f + H_v \quad (23)$$

a) Cálculo de la cabeza por fricción

La ecuación de Darcy es una ecuación de dinámica de fluidos que intenta predecir la pérdida de energía durante el flujo que pasa por las tuberías teniendo en cuenta la velocidad de resistencia al flujo y al rozamiento. Para flujo turbulento a través de una tubería circular se usa el siguiente formula [24].

$$H_f = \frac{4 * f * l}{d} * \frac{v^2}{2g} \quad (24)$$

Donde:

f: es el factor de fricción

l: es la longitud de la

tubería d: diámetro de la

tubería

v: velocidad del fluido

Caudal 0,000744m³/s, diámetro de tubería: 2" (0.05m)

De la ecuación (6).

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 * 0.000744m^3/s}{\pi * 0.05^2} = 0.378m/s$$

El valor del Número de Reynolds se puede determinar con la siguiente expresión:

$$R_e = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (25)$$

$$R_e = \frac{1000Kg/m^3 * 0.378m/s * 0.05m}{1.14 * 10^{-3}Ns/m^2} = 16578.94$$

El tipo de flujo se basa de acuerdo al número de Reynolds encontrado [14].

- Si $Re < 2000$, el flujo se llama laminar.
- Para flujo de transición si $2000 < Re < 4000$
- Para flujo turbulento si $Re > 4000$

En este caso el $Re > 4000$ es del tipo de flujo turbulento [14].

Para el material de tubería PVC, $\varepsilon \approx 1.5 * 10^{-6}m$ la rugosidad relativa es:

$$\gamma = \frac{\varepsilon}{d} = \frac{1.5 * 10^{-6}m}{0.05m} = 3 * 10^{-5}$$

Debido a que $Re > 4000$, la siguiente ecuación se utilizara para determinar el factor de fricción.

$$f = \frac{1.325}{\left(\ln \left(\frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right)} = 0.0271 \quad (26)$$

La pérdida de energía a lo largo de la tubería será determinada mediante la ec.24 antes mencionada, cuya longitud de la tubería será de 50m.

$$H_f = \frac{4 * 0.0271 * 50m}{0.05m} * \frac{(0.378m/s)^2}{2(9.81m/s^2)} = 0.789m$$

• Cabeza de fricción y velocidad

La cabeza o carga de velocidad viene dado de la siguiente manera: [24].

$$H_v = \frac{v^2}{2g} = \frac{(0.378m/s)^2}{2(9.81m/s^2)} = 0.00728m \quad (27)$$

Por lo tanto, la altura total para el sistema de bombeo será la suma de la carga dinámica, carga estática, carga debido a las pérdidas por fricción y la pérdida por cabeza de velocidad

Tabla 19. Resumen de los parámetros calculados

| | |
|------------------------------------|---------------|
| Carga dinámica (Hd) | 30m |
| Carga estática (He) | 14m |
| Carga por fricción (Hf) | 0.789m |
| Carga de fricción y velocidad (Hv) | 0.00728m |
| Carga total requerida (Ht) | 44.79m |

Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.3 Cálculo de la potencia hidráulica

La potencia hidráulica requerida para el sistema de bombeo será [14].

$$P_{bomba}=P_H = \frac{\rho g Q H_t}{3600 * 1000 * \eta} \quad (28)$$

Sin embargo, el caudal requerido para el funcionamiento de la bomba considerando ocho horas diarias se puede calcular como:

$$Q = \frac{Q/dia}{T_f}$$

En donde Q es el caudal de agua, Tf son las horas de funcionamiento de la bomba.

$$Q = \frac{64.29}{8} = 8.036 m^3/h$$

Reemplazando en la ecuación 28, con una eficiencia estimada de 65%.

$$P_{bomba} = \frac{1000 * 9.81 * 8.036 * 44.79}{3600 * 1000 * 0.65} = 1.508 kW \approx 2HP$$

4.3.1.4 Cálculo del reservorio y tiempo de llenado

Para efecto del caudal bombeado por la bomba sumergible se ha considerado almacenar el recurso hídrico en un reservorio a cierta altura con la finalidad de aumentar la presión de descarga para el riego del cultivo ya sea por inundación o por goteo. La bomba seleccionada será capaz de expulsar 8.4 m³/h venciendo a la altura de 45m incluyendo pérdidas durante su recorrido.

El reservorio tendrá una elevación desde el piso hacia su punto más alto de 6m, el nivel más bajo cuando el agua este a punto de culminarse será de 4m respecto del piso. En cuanto a sus dimensiones será rectangular con dimensiones de 2m de largo, alto y ancho almacenando un total de 8 m³ equivalente a 8000 litros.

Ahora se calcula la cantidad de agua que será capaz de almacenar el reservorio considerando que tiene la forma geométrica de un cubo de 2 metros de lado.

$$V_{cubo} = L^3$$

Por lo tanto, el volumen del reservorio será lo siguiente:

$$V_{Reservorio} = (2m)^3$$

$$V_{Reservorio} = 8m^3 \approx 8000L$$

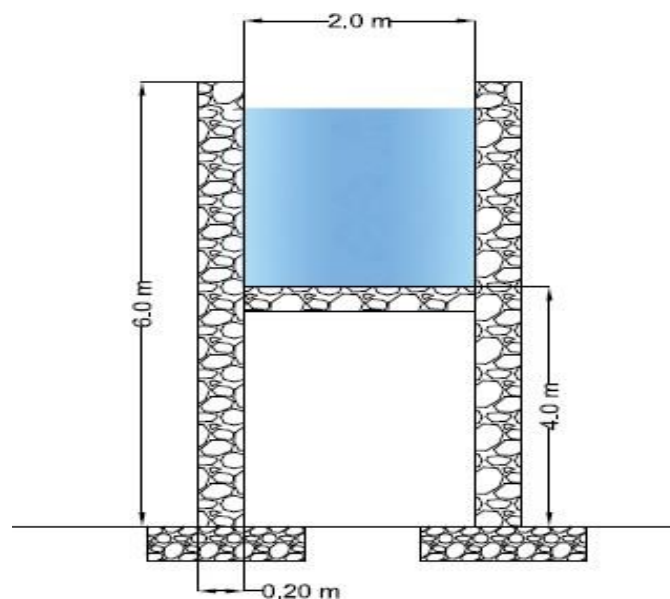
El caudal está en función del volumen y tiempo y se representa como:

$$Caudal = \frac{Volumen}{Tiempo}$$

Entonces el tiempo de llenado del reservorio será de 0.95 horas equivalente a 57 minutos.

$$Tiempo = \frac{Volumen}{Caudal} = \frac{8m^3}{8.4m^3/h} = 0.95h \approx 57 \text{ minutos}$$

Figura 30. Reservorio para almacenamiento



Fuente: Elaboración Propia

4.3.1.5 Selección de la bomba sumergible a utilizar

La selección de la bomba será en base al caudal de 8.036 m³/h y con la carga total de 44.79 m el cual se tubo en cuenta la tabla 20, (**Anexo 2**) considerando el inmediato superior para la elección de la bomba sumergible de potencia 2 HP trifásico de marca pedrollo y modelo 4SR33G/20.

Tabla 20. Modelo de la bomba sumergible a seleccionar

| MODELO | | POTENCIA (P ₂) | | Q m ³ /h l/min | 0 | 2.4 | 3.6 | 4.8 | 6 | 7.2 | 8.4 | 9.6 | 10.8 | 12 |
|------------|------------|----------------------------|------|---------------------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|-----|
| Monofásica | Trifásica | kW | HP | | 0 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 |
| 4SR33Gm/5 | 4SR33G/5 | 0.37 | 0.50 | H metros | 30 | 28 | 27 | 25 | 23.5 | 21.5 | 19 | 16 | 12.5 | 7 |
| 4SR33Gm/7 | 4SR33G/7 | 0.55 | 0.75 | | 41 | 38 | 36 | 34.5 | 32.5 | 30 | 25.5 | 21.5 | 16.5 | 10 |
| 4SR33Gm/10 | 4SR33G/10 | 0.75 | 1 | | 50 | 47 | 45 | 43 | 41.5 | 38 | 33 | 28 | 21 | 14 |
| 4SR33Gm/15 | 4SR33G/15 | 1.1 | 1.5 | | 60 | 56 | 54 | 51.5 | 49 | 45 | 40 | 33 | 25 | 17 |
| 4SR33Gm/20 | 4SR33G/20 | 1.5 | 2 | | 79 | 76 | 73 | 70.5 | 65.5 | 59.5 | 52 | 43 | 33 | 22 |
| 4SR33Gm/30 | 4SR33G/30 | 2.2 | 3 | | 110 | 105 | 101 | 97 | 90 | 83 | 73 | 60 | 46 | 29 |
| - | 4SR33G/50 | 3.7 | 5 | | 177 | 170 | 165 | 158 | 147 | 135 | 118 | 98 | 76 | 48 |
| - | 4SR33G/75 | 5.5 | 7.5 | | 265 | 257 | 248 | 236 | 222 | 204 | 179 | 148 | 112 | 75 |
| - | 4SR33G/100 | 7.5 | 10 | | 335 | 322 | 312 | 297 | 280 | 254 | 224 | 185 | 142 | 96 |

Fuente: https://www.pedrollo.com/it/default_t1

Las características técnicas de la bomba sumergible en el mercado nacional es lo siguiente:

Marca : Pedrollo

Modelo : 4SR33G/20

Potencia : 1.5 kW-2HP

Sistema eléctrico : Trifásico

Tensión /frecuencia : 380V / 60 Hz

Caudal Máximo : 12 m³/h equivalente a 200 l/min con altura de 22 metros.

Caudal Mínimo : 2.4 m³/h equivalente a 40 l/min con altura de 76 metros.

Vida útil : 10 a 15 años

La bomba sumergible tiene un diámetro externo de 4 pulgadas, con una boca de succión de 2 pulgadas. Asimismo, dispone de 8 etapas en cual se encuentran unidas motor y bomba completamente selladas con carcasa de acero inoxidable para evitar la corrosión y cuyas dimensiones y peso que ofrece esta electrobomba son las siguientes: ver (**Anexo 3**).

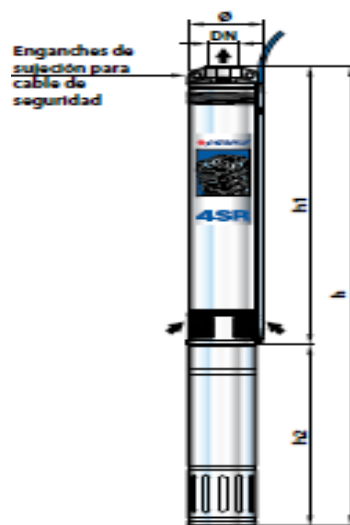
h1: 401 mm

h2: 386 mm

h: 787 mm

Peso: 14.7 kg

Figura 31. Bomba sumergible seleccionada



Fuente: https://www.pedrollo.com/it/default_t1

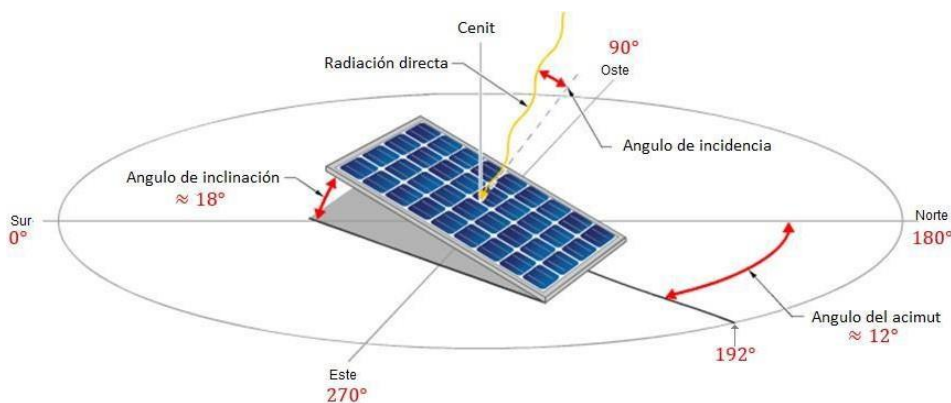
Estas bombas sumergibles ofrecen expulsar agua a grandes profundidades y cuyos mantenimientos son fáciles de hacer, además poseen una vida útil de 10 años. Para que la bomba se mantenga en condiciones favorables es importante hacerle mantenimientos periódicos dado que en su parte inferior acumulan arena con máximo de 150g/m^3 .

4.3.2 Cálculo y selección del panel fotovoltaico

4.3.2.1 Angulo de inclinación óptima del panel

Para obtener el recurso energético de forma óptima es importante conocer la trayectoria solar, el perfil de las necesidades, así como también las condiciones de ubicación de los paneles. El cual conlleva a determinar la orientación e inclinación en instalaciones fijas permitiendo reducir el mínimo coste de energía de kilovatio hora [25].

Figura 32. Inclinación de panel solar



Fuente: Obtenido de: <https://acortar.link/2gu7gd>

Mediante esta fórmula se determina el ángulo de inclinación óptima anual el cual busque la mayor captación de energía a lo largo del año. En donde la latitud según las coordenadas geográficas de la zona de proyecto es de -6.48 a lado sur.

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|\varphi|$$

$$\beta_{opt} = 3.7 + 0.69|-6.48| = 8.17^\circ$$

En tal sentido se puede considerar para el ángulo de inclinación óptima utilizando la tabla 21 obtenido de la Nasa y tomando en cuenta los rangos de latitud. Por ello el ángulo de inclinación que deberá tener los paneles fotovoltaicos para fines del diseño será de 15° mirando hacia el sur.

Tabla 21. Ángulos de inclinación en base a latitudes

| Latitud $ \varphi $ | Angulo de inclinación (β) |
|---------------------|-----------------------------------|
| 0° a <15° | 15° |
| 15° a <25° | La misma latitud |
| 25° a <30° | Latitud +5° |
| 30° a <35° | Latitud +10° |
| 35° a <40° | Latitud + 15° |
| Mayor a 40° | Latitud +20° |

Fuente: Nasa

4.3.2.2 Horas solar pico más crítico o desfavorable

Para determinar las horas por día durante las HSP se tendrá en cuenta la irradiación media anual obtenidos de la Nasa con respecto a la irradiancia en condiciones estándar de 1000 W/m²

$$HSP = Irradiancia\ mínima / \left(\frac{kW}{m^2} \right)$$

Las horas solar pico que se tendrá en la zona de proyecto considerado como día más desfavorable será para el mes de febrero con un mínimo de 4 horas y 34 minutos por día de los cuales está comprendido aproximadamente desde las 9am a las 2pm, cuya data fue extraída de la base de datos de la Nasa desde el 2010 hasta el 2020 así como también de Meteonorm 8.0 correspondiente a los años 2010 a 2014 de su última actualización.

Tabla 22. Parámetros irradiación global horizontal

| Mes | Irradiación Global Horizontal (kWh/m ² /día) | |
|-----------------|--|---------------|
| | Nasa | Meteonorm 8.0 |
| Enero | 4.73 | 5.53 |
| Febrero | 4.56 | 5.28 |
| Marzo | 4.65 | 5.50 |
| Abril | 4.92 | 5.76 |
| Mayo | 4.65 | 5.66 |
| Junio | 4.68 | 5.81 |
| Julio | 4.95 | 5.90 |
| Agosto | 5.39 | 6.01 |
| Setiembre | 5.69 | 6.23 |
| Octubre | 5.80 | 6.38 |
| Noviembre | 5.97 | 6.14 |
| Diciembre | 5.28 | 5.67 |
| Máximo | 5.97 | 6.38 |
| Mínimo | 4.56 | 5.28 |
| Promedio | 5.11 | 5.82 |

Fuente: POWER | Data Access Viewer, Nasa y Meteonorm 8.0

La potencia del panel también influye de factores externos como la radiación solar en la ubicación del proyecto y de las perdidas relacionadas en cuanto al uso del inversor y las conexiones mismas del sistema dado que se utilizará un factor global de funcionamiento del 90%.

Para determinar la potencia generada por los paneles fotovoltaicos se empleara en base a la bomba seleccionada de 2HP con un 35% adicional con el fin de suplir las necesidades para días mas críticos con presencias de nubosidad el cual permita que el sistema trabaje con normalidad. Puesto que la potencia pico del sistema generador fotovoltaico será de 2,72kWp

Por lo tanto, el consumo medio energético será:

$$E_{md} = P_{GFV} * HSP_{crit} * PR$$

En donde:

E_{md} es el consumo medio energético diario

P_{GFV} Potencia pico del sistema generador fotovoltaico

HSP_{crit} es las horas solar pico

PR factor global de funcionamiento es 0.9

Tabla 23. Energía media producida

| Energía producida por el sistema FV | | | | |
|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|-----------|---------------------------------|
| Equipos | Potencia generada FV (kWp) | Horas solar pico (h/día) | Factor PR | Energía media producida kWh/día |
| Bomba sumergible 1,5kW+ invt HSPL1500 | 2,72 | 4.56 | 0.9 | 11.163 |

Fuente: Elaboración Propia

Las características eléctricas, mecánicas, y de temperatura del panel se detallan a continuación estipuladas en las tablas 24,25 y 26 y para efectos de mayor detalle se pueden visualizar en el (Anexo 4).

- ❖ Características eléctricas del panel solar ERA 340W /24V ESPMC-340 Poly Clase A.

Tabla 24. Características eléctricas

| Características Eléctricas | |
|-----------------------------------|------------------------|
| Tipo de modulo | ESPMC |
| Potencia máxima (Wp) | 340W |
| Voltaje a circuito abierto (Voc) | 46.4V |
| Corriente de cortocircuito (Isc) | 9.45A |
| Voltaje a máxima potencia (Vmp) | 38.5V |
| Corriente a máxima potencia (Imp) | 8.83A |
| Eficiencia del modulo | 17.50% |
| Tolerancia positiva de potencia | 0-+3% |
| Número de diodos | 3 |
| Voltaje máximo del sistema | 1000V/DC |
| Condiciones de prueba estándar | 1000W/m2, 25°C, AM 1.5 |

Fuente: Era Solar

- ❖ Características mecánicas del panel solar ERA 340W /24V ESPMC-340 Poly Clase A.

Tabla 25. Características mecánicas

| Características Mecánicas | |
|---------------------------|--------------------------------------|
| Tipo de celda | Silicio Policristalino |
| Número de celdas | 72 |
| Dimensiones del módulo | 1956x992x40mm |
| Peso | 20.9kg |
| Marco | Vidrio templado bajo en hierro/3.2mm |
| Caja de conexiones | > IP68 |
| Cable y conectores | 2x900mm/4mm2, MC4 compatible |
| Clase de aplicación | A |

Fuente: Era Solar

Tabla 26. Características de temperatura del panel

| Características de Temperatura | |
|---|--------------|
| Temperatura de celda en operación normal (NOCT) | 40 °C-+85°C |
| Coefficiente de temperatura Pmax | -0.38001%/°C |
| Coefficiente de temperatura Voc | -0.29506%/°C |
| Coefficiente de temperatura Isc | +0.08558%/°C |

Fuente: Era Solar

4.3.2.3 Influencia de la temperatura en la celda del panel fotovoltaico

La temperatura en la celda de un panel influye de varios factores como la irradiación, la temperatura ambiente y de la temperatura de la celda en operación normal (NOCT). Por ello es importante recalcar que a medida que la irradiación es casi nula, es decir un minuto antes de amanecer la temperatura de la celda se comporta como si fuera la temperatura ambiente.

$$T_c = T_A + G \frac{NOCT - 20}{800}$$

Donde:

T_c : temperatura de la celda

T_A : temperatura ambiente (25°C)

G: irradiancia a condiciones estándar STC 1kW/m²

NOCT :es la temperatura de la celda en operación normal

$$T_c = 25 + 1000 \frac{40 - 20}{800} = 50^\circ C$$

Una vez determinado la temperatura de la celda a condiciones ideales que puede trabajar el panel y considerando los coeficientes de temperatura de la tabla 26, ahora se puede corregir la tensión a circuito abierto y la potencia máxima empleando la siguiente formula.

$$\Delta V_{oc} = (T_c - 25) * coef * T_{V_{oc}}$$

$$\Delta V_{oc} = (50 - 25) * -0.29506\%/^\circ C = -7.37\% \downarrow$$

$$\Delta P_{max} = (50 - 25) * -0.38001\%/^\circ C = -9.50\% \downarrow$$

Por lo tanto, el voltaje a circuito abierto corregida es lo siguiente:

$$\Delta V_{oc} = (corregido) = 46.4(1 - 7.37\%) = 42.89V \downarrow$$

4.3.2.4 Cálculo y distribución de paneles FV

Para el cálculo del número de paneles fotovoltaicos en serie y paralelo, se ha tenido en cuenta la potencia total del sistema considerando que estén dentro de los rangos establecidos de la tabla 27, en donde cuya potencia total pico es de 2,72 kW por lo que la tensión nominal será de 48V.

Tabla 27. Elección del nivel de tensión para el sistema

| Potencia | Tensión Nominal |
|--------------------------|-----------------|
| $P \leq 800W$ | 12V |
| $800 \leq P \leq 1600W$ | 24V |
| $1600 \leq P \leq 3200W$ | 48V |
| $P > 3200W$ | 120 o 300V |

Fuente: Nasa

- Numero de paneles fotovoltaicos en serie:

$$N_{PS} = \frac{V_{NOM}}{V_{MPP}}$$

$$N_{PS} = \frac{48V}{38.5V} = 1.25 \approx 2 \text{ paneles}$$

Entonces los paneles en serie serán de 2.

- Numero de paneles fotovoltaicos en paralelo:

$$N_{PP} = \frac{P_{G-FV}}{P_{FV \text{ elegido}} * N_{PS}}$$

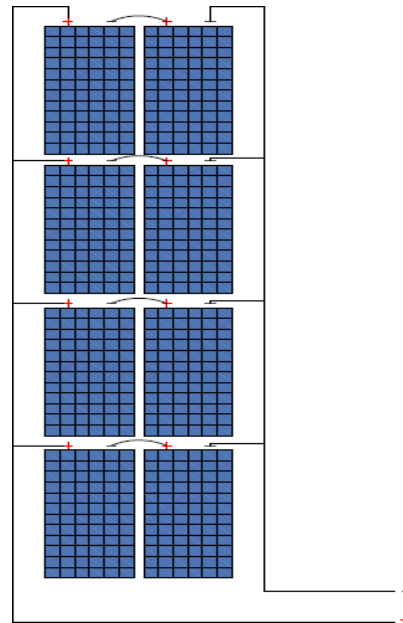
$$N_{PP} = \frac{2720W}{340W * 2} = 4 \text{ paneles}$$

El número total de paneles a emplear en el sistema para alimentar la bomba será de 8 módulos.

$$N. T_{PANELES} = N_{PS} * N_{PP} = 8 \text{ Paneles}$$

Los módulos fotovoltaicos serán conectados serie-paralelo, el cual tendrá la configuración de dos en serie y cuatro en paralelo. Asimismo, estarán dispuestas en estructuras, dos para tres módulos y una para dos módulos con un total de 3 estructuras para la instalación.

Figura 33. Distribución de paneles solares serie-paralelo Era Solar 340W/24V

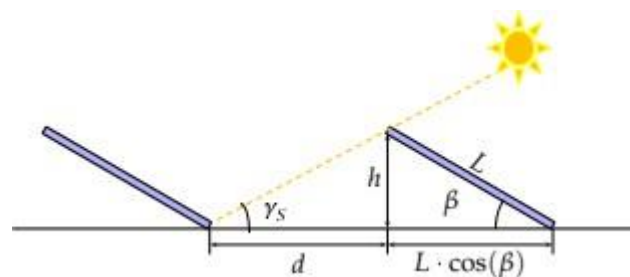


Fuente: Elaboración Propia

4.3.2.5 Cálculo de la distancia de sombreado entre estructuras

Las filas que componen el generador arrojan sombras unas sobre otras en determinados momentos del día y año [26]. El arreglo y separación por filas de los módulos fotovoltaicos es importante para evitar el sombreado y así mejorar la producción diaria de energía, por ello para fines del diseño se considerará la longitud o largo del panel 1.956m, el ángulo de inclinación óptimo que será de 15° , y por último el ángulo de elevación solar será extraído de la página web del laboratorio de monitoreo de radiación solar dada por la Universidad de Oregón.

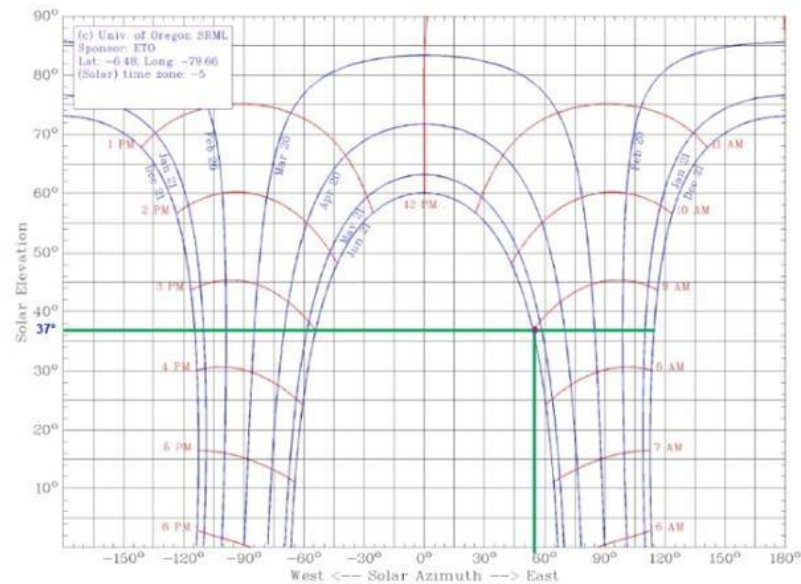
Figura 34. Configuración de sombreado



Fuente: Oscar Perpiñan Lamigueiro, Energía solar .2015.

Mediante esta carta solar obtenemos la elevación del sol, en donde las curvas azules representan los meses del año en estaciones y las curvas rojas son las horas de sol, para este estudio ya que en Perú es considerado como mes de invierno para el mes junio se ha obtenido el ángulo de elevación del sol de 37°.

Figura 35. Carta solar



Fuente: <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>

Por lo tanto, mediante esta fórmula se determinará la distancia de sombreado.

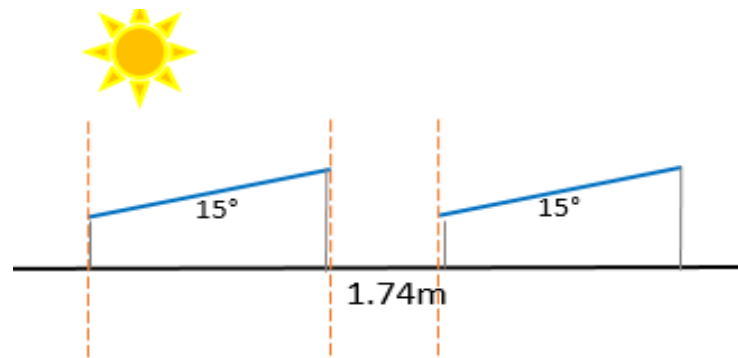
$$d = \frac{L * \text{sen}(\beta)}{\text{tany}_s}$$

Tabla 28. Cálculo de distancia de sombra entre paneles FV

| | | |
|---|-------|--------|
| Ángulo de inclinación (β) | 15 | grados |
| Medida del largo del panel | 1.956 | m |
| Elevación solar (y_s) | 37 | grados |
| Distancia de sombra (ds) | 1.513 | m |
| Factor de seguridad | 15 | % |
| Distancia de sombra (d) | 1.740 | m |

Fuente: Elaboración Propia

Figura 36. Emplazamiento de los paneles solares



Fuente: Elaboración Propia

4.3.3 Cálculo del inversor

Para la elección del inversor se ha tenido en consideración el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) y del voltaje de máxima potencia V_{mp} mencionado en la tabla 24 apartado 4.3.2. Por lo que a la salida del arreglo fotovoltaico dará como resultado de 92.8V y de 77V, lo cual indica que está dentro del rango permitido de 62.5 ~ 95V a la entrada del inversor por lo que permitirá arrancar sin inconvenientes y así pueda alimentar a la bomba en corriente alterna.

| | |
|---------------------------|--------------------|
| Panel Solar | Voc 46.4V |
| | V_{mp} 38.5V |
| | 340W/panel |
| Inversor de bombeo | HSPL1500HA |
| | V.entrada 62.5-95V |

| | | |
|-------------------------------|-----------|----------|
| Tensión a la entrada V_{oc} | 92.8 | V |
| Tensión a la entrada V_{mp} | 77 | V |

Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, el inversor de bombeo a emplear para el sistema fotovoltaico será de 1.5kW de marca Hober Technology Co, Ltd modelo HSPL1500HA y cuyas especificaciones técnicas se muestran en el (Anexo 5).

4.3.4 Cálculo de la sección del conductor

La sección del conductor se ha determinado mediante dos tramos. Es decir, desde el generador-inversor y desde el inversor hacia la bomba sumergible. Puesto que el primer tramo corresponde a una alimentación en corriente continua (CD) y el segundo a corriente alterna (CA) para ello se consideró datos técnicos de los equipos antes mencionados.

Por otra parte, también se obtuvo datos del reglamento técnico sobre “Especificaciones Técnicas y Ensayos de los Componentes de Sistemas Fotovoltaicos hasta 500Wp) en el apartado requisitos de cableado donde hace mención que desde el generador fotovoltaico hasta el inversor la caída de tensión sea inferior al 3% y desde el inversor hacia la carga (bomba) este se encuentre por debajo del 5% [27].

- Para el cálculo de sección de conductor para corriente continua:

$$S = \frac{2 * \rho * L * I}{\%(V_a - V_b)}$$

Donde:

S : sección del conductor en (mm²)

L : Longitud en (m)

I : Intensidad de corriente en (A)

$\%(V_a - V_b)$: Caída de tensión en (V)

$\rho_{Cu_{75^\circ C}}$: Conductividad del cobre 0.0022Ωmm²/m

- Cálculo de sección de conductor para corriente alterna, en este caso por ser trifásico se tomará en cuenta el $COS(\theta) = 0.8$.

$$S = \frac{\sqrt{3} * \rho * L * I * COS(\theta)}{\%(V_a - V_b)}$$

Tabla 29. Equivalencias de sección de conductor en mm² y AWG

| EQUIVALENCIAS | | |
|---------------|---------------------------------|-----------------|
| AWG | Sección Real (mm ²) | mm ² |
| 22 | 0.324 | 0.5 |
| 20 | 0.517 | 0.75 |
| 18 | 0.821 | 1 |
| 16 | 1.31 | 1.5 |
| 14 | 2.08 | 2.5 |
| 12 | 3.31 | 4 |
| 10 | 5.26 | 6 |
| 8 | 8.37 | 10 |
| 6 | 13.3 | 16 |
| 4 | 21.2 | 25 |
| 2 | 33.6 | 35 |
| 1 | 42.4 | 50 |
| 1/0 | 53.3 | 70 |
| 2/0 | 67.4 | 70 |
| 3/0 | 85 | 95 |
| 4/0 | 107.2 | 120 |

Fuente: Obtenido de <https://cutt.ly/5CbYYsp>

Tabla 30. Secciones de conductor a utilizar

| Componente 1 | Componente 2 | Longitud (m) | Corriente (A) | Voltaje (V) | Sección (mm ²) | Sección elegida (mm ²) | AWG |
|--------------|--------------|--------------|---------------|-------------|----------------------------|------------------------------------|-----------|
| Generador | Inversor | 4 | 19.48 | 24 | 4.8 | 6.0 | 10 |
| Inversor | Bomba | 35 | 2.85 | 380 | 0.2 | 1.5 | 22 |

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla siguiente se muestra la verificación de caída de tensión admisible el cual se encuentra aceptable para cada uno de los tramos.

Tabla 31. Verificación de caída de tensión por tramo

| Componente 1 | Componente 2 | Caída de tensión% | Máxima caída de tensión admisible | Condición |
|--------------|--------------|-------------------|-----------------------------------|-----------|
| Generador | Inversor | 2.38 | <3% | Aceptable |
| Inversor | Bomba | 0.53 | <5% | Aceptable |

Fuente: Elaboración Propia

4.4 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR CON PVSYS Y CONFIGURACIÓN DEL INVERSOR

4.1 Dimensionado del sistema de bombeo solar con PVsyst

4.1.1 Consideraciones iniciales

Para el dimensionamiento del sistema de bombeo con energía solar utilizando el software PVsyst en el cual se obtuvo en cuenta lo siguiente.

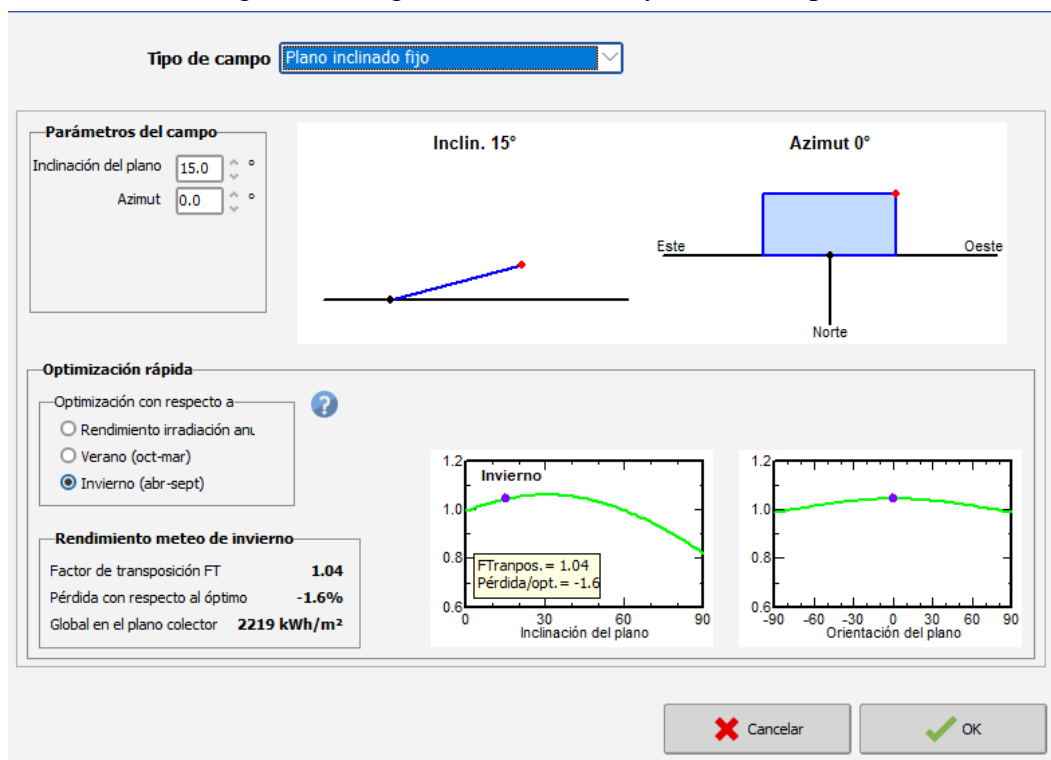
Primero: Se cargo las coordenadas geográficas de latitud $-6,4800$ y longitud $-79,66$ en base al sistema decimal en el software utilizando la base de datos de Meteoronorm 8.0 considerado como la más actualizada.

Segundo: Creación del proyecto así como la inserción del archivo de meteo ya cargado en el software para luego definir los parámetros principales como la orientación, necesidades de agua, el sistema en su conjunto y perdidas detalladas.

4.1.2 Orientación

Aquí es donde se define el ángulo de inclinación del panel a 15° y el azimut de 0° para un mejor rendimiento de irradiación anual con pérdidas nulas, en cambio para la estación de invierno considerado como los meses más desfavorables existen una pérdida de alrededor de $-1,6\%$.

Figura 37. Angulo de inclinación y azimut del panel

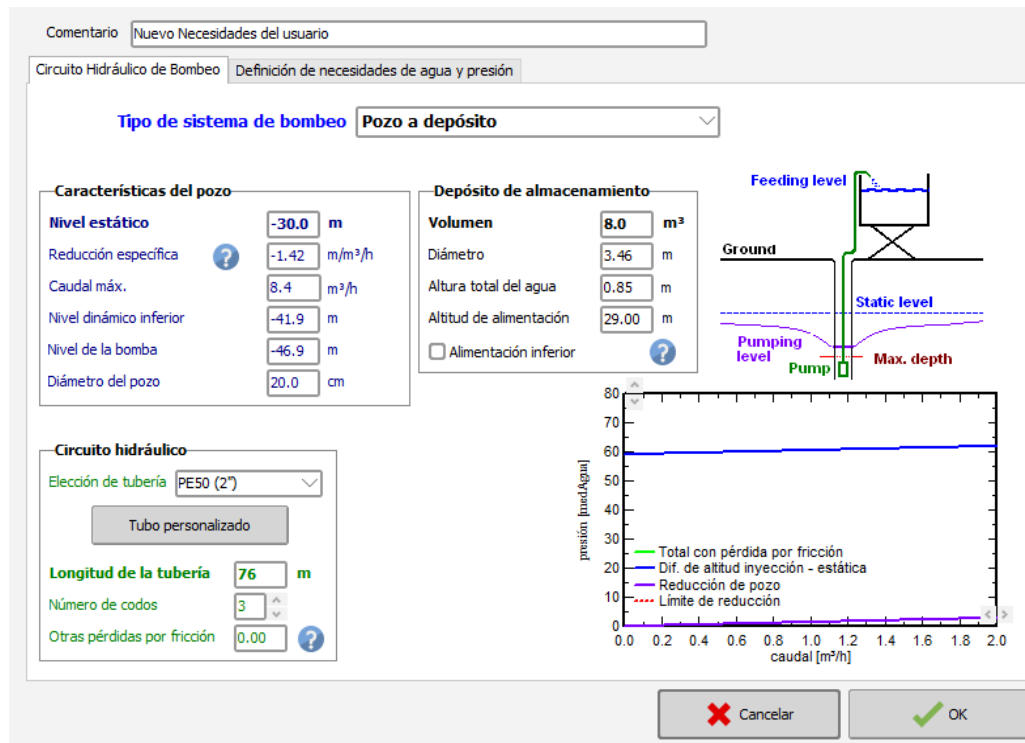


Fuente: Software PVsyst 7.2

4.1.3 Necesidades del Agua

En este apartado se define las características del pozo según lo establecido por la entrevista y encuesta realizada al agricultor, asimismo del almacenamiento que ha de tener el reservorio y del circuito hidráulico considerado en este caso la tubería de 2 pulgadas PE50.

Figura 38. Características del Pozo y del almacenamiento



Fuente: Software PVsyst 7.2

4.1.4 Sistema en su conjunto

El sistema en su conjunto está determinado en base a los requerimientos de las necesidades del agricultor, para lo cual será empleada la bomba sumergible de varias etapas de marca Pedrollo 4SR33G/20 380V trifásico. Por otro lado, los componentes tales como: Panel Solar Era 340W 24V y del controlador del sistema de bombeo de tipo inversor MPPT-CA.

Las condiciones de operación de la bomba son como se indica según el estudio realizado en el software de PVsyst.

Tabla 32. Condiciones de operación de la bomba

| | Presión Min | Presión Nom | Presión Max | |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Altura | 22 | 52 | 76 | m |
| Caudal | 12 | 8,4 | 2.43 | m ³ |
| Potencia Requerida | 1125 | 1859 | 790 | W |

Fuente: Software PVsyst 7.2

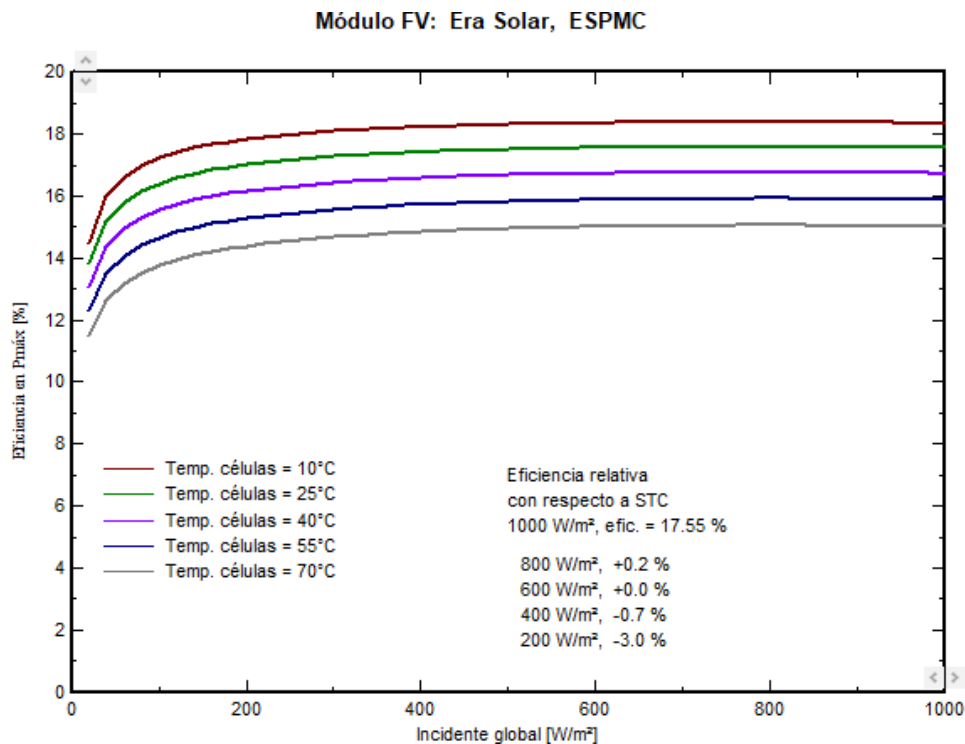
El número total de paneles fotovoltaicos para el sistema de bombeo solar, según lo dimensionado con PVsyst será de un total de ocho. En la cual estarán distribuidas 2 en serie y cuatro en paralelo.

Para condiciones de funcionamiento a 40°C se obtiene como resultado los parámetros eléctricos a su máxima potencia de la potencia misma, del voltaje y de la corriente.

- Pmpp :2597Wp
- Vmpp :72.13V
- Imp :36A

En la figura 39 se da el comportamiento de como es que influye la temperatura en la eficiencia del panel con respecto a la irradiación incidente global.

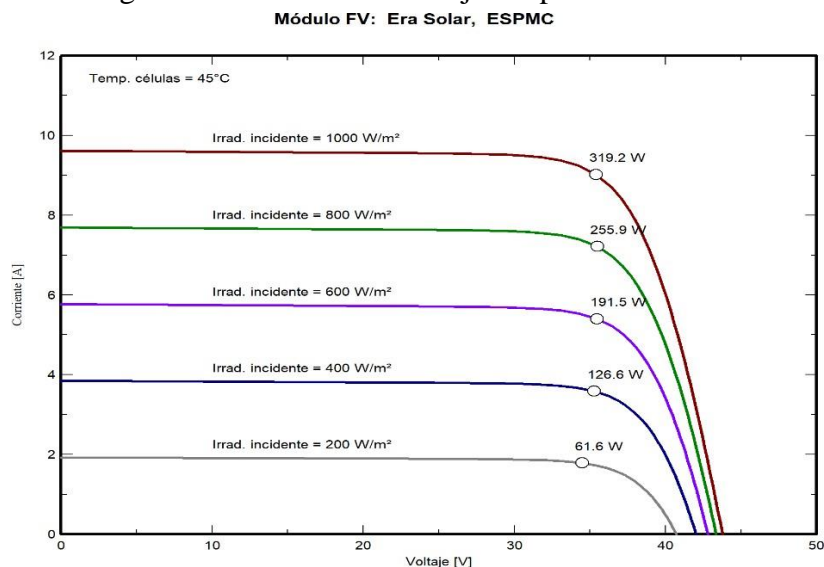
Figura 39. Eficiencia vs Irradiancia del panel Era Solar 340W



Fuente: Software PVsyst 7.2

En la figura 40, se observa cómo es que la irradiación cuanto mayor sea aumenta su nivel de corriente y tensión, permitiendo así incrementar su potencia. Por tanto a condiciones estándar llegaría a tan solo 319.2 W mas no a los 340W brindado por el fabricante debido a las perdidas involucradas en dicho sistema.

Figura 40. Corriente vs voltaje del panel Era Solar 340W



Fuente: Software PVsyst 7.2

El controlador del sistema de bombeo de marca Hoberteck modelo HSPL1500HA con parámetros eléctricos de voltaje a la entrada de 55V como mínimo y un máximo de 95V, con una potencia de 1.5kW.

4.1.5 Producción del sistema

La producción del sistema de bombeo en forma anual tanto para el agua que se necesita, la energía necesaria por la bomba, así como también sin usar reservorio lleno de la energía FV no utilizada de 1303kWh aportando una fracción no utilizada de 25.2% y de las eficiencias correspondientes del sistema.

Tabla 33. Producción anual de sistema

| AGUA | | |
|------------------------------------|------|-------------------------|
| Agua bombeada | 3067 | m ³ |
| Específico | 183 | m ³ /kWp/bar |
| Necesidades de agua | 3066 | m ³ |
| ENERGÍA | | |
| Energía en la bomba | 942 | kWh |
| Específico | 0.31 | kWh/m ³ |
| SIN USAR (RESERVORIO LLENO) | | |
| Energía FV no utilizada | 1303 | kWh |
| Fracción no utilizada | 25.2 | % |
| EFICIENCIAS | | |
| Eficiencia del sistema | 18.3 | % |
| Eficiencia de la bomba | 57.0 | % |

Fuente: Software PVsyst 7.2

4.1.6 Balance de Resultados de PVsyst

En la tabla 34 se presenta los resultados obtenidos en forma mensual de cada uno de los indicadores el cual está bajo las siguientes denominaciones:

| | |
|---------|---|
| GlobEff | : Energía global efectivo |
| EArrMPP | : Energía virtual del conjunto |
| E_pmpOp | : Energía de funcionamiento de la bomba |
| ETkFull | : Energía no utilizada (tanque lleno) |
| H_Pump | : Presión total promedio de la bomba |
| Wpumped | : Volumen de agua bombeada |
| W_Used | : Agua extraída por el usuario |
| W_Miss | : Agua faltante |

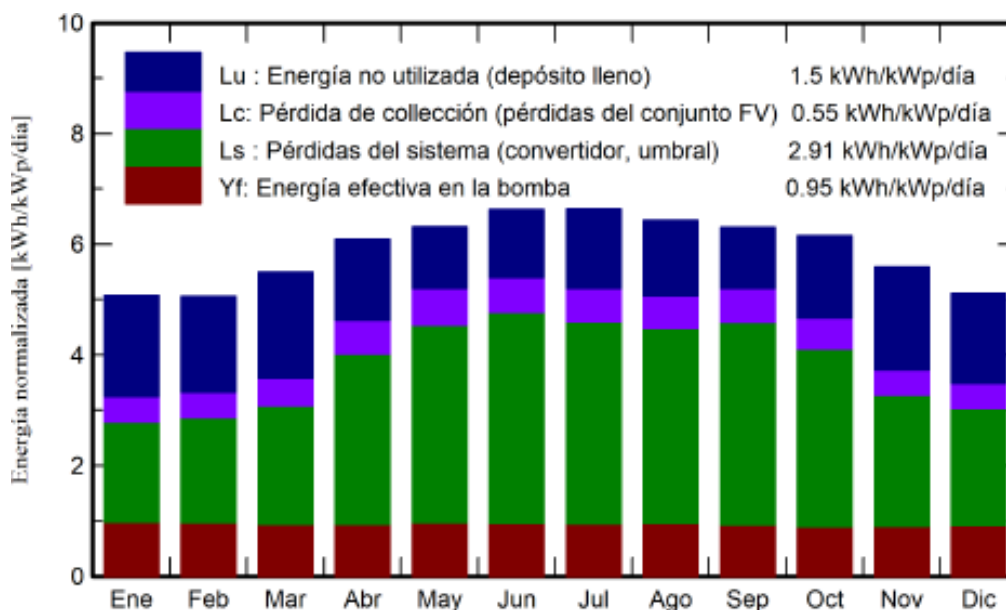
Tabla 34. Balance de resultados de PVsyst

| Mes | GlobEff kWh/m ² | EArrMPP kWh | E_PmpOp kWh | ETkFull kWh | H_Pump m | Wpumped m ³ | W_Used m ³ | W_Miss m ³ |
|------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero | 151.1 | 371.5 | 82.51 | 240.2 | 62.2 | 262 | 260.4 | 0 |
| Febrero | 136.6 | 333.7 | 73.39 | 214.5 | 62.27 | 235.5 | 235.2 | 0 |
| Marzo | 165.2 | 402.9 | 79.93 | 265.7 | 62.68 | 260 | 260.4 | 0 |
| Abril | 177.9 | 433.6 | 77.06 | 278.6 | 62.85 | 252.2 | 252 | 0 |
| Mayo | 191 | 466.7 | 80.75 | 294.2 | 62.5 | 260.5 | 260.4 | 0.493 |
| Junio | 194.4 | 479.6 | 77.73 | 310.2 | 62.8 | 252 | 252 | 0 |
| Julio | 201 | 496.6 | 79.89 | 321.7 | 62.95 | 260.4 | 260.4 | 0 |
| Agosto | 194.4 | 481.8 | 80.16 | 311.7 | 62.83 | 260.4 | 260.4 | 0 |
| Septiembre | 184.3 | 455.8 | 77.2 | 284.9 | 62.84 | 251.6 | 252 | 0 |
| Octubre | 185.1 | 458.8 | 76.86 | 297 | 63.7 | 260.4 | 260.4 | 0 |
| Noviembre | 161.4 | 402.6 | 74.36 | 267.8 | 63.4 | 252 | 252 | 0 |
| Diciembre | 152 | 376.6 | 78.37 | 243.3 | 62.69 | 260 | 260.4 | 0 |
| Año | 2094.4 | 5160.1 | 938.21 | 3329.8 | 62.77 | 3067.2 | 3066 | 0.493 |

Fuente: Software PVsyst 7.2

En la figura 41, la energía normalizada por cada kWp instalado en el sistema en función de los meses del año tiende a repercutir en diferentes factores como: la energía no utilizada a deposito lleno de 1,5kWh/kWp/día, energía efectiva en la bomba de 0.95 kWh/kWp/día y otras perdidas relacionadas al conjunto fotovoltaico de 2,91 kWh/kWp/día y del convertidor de 2,91 kWh/kWp/día.

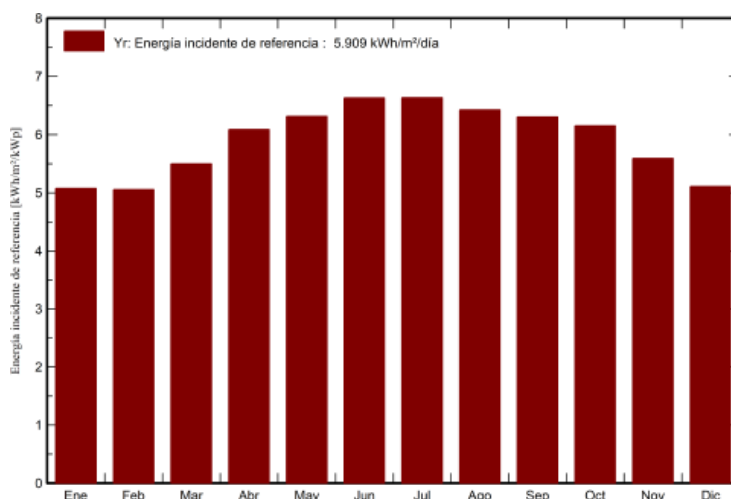
Figura 41. Energía normalizada por kWp instalado en el sistema



Fuente: Software PVsyst 7.2

En tal sentido se muestra la energía incidente promedio en el plano colector de $5.909 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ para un año, representando niveles más altos de energía en los meses de junio y julio de aproximadamente $6,60 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ y valores mínimos para los meses de enero, febrero y diciembre con $5.20 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$.

Figura 42. Energía incidente mensual

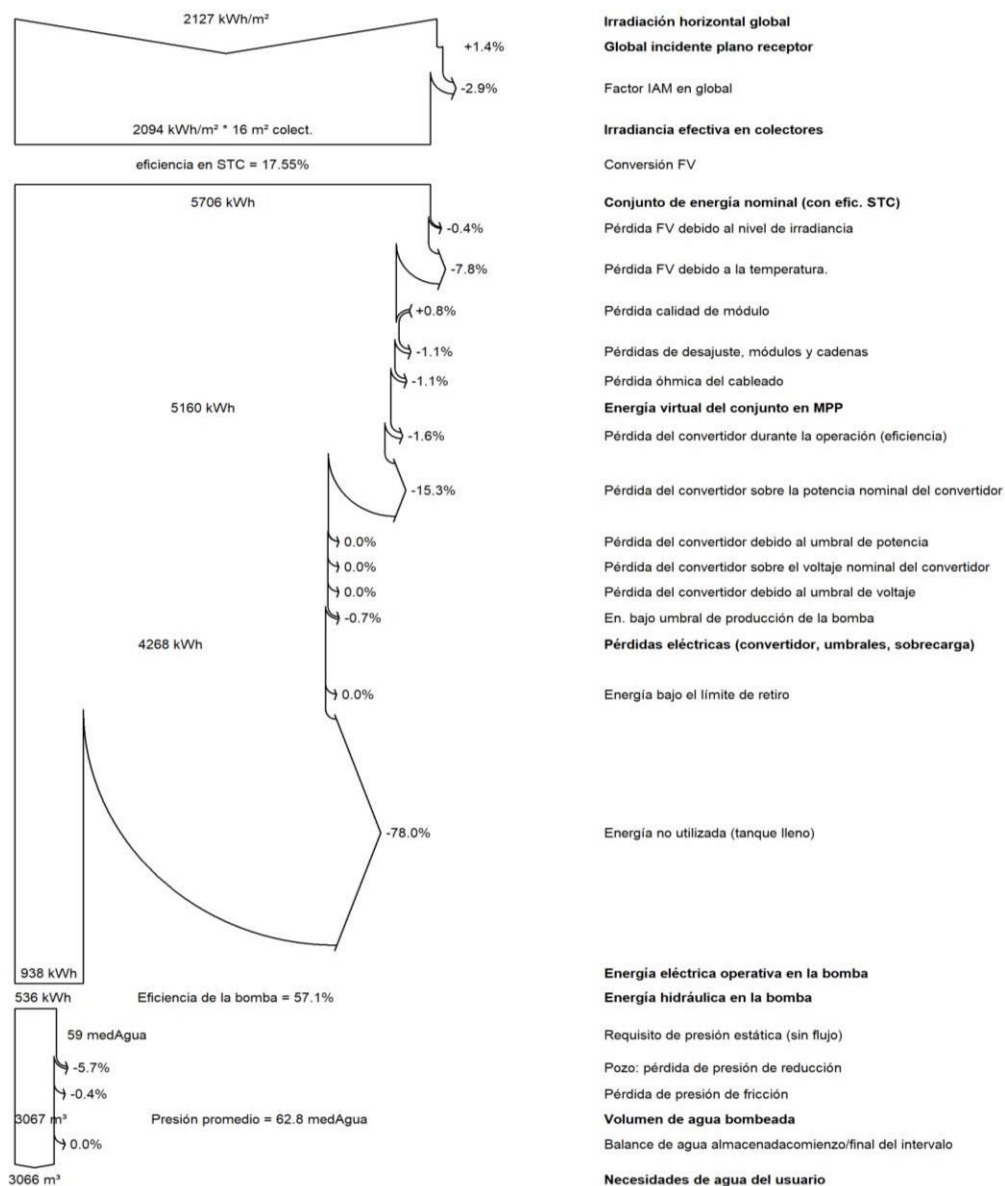


Fuente: Software PVsyst 7.2

4.1.7 Diagrama de pérdidas

Las pérdidas correspondientes al sistema de bombeo solar en forma anual incorporan a diversos factores así como se muestra en la figura 43 lo cual influye en la irradiación global horizontal de 2127kWh/m^2 , del conjunto de energía nominal (con eficiencia estándar) 5706kWh , de la energía virtual del conjunto en MPP 5160kWh , pérdidas eléctricas debido al convertidor y sobrecargas 4265kWh , de la energía operativa de la bomba de 938kWh , de la energía hidráulica de la bomba de 538kWh trabajando con una eficiencia del 57.1% .

Figura 43. Diagrama de pérdidas anual



Fuente: Software PVsyst 7.2

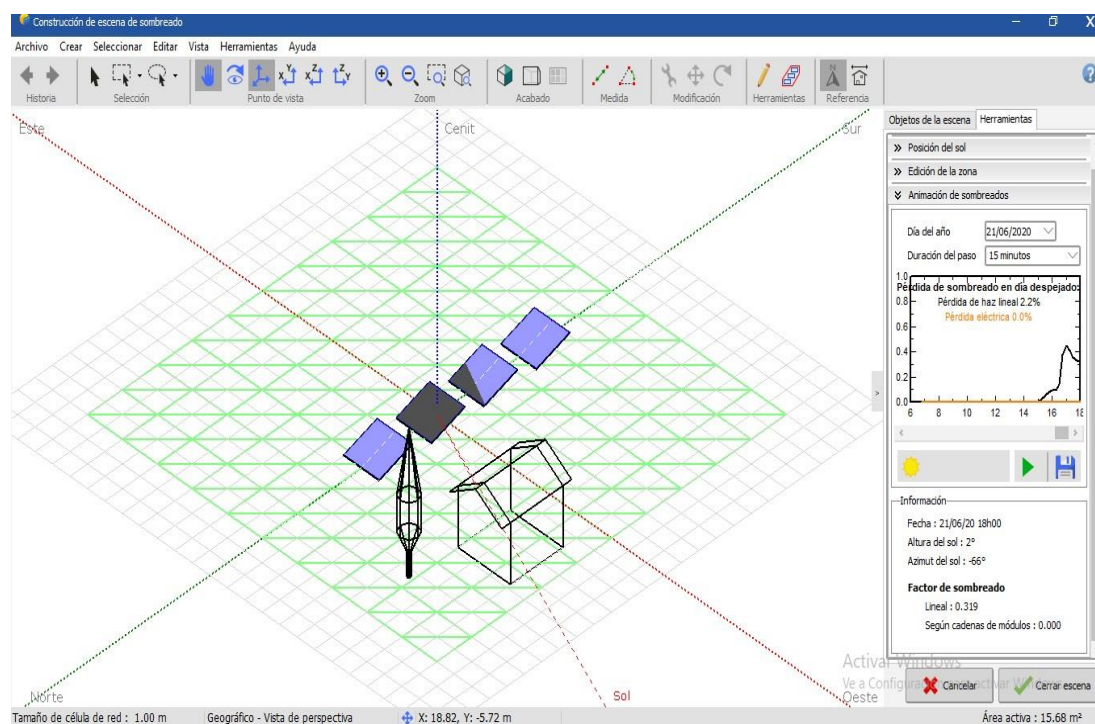
4.1.8 Parámetro de sombreado cercano al conjunto fotovoltaico

El parámetro de sombreado se da justamente por objetos externos como la presencia de árboles, casas, entre otros impidiendo que el sistema trabaje a su máxima potencia.

Es importante recalcar que dado a un sombreado parcial afecta negativamente al comportamiento eléctrico no solo del panel al cual este afectando sino a todo el string, permitiendo limitar la corriente que pasa a través de todo el panel, así como si fuera un panel de malas características interconexiónado con otros mejores [28].

Por otro lado, en la figura 44 se aprecia de que existe pérdidas lineales para un día despejado con respecto a los strings dos y parte del string tres con un 2,2% a partir de las 3pm hacia adelante lo cual implicara que el sistema se comporte como no productivo.

Figura 44. Simulación de PVsyst con definición de sombras cercanas



Fuente: Software PVsyst 7.2

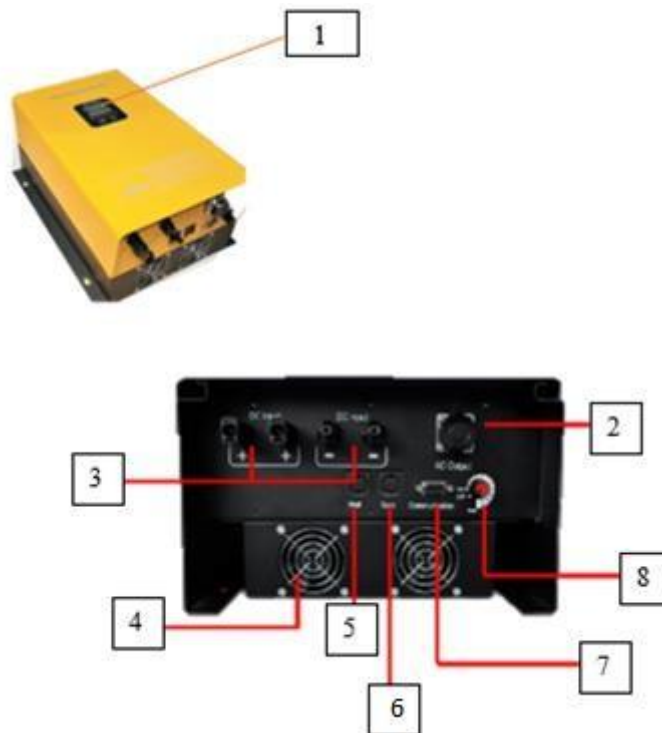
4.2 Configuración del inversor para el funcionamiento automático del sistema de bombeo

4.2.1 Pantalla LCD y partes de conexión

El inversor HSLP1500HA/BX cuenta con una pantalla LED/ LCD el cual muestra el estado del sistema donde incluye la energía, funcionamiento, parada, poso y de almacenamiento. Asimismo, de las conexiones de entrada del arreglo fotovoltaico y las salidas hacia la bomba y de los sensores hacia el pozo y del reservorio de almacenamiento.

1. Pantalla LED/LCD
2. Salida de CA cuatro líneas (trifásica+línea tierra)
3. Entrada de CD positivo y negativo
4. Ventilador, enfriamiento por viento
5. Sensor del pozo
6. Sensor de tanque o reservorio
7. Comunicación RS485
8. Control de parada/arranque y control de tamaño de flujo de salida






Figura 45. Pantalla LCD y partes de conexión



Fuente: <https://bit.ly/3BQC2hl>.

4.2.2 Modelo de configuración del inversor empleando la pantalla LCD

Tabla 35. Procedimiento para la configuración del inversor por medio de la pantalla LCD

| | |
|---|--|
|  | <p style="text-align: center;">Menú principal</p> <p>Tecla "ESC" para volver al menú principal, tecla "ARRIBA", "Abajo" para cambiar el menú, tecla "ENTER" para ingresar al menú de configuración. Línea 1: Nombre del dispositivo Línea 2: Modelo Línea 3: Encendido / Apagado, estado de error Monitor</p> |
|  | <p style="text-align: center;">Estado de funcionamiento</p> <p>Muestra el voltaje y la frecuencia</p> |
|  | <p style="text-align: center;">Pantalla del estado del agua en tanque / pozo</p> <p>Muestra el estado del agua del tanque y del pozo.</p> |
|  | <p style="text-align: center;">Identificador de maquina</p> <p>Número de serie único de maquina</p> |
|  | <p style="text-align: center;">Menú de ajuste de límite de funcionamiento</p> <p>Configurar el tiempo de funcionamiento del inversor AM-PM.MinFreq / Restart Time: Si la salida del inversor es menor que Min Freq en el punto fijo minutos, luego detiene la salida, después de configurar el tiempo, el inversor comenzará la salida de nuevo</p> |

Fuente: <https://bit.ly/3BQC2hl>

4.2.3 Consideraciones de entrada del inversor

- De acuerdo al apartado 4.3.3 se verifica las condiciones de operación del inversor que están dentro del estándar de 62.5 a 95V ,dado que la tensión de máxima potencia es de 77V.
- En casos opcionales se puede conectar al panel fotovoltaico a la entrada del inversor de bombeo se puede conectar un conmutador.
- Asegurarse de que el cableado de línea negativo y positivo de entrada se corrija.

4.2.4 Consideraciones y conexión a la salida del inversor

Prohibir conectar el conmutador entre la salida de CA y la bomba.

Color rojo 1 : U

Color rojo 2 : V

Color rojo 3 : W

Color amarillo y verde: Tierra

Figura 46. Cable de conexión



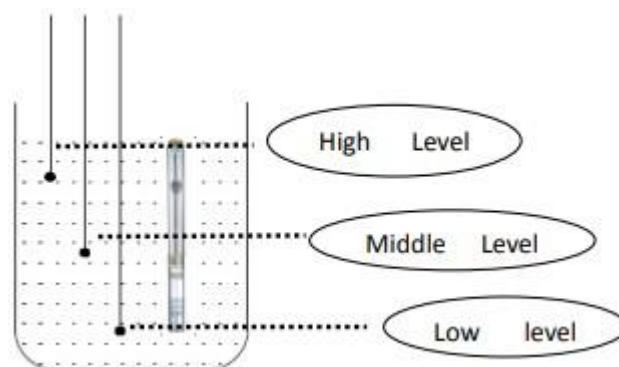
Fuente: <https://bit.ly/3BQC2hl>

4.2.5 Sensor de pozo y reservorio

Cada sensor tiene tres cables, incluye alto nivel de detección de agua, nivel medio de detección de agua y detección de nivel bajo de agua.

- La longitud más larga del cable reservado es para detectar un nivel bajo de agua
- La longitud media del cable reservado es para un nivel medio de detección de agua
- La longitud más corta de cable reservado es para detección de alto nivel de agua.

Figura 47. Niveles de sensor



Fuente: <https://bit.ly/3BQC2hl>

4.5 EVALUACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA DE LA FUENTE DE ENERGÍA

En este apartado final se realizará la evaluación técnica económica del proyecto con el fin de determinar los índices de viabilidad y rentabilidad (VAN y TIR), por el cual se tendrá en consideración los ingresos que podría obtener el agricultor al sustituir el combustible diésel de los sistemas a motobombas de forma anual, así como también los egresos que podría tener al reemplazar la bomba sumergible en 10 años según indica el fabricante y por ultimo del costo de operación y mantenimiento de dicho sistema.

4.5.1 Valor Actualizado Neto (VAN)

Es el dinero que la inversión podría repercutir en el futuro, dado que el valor real del dinero cambia con el tiempo. Por lo tanto, es importante que el valor encontrado sea mayor a cero para considerar como viable.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_{Ci}}{(1+i)^n} - I_0$$

En donde:

F_{Ci} : Flujo de caja por año.

i : Taza de interés.

n : Número de años.

I_0 : Inversión inicial

4.5.2 Taza Interna de Retorno (TIR)

Este criterio evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo, con el cual la totalidad de beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual, es decir cuando el VAN se hace cero y para que el proyecto sea aceptable la TIR debe ser mayor a la tasa requerida por el inversor.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_{Ci}}{(1+i)^n} - I_0 = 0$$

4.5.3 El payback o periodo de recuperación de la inversión (PRI)

Representa el tiempo en el que demorara en recuperar la inversión inicial mediante el flujo de caja, el cual está dada de la siguiente manera.

$$PRI = \left[\frac{\text{Periodo último con flujo}}{\text{acumulado negativo}} \right] + \left[\frac{\text{Valor absoluto del último flujo acumulado negativo}}{\text{Valor del flujo de caja del siguiente periodo}} \right]$$

4.5.4 Análisis técnico del costo energético para un sistema a motobombas

Dentro del análisis técnico se determinará los egresos que generan actualmente los sistemas a motobombas por el uso de la fuente energética de los combustibles fósiles(diésel), cuyo estudio esta netamente relacionado para el riego de cultivo de maíz según lo indicado en el apartado 4.1.

| | |
|--------------------------------------|----------------------------|
| Cantidad de riego por mes | : 3 veces |
| Número de galones diésel DB5 S-50 UV | : 8 gal/ha |
| Cantidad de galones por mes | : 24 gal |
| Precio de galón diésel DB5 S-50 UV | : 19.10 S/. /gal (Anexo 9) |
| Costo mensual de combustible | : S/. 458.40 |
| Costo anual de combustible | : S/. 5500.80 |
| Operador | : S/. 250.00 |
| Mantenimiento | : S/. 600.00 |
| Sub-Total | : S/. 5382.03 |
| IGV (18%) | : S/. 968.77 |
| Costo Anual por combustible y MTTO | : S/. 6350.80 |

Total, de gasto anual por combustible, operación y mantenimiento: S/. 6350.80

Por lo tanto, este gasto por combustible, así como operación y mantenimiento ahora se convertirá como ingreso, debido a que el sistema de bombeo alimentado por energía solar ya que este combustible será totalmente renovable e inagotable, es decir, no tiende a acabarse con el tiempo.

4.5.5 Presupuesto del proyecto

En la tabla 36 se detalla el presupuesto planteado para dicho proyecto de los costos unitarios y totales de los componentes principales, de los materiales complementarios y de accesorios del sistema de control y fuerza asignados por la cotización realizada a la empresa Autosolar.

Tabla 36. Presupuesto del proyecto planteado

| ITEM | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD | PRECIO UNIT. | TOTAL |
|--|--|----------|--------------|----------------------|
| 01 | COSTOS DE COMPONENTES | | | |
| 01.01 | Panel Solar Era 340W 24V ESPMC Poly clase A | 8 | S/. 499.34 | S/. 3,994.72 |
| 01.02 | Inversor Hoberteck HSPL1500HA/BX INVT 2HP 1,5kW 380V | 1 | S/. 3,471.00 | S/. 3,471.00 |
| 01.03 | Pedrollo 4SR33G/20 de 2HP ø 2" 3~60Hz | 1 | S/. 2,359.81 | S/. 2,359.81 |
| TOTAL | | | | S/. 9,825.53 |
| 02 | COSTO DE MATERIALES COMPLEMENTARIOS | | | |
| 02.01 | Juego conectores MC4 Paneles Solares | 1 | S/. 18.62 | S/. 18.62 |
| 02.02 | Cable Unifilar PV solar 6 mm2 rojo y negro | 4 | S/. 6.85 | S/. 27.40 |
| 02.03 | Cable para bomba sumergible 3x1.5 mm2 +T1.5mm2 | 35 | S/. 4.79 | S/. 167.65 |
| 02.04 | Fusible Cilíndrico gPV 40A 1500Vdc 14x51 | 2 | S/. 17.00 | S/. 34.00 |
| 02.05 | Porta fusibles 14x51(de 10-40A) 1000Vdc | 2 | S/. 58.60 | S/. 117.20 |
| 02.06 | Estructura 2 Paneles 40mm Coplanar CVE FALCAT | 1 | S/. 405.75 | S/. 405.75 |
| 02.07 | Estructura 3 Paneles 40mm Coplanar CVE FALCAT | 2 | S/. 488.60 | S/. 977.20 |
| 02.08 | Tablero adosable 8 Polos | 1 | S/. 55.83 | S/. 55.83 |
| 02.09 | Guardamotor termomagnético TeSys GV2 AC/4-6.3A | 1 | S/. 278.71 | S/. 278.71 |
| 02.10 | Tubo Matusita PVC 2" | 25 | S/. 20.70 | S/. 517.50 |
| 02.11 | Codos Matusita PVC 2" x 90° | 3 | S/. 22.00 | S/. 66.00 |
| 02.12 | Instalación | 1 | S/. 2,000.00 | S/. 2,000.00 |
| TOTAL | | | | S/. 4,665.86 |
| 03 | ACCESORIOS DEL SISTEMA DE CONTROL Y FUERZA | | | |
| 03.01 | Sonda Vertical de Nivel para funcionamiento seco | 1 | S/. 462.62 | S/. 462.62 |
| 03.02 | Boya de nivel para funcionamiento Lleno | 1 | S/. 92.31 | S/. 92.31 |
| 03.03 | Cable mellizo sonda de nivel 16AWG Rojo-Negro | 40 | S/. 4.62 | S/. 184.80 |
| 03.04 | Empalme de Resina cables hasta 4x4mm2 | 1 | S/. 262.34 | S/. 262.34 |
| 03.05 | Cable exterior/sumergido 750VXTREM H07RN-F 4X6mm | 20 | S/. 25.69 | S/. 513.80 |
| TOTAL | | | | S/. 1,515.87 |
| SUB-TOTAL | | | | S/. 16,007.26 |
| IGV (18%) | | | | S/. 2,881.31 |
| INVERSIÓN TOTAL DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR | | | | S/. 18,888.57 |

Fuente: Elaboración propia

4.5.6 Evaluación Económica

La evaluación económica se realizó teniendo en cuenta la inversión total del sistema de bombeo solar considerado con una tasa de interés del 10%, con respecto a los ingresos, egresos, el remplazo que podría darse por la bomba sumergible a 10 años y el costo de operación y mantenimiento considerando el 1% del costo de inversión inicial; es decir de 188.89 soles. Para ello se utilizó el software de Microsoft Excel para determinar el flujo de caja neto y así poder calcular los indicadores económicos del VAN, la TIR y el Playback (Periodo de recuperación de la inversión)

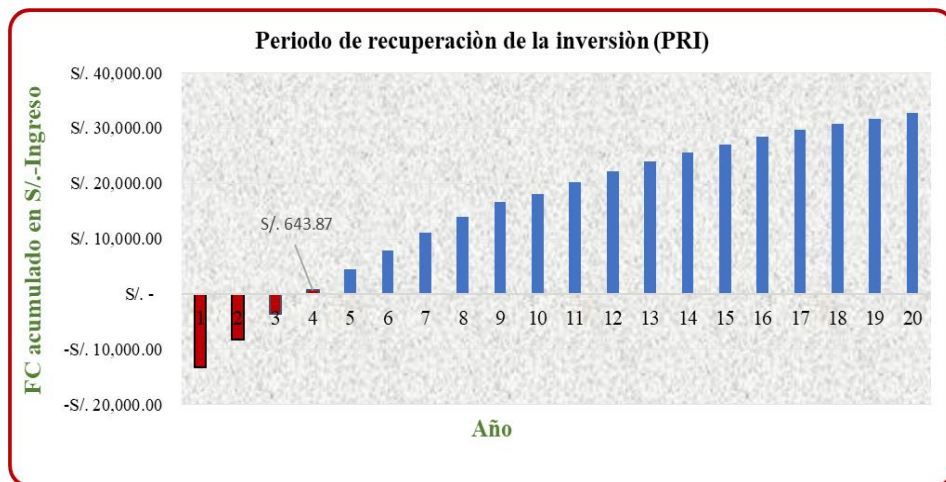
Tabla 37. Flujo de caja y evaluación económica

| AÑO | INVERSIÓN INICIAL | C. OPER. Y MTT0 | REPOS. DE BOMBA | INGRESOS | FLUJO DE CAJA | FC ACTUAL | FC ACUMULADO |
|-----|-------------------|-----------------|-----------------|--------------|----------------|----------------|----------------|
| 0 | S/. 18,888.57 | | | | -S/. 18,888.57 | -S/. 18,888.57 | -S/. 18,888.57 |
| 1 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 5,601.74 | -S/. 13,286.83 |
| 2 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 5,092.49 | -S/. 8,194.34 |
| 3 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 4,629.54 | -S/. 3,564.80 |
| 4 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 4,208.67 | S/. 643.87 |
| 5 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 3,826.06 | S/. 4,469.94 |
| 6 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 3,478.24 | S/. 7,948.18 |
| 7 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 3,162.04 | S/. 11,110.21 |
| 8 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 2,874.58 | S/. 13,984.79 |
| 9 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 2,613.25 | S/. 16,598.04 |
| 10 | | S/. 188.89 | S/. 2,359.81 | S/. 6,350.80 | S/. 3,802.10 | S/. 1,465.88 | S/. 18,063.92 |
| 11 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 2,159.71 | S/. 20,223.63 |
| 12 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 1,963.38 | S/. 22,187.01 |
| 13 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 1,784.89 | S/. 23,971.90 |
| 14 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 1,622.62 | S/. 25,594.52 |
| 15 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 1,475.11 | S/. 27,069.63 |
| 16 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 1,341.01 | S/. 28,410.65 |
| 17 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 1,219.10 | S/. 29,629.75 |
| 18 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 1,108.27 | S/. 30,738.02 |
| 19 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 1,007.52 | S/. 31,745.55 |
| 20 | | S/. 188.89 | | S/. 6,350.80 | S/. 6,161.91 | S/. 915.93 | S/. 32,661.47 |

Fuente: Elaboración Propia

Teniendo en cuenta la vida útil en años que tendría dicho proyecto, así como el flujo de caja acumulado, se representa de manera gráfica en la figura 48 el periodo de recuperación de la inversión dado que para el cuarto año en adelante la inversión se verá reflejada de manera ascendente por lo que el agricultor estaría generando beneficio consigo mismo.

Figura 48. Representación gráfica del PRI



Fuente: Elaboración Propia

Por lo tanto, según lo calculado en Microsoft Excel la inversión se podría considerar como viable debido a que el valor actual neto es de S/. 32,661.47 con una rentabilidad del 20% superando a la tasa de interés dada del 10%, así como también el periodo de recuperación de la inversión se da a partir del cuarto año.

Tabla 38. Indicadores económicos VAN, TIR y Payback

| | |
|---------------------|---------------|
| VAN | S/. 32,661.47 |
| TIR | 20% |
| PAYBACK(PRI) | 3.83 |

Fuente: Elaboración propia

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a la investigación realizada se llega a las siguientes conclusiones:

- En función a la encuesta realizada a los agricultores del centro poblado Batangrande indican un 36 % que siembran el cultivo de maíz como el más representativo de la zona, seguido del cultivo de yuca con tan solo un 28% y entre otros cultivos. En relación a la textura de suelo es de tipo arcilla según lo analizado para diferentes partes del terreno mediante la técnica manual. En consecuencia, el 77.78% manifiestan que el tiempo en regar una hectárea de cultivo lo hacen en 6 horas con los sistemas de bombeo alimentados con energías fósiles (Diesel).
- Para lograr determinar la evapotranspiración de referencia se tuvo en cuenta el método de Penam Monteith para el supuesto hipotético cultivo de pasto para el mes de febrero con mayor temperatura dando como resultado de 5.58mm/día. Asimismo, con ayuda del software FAO CROPWAT 8.0 se determinó el promedio anual de la evapotranspiración de referencia de 5.59mm/día con la finalidad de tener un mejor resultado, un coeficiente del cultivo medio de 1,15 obteniéndose una demanda hídrica por hectárea para el cultivo de maíz de 64,29m³/día.
- Se calculo y se seleccionó la bomba de marca Pedrollo con potencia de 1.5kW (2HP), por lo que permitirá almacenar dicho volumen en un reservorio con una capacidad de 8000L, las horas solar pico por día para el mes de febrero como el más crítico es de 4 horas y 34 minutos, la potencia del conjunto de módulos fotovoltaicos es de 2720Wp y con una energía media producida de 11.163 kWh, además se calculó el inversor de marca Hoberctek 1500W según los parámetros de voltaje de salida del conjunto de módulos fotovoltaicos.
- Mediante el software PVsyst se dimensionó el sistema de bombeo, teniendo en cuenta los equipos antes mencionados de la bomba, el panel fotovoltaico y el inversor cuyo resultado de agua bombeada anual es de 3067m³ trabajando la bomba al 57% con una energía incidente promedio anual de 5.909kWh/m²/día. Además, cuyas pérdidas para efectos de simulación considerando objetos externos se da a partir de las 3pm con 2.2%.
- Por último, el costo energético en el cultivo de maíz que podría tener el agricultor anualmente a través de las motobombas es de S/. 5580.80 en comparación a un sistema de bombeo con energía solar de tan solo S/.188.89 en cuanto a operación y mantenimiento debido a que la fuente energética que utiliza es la luz solar generando un ahorro considerable. Asimismo, cuyos indicadores económicos resultan viable y rentable obteniendo un VAN de S/. 32,661.47 y TIR de 20% con un periodo de recuperación de la inversión a partir del cuarto año.

VI. RECOMENDACIONES

De acuerdo al trabajo de investigación realizado se recomienda utilizar un seguimiento solar para futuros estudios el cual permita captar mejor la radiación solar durante el día. Es decir, permitiendo recorrer la trayectoria del sol logrando de esta manera generar mayor potencia en los módulos fotovoltaicos.

Por otro lado, se recomienda que se realicen estudios experimentales permitiendo que la estructura el cual se encuentre el panel apoyado gire en sus tres dimensiones con la utilización de un PLC y dos motores unidos mediante una cadena que permita verificar en qué medida optimiza las pérdidas de energía en comparación a una estructura fija instalada.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, «Afrontar la escasez de agua,» 2016.
- [2] O. Marquez Fernandez y M. Ortega Marquez, «Energías Renovables,» *Percepción social del servicio de agua potable en el municipio de Xalapa, Veracruz*, pp. 4-5, 2017.
- [3] Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego, «Autoridad Nacional del Agua,» 2015. [En línea]. Available: <https://n9.cl/qskae>. [Último acceso: 1 Octubre 2020].
- [4] J. L. Farfan y W. A. Campos, «Energía Solar Fotovoltaica para la explotación de agua subterránea,» *Revista de investigación y cultura*, vol. VIII, n° 1, pp. 3-4, 2019.
- [5] M. Krishnamoorthi y S. Kaviyarasu, «"SOLAR PUMP WITH SOLAR PANEL TILTING ARRANGEMENT",» *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. III, p. 2, Mayo 2015.
- [6] S. Carlos, D. Funes, L. Scatolón, Yanela, V. Longo, Méjica, A. Paula, P. Nogal y P. Ramiro, «"DISEÑO DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR FOTOVOLTAICO PARA RIEGO POR GOTEO EN VIÑEDOS",» p. 1.
- [7] R. Valer, L. T. A. Melendez, M. C. Fedrizzi, R. Zilles y A. M. d. Moraes, «Variable-speed drives in photovoltaic pumping systems for irrigation in,» *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, pp. 2-4, 2016.
- [8] W. R. Pozo Timana, «Generación de energía fotovoltaica y su utilización en sistemas de bombeo para riego tecnificado, aplicando la guía PMBOK,» Piura, 2019.
- [9] C. P. Asmat Caceres, «"DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO EN EL DISTRITO DE YAURISQUE- CUSCO",» LIMA, 2018.
- [10] R. R.E, L.Cely, G. A, G. A y R. R, «Diseño estructural de transporte para sistema de bombeo portátil activado con energía solar fotovoltaica para el departamento de Boyaca.,» *Revista Ambiental Agua, Aire y Suelo*, vol. II, pp. 2-3, 2018.
- [11] Laboratories, Sandia National, «Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica,» [En línea]. Available: <https://es.slideshare.net/CristianSalas9/guia-bombeo-aguaenergiafotovoltaica>. [Último acceso: 19 Abril 2021].
- [12] A. Ghoneim, «"Design optimization of photovoltaic powered",» *Energy Conversion and Management*, pp. 4-6, 2005.
- [13] L. D. Campuzano Bautista, C. Bautista y C. Javier, «Estudio de perfil de un sistema fotovoltaico para bombeo de agua en la comunidad de San Antonio del del municipio Dirimaba,» Managua, 2016.
- [14] B. F. Gugunto, «Design and Analysis of Solar Powered Multilevel Inverter Fed Induction Motor Drive for Water Pumping Application,» Ethiopia, 2020.
- [15] S. Kumar y S. Kumar, «"SOLAR PV POWERED WATER PUMPING SYSTEM USING DC MOTOR DRIVE: A CRITICAL REVIEW",» *International Journal of Technical Research & Science*, vol. V, pp. 5-6, 2020.

- [16] A. Allouhi, B. M.S, H. H.El, A. Benzakour, K. T. y J. A., «PV water pumping systems for domestic uses in remote areas: Sizing process, simulation and economic evaluation,» *Renewable Energy*, pp. 798-812, 2019.
- [17] R. Arnesano, «Small community water supplies in the Isiolo County, Kenya,» Torino To, 2020.
- [18] «Wikipedia,» 13 Abril 2021. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Photovoltaic_system.
- [19] A. Alshamani, «Design and Modelling of a Large-Scale Solar Water Pumping System for Irrigation in Saudi Arabia,» Newfoundland and Labrador, 2018.
- [20] «Delta Volt,» [En línea]. Available: <https://deltavolt.pe/energia-renovable/bombeo-solar>. [Último acceso: 22 Abril 2021].
- [21] A. Coaquira y P. C. P. Joel Osmar, «“Diseño y cálculo de un un sistema de bombeo de agua”,» Puno, 2015.
- [22] H. M. Rawson y H. Gómez Macpherson, Trigo Regado, Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2001, pp. 5-10.
- [23] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes y M. Smith, Evapotranspiracion de cultivo, Roma, 2006, pp. 22-24.
- [24] Chikuni y Edward, «Program-assisted sizing of a photovoltaic-powered,» vol. XXIII, nº 1, pp. 3-5, Febrero 2012.
- [25] O. Planas, «Energía Solar,» 4 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://acortar.link/2gu7gd>. [Último acceso: 13 Septiembre 2021].
- [26] P. Lamigueiro y Oscar, Energía Solar Fotovoltaica, 2015, pp. 86-89.
- [27] Ministerio de Energía y Minas, «Especificaciones Técnicas y Ensayos de los componentes de Sistemas Fotovoltaicos Domésticos hasta 500Wp,» Diario Oficial El Peruano, Lima, 2005.
- [28] F. Barquin Vidal, «Análisis de la ponderacion de los diferentes parametros en la produccion de las instalaciones fotovoltaicas segun PVsyst,» Sevilla, 2019.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Encuesta del proyecto



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA

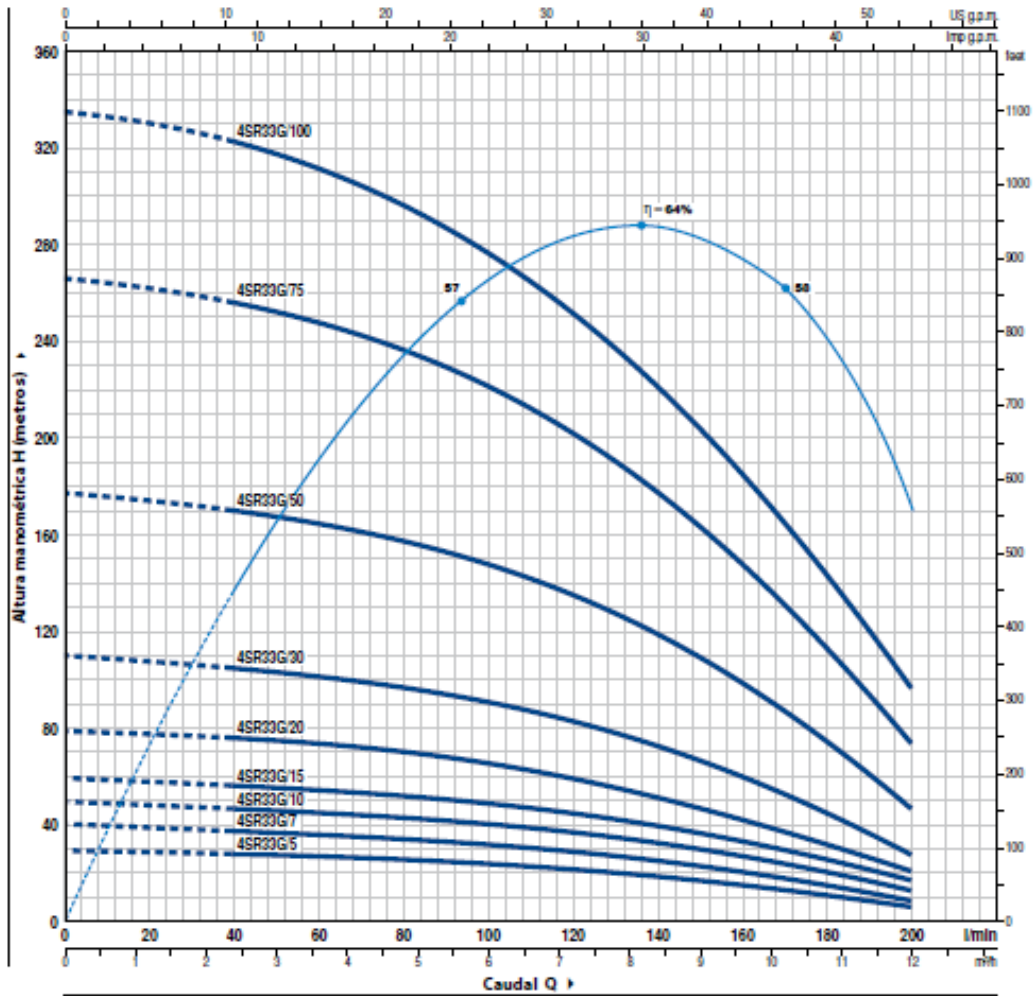
| PROYECTO | DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO CON ENERGÍA SOLAR PARA REDUCIR EL COSTO ENERGÉTICO EN EL CULTIVO DE MAÍZ, EN BATANGRANDE, LAMBAYEQUE | | | | | | | | | | | | |
|---|--|-------------------------------------|--------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|---------------------|-------------------------------------|--------------|---|--------|---|---------|
| Objetivo: | | | | | | | | | | | | | |
| Diagnóstico de la situación actual de los cultivos y de los sistemas de bombeo que utilizan actualmente en el centro poblado de Batangrande - Lambayeque. | | | | | | | | | | | | | |
| 1. Datos generales del encuestado: | | | | | | | | | | | | | |
| 1.1 Nombre del agricultor | Cesar Apóstegui Diaz | | | | | | | | | | | | |
| 1.2 Edad | 47 años | | | | | | | | | | | | |
| 2. Instrucciones | | | | | | | | | | | | | |
| Marque con una (x), según estime conveniente a cada pregunta planteada, dado que es importante que los datos que nos brinde sean veraces para fines del diseño del sistema de bombeo solar. | | | | | | | | | | | | | |
| 3. Cuestionario | | | | | | | | | | | | | |
| 3.1 ¿Cuántas hectáreas de terreno posee? | | | | | | | | | | | | | |
| a | De 1 a 3 hectáreas | <input checked="" type="checkbox"/> | De 3 a 5 hectáreas | c | De 5 a 10 hectáreas | d | Mas de 10 hectáreas | | | | | | |
| 3.2 ¿Cuánto de gasto genera en combustible para regar una hectárea de cultivo? | | | | | | | | | | | | | |
| a | De 60 a 70 soles | b | De 70 a 80 soles | <input checked="" type="checkbox"/> | De 80 a 90 soles | d | Mas de 90 soles | | | | | | |
| 3.3 ¿Al mes cuanto cree que es su gasto en la compra de combustible? | | | | | | | | | | | | | |
| a | Menos de 200 soles | <input checked="" type="checkbox"/> | De 200 a 500 soles | c | Mas de 500 soles | | | | | | | | |
| 3.4 ¿Qué tiempo emplea en regar una hectárea de cultivo? | | | | | | | | | | | | | |
| a | 2 horas | b | 3 horas | c | 4 horas | d | 5 horas | <input checked="" type="checkbox"/> | 6 horas | | | | |
| 3.5 El sistema de bombeo que utiliza actualmente es a través de: | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Motobombas | | | b | Electrobombas | | | | | | | | |
| 3.6 ¿Qué cultivos siembra con mayor frecuencia? | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Maíz | b | Yuca | c | Lenteja | d | Frejol | e | Arroz | f | Camote | g | Cebolla |
| 3.7 ¿Cada que tiempo riega su cultivo de maíz? | | | | | | | | | | | | | |
| a | Cada 4 días | b | Cada 6 días | c | Cada 8 días | <input checked="" type="checkbox"/> | Cada 10 días | e | Cada 15 días | | | | |
| 3.8 En el caso de arroz. ¿Cuánto estima su gasto en combustible para regar una hectárea? | | | | | | | | | | | | | |
| a | Menos de 200 soles | <input checked="" type="checkbox"/> | De 200 a 500 soles | c | Mas de 500 soles | | | | | | | | |
| 3.9 ¿Considera importante la implementación de un sistema de bombeo con energía solar para su uso agrícola? | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Si | | | b | No | | | | | | | | |
| 3.10 ¿Cree usted que con el nuevo sistema ahorrara gran parte de su economía? | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Si | | | b | No | | | | | | | | |
| 3.11 ¿Cree usted que la mejor forma de extraer agua es a través de energía solar? | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Si | | | b | No | | | | | | | | |
| 3.12 ¿Estaría usted en las condiciones de utilizar nuevas tecnologías que permita aumentar su producción? | | | | | | | | | | | | | |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Si | | | b | No | | | | | | | | |

Anexo 2: Curvas y datos de prestaciones de bombas Pedrollo

4SR33G

CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES

60 Hz n= 3450 rpm



| MODELO | | POTENCIA (P ₂) | | Q | H metros | | | | | | | | | | | |
|------------|------------|----------------------------|------|----------|-------------------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|----|--|
| Monofásica | Trifásica | kW | HP | | m ³ /h | 0 | 2.4 | 3.6 | 4.8 | 6 | 7.2 | 8.4 | 9.6 | 10.8 | 12 | |
| | | | | l/min | 0 | 40 | 60 | 80 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 | 200 | | |
| 4SR33Gm/5 | 4SR33G/5 | 0.37 | 0.50 | H metros | 30 | 28 | 27 | 25 | 23.5 | 21.5 | 19 | 16 | 12.5 | 7 | | |
| 4SR33Gm/7 | 4SR33G/7 | 0.55 | 0.75 | | 41 | 38 | 36 | 34.5 | 32.5 | 30 | 25.5 | 21.5 | 16.5 | 10 | | |
| 4SR33Gm/10 | 4SR33G/10 | 0.75 | 1 | | 50 | 47 | 45 | 43 | 41.5 | 38 | 33 | 28 | 21 | 14 | | |
| 4SR33Gm/15 | 4SR33G/15 | 1.1 | 1.5 | | 60 | 56 | 54 | 51.5 | 49 | 45 | 40 | 33 | 25 | 17 | | |
| 4SR33Gm/20 | 4SR33G/20 | 1.5 | 2 | | 79 | 76 | 73 | 70.5 | 65.5 | 59.5 | 52 | 43 | 33 | 22 | | |
| 4SR33Gm/30 | 4SR33G/30 | 2.2 | 3 | | 110 | 105 | 101 | 97 | 90 | 83 | 73 | 60 | 46 | 29 | | |
| - | 4SR33G/50 | 3.7 | 5 | | 177 | 170 | 165 | 158 | 147 | 135 | 118 | 98 | 76 | 48 | | |
| - | 4SR33G/75 | 5.5 | 7.5 | | 265 | 257 | 248 | 236 | 222 | 204 | 179 | 148 | 112 | 75 | | |
| - | 4SR33G/100 | 7.5 | 10 | | 335 | 322 | 312 | 297 | 280 | 254 | 224 | 185 | 142 | 96 | | |

Q = Caudal H = Altura manométrica total

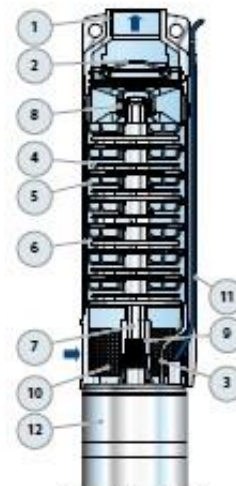
Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

Anexo 3: Características constructivas y dimensiones de la bomba sumergible

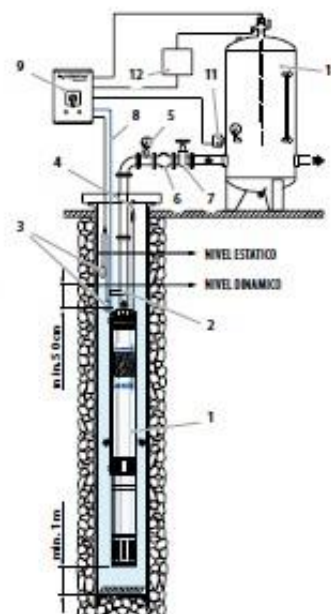
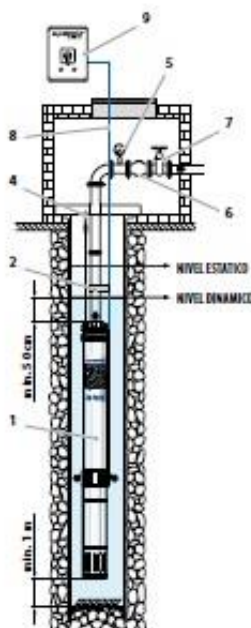
4SR

PEDROLLO
the spring of life

| POS. COMPONENTE | CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS |
|------------------------|--|
| 1 CUERPO DE IMPULSION | Acero inoxidable micro fundido AISI 304 dotado de boca de impulsión roscada NPT ANSI B 1.20.1 |
| 2 VALVULA DE RETENCION | Acero inoxidable AISI 304 |
| 3 SOPORTE | Acero inoxidable AISI 304, dimensiones según norma NEMA |
| 4 RODETE | Lexan 141-R |
| 5 DIFUSOR | Noryl FE1520PW |
| 6 CAJA PORTA DIFUSOR | Acero inoxidable AISI 304 |
| 7 EJE BOMBA | Acero inoxidable AISI 304 |
| 8 RODAMIENTOS BOMBA | Parte fija en tecnopolimero especial y parte rotatoria en acero inoxidable AISI 316 revestida de óxido de cromo para resistir a la arena |
| 9 CASQUILLO | Acero inoxidable AISI 316L hasta 2.2 kW; Acero inoxidable AISI 304 para potencias superiores |
| 10 FILTRO | Acero inoxidable AISI 304 |
| 11 PROTECTOR CABLE | Acero inoxidable AISI 304 |
| 12 MOTOR 4" | 4PD = motor en baño de aceite "PEDROLLO" |

**EJEMPLO DE INSTALACION**

- 1) Electrobomba sumergida
- 2) Cintas para fijar el cable de alimentación
- 3) Sondas control nivel contra la marcha en seco
- 4) Soporte y cable de anclaje
- 5) Manómetro
- 6) Válvula de retención
- 7) Válvula de compuerta del caudal
- 8) Cable de alimentación eléctrica
- 9) Cuadro eléctrico
- 10) Depósito autoclave
- 11) Presóstato
- 12) Electro-válvula/electro-compresor

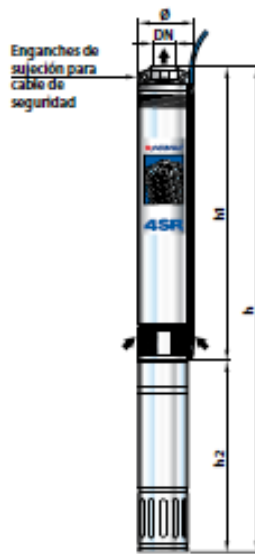


- La instalación de las electrobombas **4SR** es apta para pozos con un diámetro no inferior a 4" (100 mm). La electrobomba sumergida se baja al pozo mediante el tubo de impulsión hasta una profundidad tal que garantice su total inmersión (mín. 50 cm y por lo menos 1 metro desde el fondo del pozo) incluso mientras funciona, cuando se aprecia una disminución del líquido en el pozo. Cuando la electrobomba sumergida se instala en un pozo, se aconseja asegurarla con un cable de acero inoxidable para conectarla a los específicos enganches de la boca de impulsión.

4SR-PD

Electrobombas sumergidas con motor 4PD "PEDROLLO"


DIMENSIONES Y PESOS



| MODELO | BOCA | N° | DIMENSIONES mm | | | | kg |
|----------------|--------|--------|----------------|------|-----|------|------|
| Monofásica | DN | ETAPAS | Ø | h1 | h2 | h | 1~ |
| 4SR7G/7 - PD | 1 1/2" | 16 | 98 | 455 | 356 | 811 | 13.9 |
| 4SR7G/10 - PD | | 21 | | 572 | 371 | 943 | 16.8 |
| 4SR7G/15 - PD | | 27 | | 684 | 386 | 1070 | 19.1 |
| 4SR7G/20 - PD | | 34 | | 913 | 436 | 1349 | 22.5 |
| 4SR7G/30 - PD | | 42 | | 1060 | 481 | 1541 | 27.3 |
| 4SR10G/5 - PD | | 7 | | 290 | 331 | 621 | 10.8 |
| 4SR10G/7 - PD | | 11 | | 364 | 356 | 720 | 12.9 |
| 4SR10G/10 - PD | | 14 | | 419 | 371 | 790 | 15.2 |
| 4SR10G/15 - PD | | 18 | | 517 | 386 | 903 | 17.2 |
| 4SR10G/20 - PD | | 24 | | 628 | 436 | 1064 | 18.9 |
| 4SR10G/30 - PD | | 30 | | 764 | 481 | 1245 | 23.5 |
| 4SR13G/7 - PD | | 9 | | 327 | 356 | 683 | 12.5 |
| 4SR13G/10 - PD | | 11 | | 364 | 371 | 735 | 14.6 |
| 4SR13G/15 - PD | | 15 | | 437 | 386 | 823 | 16.6 |
| 4SR13G/20 - PD | | 20 | | 554 | 436 | 990 | 18.7 |
| 4SR13G/30 - PD | | 27 | | 683 | 481 | 1164 | 22.6 |
| 4SR25G/5 - PD | | 5 | | 270 | 331 | 601 | 10.5 |
| 4SR25G/7 - PD | | 6 | | 292 | 356 | 648 | 12.1 |
| 4SR25G/10 - PD | | 7 | | 314 | 371 | 685 | 14.0 |
| 4SR25G/15 - PD | | 10 | | 380 | 386 | 766 | 15.8 |
| 4SR25G/20 - PD | | 13 | | 446 | 436 | 882 | 16.9 |
| 4SR25G/30 - PD | | 17 | | 558 | 481 | 1039 | 21.2 |
| 4SR33G/5 - PD | | 3 | | 251 | 331 | 582 | 10.8 |
| 4SR33G/7 - PD | | 4 | | 281 | 356 | 637 | 12.2 |
| 4SR33G/10 - PD | | 5 | | 311 | 371 | 682 | 14.1 |
| 4SR33G/15 - PD | | 6 | | 341 | 386 | 727 | 15.3 |
| 4SR33G/20 - PD | | 8 | | 401 | 436 | 837 | 16.2 |
| 4SR33G/30 - PD | | 11 | | 516 | 481 | 997 | 20.4 |
| 4SR45G/10 - PD | | 3 | | 251 | 371 | 622 | 13.5 |
| 4SR45G/15 - PD | | 4 | | 281 | 386 | 667 | 14.8 |
| 4SR45G/20 - PD | | 6 | | 341 | 436 | 777 | 15.7 |
| 4SR45G/30 - PD | | 8 | | 401 | 481 | 882 | 19.4 |
| 4SR60G/15 - PD | | 4 | | 365 | 386 | 751 | 15.3 |
| 4SR60G/20 - PD | | 5 | | 416 | 436 | 852 | 16.1 |
| 4SR60G/30 - PD | | 7 | | 518 | 481 | 999 | 20.2 |
| 4SR75G/15 - PD | | 3 | | 314 | 386 | 700 | 14.9 |
| 4SR75G/20 - PD | | 4 | | 365 | 436 | 801 | 15.7 |
| 4SR75G/30 - PD | | 5 | | 416 | 481 | 897 | 19.3 |
| 4SR90G/20 - PD | | 3 | | 317 | 436 | 753 | 15.4 |
| 4SR90G/30 - PD | | 4 | | 369 | 481 | 850 | 19.0 |

| MODELO | BOCA | N° | DIMENSIONES mm | | | | kg |
|-----------------|--------|--------|----------------|------|------|------|------|
| Trifásica | DN | ETAPAS | Ø | h1 | h2 | h | 3~ |
| 4SR7G/7 - PD | 1 1/2" | 16 | 98 | 455 | 331 | 786 | 12.6 |
| 4SR7G/10 - PD | | 21 | | 572 | 356 | 928 | 15.1 |
| 4SR7G/15 - PD | | 27 | | 684 | 371 | 1055 | 17.2 |
| 4SR7G/20 - PD | | 34 | | 913 | 386 | 1299 | 21.0 |
| 4SR7G/30 - PD | | 42 | | 1060 | 436 | 1496 | 24.1 |
| 4SR10G/5 - PD | | 7 | | 290 | 311 | 601 | 10.1 |
| 4SR10G/7 - PD | | 11 | | 364 | 331 | 695 | 11.6 |
| 4SR10G/10 - PD | | 14 | | 419 | 356 | 775 | 13.5 |
| 4SR10G/15 - PD | | 18 | | 517 | 371 | 888 | 15.3 |
| 4SR10G/20 - PD | | 24 | | 628 | 386 | 1014 | 17.4 |
| 4SR10G/30 - PD | | 30 | | 764 | 436 | 1200 | 20.3 |
| 4SR10G/50 - PD | | 46 | | 1134 | 610 | 1744 | 33.3 |
| 4SR13G/7 - PD | | 9 | | 327 | 331 | 658 | 11.2 |
| 4SR13G/10 - PD | | 11 | | 364 | 356 | 720 | 12.9 |
| 4SR13G/15 - PD | | 15 | | 437 | 371 | 808 | 14.7 |
| 4SR13G/20 - PD | | 20 | | 554 | 386 | 940 | 17.2 |
| 4SR13G/30 - PD | | 27 | | 683 | 436 | 1119 | 19.4 |
| 4SR13G/50 - PD | | 42 | | 1060 | 610 | 1670 | 32.5 |
| 4SR25G/5 - PD | | 5 | | 270 | 311 | 581 | 9.8 |
| 4SR25G/7 - PD | | 6 | | 292 | 331 | 623 | 10.8 |
| 4SR25G/10 - PD | | 7 | | 314 | 356 | 670 | 12.3 |
| 4SR25G/15 - PD | | 10 | | 380 | 371 | 751 | 13.9 |
| 4SR25G/20 - PD | | 13 | | 446 | 386 | 832 | 15.4 |
| 4SR25G/30 - PD | | 17 | | 558 | 436 | 994 | 18.0 |
| 4SR25G/50 - PD | | 28 | | 800 | 610 | 1410 | 28.9 |
| 4SR25G/75 - PD | | 42 | | 1207 | 700 | 1907 | 38.6 |
| 4SR25G/100 - PD | | 54 | | 1520 | 800 | 2320 | 46.8 |
| 4SR33G/5 - PD | | 3 | | 251 | 311 | 562 | 10.1 |
| 4SR33G/7 - PD | | 4 | | 281 | 331 | 612 | 10.9 |
| 4SR33G/10 - PD | | 5 | | 311 | 356 | 667 | 12.4 |
| 4SR33G/15 - PD | | 6 | | 341 | 371 | 712 | 13.4 |
| 4SR33G/20 - PD | | 8 | | 401 | 386 | 787 | 14.7 |
| 4SR33G/30 - PD | | 11 | | 516 | 436 | 952 | 17.2 |
| 4SR33G/50 - PD | | 18 | | 726 | 610 | 1336 | 27.6 |
| 4SR33G/75 - PD | | 27 | | 1019 | 700 | 1719 | 35.3 |
| 4SR33G/100 - PD | | 34 | | 1305 | 800 | 2105 | 44.7 |
| 4SR45G/10 - PD | | 3 | | 251 | 356 | 607 | 11.8 |
| 4SR45G/15 - PD | | 4 | | 281 | 371 | 652 | 12.9 |
| 4SR45G/20 - PD | | 6 | | 341 | 386 | 727 | 14.2 |
| 4SR45G/30 - PD | | 8 | | 401 | 436 | 837 | 16.2 |
| 4SR45G/50 - PD | | 13 | | 576 | 610 | 1186 | 26.2 |
| 4SR45G/75 - PD | | 21 | | 840 | 700 | 1540 | 33.3 |
| 4SR45G/100 - PD | 27 | 1019 | 800 | 1819 | 39.6 | | |
| 4SR60G/15 - PD | 4 | 365 | 371 | 736 | 13.4 | | |
| 4SR60G/20 - PD | 5 | 416 | 386 | 802 | 14.6 | | |
| 4SR60G/30 - PD | 7 | 518 | 436 | 954 | 17.0 | | |
| 4SR60G/50 - PD | 12 | 810 | 610 | 1420 | 28.1 | | |
| 4SR60G/75 - PD | 18 | 1154 | 700 | 1854 | 35.7 | | |
| 4SR60G/100 - PD | 25 | 1548 | 800 | 2348 | 44.1 | | |
| 4SR75G/15 - PD | 3 | 314 | 371 | 685 | 13.0 | | |
| 4SR75G/20 - PD | 4 | 365 | 386 | 751 | 14.2 | | |
| 4SR75G/30 - PD | 5 | 416 | 436 | 852 | 16.1 | | |
| 4SR75G/50 - PD | 9 | 658 | 610 | 1268 | 26.7 | | |
| 4SR75G/75 - PD | 14 | 950 | 700 | 1650 | 33.6 | | |
| 4SR75G/100 - PD | 19 | 1206 | 800 | 2006 | 40.2 | | |
| 4SR90G/20 - PD | 3 | 317 | 386 | 703 | 13.9 | | |
| 4SR90G/30 - PD | 4 | 369 | 436 | 805 | 15.8 | | |
| 4SR90G/50 - PD | 7 | 525 | 610 | 1135 | 25.4 | | |
| 4SR90G/75 - PD | 11 | 770 | 700 | 1470 | 32.2 | | |
| 4SR90G/100 - PD | 15 | 1016 | 800 | 1816 | 38.5 | | |

Anexo 4: Ficha técnica del panel policristalino Era Solar 340W




ERA SOLAR

ESPMC
Polycrystalline Solar Module

KEY FEATURES

- 5 Busbar Solar Cell:** 5 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.
- High Power Output:** Polycrystalline 72-cell module achieves a power output up to 340Wp.
- Low-light Performance:** Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.
- Reliable Warranty:** 10 years' product warranty. Power warranty of 90% up to 10 years and 80% up to 25 years.

+ WATTS POSITIVE TOLERANCE **12** YEARS PRODUCT WARRANTY **10** YEARS PERFORMANCE GUARANTEE 90% **25** YEARS PERFORMANCE GUARANTEE 80%

19/  Zhejiang ERA Solar Technology Co., Ltd.
www.erasolar.com.cn

ERA SOLAR
WORLDWIDE

POLYCRYSTALLINE, 72-CELL SERIES

ELECTRICAL PERFORMANCE

| | |
|---|--|
| Module type: ESPMC | 340 |
| Maximum Power(Wp) | 340W |
| Open circuit Voltage(Voc) | 46.4V |
| Short circuit Current(Isc) | 9.45A |
| Maximum Power Voltage(Vmp) | 38.5V |
| Maximum Power Current(Imp) | 8.84A |
| Module efficiency | 17.5% |
| Maximum Series Fuse | 15A |
| Watts positive tolerance | 0~+3% |
| Number of Diode | 3 |
| Standard Test Conditions | 1000W/m ² , 25°C, AM1.5 |
| Maximum System Voltage | 1000VDC |
| Temperature-Coefficient Isc | +0.0858%/°C |
| Temperature-Coefficient Voc | -0.2950%/°C |
| Temperature-Coefficient Pmp | -0.3800%/°C |
| Normal Operating Cell Temperature | -40°C ~ +85°C |
| Load Capacity for the cover of the module (glass) | 5400Pa (IEC61215/snow) |
| Load Capacity for the front & back of the module | 2400Pa (IEC61215/wind) |
| Product Certificate | TUV/IEC 61215, IEC 61730, CE, RCHS, PID Resistant, INMETRO |
| Company Certificate | ISO9001, ISO14001, ISO18001 |

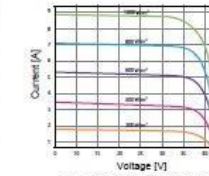
Mechanical Characteristics

| | |
|---|---|
| Front cover (material / thickness) | low-iron tempered glass / 3.2mm |
| Backsheet (color) | TPT in white |
| Cell (quantity / material / dimensions) | 72 / Polycrystalline silicon / 156.75x156.75mm |
| Frame (material / color) | aluminum hollow-chamber frame on each side anodized aluminum alloy / silver |
| Junction box (protection degree) | > IP68 |
| Cables & Plug connectors | 2x900mm / 4mm ² & MC4 compatible |
| Module Dimensions (L / W / H) | 1956x992x40mm |
| Module Weight | 20.9kg |
| Application class | Class A |
| Electrical protection class | Class II |
| Fire safety class | Class C |

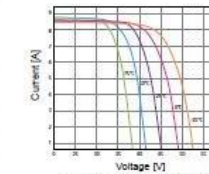
Packing

| Container Size | Units/Pallet (PCS) | Weight/Pallet (KG) | Pallet Measurement (mm) | Units/Container (PCS) |
|----------------|--------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|
| 20GP | 26 | 570 | 2000x1130x1120 | 260 |
| 40HQ | 26 | 570 | 2000x1130x1120 | 627 |
| | 31 | 676 | 2000x1130x1340 | |

CURRENT-VOLTAGE CURVE:

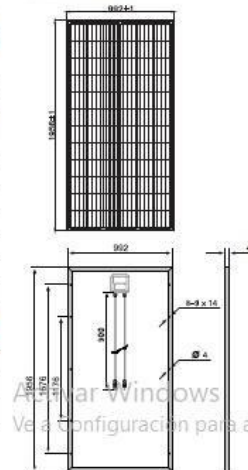


Module characteristics at constant module temperatures (25°C) and different levels of irradiance.



Module characteristics at different module temperatures and constant module irradiance (1.000 W/m²).

MODULE DIMENSION:



ERA SOLAR and the ERA SOLAR logo are trademarks or registered trademarks of ERA SOLAR Corporation.
© October 2019 ERA SOLAR Corporation. All rights reserved. Specifications included in the datasheet are subject to change without notice.

Anexo 5: Ficha técnica del inversor HSPL1500HA/BX ,1500W

HOBER TECHNOLOGY CO.,LTD

PRODUCT MANUAL

Specification Parameter



Features:

- ◆ Build in the DC-DC Booster, Best Configuration of Solar Panel.
- ◆ Second Generation of MPPT Algorithm, Automatic detecting the MPPT Voltage
- ◆ Non-parameters to setting.
- ◆ One Key for Startup/ Stop
- ◆ Support adjusting the output water flow
- ◆ Fast and simple installation
- ◆ Long life expectancy and proven in service record.
- ◆ No need battery/water storage replaces battery power storage)
- ◆ LED Display
- ◆ Well and tank's water level detecting, Optional of pressure sensor
- ◆ RS485
- ◆ GPRS Control Optional, With LCD Display
- ◆ Cooling: Fan

Dimension(W*D*H mm)/ Weight(KG):

- ◆ 480*300*250 , 10 (KG)

Certificates:

CE,EMC,ULV3
EN 62109-1:2010, EN 62109-2:2011, EN 61000-4-3:2007(A1:2011), EN 61000-6-1:2007

| Hober Solar Pumping Inverter Model | | HSPL750LA/BX | HSPL750HA/BX | HSPL1500HA/BX |
|------------------------------------|-----------------------------------|---|----------------------------------|-----------------------------------|
| DC input | Rated Power(W) | 750W | 750W | 1500W |
| | Min DC Input Voltage(V) | 55v | 55v | 55v |
| | Max DC Input voltage(V) | 95v | 95v | 95v |
| | Recommend DC Input Voltage(V) | 62.5-90V | 62.5-90V | 62.5-90V |
| | MPPT Efficiency | >99% | >99% | >99% |
| AC output | Rated Power AC Voltage(V) 3-PH | 220v | 380v | 380v |
| | Rated Power AC Current(A) | 5 | 3 | 5.8 |
| | Inverter Efficiency | 92% | 92% | 92% |
| | Output frequency(Hz) | 0-50/60 | 0-50/60 | 0-50/60 |
| Water level sensor(water well) | | Yes | Yes | Yes |
| Water level sensor(water tank) | | Yes | Yes | Yes |
| AC Switcher | | / | / | / |
| GPRS Monitor&Controller | | Optional | Optional | Optional |
| Protection type | | IP54 DC Input Low/Over Voltage DC Input Anti-Reverse Output Overload, Output Short circuit Over Temperature Sensor of Tank/Well water Empty /Full Lightning | | |
| Operating environment: | Noise(1 m) | <50dB | | |
| | Operating environment temperature | -10 to 50 Degree | | |
| | Humidity | 15%~95%RH | | |
| | Using al titude(m) | <4200Altitude higher than 1000m pls consider to use less loads) | | |
| Others | | Prohibiting the installation location: direct sunlight, thick dust, corrosive gas or oil mist, flammable gas, liquid etc | | |
| Adapted Pump | HP | ≤1HP | ≤1HP | ≤2HP |
| | Rated Power(W) | ≤750W | ≤750W | ≤1500W |
| | Rated Frequency (Hz) | 0-50/60 | 0-50/60 | 0-50/60 |
| | Rated voltage(Vac) | AC-220V -3 phase | AC-380V -3 phase | AC-380V -3 phase |
| Solar Panel | Installation watts | 1.8~2.8mss AC 3 phase pump power | 1.8~2.8mss AC 3 phase pump power | 1.5~1.85mss AC 3 phase pump power |

www.hobertek.com

-4-

-5-

www.hobertek.com

Anexo 6: Características técnicas del fusible Holder YRPV-40A

Technical Data of DC Fuse Holder 40A

| | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| Model Name | YRPV-40 |
| Rated Voltage | DC 1500V |
| Rated Current | 40A |
| Size of in-line Fuse | 14×51mm (Can be replaced.) |
| Range Ampere of Fuse | 10A,12A,15A,20A,25A,32A,40A |
| Rated breaking capacity | 33kA |
| Connection | 2.5-10mm ² |
| Operation ambient temperature | -30~+70°C |
| Resistance and damp hot | Class 2 |
| Elevation | ≤ 2000 |
| Pollution class | 3 |
| Usage | Low Voltage |
| Installation way | DTH35-7.5/ DIN35 Rail |
| Safety Standard | IEC60269-1,IEC60269-6 |
| Certificate | TUV, UL, CE, ROHS |

GB/T13539.1 / GB/T13539.6 EN60947-1/EN60947-3
IEC60269-1 / IEC60269-6 UL248-1&19 / UL4248

 **RISIN**
— ENERGY —
RISIN ENERGY CO., LTD.

Anexo 7: Guardamotor Magneto Térmico 3P 4/6.3A

Ficha técnica del producto

Especificaciones

Guardamotor Magneto Térmico 3P
4/6.3A 100Ka

GV2ME10

Principal

| | |
|-------------------------------|--------------------------------|
| Rango de producto | TeSys GV2 |
| Distancia | TeSys Deca TeSys Deca |
| Modelo de dispositivo | GV2ME |
| Nombre del producto | TeSys GV2 TeSys DF |
| Tipo de producto o componente | Protector de circuito de motor |
| Aplicación del dispositivo | Protección del motor |
| Tipo de unidad de control | Térmico-magnético |

Complementario

| | |
|---|--|
| Número de polos | 3P |
| Tipo de red | CA |
| Categoría de utilización | AC-3 conforme a IEC 60947-4-1 A conforme a En> 50 A |
| Frecuencia asignada de empleo | 50/60 Hz conforme a IEC 60947-4-1 |
| Modo de fijación | Perfil DIN simétrico de 35 mm: cortado Panel: con tornillos (Con placa adaptadora) |
| Posición de funcionamiento | Cualquier posición |
| Potencia del motor en kW | 2,2 kW a 400/415 V CA 50/60 Hz 3 kW a 500 V CA 50/60 Hz 4 kW a 690 V CA 50/60 Hz |
| Poder de corte | 100 kA Icu a 230/240 V CA 50/60 Hz conforme a En> 50 A 100 kA Icu a 400/415 V CA 50/60 Hz conforme a En> 50 A 3 kA Icu a 690 V CA 50/60 Hz conforme a En> 50 A 50 kA Icu a 440 V CA 50/60 Hz conforme a En> 50 A 50 kA Icu a 500 V CA 50/60 Hz conforme a En> 50 A |
| [Ics] rated service short-circuit breaking capacity | 100 % a 500 V CA 50/60 Hz conforme a En> 50 A 100 % a 230/240 V CA 50/60 Hz conforme a En> 50 A 100 % a 440 V CA 50/60 Hz conforme a En> 50 A 100 % a 400/415 V CA 50/60 Hz conforme a En> 50 A 75 % a 690 V CA 50/60 Hz conforme a En> 50 A |
| Tipo de control | Pulsador |
| Corriente nominal | 6,3 A |
| Thermal protection adjustment range | 4...6,3 A |
| Corriente de disparo magnética | 78 A |

Descargar de responsabilidad: Esta documentación no ha sido diseñada como manual, ni se debe utilizar para determinar la idoneidad o la confiabilidad de estos productos para aplicaciones específicas de usuario.

Anexo 8: Características técnicas y sección de cables

XTREM H07RN-F



XTREM H07RN-F

Cable flexible de goma, para uso Industrial.

UNE-EN 50525-2-21 / IEC 60245-4

DISEÑO



Conductor

Cobre electrolítico, clase 5 (flexible) según UNE-EN 60228 e IEC 60228.

Aislamiento

Goma EPR.

La identificación normalizada de los conductores aislados es la siguiente:

| | |
|------------|---|
| 1 x | Natural |
| 2 x | Azul + Marrón |
| 3 G | Azul + Marrón + Amarillo/Verde |
| 4 G | Marrón + Negro + Gris + Amarillo/Verde |
| 5 G | Marrón + Negro + Gris + Azul + Amarillo/Verde |
| ó más cond | Negros numerados + Amarillo/Verde |

Cubierta

Goma flexible de color negro.

APLICACIONES

Gracias a su extraordinaria flexibilidad y resistencia, el cable Xtrem H07RN-F es ideal para uso industrial tanto en instalación fija como en servicio móvil. Este cable de goma ha sido fabricado usando polímeros mejorados respecto a las especificaciones de norma, lo que lo convierte en un cable altamente polivalente, con una temperatura y tensión de servicio superiores a los indicados en las normativas internacionales. Se admite empleo hasta 1.000 V en montaje fijo protegido. Los cables H07RN-F de Top Cable están diseñados para suministrar energía a todo tipo de equipos eléctricos, incluidos motores y bombas sumergibles en instalaciones de aguas profundas (ADB).



CARACTERÍSTICAS



Características eléctricas

BAJA TENSIÓN 450/750 V



Norma de referencia

UNE-EN 50525-2-21 / IEC 60245-4



ITC y certificaciones

ITC: 29/30/31/32/33/34/41/42

Certificados

CE
SEC
HAR
AENOR
DNV
RoHS



E_{ca}



Características térmicas

Temp. máxima del conductor: 90°C
Temp. máxima en cortocircuito: 250°C (máximo 5 s).
Temp. mínima de servicio: -40°C (estático con protección) y -35°C (servicio móvil).



Características frente al fuego

No propagación de la llama según UNE-EN 60332-1 e IEC 60332-1.
Reacción al fuego CPR, E_{ca} según la norma EN 50575



Características mecánicas

Radio de curvatura: 3 x \varnothing exterior hasta 12 mm de \varnothing y 4 x \varnothing exterior a partir de 12 mm de \varnothing .
Resistencia a los impactos: AG2 Medio.



Características químicas

Resistencia a grasas y aceites: excelente.
Resistencia a los ataques químicos: excelente.



Presencia de agua

Presencia de agua: AD8 sumergida.
Apto para bombas sumergibles.
Apto para pozos profundos.
Apto para agua potable.



Otros

Marcaje: metro a metro.



Condiciones de instalación

Al aire.



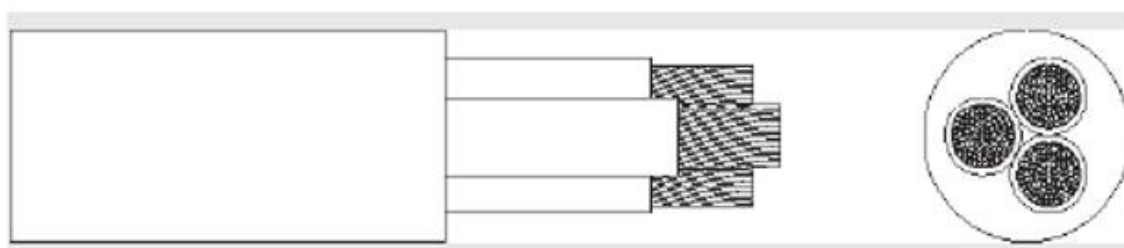
Aplicaciones

Uso industrial.
Servicio móvil.
Robótica.
Aerogeneradores.
Provisionales y temporales de obra.



Embalaje

Disponible en rollos con film retráctilado (longitudes de 50 y 100 m) y bobinas.



DIMENSIONES

| Sección (mm ²) | Diámetro (mm) | Peso (Kg/km) | Instalación fija a 30°C (A) | Servicio móvil a 30°C (A) | Caiída tensión (V/A · km) |
|----------------------------|---------------|--------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 1 x 1,5 | 5,9 | 48 | 21 | 16 | 26,7 |
| 1 x 2,5 | 6,5 | 62 | 29 | 20 | 36,6 |
| 1 x 4 | 7,5 | 88 | 40 | 30 | 9,95 |
| 1 x 6 | 8,3 | 116 | 53 | 38 | 0,63 |
| 1 x 10 | 10,1 | 182 | 74 | 53 | 3,84 |
| 1 x 16 | 11,4 | 250 | 101 | 71 | 2,43 |
| 1 x 25 | 13,4 | 361 | 135 | 94 | 1,57 |
| 1 x 35 | 14,7 | 469 | 169 | 117 | 1,11 |
| 1 x 50 | 17,5 | 671 | 207 | 148 | 0,776 |
| 1 x 70 | 19,6 | 892 | 266 | 185 | 0,546 |
| 1 x 95 | 22,0 | 1.340 | 328 | 222 | 0,414 |
| 1 x 120 | 24,2 | 1.420 | 383 | 260 | 0,323 |
| 1 x 150 | 26,6 | 1.760 | 444 | 300 | 0,259 |
| 1 x 185 | 28,8 | 2.090 | 510 | 341 | 0,213 |
| 1 x 240 | 32,2 | 2.710 | 607 | 407 | 0,161 |
| 1 x 300 | 34,9 | 3.310 | 703 | 468 | 0,129 |
| 1 x 400 | 39,3 | 4.270 | 823 | 553 | 0,0970 |
| 1 x 500 | 43,1 | 5.390 | 946 | 634 | 0,0772 |
| 2 x 1 | 8,3 | 92 | 21 | 16 | 45,2 |
| 2 x 1,5 | 8,7 | 109 | 26 | 16 | 30,9 |
| 2 x 2,5 | 10,6 | 162 | 36 | 25 | 18,5 |
| 2 x 4 | 12,0 | 220 | 49 | 34 | 11,5 |
| 2 x 6 | 13,7 | 295 | 63 | 43 | 7,66 |
| 2 x 10 | 16,1 | 522 | 86 | 60 | 4,43 |
| 2 x 16 | 21,6 | 738 | 115 | 79 | 2,81 |
| 2 x 25 | 25,7 | 1.052 | 149 | 105 | 1,81 |
| 3 G 1 | 8,9 | 111 | 21 | 16 | 45,2 |
| 3 G 1,5 | 9,7 | 137 | 26 | 16 | 30,9 |
| 3 G 2,5 | 11,4 | 198 | 36 | 25 | 18,5 |
| 3 G 4 | 13,1 | 276 | 49 | 35 | 11,5 |
| 3 G 6 | 14,8 | 370 | 63 | 44 | 7,66 |
| 3 G 10 | 20,1 | 668 | 86 | 62 | 4,43 |
| 3 G 16 | 22,6 | 906 | 115 | 82 | 2,81 |
| 3 G 25 | 27,4 | 1.360 | 149 | 109 | 1,81 |
| 3 G 35 | 29,7 | 1.700 | 185 | 135 | 1,29 |
| 3 G 50 | 35,4 | 2.400 | 225 | 169 | 0,996 |
| 3 G 70 | 39,6 | 3.180 | 289 | 211 | 0,631 |
| 3 G 95 | 45,2 | 4.070 | 352 | 250 | 0,478 |
| 3 G 120 | 48,7 | 5.002 | 410 | 292 | 0,373 |
| 4 G 1 | 9,7 | 134 | 17 | 10 | 39,2 |

| Sección (mm ²) | Diámetro (mm) | Peso (Kg/km) | Instalación fija a 30°C (A) | Servicio móvil a 30°C (A) | Caiída tensión (V/A · km) |
|----------------------------|---------------|--------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 4 G 1,5 | 10,7 | 169 | 23 | 16 | 26,7 |
| 4 G 2,5 | 12,6 | 244 | 32 | 20 | 36,6 |
| 4 G 4 | 14,4 | 343 | 42 | 30 | 9,95 |
| 4 G 6 | 16,7 | 474 | 54 | 37 | 0,63 |
| 4 G 10 | 21,6 | 822 | 75 | 52 | 3,84 |
| 4 G 16 | 24,6 | 1.120 | 100 | 69 | 2,43 |
| 4 G 25 | 30,7 | 1.730 | 127 | 92 | 1,57 |
| 4 G 35 | 33,2 | 2.180 | 158 | 114 | 1,11 |
| 4 G 50 | 39,2 | 3.060 | 192 | 143 | 0,776 |
| 4 G 70 | 43,4 | 4.040 | 246 | 178 | 0,546 |
| 4 G 95 | 50,5 | 5.300 | 298 | 210 | 0,414 |
| 4 G 120 | 52,6 | 6.331 | 346 | 246 | 0,323 |
| 4 G 150 | 60,1 | 7.928 | 399 | 282 | 0,259 |
| 5 G 1 | 10,5 | 162 | 17 | 10 | 39,2 |
| 5 G 1,5 | 11,6 | 206 | 23 | 16 | 26,7 |
| 5 G 2,5 | 14 | 299 | 32 | 20 | 36,6 |
| 5 G 4 | 16,3 | 431 | 42 | 30 | 9,95 |
| 5 G 6 | 18,4 | 585 | 54 | 38 | 0,63 |
| 5 G 10 | 24,2 | 1.010 | 75 | 54 | 3,84 |
| 5 G 16 | 27,1 | 1.390 | 100 | 71 | 2,43 |
| 5 G 25 | 33,3 | 2.052 | 127 | 94 | 1,57 |
| 5 G 35 | 36,6 | 2.677 | 158 | 114 | 1,11 |
| 5 G 50 | 42,7 | 3.696 | 192 | 143 | 0,776 |
| 5 G 70 | 48,3 | 4.917 | 246 | 178 | 0,546 |
| 5 G 95 | 55,3 | 6.448 | 298 | 210 | 0,414 |
| 5 G 120 | 59,7 | 7.883 | 346 | 246 | 0,323 |
| 7 G 1,5 | 14,8 | 307 | 26 | 16 | 30,9 |
| 7 G 2,5 | 17 | 434 | 36 | 25 | 18,5 |
| 7 G 4 | 20,1 | 618 | 49 | 34 | 11,5 |
| 8 G 1,5 | 16,3 | 379 | 26 | 16 | 30,9 |
| 8 G 2,5 | 18,4 | 525 | 36 | 25 | 18,5 |
| 8 G 4 | 22,2 | 767 | 49 | 34 | 11,5 |
| 12 G 1,5 | 17,5 | 456 | 26 | 16 | 30,9 |
| 12 G 2,5 | 20,4 | 654 | 36 | 25 | 18,5 |
| 16 G 1,5 | 19,6 | 605 | 26 | 16 | 30,9 |
| 16 G 2,5 | 23,1 | 890 | 36 | 25 | 18,5 |
| 18 G 1,5 | 20,7 | 646 | 26 | 16 | 30,9 |
| 18 G 2,5 | 24,3 | 939 | 36 | 25 | 18,5 |
| 24 G 1,5 | 23,7 | 830 | 26 | 16 | 30,9 |
| 24 G 2,5 | 27,7 | 1.207 | 36 | 25 | 18,5 |

Intensidades máximas admisibles según IEC 60364-5-52.

Para otras condiciones de instalación, consultar factores de corrección en el anexo de este catálogo.

Consulte más datos técnicos en la especificación particular del cable y en la Declaración de Prestaciones (DoP).

Top Cable se reserva el derecho de llevar a cabo cualquier modificación de esta ficha técnica sin previo aviso.

Para más información: ventas@topcable.com

Anexo 9: Precio de combustible diésel B5 S-60 UV para grifos del distrito de Pitipo actualizados por Osinergmin agosto 2022/App facilito.

Facilito
Diesel y Gasolina
Gas Natural Vehicular
GLP Automotor
GLP Envasado
Osinergmin

Precio Reportado por los operadores de las Estaciones de Servicio y Grifos

Consultar Precios de los Distribuidores Minoristas

LAMBAYEQUE

FERREÑAFE

PITIPO

DB5 S-50 UV

Ver 10 registros

| Distrito | Establecimiento | Dirección | Teléfono | Precio de Venta (Soles por galón) |
|----------|------------------------------------|---|---------------------|-----------------------------------|
| PITIPO | BUSTAMANTE VALLEJOS MIGUEL ANGEL | KM. 14 CARRETERA PITIPO-BATANGRANDE-CASERIO LOS AGUILARES | | 18.69 |
| PITIPO | MARIA DEL PILAR ALCANTARA RIVERA | CARRETERA FERREÑAFE BATANGRANDE KM 11*580, CASERIO LA ZARANDA | | 18.89 |
| PITIPO | MANAYAY DE LOS SANTOS GERMAN OSCAR | AV. GARCILAZO DE LA VEGA S/N | | 18.99 |
| PITIPO | MULTICENTRO ESPERANZA E.I.R.L | AV. REAL S/N ENTRADA AL CENTRO POBLADO BATANGRANDE | | 19.10 |
| PITIPO | GRIFO BRIAN ALEXANDER | CARRETERA FERREÑAFE - BATANGRANDE KM 17*700 CASERIO TAMBO REAL | 950924251/970531616 | 19.20 |
| PITIPO | ESTACION DE SERVICIOS DDA S.A.C. | CAL. REAL, OTR. LA Balsa BATANGRANDE | | 19.30 |
| PITIPO | GRIFO GABIYANE S.A.C. | AV. INCAHUASI S/N (CARRETERA BATANGRANDE - INCAHUASI) KM. 7 + 100 - CASERIO MOTUPILLO | | 19.30 |
| PITIPO | BERTIZ MARGARITA BERECHÉ BALDERA | PREDIO MI ELUYAJE SECTOR LA Balsa CALLE PROLONGACION REAL S/N-BATANGRANDE | | 19.40 |

Mostrando de 1 a 8 de 8 registros 1

Fuente: <https://bit.ly/3xVF7N9>

Anexo 10: Plano de conexión del sistema de bombeo con energía solar

