

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



**Diseño de un sistema de bombeo solar para almacenamiento de agua usada
en sistemas de riego en zonas agrícolas aisladas**

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

AUTOR

Luis Gerardo Vilchez Cornejo

ASESOR

Hernan Henry Santisteban Chapoñan

<https://orcid.org/0000-0002-8103-862X>

Chiclayo, 2024

**Diseño de un sistema de bombeo solar para almacenamiento de agua
usada en sistemas de riego en zonas agrícolas aisladas**

PRESENTADA POR

Luis Gerardo Vilchez Cornejo

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

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Alexander Querevalú Morante

PRESIDENTE

Lucio Llontop Mendoza

SECRETARIO

Hernan Henry Santisteban Chapoñan

VOCAL

Dedicatoria

Este trabajo se lo dedico a mis padres; Ivony y Manuel por sus consejos, apoyo y confianza incondicional. A mis hermanos; Ricardo, Manuel, Nicolás y Karime por ser siempre el motivo principal para salir adelante. A mis abuelos, tíos, primos y amigos por su cariño, confianza y apoyo recibido en toda mi vida, además por su gran ejemplo e inculcarme la moral.

Agradecimientos

Agradezco a Dios Todopoderoso por ser siempre mi guía y por darme las fuerzas para seguir adelante. Gracias a toda mi familia y amigos por el apoyo en toda mi vida, especialmente en mis estudios universitarios. A mi asesor de tesis el ingeniero Henry Santisteban Chapoñan, por su paciencia y apoyo brindados al largo de este trabajo de investigación. Agradezco también a todas las personas que estuvieron conmigo apoyándome en los ensayos realizados en el campo para la realización de este trabajo de investigación.

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

6%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

| | | |
|---|---|-----|
| 1 | hdl.handle.net Fuente de Internet | 3% |
| 2 | repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 3 | tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet | 1% |
| 4 | Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante | <1% |
| 5 | go.gale.com Fuente de Internet | <1% |
| 6 | es.slideshare.net Fuente de Internet | <1% |
| 7 | Submitted to Universidad Europea de Madrid Trabajo del estudiante | <1% |
| 8 | www.hindawi.com Fuente de Internet | <1% |
| 9 | repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet | <1% |

Índice

| | |
|---|----|
| Resumen | 18 |
| Abstract | 19 |
| I. Introducción | 20 |
| 1.1. Realidad Problemática | 21 |
| 1.2. Enunciado del Problema | 21 |
| 1.3. Justificación | 22 |
| 1.3.1. Social..... | 22 |
| 1.3.2. Ambiental..... | 22 |
| 1.3.3. Económica..... | 22 |
| 1.3.4. Científica..... | 22 |
| 1.4. Objetivos | 23 |
| 1.4.1. Objetivo General | 23 |
| 1.4.2. Objetivos Específicos..... | 23 |
| II. Revisión de literatura | 24 |
| 2.1. Antecedentes | 24 |
| 2.2. Bases teóricas..... | 25 |
| 2.2.1. Energía Solar..... | 25 |
| 2.2.2. Radiación Solar | 25 |
| 2.2.3. Sistema de bombeo solar | 36 |
| 2.2.4. Recurso hídrico | 60 |
| 2.2.5. Demanda de agua para cultivos de plantas | 60 |
| 2.2.6. Evaluación Económica..... | 65 |
| 2.2.7. Software PVsyst..... | 66 |

| | |
|---|-----|
| III. Materiales y métodos | 67 |
| 3.1. Tipo y Nivel de investigación | 67 |
| 3.2. Metodología del diseño | 68 |
| 3.3. Matriz de consistencia..... | 69 |
| IV. Resultados y discusión | 70 |
| 4.1. Verificar la disponibilidad del recurso hídrico de la zona | 70 |
| 4.1.1. Ubicación | 70 |
| 4.1.2. Cuenca Motupe – La Leche | 71 |
| 4.1.3. Fuente de agua para el SBS | 72 |
| 4.1.4. Ensayo del bombeo escalonado sin recuperación del pozo | 73 |
| 4.2. Evaluar los niveles promedio de radiación solar que se registran en la zona empleando los softwares RETScreen, Meteonorm, CropWat | 83 |
| 4.2.1. Software RETScreen..... | 84 |
| 4.2.2. Software Meteonorm | 86 |
| 4.2.3. Software CropWat 8.0 | 88 |
| 4.2.4. Comparación de los datos de RS | 90 |
| 4.2.5. Medición in situ | 90 |
| 4.3. Determinación de los requerimientos del sistema de almacenamiento de agua para el riego suficiente del terreno de cultivo | 96 |
| 4.3.1. Cálculo de la Radiación Extraterrestre | 96 |
| 4.3.2. Determinación de la temperatura máxima y mínima | 98 |
| 4.3.3. Cálculo de la evapotranspiración potencial <i>ETO</i> | 99 |
| 4.3.4. Cálculo del factor de cultivo <i>KC</i> | 100 |
| 4.3.5. Cálculo de la evapotranspiración real <i>ETC</i> | 105 |
| 4.3.6. Cálculo de la evapotranspiración corregida <i>Et</i> | 106 |

| | | |
|---------|--|-----|
| 4.3.7. | Cálculo de la demanda hídrica | 113 |
| 4.3.8. | Cálculo del caudal de bombeo | 115 |
| 4.3.9. | Cálculo del abatimiento del pozo..... | 115 |
| 4.3.10. | Cálculo de la eficiencia del pozo | 116 |
| 4.3.11. | Diseño del reservorio | 116 |
| 4.3.12. | Cálculo de la longitud de la tubería | 117 |
| 4.3.13. | Cálculo del diámetro de la tubería | 117 |
| 4.3.14. | Cálculo de la velocidad del agua | 118 |
| 4.3.15. | Cálculo de la altura manométrica | 118 |
| 4.4. | Dimensionar y seleccionar los componentes del sistema de bombeo solar mediante el software PVsyst..... | 121 |
| 4.4.1. | Selección de componentes del Sistema de Bombeo Solar..... | 121 |
| 4.4.2. | Dimensionamiento del sistema de bombeo con el software PVsyst..... | 132 |
| 4.5. | Realizar una evaluación económica del sistema de bombeo solar a diseñar | 137 |
| 4.5.1. | Presupuesto | 137 |
| 4.5.2. | Costo por mantenimiento | 139 |
| 4.5.3. | Ahorro por combustible | 139 |
| 4.5.4. | Ahorro por operación..... | 139 |
| 4.5.5. | Ahorro por mantenimiento..... | 139 |
| 4.5.6. | Flujo de caja del proyecto | 140 |
| 4.5.7. | Análisis del VAN y la TIR..... | 142 |
| 4.5.8. | Periodo de recuperación..... | 142 |
| V. | Conclusiones | 144 |
| VI. | Recomendaciones..... | 145 |
| VII. | Referencias | 146 |

VIII. Anexos 154

Lista de tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Día promedio recomendado para cada mes [31]. | 29 |
| Tabla 2. Características de los tipos de células solares [9]. | 39 |
| Tabla 3. Coeficientes de rugosidad de algunos materiales [79]. | 58 |
| Tabla 4. Coeficientes K para pérdidas en accesorios [81]. | 59 |
| Tabla 5. Radiación solar extraterrestre [86]. | 62 |
| Tabla 6. Valores de KC en su respectiva etapa de siembra [92]. | 64 |
| Tabla 7. Matriz de consistencia. | 69 |
| Tabla 8. Características de la bomba periférica Leo APM75 [97]. | 73 |
| Tabla 9. Método volumétrico para el cálculo del primer caudal. | 73 |
| Tabla 10. Caudal de bombeo 01 utilizando el tubo de Venturi. | 74 |
| Tabla 11. Características de la electrobomba sumergible Pedrollo 4SR45Gm/30 [98]. | 75 |
| Tabla 12. Método volumétrico para el cálculo del segundo caudal. | 75 |
| Tabla 13. Caudal de bombeo 02 utilizando el tubo de Venturi. | 76 |
| Tabla 14. Características de la motobomba HONDA WB 30 PX [99]. | 77 |
| Tabla 15. Método volumétrico para el cálculo del tercer caudal. | 77 |
| Tabla 16. Caudal de bombeo 03 utilizando el tubo de Venturi. | 78 |
| Tabla 17. Resultados del Ensayo de bombeo escalonado sin recuperación. | 79 |
| Tabla 18. Datos de los descensos en el método de bombeo escalonado sin recuperación. | 79 |
| Tabla 19. Datos para determinar S_{mod} . | 83 |
| Tabla 20. Datos de RS horizontal según el software RETScreen. | 84 |
| Tabla 21. RS sobre el módulo según RETScreen. | 85 |
| Tabla 22. Datos de RS horizontal según el software Meteonorm. | 86 |
| Tabla 23. RS sobre el módulo según Meteonorm. | 87 |
| Tabla 24. Datos de RS horizontal según el software CropWat. | 88 |
| Tabla 25. RS sobre el módulo según CropWat. | 89 |
| Tabla 26. Irradiancia del mes de febrero según Solar Meter SM206. | 92 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 27. Irradiancia del mes de julio según Solar Meter SM206..... | 93 |
| Tabla 28. Radiación extraterrestre según la Tabla 5 en (<i>mm/día</i>)..... | 96 |
| Tabla 29. Radiación extraterrestre según Meteonorm. | 97 |
| Tabla 30. Valores de temperatura. | 98 |
| Tabla 31. Evapotranspiración potencial <i>ETO</i> | 99 |
| Tabla 32. <i>KC</i> del limón. | 100 |
| Tabla 33. <i>KC</i> del espárrago. | 101 |
| Tabla 34. <i>KC</i> de la palta. | 102 |
| Tabla 35. <i>KC</i> del arándano. | 103 |
| Tabla 36. Evapotranspiración real por mes de cada planta. | 105 |
| Tabla 37. Evapotranspiración corregida para el limón por hectárea. | 108 |
| Tabla 38. Evapotranspiración corregida para el espárrago por hectárea..... | 109 |
| Tabla 39. Evapotranspiración corregida para la palta por hectárea. | 111 |
| Tabla 40. Evapotranspiración corregida para el arándano por hectárea..... | 112 |
| Tabla 41. Resumen de resultados de evapotranspiración corregida..... | 113 |
| Tabla 42. Demanda hídrica por mes de cada planta..... | 114 |
| Tabla 43. Datos del reservorio. | 116 |
| Tabla 44. Características del PSFV TSM – DE15M – (II) – 405 [104]..... | 123 |
| Tabla 45. Presupuesto del SBS. | 137 |
| Tabla 46. Flujo de caja proyectado para 20 años. | 141 |
| Tabla 47. Periodo de recuperación del proyecto. | 142 |

Lista de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Energía solar [23]. | 25 |
| Figura 2. Espectro electromagnético [9]. | 26 |
| Figura 3. Mapa de irradiación horizontal global de Latinoamérica y El Caribe [26]. | 26 |
| Figura 4. Potencial eléctrico fotovoltaico en el Perú [26]. | 27 |
| Figura 5. Tipos de RS [28]. | 27 |
| Figura 6. Orientación de la RS que cae sobre un panel fotovoltaico en un plano inclinado [29]. | 28 |
| Figura 7. Declinación solar [32]. | 29 |
| Figura 8. Mapa solar del Perú [33]. | 30 |
| Figura 9. Software RETScreen [35]. | 31 |
| Figura 10. Software Meteonorm 8.0 [36]. | 31 |
| Figura 11. Software CropWat [37]. | 31 |
| Figura 12. Conjunto de piranómetros [38]. | 32 |
| Figura 13. Medidor para energía solar [39]. | 32 |
| Figura 14. Variación de la irradiancia solar durante el día [40]. | 33 |
| Figura 15. Curva de irradiancia diaria y HSP [28]. | 34 |
| Figura 16. Desarrollo del mercado de módulos fotovoltaicos en los años 1980 a 2000 [30]. | 34 |
| Figura 17. Aplicaciones de la ESFV en instalaciones aisladas [30]. | 35 |
| Figura 18. Efecto fotovoltaico [28]. | 36 |
| Figura 19. Esquema típico de un SBS [48]. | 36 |
| Figura 20. Generador Fotovoltaico [51]. | 37 |
| Figura 21. PSFV ubicados dentro de la Base de la Fuerza Aérea de Nellis en el condado de Clark, Nevada [54]. | 38 |
| Figura 22. Distancia entre paneles solares [9]. | 40 |
| Figura 23. Conexión de PSFV [60]. | 41 |
| Figura 24. Conexión en serie [28]. | 41 |
| Figura 25. Conexión en paralelo [28]. | 41 |

| | |
|--|----|
| Figura 26. Conexión en serie y paralelo [28]. | 42 |
| Figura 27. Curva de productos corriente-voltaje y curva I-V [62]. | 44 |
| Figura 28. Inversor [65]. | 45 |
| Figura 29. Controlador [65]. | 45 |
| Figura 30. Sistema motor – bomba [65]. | 48 |
| Figura 31. Gráfica para seleccionar el sistema motor – bomba [70]. | 49 |
| Figura 32. Perfil de un pozo [72]. | 49 |
| Figura 33. Bombeo escalonado sin recuperación [74]. | 51 |
| Figura 34. Esquema de la ecuación de la continuidad [69]. | 54 |
| Figura 35. Esquema de la ecuación de Bernoulli [69]. | 54 |
| Figura 36. Esquema de la altura estática y dinámica. | 56 |
| Figura 37. Curva generalizada por el coeficiente de cultivo [90]. | 63 |
| Figura 38. Software PVsyst [95]. | 66 |
| Figura 39. Metodología del diseño. | 68 |
| Figura 40. Área total del terreno visto en Google Earth. | 70 |
| Figura 41. Área sembrada actualmente (01 hectárea). | 70 |
| Figura 42. Mapa de la ubicación política de la cuenca del río Motupe La Leche [83]. | 71 |
| Figura 43. Zona de estudio ubicado en la cuenca Motupe La Leche visto en Google Earth. . | 71 |
| Figura 44. Pozo para la extracción del agua subterránea. | 72 |
| Figura 45. Bomba periférica Leo APM75 [97]. | 73 |
| Figura 46. Esquema del tubo de Venturi para el cálculo del primer caudal de bombeo. | 74 |
| Figura 47. Electrobomba sumergible Pedrollo 4SR45Gm/30 [98]. | 75 |
| Figura 48. Esquema del tubo de Venturi para el cálculo del segundo caudal de bombeo. | 76 |
| Figura 49. Motobomba HONDA WB 30 PX. | 77 |
| Figura 50. Esquema del tubo de Venturi para el cálculo del tercer caudal de bombeo. | 78 |
| Figura 51. Ubicación de las coordenadas en software RETScreen. | 85 |
| Figura 52. Ubicación de las coordenadas en el Software Meteonorm. | 87 |

| | |
|---|-----|
| Figura 53. Selección de la Estación Lambayeque en CLIMWAT..... | 89 |
| Figura 54. Comparación de resultados de RS con un ángulo de 8°..... | 90 |
| Figura 55. Medidor SM206 – SOLAR en una superficie inclinada de 8°..... | 91 |
| Figura 56. Irradiancia del mes de febrero..... | 94 |
| Figura 57. Irradiancia del mes de julio..... | 94 |
| Figura 58. Plantas de limón en el terreno de cultivo..... | 100 |
| Figura 59. Gráfica del <i>KC</i> del limón..... | 101 |
| Figura 60. Gráfica del <i>KC</i> del espárrago..... | 102 |
| Figura 61. Gráfica del <i>KC</i> de la palta..... | 103 |
| Figura 62. Gráfica del <i>KC</i> del arándano..... | 104 |
| Figura 63. Distribución de plantas de limón en una hectárea..... | 106 |
| Figura 64. Medición de la planta de limón..... | 107 |
| Figura 65. Riego por goteo del limón..... | 107 |
| Figura 66. Comparación de resultados de evapotranspiración corregida por plantas..... | 114 |
| Figura 67. Construcción del reservorio de agua..... | 117 |
| Figura 68. Sistema bomba reservorio..... | 119 |
| Figura 69. Selección de la bomba..... | 124 |
| Figura 70. Curva de la bomba sumergible modelo PS4 000 C – SJ8 – 15 [105]..... | 125 |
| Figura 71. Esquema de conexión del SBS [106]..... | 126 |
| Figura 72. Esquema de cableado en el controlador Lorentz [106]..... | 127 |
| Figura 73. Esquema del interruptor flotante [106]..... | 128 |
| Figura 74. Protector contra sobretensiones [106]..... | 129 |
| Figura 75. Interruptor de desconexión fotovoltaica Lorentz [106]..... | 129 |
| Figura 76. Medición de la resistencia de la tierra..... | 130 |
| Figura 77. Nombre del proyecto en PVsyst..... | 132 |
| Figura 78. Orientación de paneles en PVsyst..... | 132 |
| Figura 79. Necesidades de agua (I)..... | 133 |

| | |
|--|-----|
| Figura 80. Necesidades de agua (II)..... | 133 |
| Figura 81. Selección de la bomba en PVsyst. | 134 |
| Figura 82. Selección de paneles y controlador en PVsyst..... | 134 |
| Figura 83. Resultados de la simulación en PVsyst..... | 135 |

Lista de Anexos

| | |
|---|-----|
| Anexo 1. Manómetros indicando presiones en el tubo de Venturi. | 154 |
| Anexo 2. Aplicación del método volumétrico. | 154 |
| Anexo 3. Crecimiento de la planta de limón. | 155 |
| Anexo 4. Código MATLAB para solución de ecuaciones según el Método de Newton Raphson. | 156 |
| Anexo 5. Código MATLAB para resolver sistemas de ecuaciones. | 156 |
| Anexo 6. Informe de datos climatológicos según el software RETScreen. | 157 |
| Anexo 7. Informe de datos climatológicos según el software Meteonorm. | 158 |
| Anexo 8. Informe de datos climatológicos según el software CROPWAT. | 159 |
| Anexo 9. Resultados de los cinco días de medición de irradiancias del mes de febrero. | 160 |
| Anexo 10. Resultados de los cinco días de medición de irradiancias del mes de julio. | 163 |
| Anexo 11. Diseño hidráulico del reservorio. | 166 |
| Anexo 12. Informe PVsyst. | 168 |
| Anexo 13. Ficha técnica del panel solar marca Trina modelo TSM – DE15M(II). | 175 |
| Anexo 14. Ficha técnica de bomba sumergible y controlador marca Lorentz modelo PS 4 000 [105]. | 177 |
| Anexo 15. Sonda del pozo. | 179 |
| Anexo 16. Interruptor flotador. | 180 |
| Anexo 17. Protector de sobretensiones. | 181 |
| Anexo 18. Interruptor de desconexión fotovoltaica. | 182 |
| Anexo 19. Ficha técnica del conductor RPVU 90. | 183 |
| Anexo 20. Certificado de calibración del telurómetro. | 185 |
| Anexo 21. Plano de reservorio de geomembrana para el riego. | 187 |
| Anexo 22. Esquema de conexiones del sistema de bombeo solar. | 188 |
| Anexo 23. Diagrama unifilar del sistema de bombeo solar. | 189 |
| Anexo 24. Cotización de instalación del sistema de bombeo solar. | 190 |
| Anexo 25. Cotización de soportes para los paneles solares. | 191 |

| | |
|--|-----|
| Anexo 26. Cotización de geomembrana 01. | 193 |
| Anexo 27. Cotización de geomembrana 02. | 194 |
| Anexo 28. Distribución de paneles solares en SketchUp..... | 195 |

Lista de abreviaciones

- ER:** Energía Renovable
- ESFV:** Energía Solar Fotovoltaica
- SBS:** Sistema de Bombeo Solar
- SBSFV:** Sistema de Bombeo Solar Fotovoltaico
- SFV:** Sistema Fotovoltaico
- PSFV:** Panel Solar Fotovoltaico
- MCI:** Motor de Combustión Interna
- RS:** Radiación Solar
- HSP:** Hora Solar Pico

Resumen

En el presente trabajo de investigación se diseñó un sistema de bombeo solar para almacenamiento de agua en sistemas de riego en zonas agrícolas aisladas con ayuda del software PVsyst. En el área de estudio actualmente para el riego del limón utilizan motores de combustión interna, originando costos elevados de combustible, mantenimiento y operación, además generando emisiones de CO_2 provocando la contaminación ambiental. Ante lo mencionado surge la alternativa de la aplicación de la energía solar fotovoltaica para el riego y proyectándose hacia el futuro a cosechar también espárrago, palta y arándanos; para ello se realizó una evaluación de niveles de radiación solar utilizando el software RETScreen, Meteonorm, CropWat y mediciones *in situ*, obteniendo $5,80 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ correspondiente al mes de julio, mes más crítico del año. En el diseño también incluye cálculos de evapotranspiración, demanda hídrica, caudal de bombeo, altura manométrica, longitud de la tubería, volumen del reservorio y diámetro de la tubería, para así poder definir los componentes del sistema de bombeo solar. Para este sistema se seleccionó una bomba sumergible de la marca Lorentz, 08 paneles solares de la marca Trina Solar de 405 W , un controlador de la marca Lorentz y un reservorio de geomembrana aprovechando las características del terreno. Para la elaboración de los planos respectivos se utilizó el software AutoCAD. La evaluación económica resultó dar un $VAN = S/. 32 760,78$, una $TIR = 19,91\%$ y un tiempo de retorno de 5,33 años de asegurando la factibilidad del proyecto.

Palabras clave: Diseño, sistema de bombeo solar, sistema fotovoltaico, riego agrícola.

Abstract

In this research work, a solar pumping system was designed for water storage in irrigation systems in isolated agricultural areas with the help of the PVsyst software. In the study area, internal combustion engines are currently used for lemon irrigation, causing high fuel, maintenance and operation costs, also generating CO_2 emissions, causing environmental pollution. Given the aforementioned, the alternative of applying photovoltaic solar energy for irrigation arises and planning in the future to also harvest asparagus, avocado and blueberries; For this, an evaluation of solar radiation levels was carried out using the RETScreen, Meteonorm, CropWat software and in situ measurements, obtaining $5,80 \text{ kWh/m}^2/\text{day}$ corresponding to the month of July, the most critical month of the year. The design also includes calculations of evapotranspiration, water demand, pumping flow, manometric head, pipe length, reservoir volume and pipe diameter, in order to define the components of the solar pumping system. For this system, a Lorentz brand submersible pump was selected, 08 Trina Solar brand solar panels of 405 W , a Lorentz brand controller and a geomembrane reservoir taking advantage of the characteristics of the terrain. AutoCAD software is used to prepare the respective plans. The economic evaluation resulted in an $NPV = S/. 32 760,78$, an $IRR = 19,91\%$ and a payback time of 5,33 years, ensuring the feasibility of the project.

Keywords: Design, solar pumping system, photovoltaic system, agricultural irrigation.

I. Introducción

Para el desarrollo social y económico, la tecnología energética representa un papel muy significativo, ya que gracias a ella hemos ido mejorando nuestra calidad de vida, sin embargo, a la par estos avances han tenido un precio muy alto; se conoce que el gas natural, carbón mineral o el petróleo son fuentes de generación de energía, llamados combustibles fósiles y a su vez se consideran la principal causa de contaminación ambiental, un ejemplo claro es el calentamiento global [1]. Además de ello, estas fuentes de energía no se renuevan, sino que se agotan a medida en que se van usando, por ello se denominan recursos no renovables o convencionales [2].

Es así que motivados por la problemática ambiental del sector energético, específicamente por las emisiones de CO_2 [3] y con ayuda de los avances tecnológicos se crean las fuentes de ER o no convencionales [4], mismas que son definidas como aquellas que pueden producir trabajo a partir de fuentes inagotables [5] siendo altamente viable el aprovechamiento de ellas [6].

Edmund Becquerel, conocido físico francés, en el año 1 839 descubrió el efecto fotovoltaico con ayuda de dos placas de latón y por el año 1 941 se logró fabricar la primera célula solar de selenio, cuya eficiencia fue del 1%; desde aquel momento se han ido produciendo importantes avances, generando que la tecnología fotovoltaica sea una tecnología madura y fiable [7].

A la ESFV se le denomina una fuente de ER, que es aplicable para generar energía eléctrica con ayuda de los PSFV, cuya función es la transformación de la RS en electricidad, siendo esta utilizable en distintas actividades de la vida [8].

Una actividad cotidiana indispensable en la vida humana es la agricultura, que consiste en suministrar los medios para saciar las necesidades, que tiene el hombre, de alimento y fibras [9], tanto para una nación subdesarrollada, en desarrollo o incluso desarrollada, cumpliendo así un papel vital en el desarrollo económico de los países [10].

Para el desarrollo de la agricultura se necesita el agua, misma que es que llevada a los sembríos a través del riego, dicho proceso hace que exista una gran relación entre el riego y la tecnología fotovoltaica [11] ya que en el año 1 978 comenzaron a realizarse las primeras instalaciones de SBSFV y han ido ganando enormemente aceptación, confiabilidad y desempeño [12]. La aplicación de la tecnología fotovoltaica para bombear agua es de especial interés en localidades aisladas, siendo muy efectiva para abastecer de agua potable en el sector agrícola [13].

Según algunos estudios, a nivel mundial, en el año 1 994 existían 10 000 sistemas de bombeo operativos, y se tenía previsto que para el 2 010 existiría más o menos medio millón.

Se han realizado cuantiosos programas de cooperación mundial en el área de bombeo fotovoltaico, uno de ellos es el “Programa Regional Solar de Sahel”, donde fueron instalados 829 SBSFV para suministrar agua en zonas rurales, de las cuales 641 son sumergibles y 188 de superficie, cuyo total de potencia instala fue de 1 258 *kWp* [13].

Perú es un país que presenta un gran potencial de energía solar debido a su inmediación a la línea ecuatorial cuyo recurso energético solar está ubicado en segundo lugar dentro de los recursos energéticos renovables, con una potencia total de 25 000 *MW*; actualmente el país cuenta con 11 centrales solares que usan tecnología fotovoltaica, como en Arequipa que tiene 2; Moquegua, 4 y Tacna, 1 [14]. Y en general, se espera que para el año 2 040, la capacidad instalada total de los recursos renovables sea de 24 976,9 *MW* [15].

Lambayeque en el año 2 019 ha sido una de las regiones que ha sido más favorecida con respecto a la electrificación rural por medio de los SFV aislados después de Cajamarca y Loreto [14]. En el año 2 014, se registró la existencia de 4 339 pozos de agua subterránea, y en la actualidad la explotación se realiza empleando generalmente bombas hidráulicas y MCI instalados en pozos, ya sean tubulares o a tajo abierto, para ello se emplean los combustibles fósiles (petróleo o gasolina) [16].

A Lambayeque también se le considera como una región con amplias ventajas para el desarrollo agrícola, debido a su clima uniforme, que permite cultivar todo el año. Y se estima que 160 000 hectáreas equivalentes al 11 % de todo el departamento es agrícola [17].

1.1. Realidad Problemática

El lugar de estudio es una zona aislada ubicada en la provincia de Jayanca, presenta un total de 16 hectáreas y en la actualidad se siembran solamente 1. Para el riego, al igual que chacras vecinas, se extrae agua tanto de canales, ríos o pozos subterráneos, donde se emplean los MCI y como se mencionó estos resultan ser contaminantes del medio ambiente. Además, el uso de MCI genera elevados costos de combustible, mantenimiento y pago al personal encargado de operarlos. El empleo de la energía convencional es una opción aceptable, pero debido a que esta zona se encuentra muy alejada a red eléctrica ocurre una elevada caída de tensión, por ende, se ven obligados a la utilización de MCI.

1.2. Enunciado del Problema

¿Cómo diseñar un sistema de bombeo solar para almacenamiento de agua usada en sistemas de riego en zonas agrícolas aisladas?

1.3. Justificación

1.3.1. Social

Este proyecto busca la aplicación de la tecnología fotovoltaica en SBS en una zona de estudio de un total de 16 hectáreas de las cuales solo se siembran 1, siendo este diseño aplicable en otras zonas cercanas y zonas que contengan características similares al lugar de estudio, pudiendo ayudar a la población, mejorando así su calidad de vida, teniendo en cuenta que muchas personas no solo utilizan sus sembríos como fin económico, sino también para abastecer su alimentación diaria.

1.3.2. Ambiental

En la zona de estudio generalmente se emplean MCI, siendo estos contaminantes atmosféricos. Por lo tanto, el estudio e implementación de este proyecto de investigación es necesaria, siendo la ESFV una opción de generación de energía eléctrica limpia e inagotable.

1.3.3. Económica

La ESFV como se mencionó es una fuente de energía inagotable y gratis, a diferencia de la aplicación de MCI, que está formado por un conjunto de gastos elevados, por ejemplo, el costo de combustible, el mantenimiento y el personal que opere. El SBS presenta un costo elevado inicial, pero tiene un tiempo de vida largo y un mantenimiento sencillo, que a comparación de la utilización de motores el gasto anual es exiguo. Asimismo, con este proyecto se busca aprovechar el recurso hídrico de la zona para poder almacenar agua y así regar una mayor cantidad de hectáreas, lo que generaría mayor producción, por lo tanto, mejorar la economía del poblador.

1.3.4. Científica

El tener como base un estudio acerca de las ER, motiva a seguir investigando y a implementarlos, sabiendo que el Perú es un país que presenta un alto potencial de energía solar. A su vez este proyecto ayuda a fomentar la aplicabilidad de energías no convencionales que son de mucha importancia y ayuda para el desarrollo energético en nuestro país.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de bombeo solar para almacenamiento de agua usada en sistemas de riego en zonas agrícolas aisladas.

1.4.2. Objetivos Específicos

1. Verificar la disponibilidad del recurso hídrico de la zona.
2. Evaluar los niveles promedio de radiación solar que se registran en la zona empleando los softwares RETScreen, Meteonorm, CropWat y mediciones *in situ*.
3. Determinar los requerimientos del sistema de almacenamiento de agua para el riego suficiente del terreno de cultivo.
4. Dimensionar y seleccionar los componentes del sistema de bombeo solar mediante el software PVsyst.
5. Realizar una evaluación económica del sistema de bombeo solar a diseñar.

II. Revisión de literatura

2.1. Antecedentes

En la investigación [18] se propone el diseño de un sistema de riego adecuado con la aplicación de la ESFV, nos indica que el sistema de riego empleado hasta antes del estudio es poco eficiente debido a las pérdidas innecesarias de agua por lo cual genera baja producción; se optó por un cambio en el sistema de riego, siendo el goteo la opción escogida y además decide aumentar el área de riego, se realizó también la evaluación económica teniendo en cuenta tres escenarios proyectados: uno optimista, el otro realista y por último pesimista, con resultados del VAN equivalentes a \$ 31 437,052; \$ 8 908,812 y \$ 6 969,371 respectivamente y por último se calculó la recuperación de la inversión en el tiempo, el cual resultó 10 años, siendo este proyecto atractivo.

El autor [19] realizó su estudio en una parcela en Benlloch con un área total de 0,9058 hectáreas, destinados al cultivo de patatas y tomate, el motivo de esta investigación es porque el agricultor utiliza para su riego una bomba que es alimentada por un generador diésel, el cual tiene sus desventajas que son el elevado consumo energético y la falta de capacidad para satisfacer la demanda hídrica, por lo cual se optó por el sistema de por goteo, siendo este más eficiente y eficaz. Se emplearon los softwares CROPWAT 8.0 para determinar los requerimientos de agua mes por mes, el PVSyst para el diseño y cálculo del SFV y el EPANET para la determinación de presiones y caudales del sistema.

Según [20] con su propuesta en su proyecto dimensionamiento de un SFV para riego, se obtuvo un valor de $40,57 m^3$ de agua para el riego de cultivo de tomate ubicada en la finca Concepción; se seleccionaron los elementos del sistema los cuales fueron, una bomba sumergible cuya marca es FRANKLIN ELECTRIC 2 HP AC, las cantidades de paneles fueron 12 de 200 W y un inversor de marca SAM DC/AC 2 000 W 120/240 V; con respecto al análisis económico resultó un financiamiento de 6 513,82 U\$, al 9% de interés, lo cual se demuestra que en 5 años se obtendrá una ganancia de 2,09 U\$ por cada dólar invertido.

En [21] se realizó el cálculo de RS media diaria en España, resultando $5 kWh/m^2/día$, mientras que en la zona de estudio resultó ser $5,66 kWh/m^2/día$; asimismo, se obtuvo la demanda energética para bombear; para el dimensionamiento se proponen tres alternativas, con respecto al análisis económico las alternativas 01 y 02, obteniéndose en la primera un VAN de 1,85 millones de euros y una TIR de 15,4% y en la segunda un VAN 2,26 millones de euros y una TIR de 11,4%; se decidió implementar el sistema teniendo en cuenta la alternativa 01.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Energía Solar

Se define como la energía radiante originaria del Sol y que llega a alcanzar a la superficie terrestre en forma de infrarrojo, luz visible y ultravioleta [22].

A la Tierra llega 1 559 280 *TWh* en un año y es alrededor de un 1% que podrían ser utilizables. Estas formas de aprovechamiento pueden abarcar dos grandes grupos: térmicos y fotovoltaicos [9].

Figura 1. Energía solar [23].

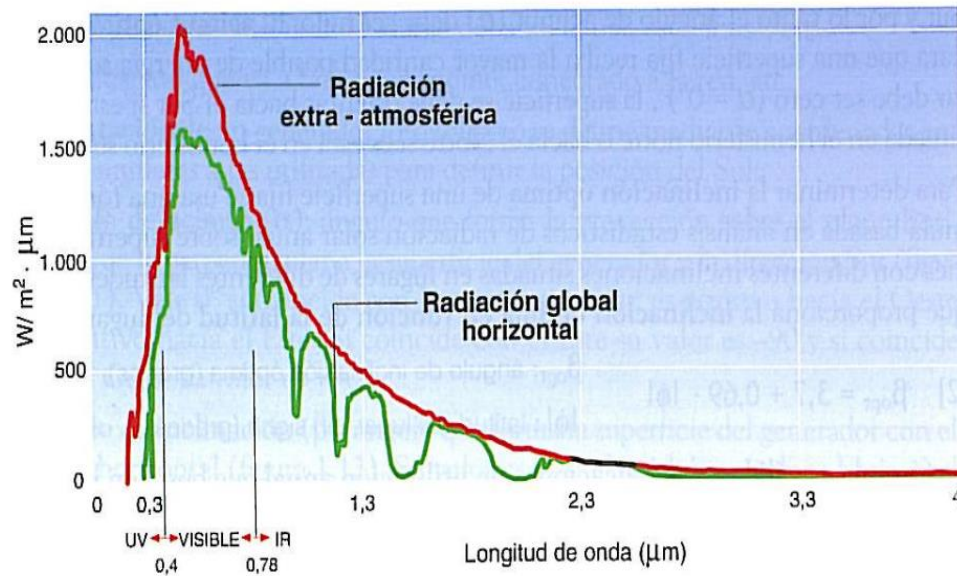


2.2.2. Radiación Solar

Es la energía que produce el núcleo del Sol a través de reacciones nucleares de fusión que son transmitidas en forma de radiación electromagnética. La RS alcanza la tierra en forma de una variedad de radiaciones o también llamado espectro electromagnético que tienen una longitud de onda que varía desde los $0,15 \mu m$ a $4 \mu m$ aproximadamente. El espectro visible o luz visible presenta una longitud de onda desde $0,4 \mu m$ a $0,78 \mu m$, las radiaciones ultravioletas (UV) longitudes menores a $0,4 \mu m$ y las radiaciones infrarrojas (IR) longitudes superiores a $0,75 \mu m$ [9].

Se puede comprobar de [21], [24] que la RS es lo mismo que irradiación solar; eso depende del país; cuyas unidades correspondientes son kWh/m^2 .

Figura 2. Espectro electromagnético [9].



El Perú es considerado un país con superioridad en nivel de RS al nivel Mundial, causa de ello, presenta una elevada potencialidad de desarrollo en ESFV, se puede decir que solo Chile es el país que supera a Perú en la región [25].

Figura 3. Mapa de irradiación horizontal global de Latinoamérica y El Caribe [26].

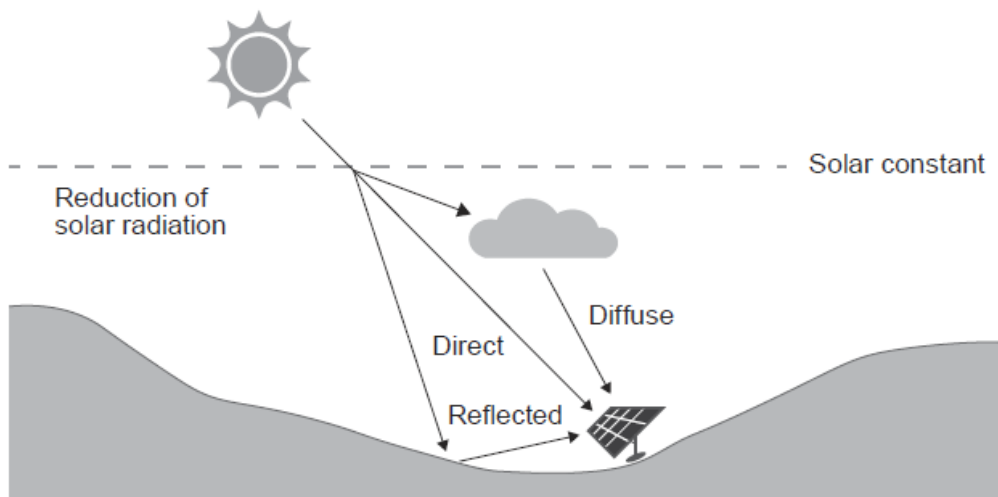


Figura 4. Potencial eléctrico fotovoltaico en el Perú [26].



La RS se puede clasificar en tres; **radiación directa**, que es aquella que cae desde el Sol sin ser desviada en su transcurso por la atmósfera; **radiación difusa**, es aquella que por causa de la reflexión y difusión en la atmósfera sufre cambios en su dirección y por último **radiación reflejada** o también llamada de albedo, que es radiación directa y difusa a la vez que es recibida por reflexión en el suelo u otras superficies próximas [27].

Figura 5. Tipos de RS [28].

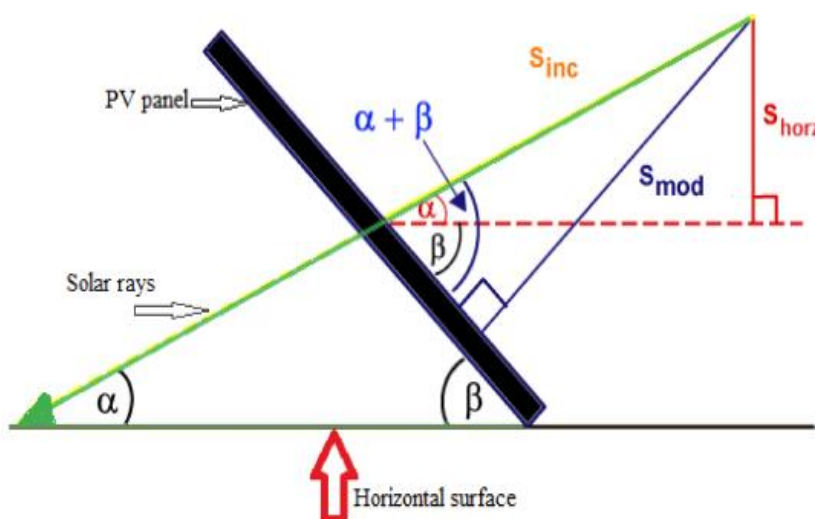


Tanto la radiación solar global o total horizontal como la inclinada se puede determinar mediante la siguiente ecuación [28]:

$$\text{Radiación Global} = \text{Directa} + \text{Difusa} + \text{Reflejada} \quad (1)$$

En softwares como RETScreen o Meteonorm 8.0 los datos de radiación corresponden a la radiación solar horizontal global; los paneles solares generalmente se colocan con un ángulo de inclinación β , es por ello que se necesita el valor de la radiación solar global en una superficie inclinada. En [29] muestra una serie de fórmulas, las cuales son aplicables para llevar de radiación solar sobre un plano horizontal a la radiación solar sobre un plano inclinado. En la Figura 6 nos muestra un esquema de los parámetros a usar en dichas fórmulas.

Figura 6. Orientación de la RS que cae sobre un panel fotovoltaico en un plano inclinado [29].



Se sabe que: S_{horz} es la radiación solar en una superficie horizontal, S_{mod} corresponde a la radiación solar sobre una superficie inclinada y S_{inc} es la radiación solar normal al sol. Las relaciones de estos parámetros son las siguientes:

$$S_{horz} = S_{inc} \times \text{sena} \quad (2)$$

$$S_{mod} = S_{inc} \times \text{sen}(\alpha + \beta) \quad (3)$$

Donde α es el ángulo de elevación y β el ángulo de inclinación del panel solar.

El ángulo $\alpha = 90 - \varphi + \delta$, donde φ es la latitud del lugar y δ es la declinación solar que se determina con la siguiente fórmula [30]:

$$\delta = 23,45^\circ \text{sen} \left(\frac{360}{365} (284 + d) \right) \quad (4)$$

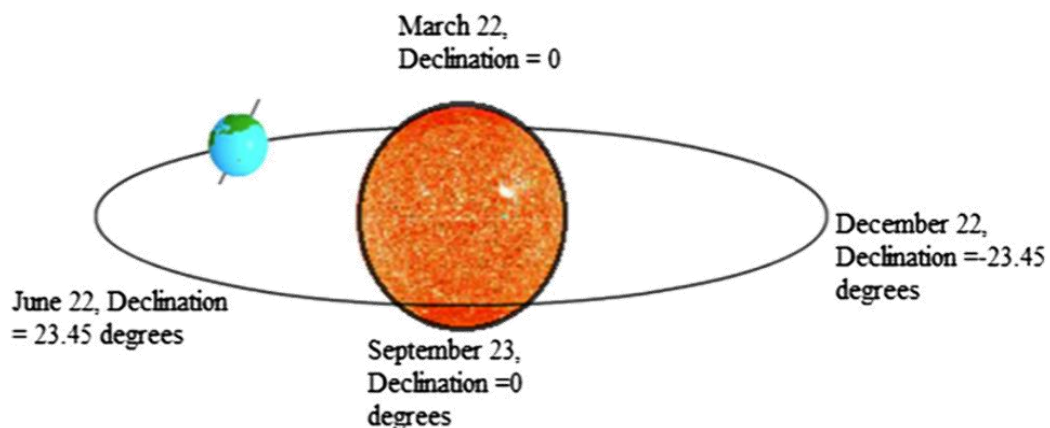
El valor de d corresponde al día del año en el que se quiere determinar la declinación solar (δ), por ejemplo, para el día 01 de enero el valor de d es 1. Debido a que este ángulo varía en todo el año y en vez de obtener el valor promedio por mes, el autor [31] ha demostrado que se puede tomar el día medio de cada mes, en la siguiente tabla se muestran los días recomendados por cada mes.

Tabla 1. Día promedio recomendado para cada mes [31].

| Month | Day of the year | Date |
|-------|-----------------|----------|
| Jan. | 17 | 17 Jan. |
| Feb. | 47 | 16 Feb. |
| Mar. | 75 | 16 Mar. |
| Apr. | 105 | 15 Apr. |
| May | 135 | 15 May |
| June | 162 | 11 June |
| July | 198 | 17 July |
| Aug. | 228 | 16 Aug. |
| Sept. | 258 | 15 Sept. |
| Oct. | 288 | 15 Oct. |
| Nov. | 318 | 14 Nov. |
| Dec. | 344 | 10 Dec. |

La declinación solar se define como el ángulo provocado por el plano del Ecuador de la Tierra y la línea que une el centro del Sol con el centro de la Tierra [30].

Figura 7. Declinación solar [32].



2.2.2.1. Medición de la Radiación Solar

Los datos brindados por el **Atlas solar del Perú** [33] que es trabajado por el Ministerio de Minas, nos dice que el Perú tiene un prominente nivel de RS anual, lo que corresponde a la Costa un valor aproximado de 5,5 a 6,5 kWh/m^2 ; en la Sierra, de 5,0 a 6,0 $kkWh/m^2$ y en la Selva de 4,5 a 5,0 kWh/m^2 . Esta riqueza de recurso solar es debido gran parte a la cercanía del Perú a la Línea Ecuatorial [25].

Figura 8. Mapa solar del Perú [33].



El **software RETScreen Expert**, es un software gratuito puesto por el gobierno canadiense, cuenta con el apoyo del GEF (Global Environment Fund), la NASA y otros organismos desarrolladores. Este programa nos permite el estudio, análisis, viabilidad y rendimiento relaciona con proyectos de ER y eficiencia energética [34].

Dentro de sus principales actividades tenemos: la recopilación públicamente para múltiples regiones que se basan en los datos climáticos existentes en RETScreen y presenta datos y mapas de recursos energéticos, por ejemplo, los datos meteorológicos satelitales de la NASA, estos datos dinámicos que son transmitidos en casi tiempo real al software [35].

Figura 9. Software RETScreen [35].



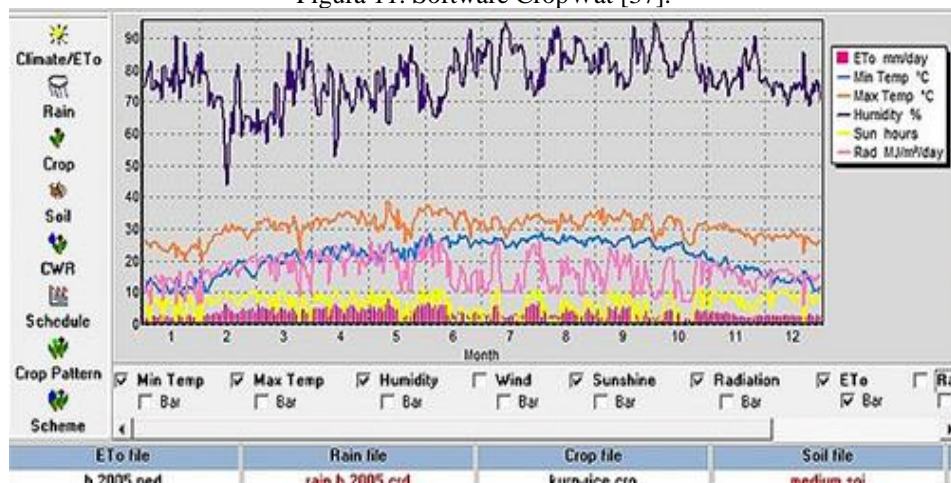
El **software Meteonorm** se encarga de proporcionar datos meteorológicos mensuales en cualquier parte de la Tierra [36]. Este software trabaja conjuntamente con el software PVSyst, ya que los resultados meteorológicos están en su base de datos.

Figura 10. Software Meteonorm 8.0 [36].



CropWat es un programa informático que calcula los requisitos de riego y agua de los cultivos en función de los datos del suelo, clima y los cultivos, asimismo, permite evaluar las prácticas de riego de los agricultores y estimar el rendimiento de los cultivos tanto en condiciones de secano como de riego [37].

Figura 11. Software CropWat [37].



Si se quiere realizar la medición *in situ* se pueden emplear instrumentos como el **piranómetro** cuya función medir la RS global (directa y difusa) en un plano horizontal; presenta un elemento que es el receptor, cuya característica es que debe estar de forma horizontal y libremente expuesto al hemisferio celeste [33].

Figura 12. Conjunto de piranómetros [38].



El **medidor de radiación para energía solar** es un instrumento que lo utilizan los ingenieros solares, arquitectos, expertos especializados y aficionados a la ingeniería solar para medir la potencia solar [39].

Figura 13. Medidor para energía solar [39].

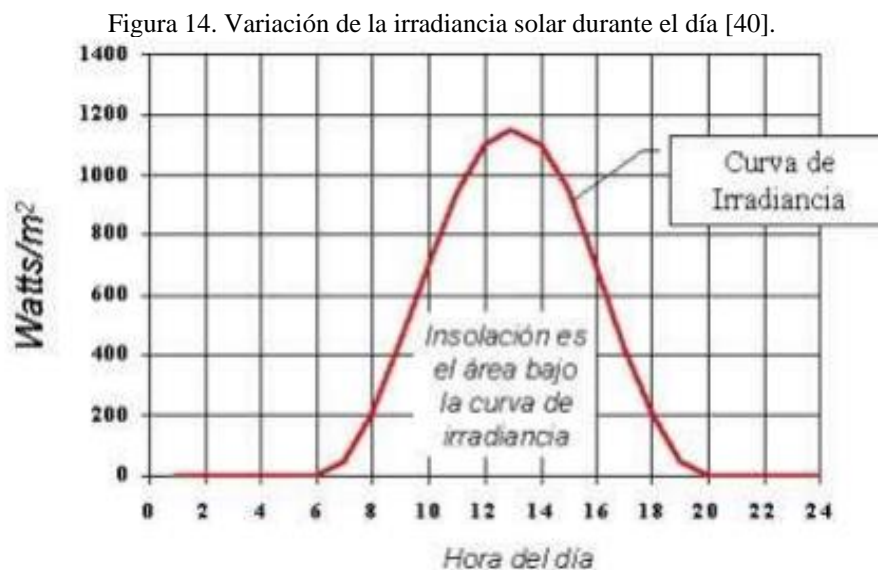


2.2.2.2. Irradiancia

Corresponde a la magnitud que se utiliza para la descripción de la potencia incidente por unidad de superficie, es por ello que la unidad correspondiente a la irradiancia es W/m^2 [21].

2.2.2.3. Hora Solar Pico (HSP)

La irradiancia para un día sin nubes se puede esquematizar mediante la siguiente gráfica.



En [40] nos menciona que la RS es el área limitada por debajo de la curva de irradiancia.

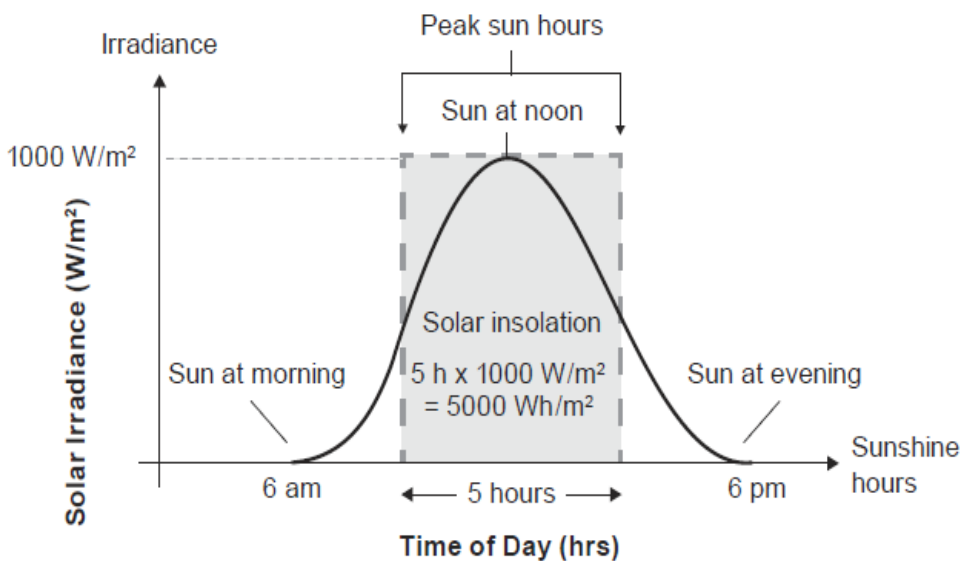
Matemáticamente se puede expresar mediante la siguiente ecuación:

$$\dot{E} = \int I_s dt \quad (5)$$

\dot{E} es la radiación solar (kWh/m^2), I_s es a la irradiancia (W/m^2) y t es el tiempo (h).

Esa área bajo la curva se puede reemplazar por un área de forma rectangular, cuya altura es $1\,000\,W/m^2$ y la base son las HSP; esto quiere decir que las HSP se define como el número de horas en el día durante las cuales se obtiene una irradiancia de $1\,000\,W/m^2$ de manera constante [40].

Figura 15. Curva de irradiancia diaria y HSP [28].



2.2.2.4. Energía Solar Fotovoltaica

Es la ciencia de usar la energía del sol para producir electricidad [41].

En [42] nos dice que es un proceso tecnológico en la cual la iluminación originada por un haz de fotones en los semiconductores genera corriente continua.

A pesar de que la ESFV se denomina una forma dispendiosa de producir energía eléctrica, ha ido creciendo en los últimos años a nivel mundial y su aplicación resulta estar en muchas áreas que son económicamente viables [42].

Figura 16. Desarrollo del mercado de módulos fotovoltaicos en los años 1980 a 2000 [30].

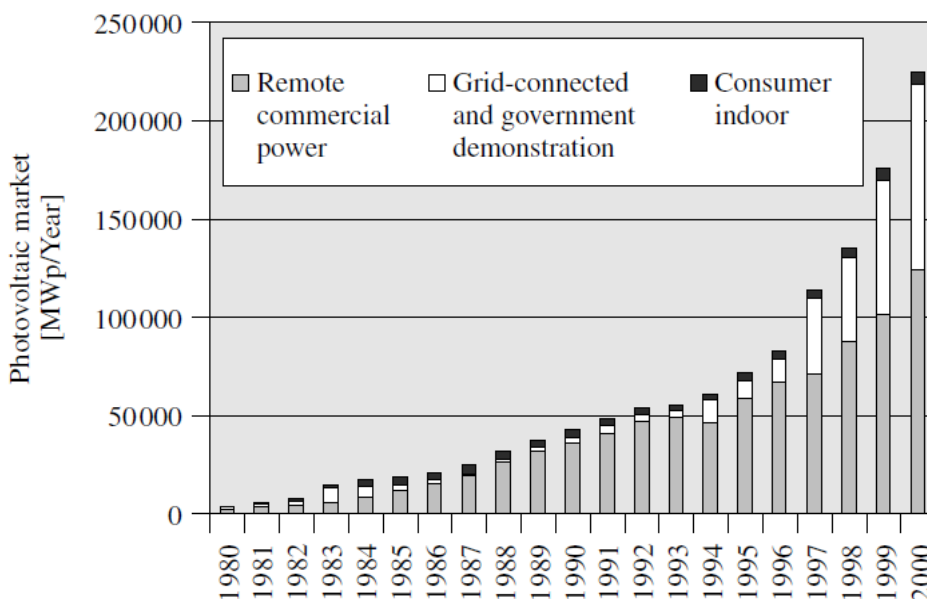
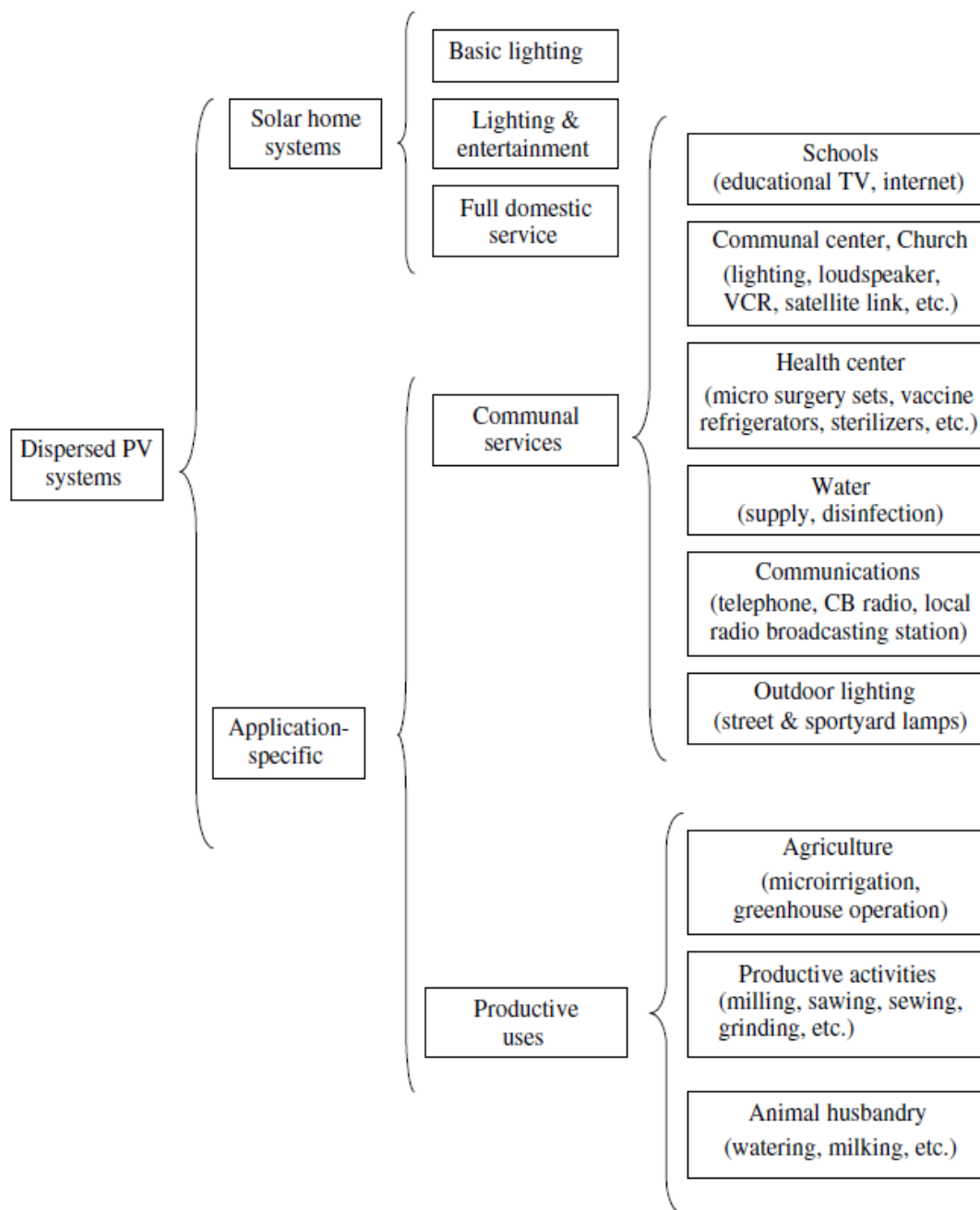


Figura 17. Aplicaciones de la ESFV en instalaciones aisladas [30].

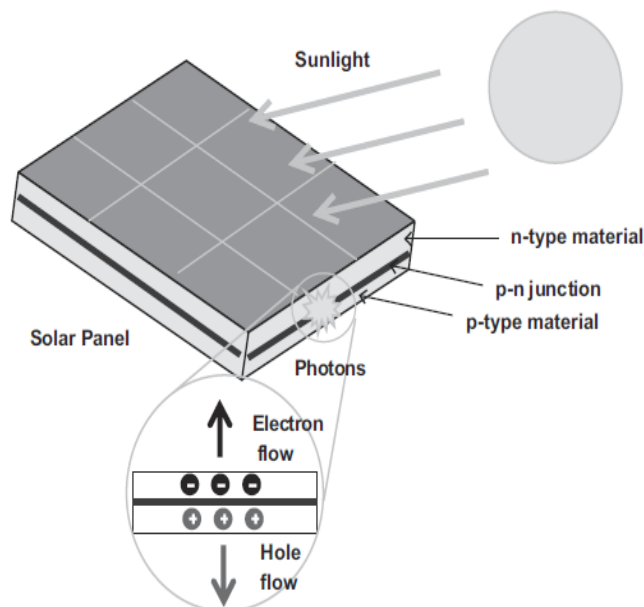


2.2.2.5. Efecto fotovoltaico

Llamamos efecto fotovoltaico al fenómeno físico que genera energía eléctrica a partir de la radiación solar y son realizadas en las células solares [43].

La célula o celda solar está fabricada por la unión de semiconductores se basan en la relación corriente – voltaje, estos semiconductores son tipo p y tipo n y es exactamente en la unión de estos donde ocurre el efecto fotovoltaico [44], [45].

Figura 18. Efecto fotovoltaico [28].



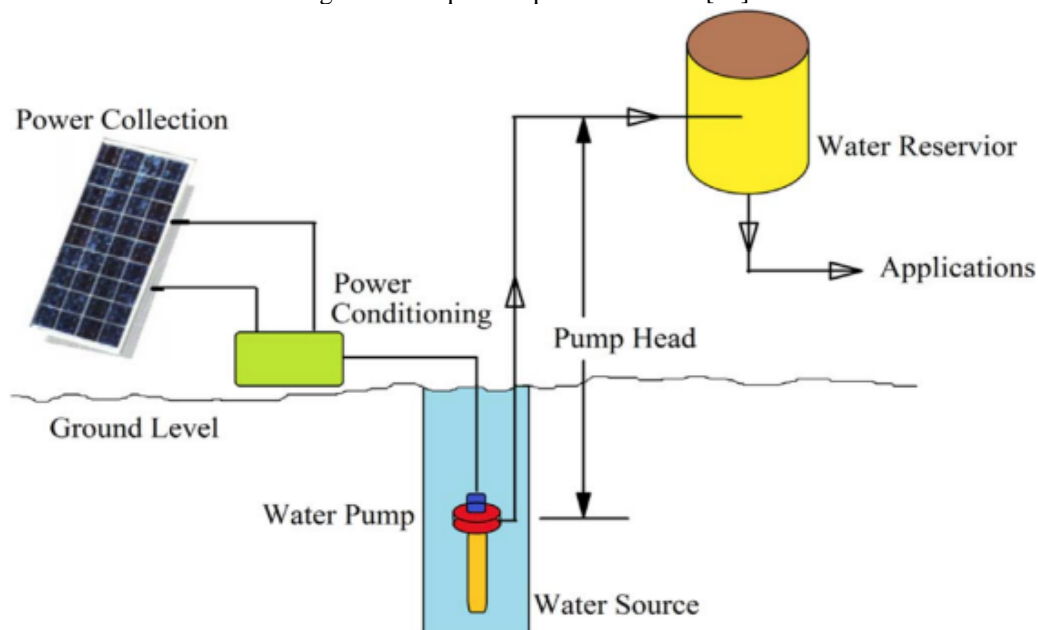
2.2.3. Sistema de bombeo solar

El SBS con ayuda de la energía de los PSFV alimenta una bomba de agua eléctrica [46].

Dentro de las aplicaciones de los SBS se tiene el bombeo para riego agrícola y el bombeo de agua para abastecer zonas rurales, tanto para el humana como para el ganado, siendo soluciones sostenibles y económicas [3], [47].

Como se puede apreciar en la Figura 19, un esquema típico de un SBS consiste en un generador fotovoltaico, controlador, un pozo, un sistema motor/bomba, un conjunto de tuberías y un reservorio [48].

Figura 19. Esquema típico de un SBS [48].



Para poder simplificar estos componentes un SBS está formado por tres subsistemas: Subsistema de generación o de captación de energía, subsistema motor – bomba o captación y bombeo y subsistema de acumulación o almacenamiento y distribución [49], [50].

2.2.3.1. Subsistemas de un SBS

a) Subsistema de generación

Este subsistema tiene como función la aportación de energía demandada por la instalación, está conformado por PSFV que en su conjunto forman el generador fotovoltaico [50].

Figura 20. Generador Fotovoltaico [51].



b) Subsistema motor – bomba

Se denomina a este sistema como el encargado de la elevación del agua aprovechando la energía captada por el generador fotovoltaico [52].

Este subsistema tiene como función proporcionar la energía necesaria para que la bomba trabaje, la bomba es un elemento que se encarga de llevar el agua hacia la superficie para ser conducido hasta su almacenamiento [52].

c) Subsistema de acumulación

En este subsistema está incluido la tubería que conduce el fluido desde la salida de la bomba hasta los tanques de almacenamiento, incluyendo filtros y sedimentadores que sean necesarios

para que el líquido esté en buenas condiciones [49]. En un SBS suministra agua durante las *HSP* a excepción cuando se utilizan baterías y para ello se recomienda la utilización de depósitos de almacenamiento de agua ya que estos dependen de su volumen y pueden proporcionar el déficit de agua en los momentos en que el caudal bombeado no pueda alcanzar el consumo demandado [50].

2.2.3.2. Componentes de un SBS

a) Paneles Solares Fotovoltaicos

También llamado módulo fotovoltaico y está comprendido por el conjunto de celdas o células solares con características similares; esta unión de celdas permite el incremento tanto de voltaje como de corriente generada [53].

Figura 21. PSFV ubicados dentro de la Base de la Fuerza Aérea de Nellis en el condado de Clark, Nevada [54].


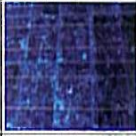



Para la distinción de los tipos de paneles se tiene en cuenta la tecnología de fabricación de sus células y generalmente para su elaboración se utiliza el silicio ya que este material abunda en la Tierra, es durable en el tiempo, presenta una baja tasa de contaminación y cuenta con sobresalientes propiedades fisicoquímicas [55].

Estas células se clasifican en: monocristalinas, policristalinas y de película delgada o amorfas [55].

En Tabla 2 se puede ver detalladamente la eficiencia, el aspecto y algunas características de los tipos de células solares.

Tabla 2. Características de los tipos de células solares [9].

| Tipo de célula | Eficiencia | Aspecto | Características |
|------------------------|------------|---|--|
| Silicio monocristalino | 15...18 % |  | Estructura cristalina uniforme. Se fabrica en lingotes cilíndricos de gran pureza que se cortan en obleas. Se gasta mucha energía en su construcción. Es el primer material en utilizarse industrialmente. |
| Silicio policristalino | 12...14 % |  | Estructura cristalina no uniforme. Se fabrica en moldes rectangulares. Menor coste que el silicio monocristalino. |
| Silicio amorfo | 6...9 % |  | Estructura no cristalina. Su potencia se degrada con el tiempo de utilización. Se puede depositar como una capa muy fina en muchos tipos de soportes, incluso flexibles. Bajo coste de fabricación. |

La Tierra tiene una forma elíptica y debido a esto es que la radiación solar no incide de manera perpendicular, el ángulo de incidencia depende de la latitud, longitud y día del año en que nos encontremos [56].

En [56] nos muestra un ejemplo de cómo deben actuar los PSFV para poder maximizar la absorción energética, y lo asemeja al comportamiento de los girasoles que mantiene el ángulo de 90° durante el mayor intervalo de tiempo posible, entonces sugiere la implementación de trackers para los paneles que son un sistema de seguimiento solar.

En instalaciones domésticas o industriales se sugiere optar por paneles con una inclinación fija, con el objetivo de minorar la inversión y también los costes de mantenimiento [56].

El ángulo de inclinación óptimo β_{opt} de los paneles solares se calcula mediante la siguiente ecuación brindada por [30].

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |\varphi|) \quad (6)$$

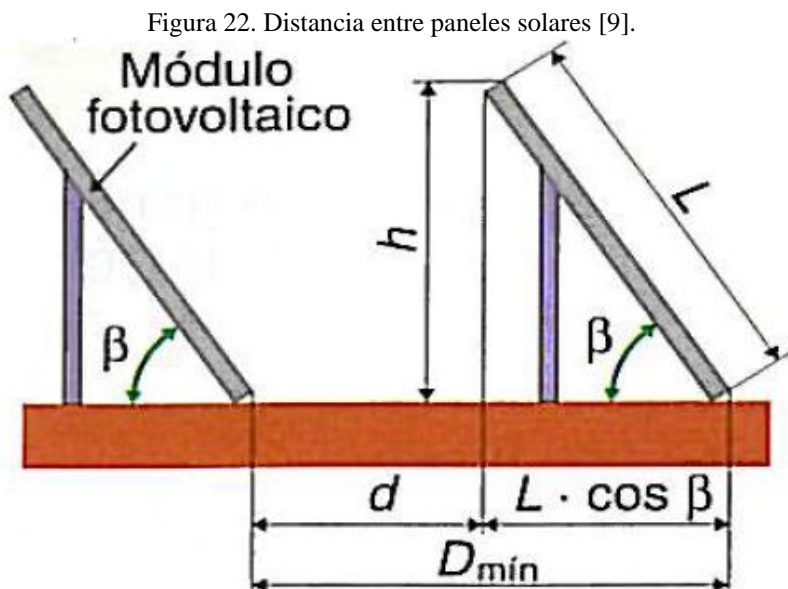
La orientación es la dirección que se enfrenta un panel solar [57] y la orientación óptima según [30] si el lugar de estudio está ubicado en el hemisferio sur los paneles deben mirar al norte y si está ubicado en el hemisferio norte deben estar orientados al sur.

Siempre se busca que todo panel fotovoltaico trabaje de forma óptima, es por ello que aparte de obtener un ángulo y orientación óptima también se debe determinar una separación óptima entre paneles para evitar por el ejemplo el sombreado entre estos [58].

El autor [59] nos da la siguiente ecuación para determinar la separación mínima de paneles solares.

$$D_{min} = d + L \times \cos\beta \quad (7)$$

El valor de β sigue siendo el ángulo de inclinación de los paneles, D_{min} es la distancia mínima y L la longitud del panel solar.



d se puede obtener aplicando la Ecuación 8 que depende de h que es la altura vertical del panel y la latitud del lugar (φ). La altura vertical del panel (h) se determina aplicando la Ecuación 9.

$$d = \frac{h}{\operatorname{tg}(61^\circ - |\varphi|)} \quad (8)$$

$$h = L \times \operatorname{sen}\beta \quad (9)$$

La conexión de paneles se puede dar en **serie** o en **paralelo**, la diferencia es que en la conexión en serie permite el aumento de la tensión final en los extremos de la célula equivalente, sin embargo, la conexión en paralelo permite el aumento de la intensidad total del conjunto [60].

Figura 23. Conexión de PSFV [60].

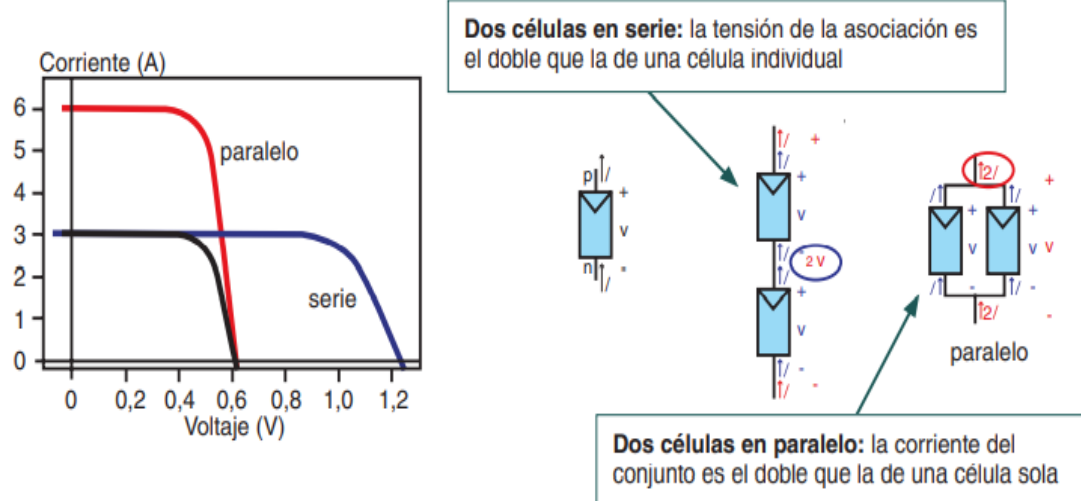


Figura 24. Conexión en serie [28].

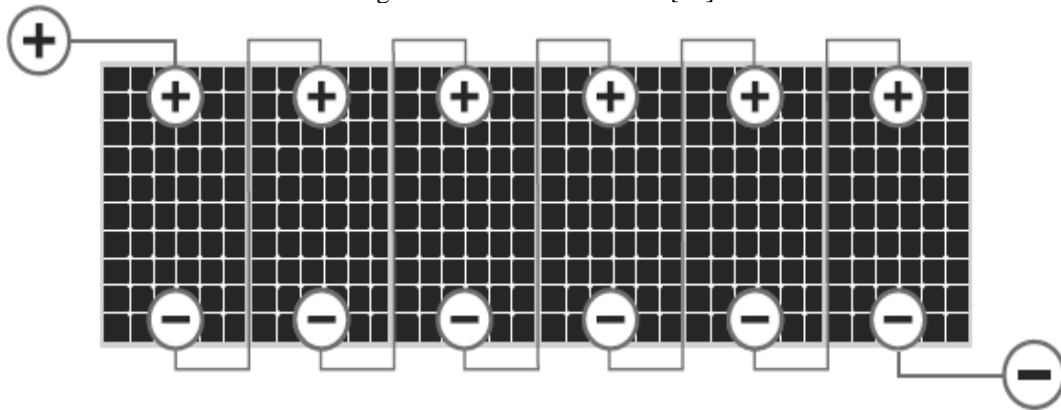


Figura 25. Conexión en paralelo [28].

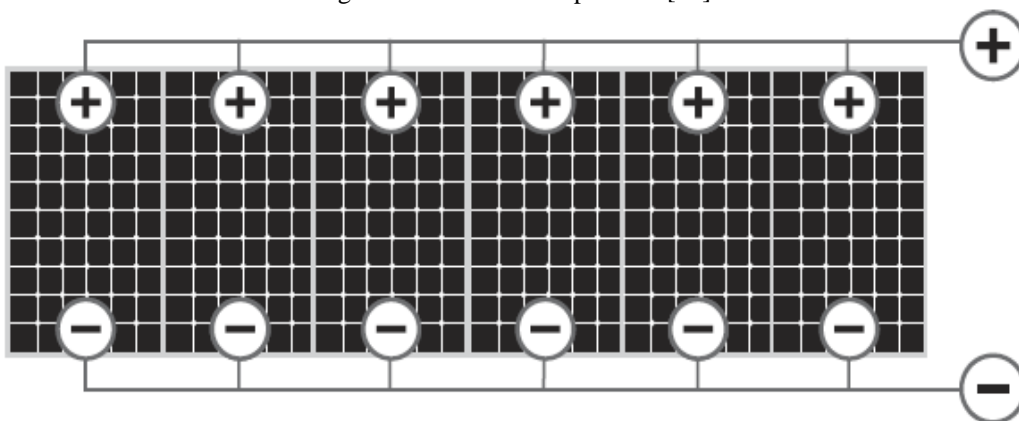
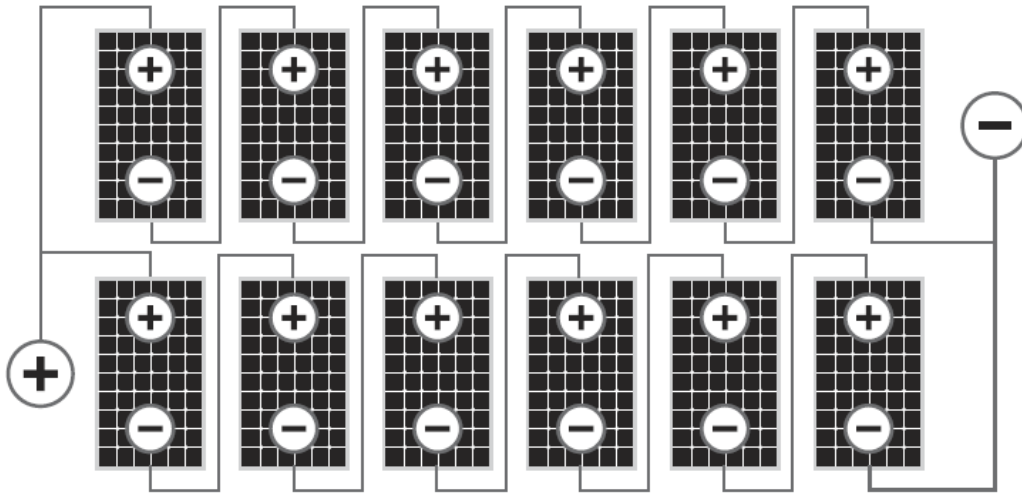


Figura 26. Conexión en serie y paralelo [28].



El número de PSFV se determina mediante la siguiente ecuación brindada por [61]:

$$N = \frac{P_p}{P_{max}} \quad (10)$$

De la cual P_p es la potencia pico o potencia máxima del generador (W), P_{max} representa la potencia pico o potencia máxima del módulo (W), N es el número de paneles.

El autor [3] nos da una serie de fórmulas para comenzar con el diseño del generador fotovoltaico, por ejemplo, el cálculo de la P_p para un SBS nos da lo siguiente:

$$P_p = \frac{E_h \times 1\,000}{\eta_{mb} \times F_m \times (1 - \gamma \times (T_c - 25)) \times H_{dm}} \quad (11)$$

E_h representa la energía hidráulica ($kWh/día$), η_{mb} es el rendimiento diario medio mensual del grupo motor – bomba al que se le puede asignar valores entre 0,3 y 0,4, F_m es el factor de acoplo, lo cual el autor nos menciona que como mínimo debe ser igual a 0,8, γ corresponde el coeficiente de variación de la potencia con la temperatura de las células (entre 0,004 y 0,005 $^{\circ}C^{-1}$), T_c es la temperatura de la célula ($^{\circ}C$) y H_{dm} representa la radiación diaria media mensual ($kWh/m^2/día$).

Es bueno precisar que, aunque no lo menciona la fuente bibliográfica el 1 000 en la Ecuación 11 representa el valor de irradiancia cuando el panel trabaja en condiciones estándares (STC) o sea su unidad es (W/m^2).

En la misma fuente nos muestra una fórmula más resumida para determinar el valor de T_c .

$$T_c = T_a + 0,03 \times G \quad (12)$$

Donde T_a es la temperatura ambiente (25 °C) y G es la irradiancia en condiciones estándares (1 000 W/m²).

Continuando con el diseño, una vez seleccionado el panel, se puede calcular la cantidad de paneles tanto en serie como ramas en paralelo con la Ecuación 13 y Ecuación 14 respectivamente [9].

$$N_s = \frac{U_G}{U_M} \quad (13)$$

$$N_p = \frac{I_G}{I_M} \quad (14)$$

Se sabe que: N_s son el número de paneles en serie, N_p son el número de ramas en paralelo, U_G es la tensión del generador (V), U_M es la tensión de un módulo (V), I_G es la intensidad del generador (A) e I_M es la intensidad de un módulo (A).

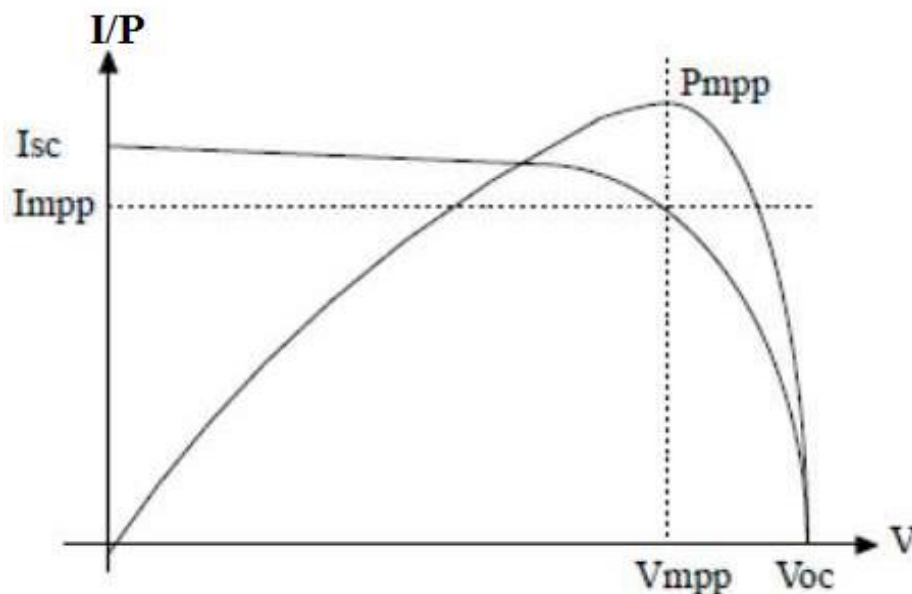
Los paneles solares presentan en su ficha técnicas ciertas características importantes que se deben mencionar, por ejemplo, el punto de máxima potencia (P_{mp}), voltaje de máxima potencia (V_{mp}), corriente de máxima potencia (I_{mp}), voltaje en circuito abierto (V_{oc}) y corriente de corto circuito (I_{sc}). Es importante señalar que P_{mp} es igual a P_{max} .

En [55] nos señala lo siguiente:

$$P_{mp} = V_{mp} \times I_{mp} \quad (15)$$

En la siguiente imagen se puede apreciar la curva de productos corriente – voltaje y curva I – V, donde se señalan las características mencionadas anteriormente.

Figura 27. Curva de productos corriente-voltaje y curva I-V [62].



Cuando se menciona STC (Standar Test Condition) al español Condiciones Estándar de Medida, significa según la norma IEC 60904-1 que panel trabaja con las siguientes características: Irradiancia igual a $1\,000\text{ W/m}^2$, temperatura de las células igual a 25 °C y distribución espectral de la luz: AM1 5G [63].

En [55], [64] se habla del rendimiento de los paneles solares y existen factores que la perjudican, entre ellas tenemos: variaciones del clima, la suciedad, sombras, el ángulo de inclinación de los paneles, la orientación, la conexión, etc.

b) Soportes de PSFV

Estos soportes deben estar configurados dependiendo el lugar de instalación ya que pueden estar en el suelo, en el techo, con un sistema de seguimiento solar (opcional) [65].

c) Inversor

Su función es convertir la corriente continua capturada por los paneles solares a corriente alterna [66].

Figura 28. Inversor [65].

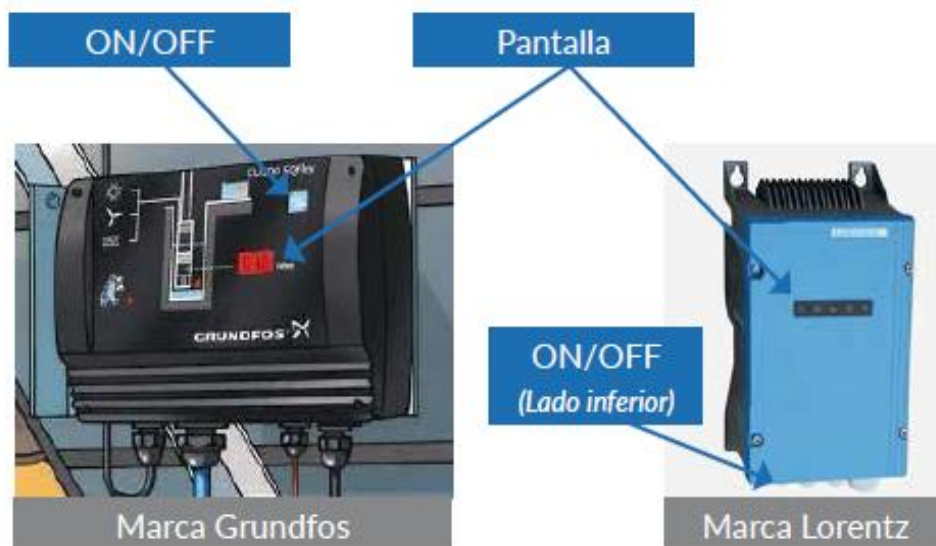


d) Regulador o controlador

Es un equipo electrónico cuyo objetivo es generar condiciones adecuadas de requerimientos de operación de las baterías y así protegerlas de cargas o descargas [67].

Un tipo especial e interesante de regulador de tensión que se permite instalar con o sin baterías son los convertidores DC/DC, estas permiten el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT) logrando maximizar la potencia captada [3], [43] .

Figura 29. Controlador [65].



Para la selección del regulador o controlador se cumple la siguiente relación dada por [50]:

$$I_{reg} > 1,25 \times I_{sc, panel} \times NP_{paralelo} \quad (16)$$

Se puede decir que I_{reg} es la corriente del controlador o regulador, $I_{sc, panel}$ representa la corriente corto circuito del panel y $NP_{paralelo}$ es el número de ramas de paneles en paralelo.

e) Baterías

Las baterías también llamadas acumuladores, que sirven para almacenar energía generada por el sistema para así disponer de ella en periodos en los que no se disponga del recurso suficiente [43].

La aplicación de baterías en un SBS se recomienda cuando el caudal que brinda el pozo no sea suficiente para cubrir la demanda [3]; si se habla del aspecto económico el uso de estas tampoco se recomiendan por el costo, mantenimiento y la disminución de la fiabilidad del sistema [50].

f) Motores

Se pueden aplicar los motores de corriente continua o corriente alterna; los de **corriente continua (CC)** o **corriente directa (DC)** presentan ventajas, por ejemplo, la alta eficiencia, no requiere de inversor y de adecuado acoplamiento directo a los paneles solares; los de **corriente alterna (CA)**, resultan ser más baratos que los de CC, estos son más comercializados debido a su amplia aplicabilidad [68].

g) Bombas

La bomba se encarga de aprovechar la energía cinética producida por su eje o impulsor giratorio para transmitirla al fluido, lo que ocasiona el movimiento de este y aumentar su presión [69].

Para los SBS se utilizan dos tipos de bombas: **bombas centrífugas y volumétricas**.

Las **bombas centrífugas** se utilizan normalmente para aplicaciones de baja altura (menores a 25 m) y bajas presiones, especialmente si se requiere una conexión directa a los paneles solares; presentan también eficiencias relativamente altas cuando trabajan con alturas bajas [66]. Estos tipos de bombas deben ir equipado con interruptores de flotación que actúan automáticamente para controlar el nivel del fluido [69].

Por otra parte, están las **bombas volumétricas** o también llamadas de desplazamiento positivo, utilizables para caudales de bombeo bajos, dentro de estas encontramos las bombas con diafragma, las bombas con tornillo rotativo y las bombas de cavidad progresiva [66].

La elección de la bomba depende de sus curvas características ($h - Q$), teniendo en cuenta el punto de intersección entre la altura manométrica y el caudal de demandado [3].

Con respecto al caudal demandado o **caudal de bombeo** (Q_b) es la relación entre el volumen necesario de agua diario con el tiempo de bombeo (en este caso representan las *HSP*); este valor debe ser menor al caudal pico porque debe abastecer la demanda, el autor [19] considera para el cálculo del caudal pico la siguiente expresión:

$$Q_p = \frac{P_p \times \eta_{mb}}{g \times h} \quad (17)$$

En esta expresión el caudal pico está expresado en L/s y se simboliza con Q_p , g es la aceleración de la gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$) y h es la altura manométrica (m).

Un parámetro que se considera en las bombas centrífugas es la **potencia hidráulica**, en mecánica de fluidos definen la potencia como la rapidez que se transfiere energía [69], en el SI la unidad es el Watt (W) y se puede calcular empleando la siguiente ecuación [70]:

$$P_h = \rho \times g \times Q_b \times h \quad (18)$$

P_h es la potencia hidráulica en (W), ρ es la densidad del agua ($1\,000 \text{ kg/m}^3$) y Q_b es el caudal de bombeo (m^3/s).

También se puede obtener la **potencia eléctrica** necesaria o la **potencia del motor – bomba** (P_{mb}), donde el autor [19] nos da la fórmula para calcularla:

$$P_{mb} = \frac{P_h}{\eta_{mb}} \quad (19)$$

Anteriormente se mencionó sobre la energía hidráulica (E_h) que nos ayuda para determinar la potencia pico del generador, según [3] este parámetro depende del conocimiento primero de las necesidades de agua que se refiere a los valores promedio al día de cada mes; en el caso de la aplicación en el riego el consumo de agua depende del tipo de cultivo y factores del clima. Sabemos que el producto de la potencia y el tiempo es la energía, es por ello que podemos deducir lo siguiente, aclarando que el tiempo representa el tiempo de bombeo al día que en este caso como se mencionó son las *HSP*.

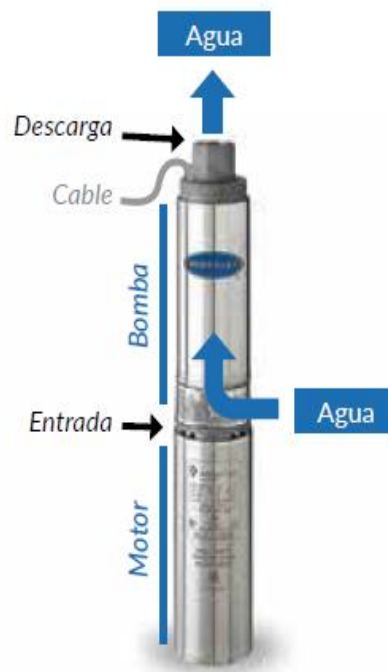
$$E_h = P_h \times HSP \quad (20)$$

Análogamente la **energía eléctrica** (E_e) expresada en ($kWh/día$) que es necesaria para suministrar diariamente el sistema motor – bomba, se determina aplicando la siguiente ecuación:

$$E_e = \frac{E_h}{\eta_{mb}} \quad (21)$$

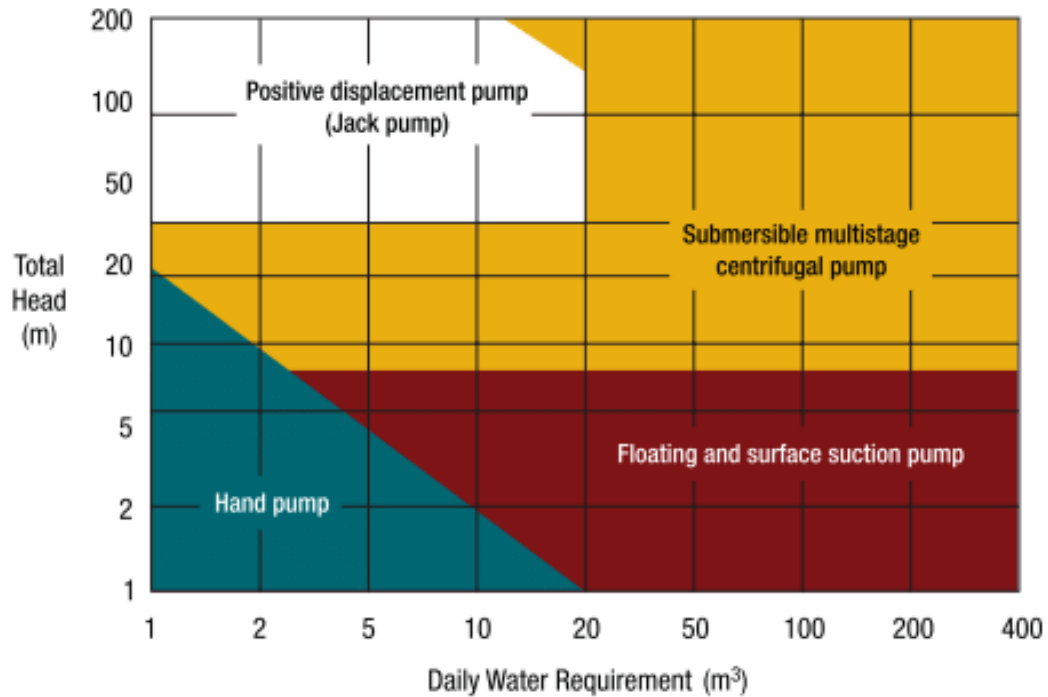
Para la **selección del sistema motor bomba**, [3] nos recomienda que para demandas de agua mayores a $15 m^3/día$ se empelarán bombas centrífugas accionadas con motores de CC y considerando η_{mb} igual a 0,4.

Figura 30. Sistema motor – bomba [65].



El autor [70] indica que la siguiente gráfica nos puede también ayudar a determinar el sistema motor – bomba que se requiere para el diseño, que depende de la altura manométrica y el requerimiento de agua diario.

Figura 31. Gráfica para seleccionar el sistema motor – bomba [70].

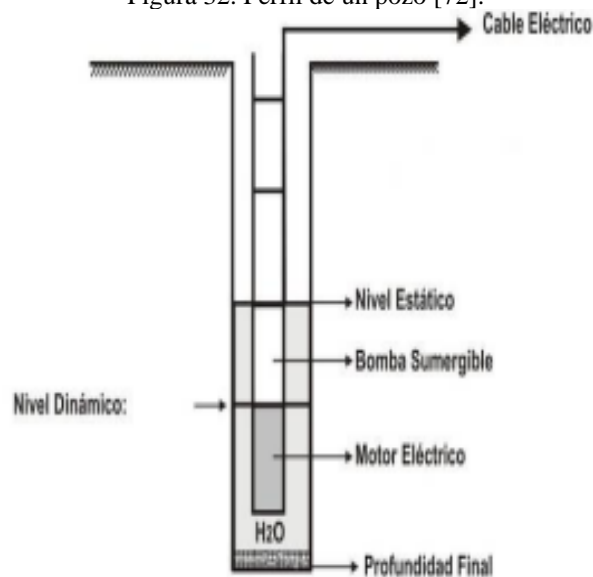


h) Fuente de agua (Pozo)

El agua dulce se obtiene generalmente de aguas superficiales como ríos, arroyos y represas o también de aguas subterráneas como perforaciones y pozos [51].

Un pozo es como un orificio abierto en el suelo de forma vertical, cuya función es elevar agua subterránea a la superficie terrestre, para la construcción se aplican equipos de perforación mecánica como taladros [71].

Figura 32. Perfil de un pozo [72].



En la Figura 32 se puede apreciar el perfil de un pozo, donde encontramos el **nivel estático** que la posición del agua subterránea en posición en natural o sea cuando el equipo de bombeo no está funcionando, se considera esta distancia como la superficie del terreo hasta la superficie de agua en el subsuelo; asimismo el **nivel dinámico** es la posición del agua subterránea cuando el bombeo está funcionando [71].

Método de bombeo escalonado sin recuperación

Este método nos ayuda a predecir cómo se comporta un determinado pozo y consiste en realizar una prueba con caudales diferentes y medir los descensos correspondientes, de modo que se pueda establecer una fórmula general para un pozo acuífero; la utilidad de este modelo matemático es para poder obtener un caudal óptimo de explotación y también poder determinar la eficiencia del pozo [73].

Este método es el más usado para el cálculo de la fórmula general de descensos o abatimiento, cuyo modelo matemático propuesto por Rorabaugh en 1953 [74] [75] es:

$$d = AQ + BQ^n \quad (22)$$

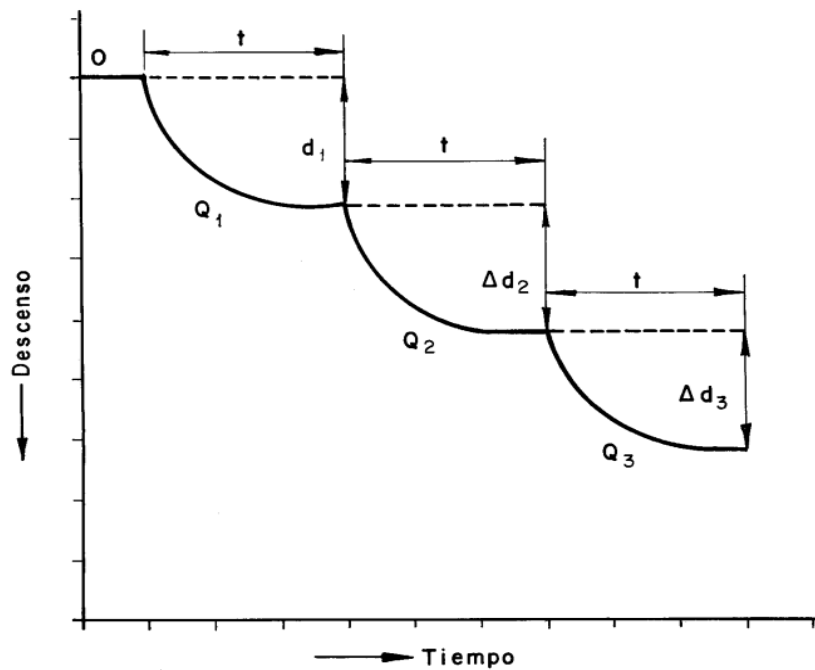
De la Ecuación 22 según [74] nos dice que: d es el abatimiento en el pozo de bombeo (m), Q representa el caudal de bombeo ($m^3/día$), AQ corresponde al descenso teórico, BQ^n son las pérdidas de carga debido a demás factores y n es un exponente que puede variar de 1 a 4.

Para el ensayo por el método escalonado se emplearán caudales de manera creciente y la duración de los bombeos generalmente oscila entre 0,5 y 3 horas, siendo estos tiempos iguales y sin interrumpir el ensayo al término de cada caudal [74].

Es recomendable el empleo del método de bombeo escalonado sin recuperación porque en la vida real no resulta ser práctico la espera a que los niveles se recuperen totalmente para llevar a cabo el siguiente escalón, cosa que se aplica cuando se realiza el bombeo escalonado con recuperación [76].

Supongamos que se midió el primer descenso d_1 , originado por el caudal Q_1 , este d_1 es el resultado de la diferencia del nivel final, al cabo de un tiempo t y el nivel inicial; al aumentar el caudal a Q_2 , se producirá un descenso adicional denominado Δd_2 , por lo tanto, el descenso $d_2 = d_1 + \Delta d_2$; entonces cuando se aplique un tercer caudal Q_3 el descenso $d_3 = d_1 + \Delta d_2 + \Delta d_3$ [74]. Lo mencionado anteriormente se puede representar con la Figura 33:

Figura 33. Bombeo escalonado sin recuperación [74].



Teniendo en cuenta la Ecuación 22 el objetivo es determinar las variables A, B y n ; para el cual al bombear por ejemplo con tres caudales distintos se obtendrá:

$$d_1 = AQ_1 + BQ_1^n \quad (23)$$

$$d_2 = AQ_2 + BQ_2^n \quad (24)$$

$$d_3 = AQ_3 + BQ_3^n \quad (25)$$

Para despejar y reducir el sistema de ecuaciones se empleará el método analítico [73]:

De la Ecuación 23 se despeja A :

$$A = \frac{d_1 - BQ_1^n}{Q_1} \quad (26)$$

Al reemplazar (26) en (24), se obtiene:

$$d_2 = \left(\frac{d_1}{Q_1} - \frac{BQ_1^n}{Q_1} \right) Q_2 + BQ_2^n$$

$$d_2 = \frac{d_1 Q_2}{Q_1} - \frac{BQ_1^n Q_2}{Q_1} + BQ_2^n$$

$$\begin{aligned}
d_2 &= \frac{d_1 Q_2}{Q_1} + B Q_2 (Q_2^{n-1} - Q_1^{n-1}) \\
d_2 - \frac{d_1 Q_2}{Q_1} &= B Q_2 (Q_2^{n-1} - Q_1^{n-1})
\end{aligned} \tag{27}$$

Se despeja A de la expresión 24:

$$\begin{aligned}
A &= \frac{d_2 - B Q_2^n}{Q_2} \\
A &= \frac{d_2}{Q_2} - B Q_2^{n-1}
\end{aligned} \tag{28}$$

Se sustituye la expresión 28 en la expresión 25 para obtener la Ecuación 29:

$$\begin{aligned}
d_3 &= \left(\frac{d_2}{Q_2} - \frac{B Q_2^n}{Q_2} \right) Q_3 + B Q_3^n \\
d_3 &= \frac{d_2 Q_3}{Q_2} - \frac{B Q_2^n Q_3}{Q_2} + B Q_3^n \\
d_3 &= \frac{d_2 Q_3}{Q_2} - \frac{B Q_2^n Q_3}{Q_2} + B Q_3^n \\
d_3 - \frac{d_2 Q_3}{Q_2} &= B Q_3 (Q_3^{n-1} - Q_2^{n-1})
\end{aligned} \tag{29}$$

Al dividir la Ecuación 27 entre la Ecuación 29 se obtiene:

$$\begin{aligned}
\frac{d_2 - \frac{d_1 Q_2}{Q_1}}{d_3 - \frac{d_2 Q_3}{Q_2}} &= \frac{B Q_2 (Q_2^{n-1} - Q_1^{n-1})}{B Q_3 (Q_3^{n-1} - Q_2^{n-1})} \\
\frac{Q_1 Q_2 d_2 - Q_2^2 d_1}{Q_1 Q_2 d_3 - Q_1 Q_3 d_2} &= \frac{Q_2 (Q_2^{n-1} - Q_1^{n-1})}{Q_3 (Q_3^{n-1} - Q_2^{n-1})} \\
\frac{Q_1 Q_2 Q_3 d_2 - Q_2^2 Q_3 d_1}{Q_1 Q_2^2 d_3 - Q_1 Q_2 Q_3 d_2} &= \frac{Q_2^{n-1} - Q_1^{n-1}}{Q_3^{n-1} - Q_2^{n-1}}
\end{aligned} \tag{30}$$

Se multiplica al numerador y denominador del primer miembro de la Ecuación (30) por

$$\frac{1}{Q_1 Q_2^2 Q_3}:$$

$$\frac{\frac{d_2}{Q_2} - \frac{d_1}{Q_1}}{\frac{d_3}{Q_3} - \frac{d_2}{Q_2}} = \frac{Q_2^{n-1} - Q_1^{n-1}}{Q_3^{n-1} - Q_2^{n-1}} \quad (31)$$

Con se puede ver la Ecuación 31 solo depende de una incógnita n .

Eficiencia del pozo

La eficiencia de una captación se define como la relación entre el descenso teórico y el descenso real [76] y se puede calcular según [73] con la Ecuación 32:

$$Eficiencia = \frac{AQ}{AQ + BQ^n} \times 100 \quad (32)$$

Siendo: AQ es el descenso teórico ($d_{teórico}$) y $AQ + BQ^n$ es el descenso real (d_{real}).

Para que se realice un riego eficiente según [77] el rango típico del valor de la eficiencia del pozo debe estar comprendida entre 70% y 80% (o mayor).

Caudal aconsejable de explotación de un pozo

La determinación de un caudal de explotación aconsejables de un pozo es uno de los objetivos con mayor prioridad cuando se realiza un ensayo de bombeo y este se puede obtener de la ecuación general de los descensos [74].

Métodos para el cálculo del caudal

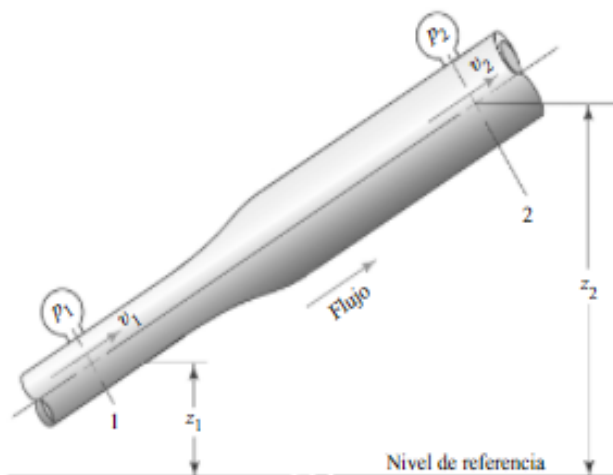
El método más sencillo de determinar el caudal es utilizando el **método volumétrico** que con ayuda de un cronómetro de mide el tiempo en que se llena un determinado recipiente, aplicando la siguiente ecuación se determina el caudal:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (33)$$

Q representa el caudal del fluido (m^3/s), V es el volumen del recipiente conocido (m^3) y t es el tiempo que demora en llenarse el recipiente (s).

Otra forma de determinar los caudales es con ayuda del **tubo de Venturi** que va de la mano con **la ecuación de la continuidad y la ecuación de Bernoulli** [78].

Figura 34. Esquema de la ecuación de la continuidad [69].

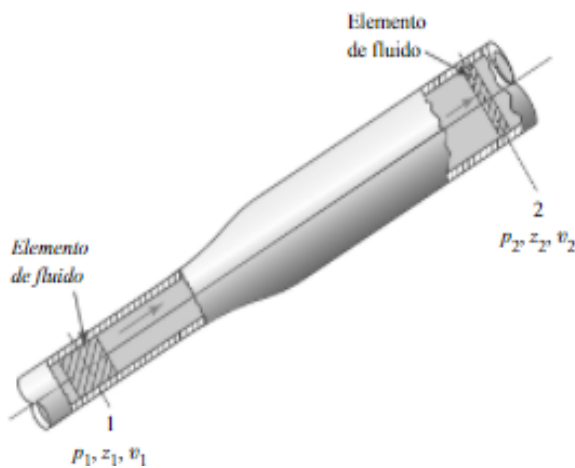


$$Q_1 = Q_2 \quad (34)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (35)$$

A es el área de la sección (m^2) y v la velocidad del fluido (m/s).

Figura 35. Esquema de la ecuación de Bernoulli [69].



$$z_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \quad (36)$$

z son alturas desde una línea de referencia (m), p son presiones (N/m^2), g es la aceleración de la gravedad ($9,81 m/s^2$) y γ es el peso específico, en este caso es agua ($9\ 810 N/m^3$).

i) Depósito de almacenamiento (Reservorio)

Los depósitos de almacenamiento de agua hacen que el sistema mantenga cierta autonomía sin depender de la energía solar, es por ello que al dimensionar los reservorios se debe tener en cuenta los consumos que se realicen fuera de las horas de Sol, asimismo se debe tener en cuenta que estos depósitos deben cubrir demandas pico que no puedan ser suministradas por el sistema de bombeo [3].

j) Cables

La función de los cables eléctricos es de portar energía eléctrica a la bomba, es por ellos que deben ser capaces de entregar la potencia suficiente y encargarse de la seguridad del sistema de bombeo [28].

Para la determinación de la sección del cable nos da la siguiente expresión [19]:

$$S = 2 \times \frac{L \times I_{max}}{\Omega \times \Delta V} \quad (37)$$

En la cual L es la longitud del cable (m), I_{max} representa la corriente máxima por tramo (A), Ω representa la conductividad del cobre ($56 \frac{m}{\Omega mm^2}$) y ΔV es la caída de tensión (V).

k) Tuberías

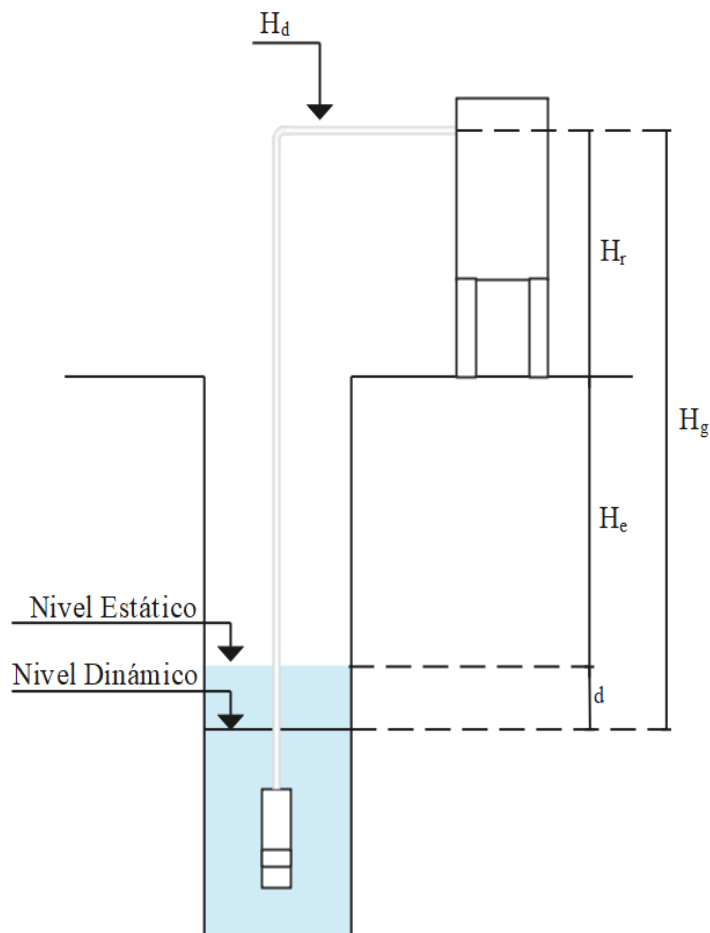
Se recomienda que el material de las tuberías deberá ser de acero inoxidable o de PVC para así resistir sin ningún problema la corrosión durante su vida útil que se estima aproximadamente 20 años [3].

Altura manométrica

Corresponde a la sumatoria de la altura estática o también llamada geométrica (H_g) y la altura dinámica (H_d) [3].

$$h = H_g + H_d \quad (38)$$

Figura 36. Esquema de la altura estática y dinámica.



H_g es la variación de niveles entre el agua en la fuente que varía cuando se bombea y el agua en la salida [3]. Se puede decir que la altura geométrica incluye también al abatimiento o descenso (d), es por ello que de la Figura 36 se puede deducir una ecuación que nos permite determinar H_g :

$$H_g = d + H_e + H_r \quad (39)$$

Donde d representa el descenso o abatimiento (m), H_e es el nivel estático (m) y H_r es el nivel del reservorio (m).

Y H_d es causada por las pérdidas de presión cuando el fluido se desplaza a través una tubería, la cual se puede calcular mediante la ecuación de Darcy Weisbach [3].

$$H_d = f \times \frac{L}{D} \times \frac{v^2}{2g} \quad (40)$$

Donde f es el coeficiente de fricción, L represente la longitud de la tubería (m), D corresponde al diámetro de la tubería (m) y por último v es la velocidad media del fluido (m/s).

En [69] nos muestra la ecuación para el cálculo del coeficiente de fricción f , tanto para flujos laminares como para flujos turbulentos respectivamente.

$$f = \frac{64}{N_R} \quad (41)$$

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7(D/\varepsilon)} + \frac{5,74}{N_R^{0,9}} \right) \right]^2} \quad (42)$$

Donde ε es el coeficiente de rugosidad que depende del material (mm) y N_R es el número de Reynolds.

El tipo de flujo ya sea laminar o turbulento depende del N_R , cuando N_R es menor a 2 000 el flujo es laminar y cuando es mayor a 4 000 se trata de un flujo turbulento [69].

El Número de Reynolds (N_R), depende de la v velocidad del fluido (m/s), D que es el diámetro de la tubería (m), ρ representa la densidad del fluido (kg/m^3) y η la viscosidad dinámica ($kg/m \times s$); la cual se aplica la siguiente ecuación para su cálculo [69].

$$N_R = \frac{vD\rho}{\eta} \quad (43)$$

Por otra parte, en la Tabla 3 se pueden ver diferentes materiales con su respectivo coeficiente de rugosidad, en este caso el autor [79] lo simboliza con la letra k .

Expresiones anteriores depende de D que es el diámetro de la tubería; la ecuación de Bresse nos permite determinar el diámetro económico de la siguiente forma [80]:

$$D = 1,3 \times \left(\frac{N}{24} \right)^{\frac{1}{4}} \times \sqrt{Q_b} \quad (44)$$

De la cual, D es el diámetro económico (m), N número de horas de bombeo (h) y Q_b es el caudal de bombeo (m^3/s).

Tabla 3. Coeficientes de rugosidad de algunos materiales [79].

| Material | Manning's Coefficient <i>n</i> | Hazen- Williams <i>C</i> | Darcy-Weisbach Roughness Height | |
|--------------------|--------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|---------------|
| | | | <i>k</i> (mm) | <i>k</i> (ft) |
| Asbestos cement | 0.011 | 140 | 0.0015 | 0.000005 |
| Brass | 0.011 | 135 | 0.0015 | 0.000005 |
| Brick | 0.015 | 100 | 0.6 | 0.002 |
| Cast-iron, new | 0.012 | 130 | 0.26 | 0.00085 |
| Concrete: | | | | |
| Steel forms | 0.011 | 140 | 0.18 | 0.006 |
| Wooden forms | 0.015 | 120 | 0.6 | 0.002 |
| Centrifugally spun | 0.013 | 135 | 0.36 | 0.0012 |
| Copper | 0.011 | 135 | 0.0015 | 0.000005 |
| Corrugated metal | 0.022 | – | 45 | 0.15 |
| Galvanized iron | 0.016 | 120 | 0.15 | 0.0005 |
| Glass | 0.011 | 140 | 0.0015 | 0.000005 |
| Lead | 0.011 | 135 | 0.0015 | 0.000005 |
| Plastic | 0.009 | 150 | 0.0015 | 0.000005 |
| Steel: | | | | |
| Coal-tar enamel | 0.010 | 148 | 0.0048 | 0.000016 |
| New unlined | 0.011 | 145 | 0.045 | 0.00015 |
| Riveted | 0.019 | 110 | 0.9 | 0.003 |
| Wood stave | 0.012 | 120 | 0.18 | 0.0006 |

Si en el circuito de tuberías se encontraran codos, válvulas u otros accesorios, se emplea la siguiente ecuación [3].

$$H_d = K \times \frac{v^2}{2g} \quad (45)$$

En el cual K representa un coeficiente que depende del tipo de accesorio, en [81] nos muestra qué valores puede tomar este coeficiente mediante la siguiente tabla.

Tabla 4. Coeficientes K para pérdidas en accesorios [81].

| | | |
|----------------------------|--|--|
| ENTRADA | $K \frac{V^2}{2g}$ | (V : velocidad media de la tubería) |
| | Bordes Agudos | $K = 0,5$ |
| | Bordes ligeramente redondeados | $K = 0,26$ |
| | Bordes Acampanados | $K = 0,04$ |
| | Bordes Entrantes | $K = 1$ |
| ENSANCHAMIENTO | $K \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = K \left(\frac{A_2}{A_1} - 1 \right)^2 \frac{V_2^2}{2g}$ | (V_1 : velocidad aguas arriba; V_2 : velocidad aguas abajo) |
| | Brusco | $K = 1$ |
| | Gradual | Gráfico de Gibson |
| CONTRACCION | $\left(\frac{1}{c_c} - 1 \right)^2 \frac{V_2^2}{2g} = K \frac{V_2^2}{2g}$ | (V_2 : Velocidad aguas abajo) |
| | Brusca | Tabla de Weisbach |
| | Gradual | $K = 0$ |
| CAMBIO DE DIRECCION | $K \frac{V^2}{2g}$ | (V : velocidad media) |
| | Codo de 90° | $K = 0,90$ |
| | Codo de 45° | $K = 0,42$ |
| | Codo de curv. fuerte | $K = 0,75$ |
| | Codo de curv. suave | $K = 0,60$ |
| VALVULAS | (V : velocidad media) | |
| | Válvulas de globo (totalmente abierta) | $K = 10,0$ |
| | Válvula de compuerta (totalmente abierta) | $K = 0,19$ |
| | Válvula check (totalmente abierta) | $K = 2,5$ |

l) Válvulas

Son aquellos elementos que pueden ser accionadas de forma manual o automática cuya función es abrir o cerrar conducciones [3].

m) Puesta a Tierra

Toda instalación eléctrica debe presentar un sistema de puesta a tierra ya que su finalidad es proteger y cuidar la vida e integridad física que puede ocasionar una descarga eléctrica y evitar daños a la propiedad [82].

El Código Nacional de Electricidad [82] nos menciona que el valor máximo que puede tomar la resistencia es de 25Ω .

n) Protecciones

Su función será proteger la instalación de cortocircuitos y sobrecargas, apagar la instalación para realizar el mantenimiento a través de un interruptor principal, crear un punto central de puesta a tierra, etc. [65].

2.2.4. Recurso hídrico

El ciclo hídrico de una determinada cuenca comprende el conocimiento de distintos puntos como la capacidad de agua, el potencial hídrico y diferentes fuentes de agua superficial como los ríos, manantiales, quebradas, lagunas, lagos, aguas de recuperación, embalses, entre otros [83].

El estudio para el conocimiento de la cantidad de agua en diferentes sectores o puntos de una cuenca es de mucha utilidad, ya que la explotación del agua se puede emplear en diferentes sectores, por ejemplo, el uso poblacional, minero, agrícola, ecológico, pecuario, etc., así también nos ayuda a realizar una correcta planificación y formulación de inversión que sea posible ser ejecutado [83].

El balance hídrico es importante realizarla por los puntos mencionados, para ello se debe tener en cuenta la oferta y la demanda hídrica en las cuencas del país para así realizar el uso racional y sostenible del recurso en un enfoque integral, teniendo cuenta la evaluación de la disponibilidad, calidad y oportunidad de uso [83].

2.2.5. Demanda de agua para cultivos de plantas

La planta es un organismo viviente que en su proceso de crecimiento presenta ciertos fenómenos que principalmente son: la respiración la transpiración y la alimentación, los cuales originan cambios en el medio exterior circundante a las plantas [78].

2.2.5.1. Evapotranspiración

Se considera la evapotranspiración como un factor importante para determinar los requerimientos de agua del cultivo [84].

En [84] la define como la suma de la transpiración y el agua que se evapora del suelo, la unidad de la evapotranspiración generalmente es *mm/día*.

Se debe tener en cuenta los conceptos de evaporación y transpiración; la evaporación se define como el fenómeno mediante el cual el agua conservada por las hojas y el que existe en

la superficie es evaporada, y la transpiración es el proceso por el cual el agua evaporada se separa de las plantas vivas y pasa por la atmósfera, principalmente de las hojas [78].

2.2.5.2. Evapotranspiración potencial (ET_0)

Es presentado en un sembrío de tamaño pequeño que mayormente son pastos, estos cubren la superficie del suelo en su totalidad, en estado de crecimiento activo y con un abastecimiento continuo y adecuado del agua [85].

La Sociedad Americana de Ingeniería Civil (ASCE) considerado como el comité técnico sobre requerimientos de riego, ha empleado la alfalfa como un pasto que ha servido para calcular la evapotranspiración potencial; sin embargo, otros investigadores utilizan otro tipo de pasto para el estudio [85].

Para calcular la evapotranspiración potencial se ha usado la fórmula de Hargreaves, que se puede expresar de la siguiente forma:

$$ET_0 = 0,0135(t_{med} + 17,78)R_S \quad (46)$$

De la Ecuación 46 se sabe que: ET_0 corresponde a la evapotranspiración potencial diaria ($mm/día$), t_{med} es la temperatura media ($°C$) y R_S representa la radiación solar incidente ($mm/día$) [86].

La radiación solar incidente R_S se puede obtener mediante la siguiente ecuación:

$$R_S = R_0KT(\Delta t)^{0.5} \quad (47)$$

Donde: R_0 corresponde la radiación solar extraterrestre ($mm/día$), KT es un coeficiente (adimensional), Δt corresponde a la diferencia entre t_{max} : temperatura máxima ($°C$) y t_{min} : temperatura mínima ($°C$) [87].

También [86] nos habla del coeficiente KT , donde nos recomienda usar un $KT = 0,162$ en regiones del interior y $KT = 0,19$ en regiones de la costa.

Al reemplazar se puede obtener una ecuación de la evapotranspiración potencial (ET_0) más simplificada, donde el coeficiente KT se tomó el valor medio, o sea $KT = 0,17$ [86]:

$$ET_0 = 0,0023(t_{med} + 17,78)R_0(\Delta t)^{0.5} \quad (48)$$

En la siguiente tabla encontramos los valores de radiación solar extraterrestres en $mm/día$ según [86]:

Tabla 5. Radiación solar extraterrestre [86].

| Latitud | HEMISFERIO NORTE | | | | | | | | | | | | HEMISFERIO SUR | | | | | | | | | | | |
|---------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic |
| 70 | 0.0 | 1.1 | 4.2 | 9.4 | 14.4 | 17.3 | 16.1 | 11.4 | 6.1 | 2.0 | 0.0 | 0.0 | 16.9 | 11.7 | 6.4 | 2.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.9 | 4.4 | 9.6 | 15.2 | 18.5 |
| 68 | 0.0 | 1.5 | 4.8 | 9.8 | 14.4 | 17.1 | 15.9 | 11.7 | 6.6 | 2.4 | 0.3 | 0.0 | 16.7 | 12.0 | 6.9 | 2.4 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 1.3 | 4.9 | 10.0 | 15.3 | 18.2 |
| 66 | 0.2 | 2.0 | 5.3 | 10.1 | 14.5 | 16.9 | 15.8 | 12.0 | 7.1 | 2.9 | 0.6 | 0.0 | 16.7 | 12.2 | 7.4 | 2.9 | 0.6 | 0.0 | 0.2 | 1.7 | 5.3 | 10.4 | 15.3 | 18.0 |
| 64 | 0.6 | 2.4 | 5.8 | 10.5 | 14.7 | 16.8 | 15.8 | 12.2 | 7.5 | 3.5 | 1.0 | 0.2 | 16.7 | 12.6 | 7.9 | 3.4 | 1.0 | 0.2 | 0.5 | 2.2 | 5.9 | 10.7 | 15.5 | 17.9 |
| 62 | 0.9 | 2.9 | 6.3 | 10.9 | 14.8 | 16.8 | 15.9 | 12.5 | 8.0 | 4.0 | 1.4 | 0.5 | 16.8 | 12.9 | 8.3 | 3.9 | 1.4 | 0.5 | 0.8 | 2.6 | 6.3 | 11.1 | 15.6 | 17.9 |
| 60 | 1.3 | 3.4 | 6.8 | 11.2 | 14.9 | 16.8 | 16.0 | 12.8 | 8.4 | 4.4 | 1.8 | 0.9 | 16.9 | 13.2 | 8.8 | 4.4 | 1.8 | 0.8 | 1.2 | 3.1 | 6.8 | 11.5 | 15.8 | 17.9 |
| 58 | 1.8 | 3.9 | 7.2 | 11.6 | 15.1 | 16.9 | 16.1 | 13.1 | 8.9 | 4.9 | 2.2 | 1.3 | 17.0 | 13.5 | 9.2 | 4.9 | 2.2 | 1.2 | 1.6 | 3.6 | 7.3 | 11.8 | 16.0 | 18.0 |
| 56 | 2.2 | 4.4 | 7.7 | 11.9 | 15.3 | 16.9 | 16.2 | 13.3 | 9.3 | 5.4 | 2.7 | 1.7 | 17.1 | 13.8 | 9.6 | 5.4 | 2.7 | 1.6 | 2.0 | 4.0 | 7.8 | 12.2 | 16.1 | 18.0 |
| 54 | 2.7 | 4.9 | 8.2 | 12.2 | 15.4 | 16.9 | 16.2 | 13.6 | 9.7 | 5.9 | 3.2 | 2.1 | 17.2 | 14.0 | 10.0 | 5.9 | 3.1 | 2.0 | 2.4 | 4.5 | 8.2 | 12.5 | 16.3 | 18.1 |
| 52 | 3.1 | 5.4 | 8.6 | 12.6 | 15.6 | 17.0 | 16.4 | 13.8 | 10.1 | 6.4 | 3.7 | 2.6 | 17.3 | 14.3 | 10.4 | 6.4 | 3.6 | 2.4 | 2.9 | 5.0 | 8.7 | 12.8 | 16.4 | 18.1 |
| 50 | 3.6 | 5.9 | 9.1 | 12.9 | 15.7 | 17.0 | 16.4 | 14.0 | 10.5 | 6.9 | 4.2 | 3.1 | 17.4 | 14.5 | 10.9 | 6.8 | 4.1 | 2.9 | 3.3 | 5.5 | 9.1 | 13.1 | 16.6 | 18.2 |
| 48 | 4.1 | 6.4 | 9.5 | 13.1 | 15.8 | 17.1 | 16.5 | 14.2 | 10.9 | 7.4 | 4.7 | 3.6 | 17.5 | 14.8 | 11.2 | 7.3 | 4.5 | 3.3 | 3.8 | 6.0 | 9.5 | 13.4 | 16.7 | 18.2 |
| 46 | 4.6 | 6.9 | 9.9 | 13.4 | 16.0 | 17.1 | 16.6 | 14.4 | 11.2 | 7.8 | 5.1 | 4.0 | 17.6 | 15.0 | 11.6 | 7.8 | 5.0 | 3.8 | 4.2 | 6.4 | 9.9 | 13.7 | 16.8 | 18.2 |
| 44 | 5.1 | 7.3 | 10.3 | 13.7 | 16.0 | 17.1 | 16.6 | 14.7 | 11.6 | 8.3 | 5.7 | 4.5 | 17.6 | 15.2 | 12.0 | 8.2 | 5.5 | 4.3 | 4.7 | 6.9 | 10.3 | 13.9 | 16.9 | 18.2 |
| 42 | 5.6 | 7.8 | 10.7 | 13.9 | 16.1 | 17.1 | 16.7 | 14.8 | 11.9 | 8.7 | 6.2 | 5.1 | 17.7 | 15.4 | 12.3 | 8.7 | 6.0 | 4.7 | 5.2 | 7.3 | 10.7 | 14.2 | 17.0 | 18.2 |
| 40 | 6.1 | 8.3 | 11.1 | 14.2 | 16.2 | 17.1 | 16.7 | 15.0 | 12.2 | 9.2 | 6.7 | 5.6 | 17.7 | 15.6 | 12.6 | 9.1 | 6.4 | 5.2 | 5.7 | 7.8 | 11.1 | 14.4 | 17.1 | 18.2 |
| 38 | 6.6 | 8.8 | 11.5 | 14.4 | 16.3 | 17.1 | 16.7 | 15.1 | 12.5 | 9.6 | 7.1 | 6.0 | 17.7 | 15.7 | 12.9 | 9.5 | 6.9 | 5.7 | 6.2 | 8.2 | 11.4 | 14.6 | 17.1 | 18.2 |
| 36 | 7.1 | 9.2 | 11.8 | 14.6 | 16.3 | 17.0 | 16.7 | 15.3 | 12.9 | 10.0 | 7.6 | 6.6 | 17.7 | 15.9 | 13.2 | 9.9 | 7.4 | 6.2 | 6.6 | 8.7 | 11.8 | 14.8 | 17.1 | 18.1 |
| 34 | 7.6 | 9.7 | 12.2 | 14.7 | 16.3 | 17.0 | 16.7 | 15.3 | 13.1 | 10.4 | 8.1 | 7.1 | 17.7 | 16.0 | 13.5 | 10.3 | 7.8 | 6.6 | 7.1 | 9.1 | 12.1 | 15.0 | 17.1 | 18.1 |
| 32 | 8.1 | 10.1 | 12.5 | 14.5 | 16.3 | 16.9 | 16.6 | 15.5 | 13.4 | 10.9 | 8.6 | 7.6 | 17.7 | 16.1 | 13.8 | 10.7 | 8.3 | 7.1 | 7.6 | 9.5 | 12.4 | 15.1 | 17.1 | 18.0 |
| 30 | 8.6 | 10.5 | 12.8 | 15.0 | 16.3 | 16.8 | 16.6 | 15.5 | 13.6 | 11.3 | 9.1 | 8.1 | 17.6 | 16.2 | 14.0 | 11.1 | 8.7 | 7.6 | 8.0 | 9.9 | 12.7 | 15.3 | 17.1 | 17.9 |
| 28 | 9.1 | 10.9 | 13.1 | 15.1 | 16.3 | 16.7 | 16.5 | 15.6 | 13.8 | 11.6 | 9.5 | 8.6 | 17.6 | 16.2 | 14.2 | 11.5 | 9.2 | 8.0 | 8.4 | 10.3 | 13.0 | 15.4 | 17.1 | 17.8 |
| 26 | 9.6 | 11.3 | 13.4 | 15.3 | 16.3 | 16.6 | 16.4 | 15.6 | 14.1 | 12.0 | 10.0 | 9.1 | 17.5 | 16.3 | 14.4 | 11.8 | 9.6 | 8.5 | 8.9 | 10.7 | 13.3 | 15.5 | 17.1 | 17.7 |
| 24 | 10.0 | 11.8 | 13.7 | 15.3 | 16.2 | 16.4 | 16.3 | 15.6 | 14.2 | 12.3 | 10.4 | 9.5 | 17.3 | 16.3 | 14.6 | 12.2 | 10.0 | 8.9 | 9.3 | 11.1 | 13.5 | 15.6 | 17.0 | 17.6 |
| 22 | 10.5 | 12.1 | 13.9 | 15.4 | 16.1 | 16.3 | 16.2 | 15.7 | 14.4 | 12.7 | 10.9 | 10.0 | 17.2 | 16.4 | 14.8 | 12.5 | 10.4 | 9.4 | 9.8 | 11.5 | 13.8 | 15.7 | 16.9 | 17.4 |
| 20 | 10.9 | 12.5 | 14.2 | 15.5 | 16.0 | 16.1 | 16.0 | 15.6 | 14.6 | 13.0 | 11.3 | 10.4 | 17.1 | 16.3 | 14.9 | 12.8 | 10.9 | 9.8 | 10.2 | 11.8 | 14.0 | 15.8 | 16.8 | 17.2 |
| 18 | 11.4 | 12.9 | 14.4 | 15.5 | 15.9 | 16.0 | 15.9 | 15.6 | 14.7 | 13.3 | 11.7 | 10.9 | 16.9 | 16.3 | 15.1 | 13.1 | 11.2 | 10.2 | 10.6 | 12.2 | 14.2 | 15.8 | 16.7 | 17.0 |
| 16 | 11.8 | 13.2 | 14.6 | 15.6 | 15.8 | 15.8 | 15.7 | 15.6 | 14.9 | 13.6 | 12.1 | 11.4 | 16.8 | 16.3 | 15.2 | 13.4 | 11.6 | 10.7 | 11.0 | 12.5 | 14.4 | 15.8 | 16.6 | 16.8 |
| 14 | 12.2 | 13.5 | 14.7 | 15.6 | 15.7 | 15.6 | 15.6 | 15.5 | 15.0 | 13.8 | 12.5 | 11.8 | 16.6 | 16.2 | 15.3 | 13.6 | 12.0 | 11.1 | 11.4 | 12.8 | 14.5 | 15.8 | 16.4 | 16.6 |
| 12 | 12.6 | 13.8 | 14.9 | 15.5 | 15.5 | 15.3 | 15.3 | 15.4 | 15.1 | 14.1 | 12.9 | 12.2 | 16.4 | 16.2 | 15.4 | 13.9 | 12.3 | 11.5 | 11.8 | 13.1 | 14.7 | 15.8 | 16.2 | 16.3 |
| 10 | 13.0 | 14.1 | 15.1 | 15.5 | 15.3 | 15.1 | 15.1 | 15.3 | 15.1 | 14.3 | 13.2 | 12.7 | 16.1 | 16.0 | 15.4 | 14.1 | 12.7 | 11.9 | 12.2 | 13.4 | 14.8 | 15.7 | 16.0 | 16.1 |
| 8 | 13.4 | 14.4 | 15.2 | 15.4 | 15.1 | 14.8 | 14.9 | 15.2 | 15.2 | 14.5 | 13.6 | 13.1 | 15.9 | 15.9 | 15.5 | 14.3 | 13.0 | 12.2 | 12.5 | 13.6 | 14.9 | 15.7 | 15.8 | 15.8 |
| 6 | 13.8 | 14.6 | 15.3 | 15.3 | 14.9 | 14.6 | 14.7 | 15.1 | 15.2 | 14.7 | 13.9 | 13.4 | 15.6 | 15.8 | 15.5 | 14.5 | 13.3 | 12.6 | 12.9 | 13.9 | 15.0 | 15.6 | 15.6 | 15.5 |
| 4 | 14.1 | 14.9 | 15.3 | 15.3 | 14.7 | 14.3 | 14.4 | 14.9 | 15.2 | 14.9 | 14.2 | 13.8 | 15.3 | 15.6 | 15.5 | 14.7 | 13.6 | 13.0 | 13.2 | 14.1 | 15.1 | 15.5 | 15.3 | 15.2 |
| 2 | 14.4 | 15.1 | 15.4 | 15.1 | 14.4 | 14.0 | 14.1 | 14.7 | 15.2 | 15.1 | 14.5 | 14.2 | 15.1 | 15.5 | 15.5 | 14.9 | 13.9 | 13.3 | 13.5 | 14.4 | 15.1 | 15.4 | 15.1 | 14.9 |
| 0 | 14.8 | 15.3 | 15.5 | 15.0 | 14.2 | 13.6 | 13.8 | 14.6 | 15.2 | 15.3 | 14.8 | 14.5 | 14.8 | 15.3 | 15.5 | 15.0 | 14.2 | 13.6 | 13.8 | 14.6 | 15.2 | 15.3 | 14.8 | 14.5 |

2.2.5.3. Evapotranspiración real (ET_C)

También llamada evapotranspiración actual (ET_A) y es aquella que se genera en cualquier condición del suelo y de la planta; se puede definir como la tasa real que consume el agua de un sembrío [85].

En [88] nos menciona que la expresión para el cálculo de este parámetro es:

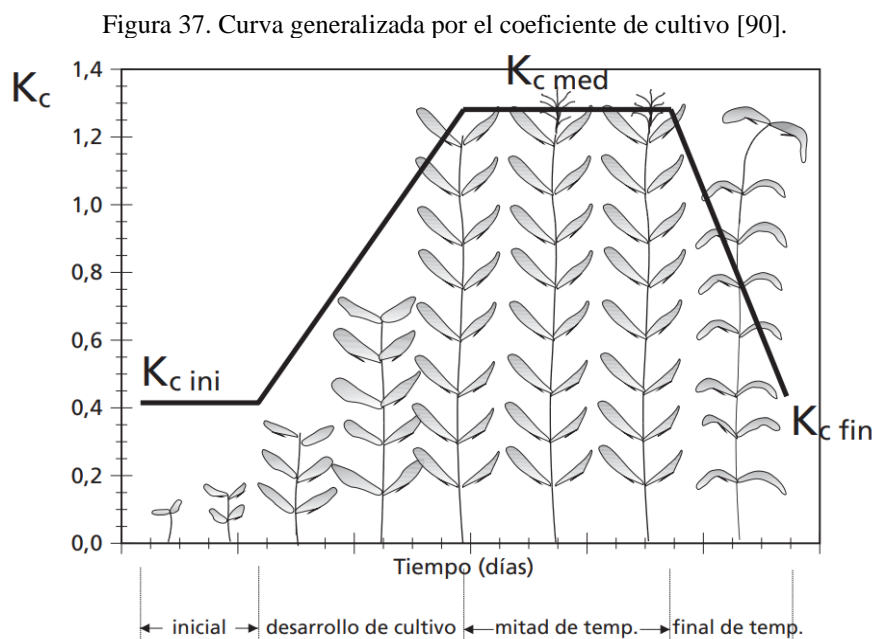
$$ET_C = K_C \times ET_O \quad (49)$$

Donde: ET_C representa la evapotranspiración real ($mm/día$) y K_C es el coeficiente de cultivo (adimensional) [88].

El Coeficiente de cultivo (K_C)

También llamado factor de cultivo [88] o coeficiente de uso consuntivo y es definida como la relación entre la evapotranspiración real (ET_C) y la evapotranspiración potencial (ET_0) [89].

El autor [85] define al coeficiente de cultivo como el factor que representa el nivel en que la planta va desarrollando o cubierta del suelo por el sembrío y estos valores de coeficiente de cultivo son brindados por La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).



En la Figura 37 nos muestra de manera generalizada la curva de coeficiente del cultivo, donde se puede observar que inmediatamente después de la plantación de cultivos anuales o inmediatamente después de la aparición de las nuevas hojas cuando son cultivos perennes, el valor de K_C es pequeño, con frecuencia menor a 0,4 (a excepción del arroz que el valor de $K_{C\ ini} = 1,05$). El valor de K_C comienza a crecer, a partir del valor de $K_{C\ ini}$, al iniciar su desarrollo rápido de la planta y alcanza su máximo valor, $K_{C\ med}$, cuando el desarrollo es máximo o cerca al máximo de la planta; por último, en la etapa final de temporada, mientras que las hojas empiezan a envejecer y a su vez se produce la senescencia causada por procesos naturales o prácticas culturales, el valor de K_C desciende alcanzando un valor mínimo al final de la temporada de crecimiento igual a $K_{C\ fin}$ [90].

En [91] nos menciona sobre las etapas que se van a considerar para el cálculo de la gráfica de K_C , las cuales son: **Primera etapa**, que es la etapa de establecimiento de cultivo o etapa

inicial, que está comprendida desde la plantación o siembra hasta que el cultivo queda totalmente establecido, o sea que abarca el 10% del área del suelo, pensando que los rayos del sol formen un ángulo de 90°; **segunda etapa**, que es la etapa de desarrollo de cultivo o de rápido desarrollo de cultivo, está comprendida desde el final de la primera etapa hasta que el cultivo cubre efectivamente la superficie del suelo entre 70 a 80 %; la **tercera etapa**, es la etapa de máxima evapotranspiración o etapa de mediados del periodo, comprende desde el final de la segunda etapa hasta el inicio de la maduración del cultivo, lo cual se puede manifestar cuando existe envejecimiento del follaje y por último la **cuarta etapa**, que es la etapa de maduración y cosecha o etapa final, que va desde el final de la tercera etapa hasta la maduración del cultivo o cosecha. En la Tabla 6 se muestran los valores de K_C , obtenidos de [92]:

Tabla 6. Valores de K_C en su respectiva etapa de siembra [92].

| Eje X (Días después de siembra) | Eje Y (Valor de K_C) |
|---|-------------------------|
| 1 | K_C inicial |
| Día final de etapa de establecimiento de campo | K_C inicial |
| Día en que la planta logra su crecimiento en un 75 % | K_C medio |
| Día en que la planta alcanza su madurez vegetativa | K_C medio |
| Día de cosecha | K_C final |

Es de mucha importancia señalar que existen distintos sistemas de riego por ejemplo el goteo que es aplicado por ejemplo para árboles frutales y viñeros (manzanas, uvas, peras, duraznos, ciruelos, almendras, nueces; cítricos como: naranjas, limones; además: plátanos, mangos, olivos, aguacates, etc.); vegetales y hortalizas (pepinos, espárragos, alcachofas, berenjenas, etc.); cultivos sembrados en surcos (caña de azúcar, algodón y maíz) y otros como por ejemplo, las fresas, sandías, melones y flores [84].

Asimismo, para el sistema por goteo existen dos términos: E_t , que representa la evapotranspiración ajustada bajo las condiciones del riego por goteo y T que representa la fracción de área del campo que será sombreada por el cultivo cuando éste se encuentre en el máximo desarrollo, estos parámetros se relacionan en la siguiente ecuación [84]:

$$E_t = ET_C \times T \quad (50)$$

El parámetro T , se puede expresar según [84] como:

$$T = \frac{\text{Área sombreada total}}{\text{Área total del cultivo}} \quad (51)$$

2.2.6. Evaluación Económica

Al momento de decidir realizar una inversión que presentan múltiples opciones el análisis económico es de gran trascendencia [3].

Como primer punto se debe considerar el valor de la inversión necesaria, donde encontramos los costos producidos por los componentes del SBS, mano de obra, obras civiles, costo de instalación, IGV, etc., próximamente los índices de TIR y VAN son bastante apropiados para estudiar la rentabilidad del proyecto de inversión [3].

2.2.6.1. Valor Actual Neto (VAN)

Se define como un indicador de la rentabilidad de un proyecto, el cual señala cuánto se obtendrá de ganancia al realizarlo por sobre la rentabilidad que se le pide al proyecto y luego recuperada la inversión [93].

Para que un proyecto de inversión sea rentable o exista una ganancia el VAN tiene que ser positivo; cuando el proyecto reporta lo mismo que la tasa que se quería obtener luego de recuperar la inversión el VAN es igual a cero; sin embargo, cuando el proyecto no es rentable en VAN es menor a cero [93].

La expresión matemática del VAN es:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+i)^n} - I_0 \quad (52)$$

Donde VAN es el valor actual neto, BN_t son los Beneficios netos en el periodo t , I_0 es la inversión inicial, i es la tasa de rendimiento requerida, n son número de periodos y t son los periodos de tiempo.

2.2.6.2. Tasa de Interés de Retorno (TIR)

Se encarga de medir la rentabilidad como porcentaje y representa la tasa de descuento que hace que el VAN sea igual a cero; se debe tener en cuenta que la TIR debe ser mayor a la tasa de interés de descuento [50].

$$0 = \sum_{t=0}^n \frac{BN_t}{(1+i)^n} - I_0 \quad (53)$$

2.2.6.3. PAY – BACK

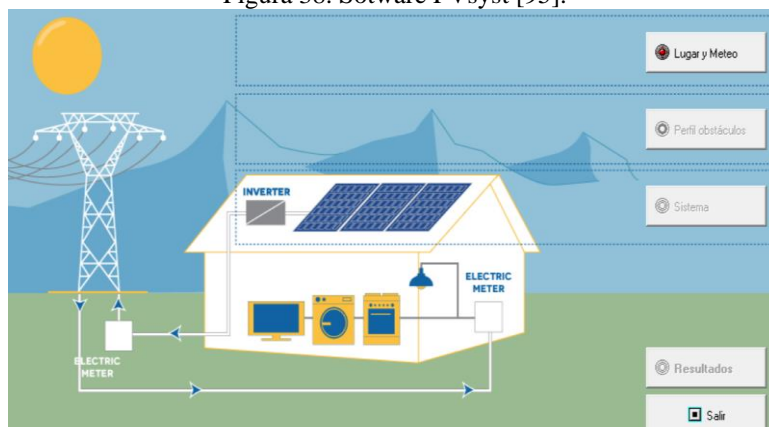
Llamado también tiempo de recuperación, se define como el tiempo en que un determinado proyecto de inversión tarda en devolver fondos que se le asignaron, se considera un indicador de riesgo, ya que mientras más se tarde en recuperar la inversión, será mayor la incertidumbre y la rentabilidad del mismo quedará afectada [94].

2.2.7. Software PVsyst

Es un programa que nos ayuda con la simulación, estudio y análisis de datos relacionados a los SFV con ayuda de la radiación solar que son datos obtenidos por estaciones meteorológicas según la ubicación [95].

PVsyst es un paquete de software para el estudio, dimensionamiento y análisis eficaz de sistemas completos; se trata de sistemas conectados a la red, autónomos, de bombeo y sistemas fotovoltaicos conectados a red, lleva incluido amplias lecturas meteorológicas y bases de datos de componentes de sistemas fotovoltaicos, así como herramientas generales de energía solar [96].

Figura 38. Software PVsyst [95].



III. Materiales y métodos

3.1. Tipo y Nivel de investigación

El tipo de investigación de este proyecto es:

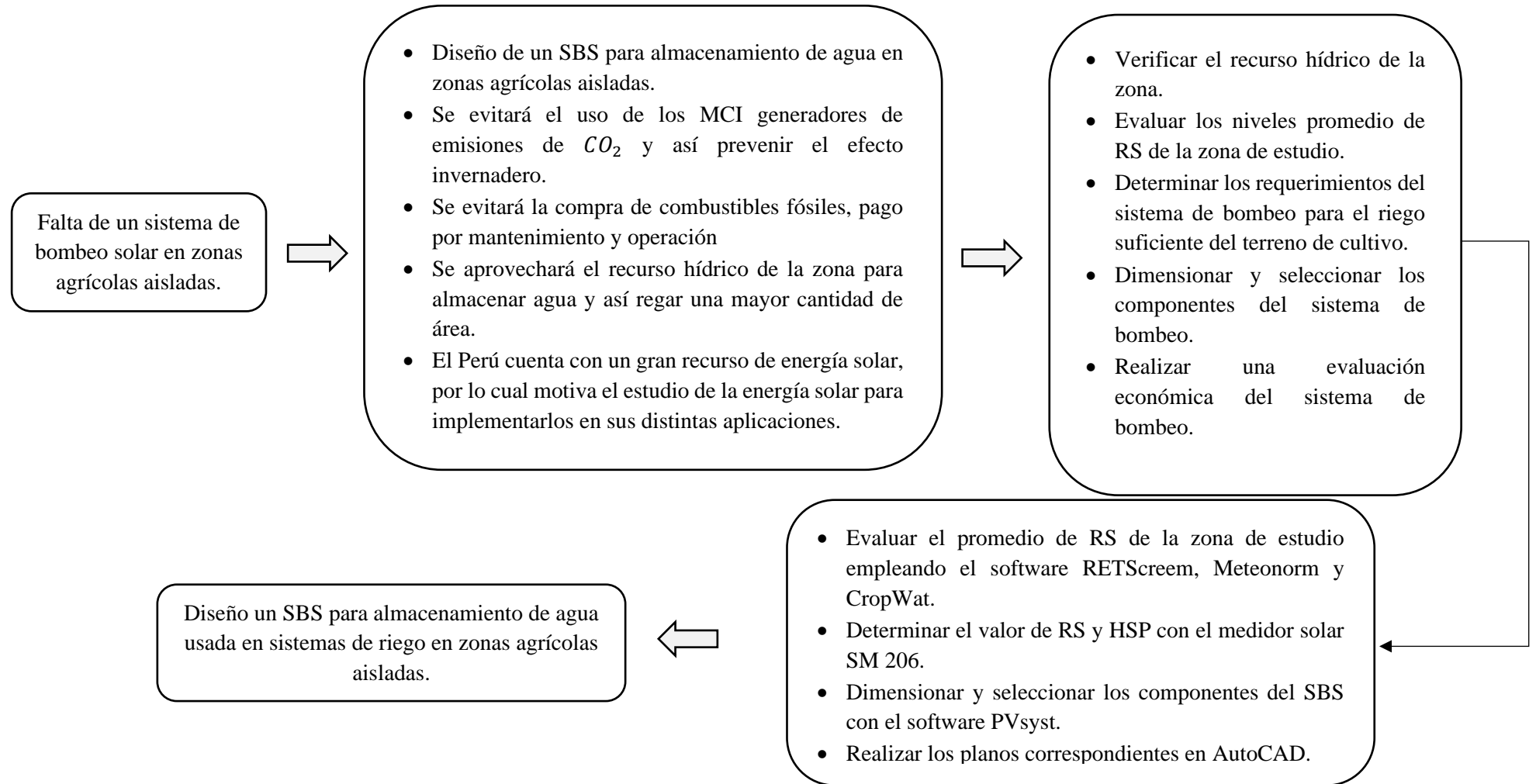
- **Tipo Experimental**, esto es porque se obtienen datos por medio de la experimentación y son comparados con variables constantes con el fin de determinar causas y/o efectos de los fenómenos de estudio.
- **Tipo Aplicada**, esto es porque busca resolver un determinado problema específico, enfocándose en la búsqueda del conocimiento para su aplicación, ocasionando un enriquecimiento del desarrollo científico.

El Nivel de la investigación es:

- **Explicativo, causa – efecto y cuantitativa.**

3.2. Metodología del diseño

Figura 39. Metodología del diseño.



3.3. Matriz de consistencia

Tabla 7. Matriz de consistencia.

| PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES | METODOLOGÍA |
|--|--|--|---|--|
| ¿Cómo diseñar un sistema de bombeo solar para almacenamiento de agua usada en sistemas de riego en zonas agrícolas aisladas? | GENERAL | GENERAL | <p style="text-align: center;">VARIABLE INDEPENDIENTE</p> <p>Diseño de un sistema de bombeo solar</p> <p>Indicadores:</p> <p>Recurso hídrico Radiación solar Hora solar pico Potencia pico Paneles solares Bomba sumergible</p> <p style="text-align: center;">VARIABLE DEPENDIENTE</p> <p>Almacenamiento de agua usada en sistemas de riego en zonas agrícolas aisladas</p> <p>Indicadores:</p> <p>Caudal Demanda hídrica Evapotranspiración <i>VAN</i> <i>TIR</i></p> | <p style="text-align: center;">DISEÑO DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Tipo experimental – aplicada con utilización del software PVSyst.</p> <p style="text-align: center;">TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS</p> <p>En este proyecto de investigación se usará la extracción de datos sobre la radiación solar mediante el software RETScreen, Meteororm, CropWat y mediciones <i>in situ</i> y para el diseño la aplicación del software PVSyst.</p> <p style="text-align: center;">POBLACIÓN Y MUESTRA</p> <p>La unidad de estudio son los sistemas de bombeo solar.</p> <p>La población son los sistemas de bombeo solares existentes.</p> |
| | Diseñar un sistema de bombeo solar para almacenamiento de agua usada en sistemas de riego en zonas agrícolas aisladas. | Si se diseña un sistema de bombeo solar, entonces, se almacenará agua usada en sistemas de riego en zonas agrícolas aisladas. | | |
| | ESPECÍFICOS | ESPECÍFICOS | | |
| | 1. Verificar el recurso hídrico de la zona. | 1. Si se verifica el recurso hídrico de la zona, entonces, se conocerá el descenso y eficiencia del pozo. | | |
| | 2. Evaluar los niveles promedio de radiación solar que se registran en la zona empleando los softwares RETScreen, Meteororm, CropWat y mediciones <i>in situ</i> . | 2. Si se evalúa los niveles promedios de irradiación solar, entonces, se determinará si la zona presenta el valor de radiación mayor o igual a $4 kWh/m^2/día$. | | |
| 3. Determinar los requerimientos del sistema de almacenamiento de agua para el riego suficiente del terreno de cultivo. | 3. Si se determinan los requerimientos del sistema de almacenamiento de agua, entonces, se calcularán los parámetros necesarios para el diseño. | | | |
| 4. Dimensionar y seleccionar los componentes del sistema de bombeo solar mediante el software PVSyst. | 4. Si se dimensiona y selecciona los componentes del sistema de bombeo solar con el software PVSyst, entonces, se diseñará un sistema de bombeo con alta eficiencia. | | | |
| 5. Realizar una evaluación económica del sistema de bombeo solar a diseñar. | 5. Si se realiza una evaluación económica del sistema de bombeo a diseñar, entonces, se calculará el <i>VAN</i> , la <i>TIR</i> y el periodo de recuperación. | | | |

IV. Resultados y discusión

4.1. Verificar la disponibilidad del recurso hídrico de la zona

4.1.1. Ubicación

El área de estudio es un sector agrícola que pertenece a pobladores del caserío Manchuria Magdalena, ubicado en la provincia de Jayanca, departamento de Lambayeque; contiene un total de 16 hectáreas de las cuales se siembra en la actualidad 1. Las coordenadas de la zona de estudio se tomaron como referencia el lugar donde se construyó el pozo, las cuales son latitud $-6^{\circ}25'51,27''S$ y longitud $-79^{\circ}37'39,17''O$ y una altitud de 144 m. s. n. m.

Figura 40. Área total del terreno visto en Google Earth.

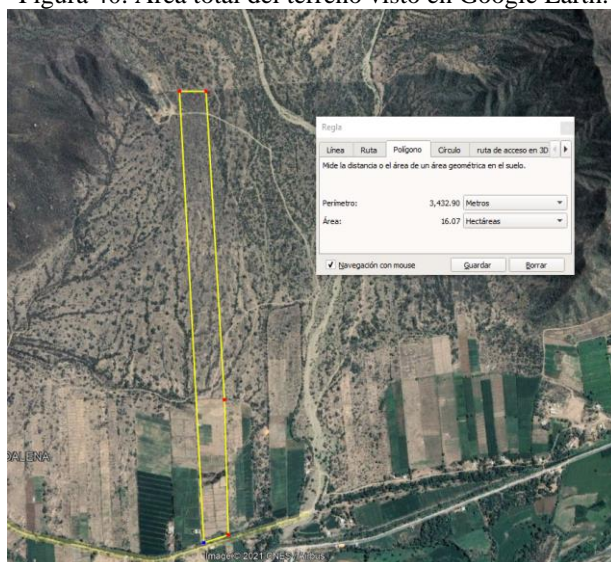


Figura 41. Área sembrada actualmente (01 hectárea).



4.1.2. Cuenca Motupe – La Leche

4.1.2.1. Ubicación Política

Se ubica en las regiones de Lambayeque y Cajamarca, de los cuales Lambayeque abarca mayor cantidad de área, con $3\,269,354\text{ km}^2$ del área de la cuenca, que representa el 87,39% [83].

4.1.2.2. Ubicación Geográfica

La cuenca hidrográfica Motupe La Leche está limitada por las coordenadas geográficas, latitud sur de $5^{\circ}58'14''$ a $6^{\circ}41'11''$ y longitud oeste de $79^{\circ}13'01''$ a $80^{\circ}06'41''$, las altitudes varían desde los 0 a 4 050 m. s. n. m. [83].

Figura 42. Mapa de la ubicación política de la cuenca del río Motupe La Leche [83].

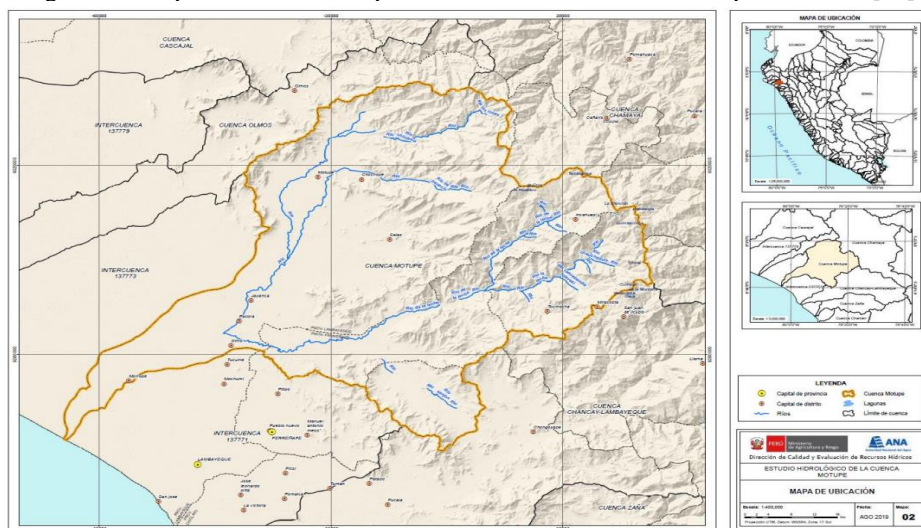
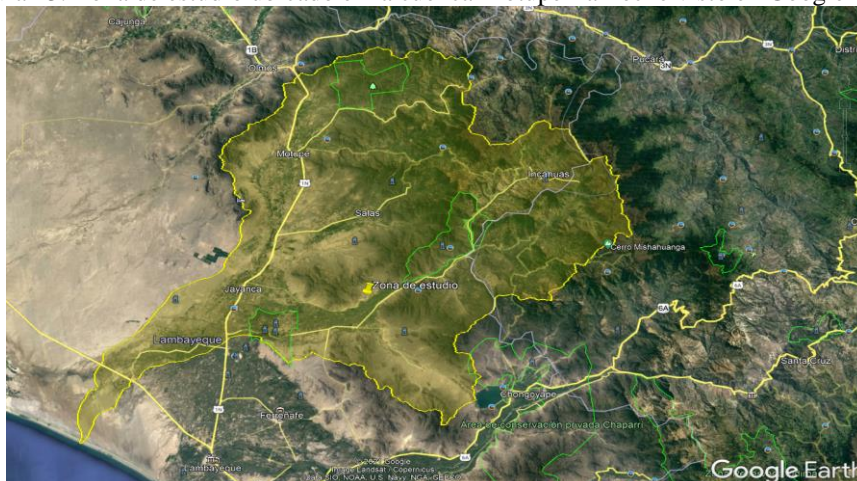


Figura 43. Zona de estudio ubicado en la cuenca Motupe La Leche visto en Google Earth.



4.1.2.3. Demanda hídrica

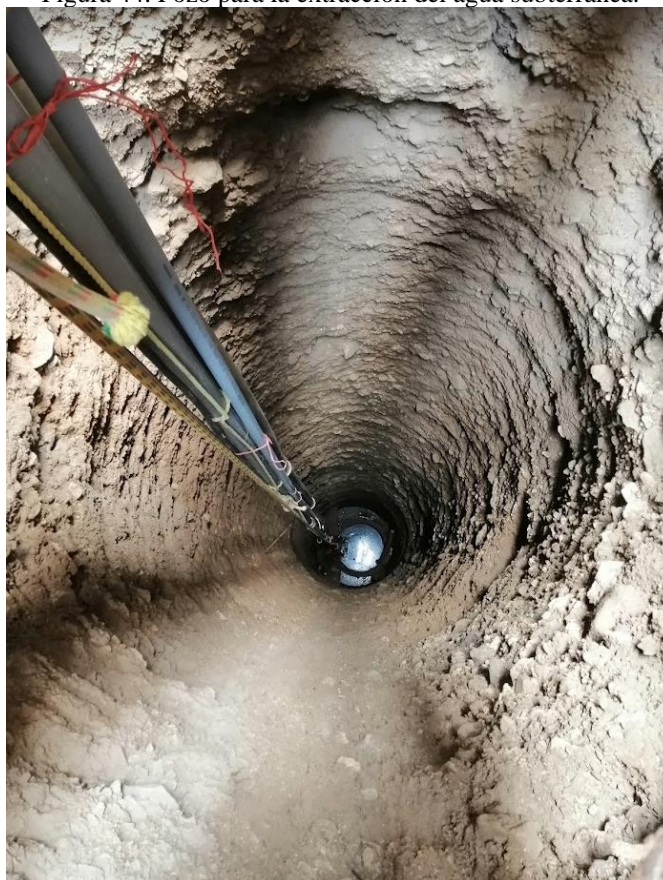
El estudio realizado por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), muestra que el sector agrario es la que presenta mayor uso del agua de la cuenca siendo la demanda hídrica de $92,692 \text{ hm}^3$ al año; en segundo lugar, está el uso poblacional [83].

4.1.3. Fuente de agua para el SBS

Al conocer el estudio de la cuenca hidrográfica Motupe La Leche, se procedió a demostrar este estudio realizando la construcción de un pozo para la extracción de agua en la zona. Las dimensiones del pozo son, altura: 22 m y diámetro $1,5 \text{ m}$; en el cual internamente se ha construido un cilindro de concreto armado cuyas dimensiones son, altura de 8 m y diámetro $1,2 \text{ m}$. El agua que se almacena en el pozo es resultado de la filtración y las betas de agua de la zona, que alcanza la altura de $7,80 \text{ m}$.

Esto indica que el nivel estático equivale a $14,20 \text{ m}$ y el nivel dinámico depende del caudal de bombeo.

Figura 44. Pozo para la extracción del agua subterránea.



4.1.4. Ensayo del bombeo escalonado sin recuperación del pozo

Para el ensayo de bombeo escalonado sin recuperación se utilizó tres caudales diferentes y el tiempo de bombeo por caudal se tomó de 1 hora equivalente a 60 minutos.

Los caudales se obtuvieron promediando los resultados de caudales utilizando dos métodos: el método volumétrico y el tubo de Venturi.

Para determinar los caudales con el uso del tubo de Venturi se necesitan las Ecuaciones tanto de Bernoulli como de La Continuidad.

4.1.4.1. Cálculo de los tres caudales

✓ Primer caudal de bombeo

El bombeo se realizó con una bomba periférica marca Leo, modelo APM75; cuyas principales características son:

Tabla 8. Características de la bomba periférica Leo APM75 [97].


| | | |
|--|---------------------------|----------------|
| <p>Figura 45. Bomba periférica Leo APM75 [97].</p>  | Potencia | 0,75 kW / 1 HP |
| | Voltaje | 220 V |
| | Frecuencia | 60 Hz |
| | Succión / Descarga | 1" x 1" |
| | Flujo máximo | 50 L/min |
| | Altura máxima | 75 m |

Tabla 9. Método volumétrico para el cálculo del primer caudal.

| Método volumétrico para el primer caudal de bombeo | | | |
|--|-------------------------|-----------------|---------------------|
| Volumen del recipiente | Medición de los tiempos | Tiempo promedio | Caudal |
| 20 L | 33,22 s | 33,446 s | 0,598 $\frac{L}{s}$ |
| | 33,87 s | | |
| | 33,44 s | | |
| | 33,22 s | | |
| | 33,48 s | | |

Tabla 10. Caudal de bombeo 01 utilizando el tubo de Venturi.

Figura 46. Esquema del tubo de Venturi para el cálculo del primer caudal de bombeo.



| Datos | | | |
|--|------------------------------------|----------|------------------------------------|
| Punto 01 | | Punto 02 | |
| $P_1 =$ | 0,71 bar = 71 000 N/m ² | $P_2 =$ | 0,55 bar = 55 000 N/m ² |
| $D_1 =$ | 1 pulg | $D_2 =$ | $\frac{1}{2}$ pulg |
| Ecuación de Bernoulli | | | |
| $\frac{71\,000 \frac{N}{m^2}}{9\,810 \frac{N}{m^3}} + \frac{V_1^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = \frac{55\,000 \frac{N}{m^2}}{9\,810 \frac{N}{m^3}} + \frac{V_2^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}$ $V_2^2 - V_1^2 = 32 \frac{m^2}{s^2}$ | | | |
| Ecuación de la continuidad | | | |
| $\frac{\pi \times (1)^2}{4} V_1 = \frac{\pi \times \left(\frac{1}{2}\right)^2}{4} V_2$ $4V_1 = V_2$ $\therefore V_1 = 1,461 \frac{m}{s}$ | | | |
| $Q_1 = Q_2 = \left(1,461 \frac{m}{s}\right) \left(\frac{\pi \times (0,0254 \text{ m})^2}{4}\right)$ $Q_1 = Q_2 = 0,0007403 \frac{m^3}{s}$ $\therefore Q_1 = Q_2 = 0,740 \frac{L}{s}$ | | | |

Entonces el primer caudal de bombeo es:

$$Q_{prom} = \frac{0,598 \frac{L}{s} + 0,740 \frac{L}{s}}{2} = 0,67 \frac{L}{s}$$

✓ **Segundo caudal de bombeo**

El bombeo se realizó con una electrobomba sumergible Pedrollo, modelo 4SR45Gm/30; cuyas principales características son:

Tabla 11. Características de la electrobomba sumergible Pedrollo 4SR45Gm/30 [98].


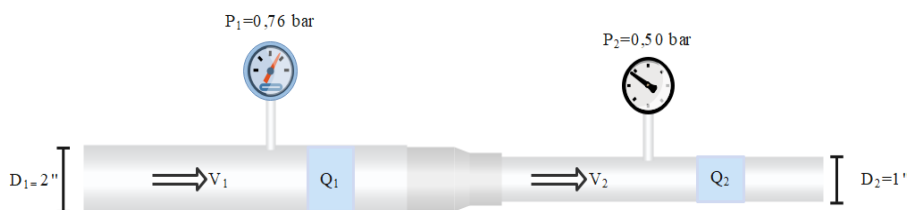
| | | |
|---|---------------------------|---------------|
| <p>Figura 47. Electrobomba sumergible Pedrollo 4SR45Gm/30 [98].</p>  | Potencia | 2,2 kW / 3 HP |
| | Voltaje | 220 V |
| | Frecuencia | 60 Hz |
| | Succión / Descarga | 2" × 2" |
| | Flujo máximo | 240 L/min |
| | Altura máxima | 79 m |

Tabla 12. Método volumétrico para el cálculo del segundo caudal.

| Método volumétrico para el segundo caudal de bombeo | | | |
|--|--------------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| Volumen del recipiente | Medición de los tiempos | Tiempo promedio | Caudal |
| 23 L | 5,95 s | 5,830 s | 3,945 $\frac{L}{s}$ |
| | 5,67 s | | |
| | 5,88 s | | |
| | 5,90 s | | |
| | 5,75 s | | |

Tabla 13. Caudal de bombeo 02 utilizando el tubo de Venturi.

Figura 48. Esquema del tubo de Venturi para el cálculo del segundo caudal de bombeo.

**Datos**

| Punto 01 | | Punto 02 | |
|----------|--|----------|--|
| $P_1 =$ | $0,76 \text{ bar} = 76\,000 \text{ N/m}^2$ | $P_2 =$ | $0,50 \text{ bar} = 50\,000 \text{ N/m}^2$ |
| $D_1 =$ | 2 pulg | $D_2 =$ | 1 pulg |

Ecuación de Bernoulli

$$\frac{76\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{9\,810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} + \frac{V_1^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = \frac{50\,000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{9\,810 \frac{\text{N}}{\text{m}^3}} + \frac{V_2^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$V_2^2 - V_1^2 = 52 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Ecuación de la continuidad

$$\frac{\pi \times (2)^2}{4} V_1 = \frac{\pi \times (1)^2}{4} V_2$$

$$4V_1 = V_2$$

$$V_1 = 1,862 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Q_1 = Q_2 = \left(1,862 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right) \left(\frac{\pi \times (0,0508 \text{ m})^2}{4}\right)$$

$$Q_1 = Q_2 = 0,003774 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\therefore Q_1 = Q_2 = 3,774 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

Entonces el segundo caudal de bombeo es:

$$Q_{prom} = \frac{3,945 \frac{\text{L}}{\text{s}} + 3,774 \frac{\text{L}}{\text{s}}}{2} = 3,86 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

✓ **Tercer caudal de bombeo**

El bombeo se realizó con una motobomba marca HONDA, modelo WB 30 PX; cuyas principales características son:

Tabla 14. Características de la motobomba HONDA WB 30 PX [99].


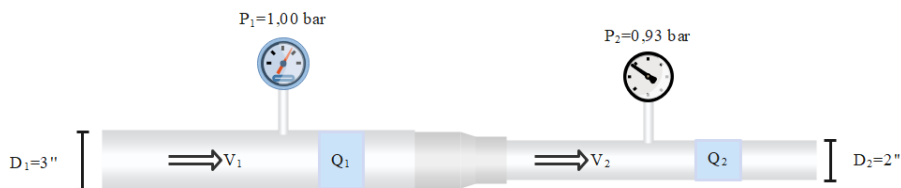
| | | |
|---|------------------------|---------------|
| <p>Figura 49. Motobomba HONDA WB 30 PX.</p>  | <p>Potencia</p> | <p>6,5 HP</p> |
| <p>Voltaje</p> | <p>220 V</p> | |
| <p>Frecuencia</p> | <p>60 Hz</p> | |
| <p>Succión / Descarga</p> | <p>3" × 3"</p> | |
| <p>Flujo máximo</p> | <p>1 100 L/min</p> | |
| <p>Altura máxima</p> | <p>25 m</p> | |

Tabla 15. Método volumétrico para el cálculo del tercer caudal.

| <p>Método volumétrico para el tercer caudal de bombeo</p> | | | |
|--|---------------------------------------|-------------------------------|--|
| <p>Volumen del recipiente</p> | <p>Medición de los tiempos</p> | <p>Tiempo promedio</p> | <p>Caudal</p> |
| | <p>3,25 s</p> | | |
| | <p>3,17 s</p> | | |
| <p>23 L</p> | <p>3,21 s</p> | <p>3,234 s</p> | <p>7,112 $\frac{L}{s}$</p> |
| | <p>3,28 s</p> | | |
| | <p>3,26 s</p> | | |

Tabla 16. Caudal de bombeo 03 utilizando el tubo de Venturi.

Figura 50. Esquema del tubo de Venturi para el cálculo del tercer caudal de bombeo.



| Datos | | | |
|---|-------------------------------------|-----------------|------------------------------------|
| Punto 01 | | Punto 02 | |
| $P_1 =$ | 1,00 bar = 100 000 N/m ² | $P_2 =$ | 0,93 bar = 93 000 N/m ² |
| $D_1 =$ | 3 pulg | $D_2 =$ | 2 pulg |
| Ecuación de Bernoulli | | | |
| $\frac{100\,000 \frac{N}{m^2}}{9\,810 \frac{N}{m^3}} + \frac{V_1^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}} = \frac{93\,000 \frac{N}{m^2}}{9\,810 \frac{N}{m^3}} + \frac{V_2^2}{2 \times 9,81 \frac{m}{s^2}}$ $V_2^2 - V_1^2 = 14 \frac{m^2}{s^2}$ | | | |
| Ecuación de la continuidad | | | |
| $\frac{\pi \times (3)^2}{4} V_1 = \frac{\pi \times (2)^2}{4} V_2$ $\frac{9}{4} V_1 = V_2$ $V_1 = 1,856 \frac{m}{s}$ | | | |
| $Q_1 = Q_2 = \left(1,856 \frac{m}{s}\right) \left(\frac{\pi \times (0,0762 \text{ m})^2}{4}\right)$ $Q_1 = Q_2 = 0,008464 \frac{m^3}{s}$ $\therefore Q_1 = Q_2 = 8,464 \frac{L}{s}$ | | | |

Entonces el tercer caudal de bombeo es:

$$Q_{prom} = \frac{7,112 \frac{L}{s} + 8,464 \frac{L}{s}}{2} = 7,79 \frac{L}{s}$$

Cuadro Resumen del ensayo de bombeo escalonado sin recuperación

Tabla 17. Resultados del Ensayo de bombeo escalonado sin recuperación.

| Método | Primer Caudal de bombeo | Segundo Caudal de bombeo | Tercer Caudal de bombeo |
|--------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| | L/s | L/s | L/s |
| Método volumétrico | 0,598 | 3,945 | 7,112 |
| Tubo de Venturi | 0,740 | 3,774 | 8,464 |
| Promedio | 0,67 | 3,86 | 7,79 |

4.1.4.2. Análisis de las pruebas de bombeo por etapas

Después de la obtención de los tres caudales de bombeo, se procede a realizar los cálculos para el método de bombeo escalonado sin recuperación con un intervalo de tiempo de 60 minutos, también se midieron las distancias de descenso del agua. Estos datos lo podemos ver detallado en la siguiente tabla:

Tabla 18. Datos de los descensos en el método de bombeo escalonado sin recuperación.

| Caudal | Caudal | Tiempo | d | d acumulado |
|--------|-----------|--------|------|---------------|
| L/s | $m^3/día$ | min | m | m |
| 0,67 | 57,89 | 60 | 0,13 | 0,13 |
| 3,86 | 333,50 | 60 | 0,93 | 1,06 |
| 7,79 | 673,06 | 60 | 1,93 | 2,99 |

De la Ecuación 22 podemos identificar tres variables, por lo tanto, para poder obtener los coeficientes restantes se necesitan como mínimo tres ecuaciones, las cuales podemos verlas a continuación apoyándonos de la Tabla 18.

$$0,13 = 57,89A + 57,89^n B$$

$$1,06 = 333,50A + 333,50^n B$$

$$2,99 = 673,06A + 673,06^n B$$

Del sistema de ecuaciones se despeja y se obtiene una ecuación de solo depende de n como se muestra a continuación:

$$\frac{\frac{1,06}{333,50} - \frac{0,13}{57,89}}{\frac{2,99}{673,06} - \frac{1,06}{333,50}} = \frac{333,50^{n-1} - 57,89^{n-1}}{673,06^{n-1} - 333,50^{n-1}}$$

$$0,738 = \frac{333,50^{n-1} - 57,89^{n-1}}{673,06^{n-1} - 333,50^{n-1}}$$

Como se puede apreciar debido a la complejidad de esta ecuación exponencial se opta por la aplicación del software MATLAB para su solución, el código está especificado en el Anexo 4. Es importante señalar que se utilizó un código con la aplicación de los métodos numéricos, exactamente el Método de Newton Raphson; los resultados fueron los siguientes:

Método de Newton Raphson

Introduzca la función f(x):((333.50^(x-1)-57.89^(x-1))/(673.06^(x-1)-333.50^(x-1)))-0.738

Introduzca el punto Xi:2

Porcentaje de error:0.0001

Raiz= 2.094 en 4 Iteraciones>>>

$$n = 2,094$$

Reemplazando el valor de n en dos de las ecuaciones encontradas anteriormente se determina el valor de las incógnitas A y B :

$$0,13 = 57,89A + 57,89^{2,094}B$$

$$1,06 = 333,50A + 333,50^{2,094}B$$

Que es lo mismo a:

$$0,13 = 57,89A + 4\,907,86B$$

$$1,06 = 333,50A + 192\,027,17B$$

De la misma forma en el Anexo 5 está el código en MATLAB para resolver este sistema de ecuaciones, los resultados son los siguientes:

$$A = 0,002085$$

$$B = 1,90 \times 10^{-6}$$

4.1.4.3. Modelo matemático del abatimiento

Se reemplazan las incógnitas calculadas A, B y n para obtener la ecuación general del abatimiento o descenso:

$$d = 0,002085Q + 1,90 \times 10^{-6}Q^{2,094} \quad (54)$$

Cuando se calcula el caudal de bombeo se reemplaza en esta ecuación para así determinar cuánta distancia desciende el nivel estático. Se debe tener en cuenta que el valor del descenso o abatimiento debe ser menor al nivel de agua que almacena el pozo para que así pueda abastecer la cantidad necesaria para el sembrío.

Discusión

El realizar un estudio general del recurso hídrico de la zona nos da la idea para evaluar si es factible diseñar un SBS fotovoltaico. En este caso según la Autoridad Nacional del Agua (ANA) la cuenca Motupe – La Leche tiene una demanda de $92,692 \text{ hm}^3$, lo cual la mayor cantidad es asignada al sector agrícola [83].

Teniendo en cuenta esta información se encuentra la beta de agua en la zona de estudio para así construir el pozo tubular que será la fuente de agua para el riego de las plantas.

Pocas investigaciones realizan un estudio del comportamiento del pozo para un SBS, en este caso se realizó el bombeo escalonado sin recuperación, el cual se llega a un modelo matemático que depende del caudal de bombeo (dato que se encuentra posteriormente) con el fin de determinar el nivel de agua que desciende al bombear con el caudal de bombeo a diseñar en las HSP, este modelo matemático está representada en la Ecuación 54.

El método de bombeo escalonado sin recuperación, depende de un sistema de ecuaciones algo complejas de resolver, es por ello que se utilizan métodos numéricos (Método de Newton Raphson) con ayuda del MATLAB. Es importante señalar que para encontrar estas ecuaciones se necesitan como mínimo tres caudales de bombeo, mientras más caudales de bombeo se empleen los resultados serán más exactos y por ende la ecuación de abatimiento será más exacta también, pero para utilizar más caudales se requiere de mayor inversión en la investigación como para alquiler de bombas, instalación, combustible, etc.; de igual forma con el tiempo, en las bibliografías nos dice que el periodo de tiempo por cada caudal de bombeo es de 0,5 a 3 h, en este caso se bombeo por cada caudal 1 hora, mientras más tiempo de bombeo se emplee los resultados serán más exactos.

El estudio del comportamiento de la fuente de agua es sumamente importante, porque también nos garantiza si es viable diseñar el SBS en la zona donde se siembra. Si la distancia que disminuye es mayor al nivel estático del pozo entonces la fuente no abastecerá las necesidades hídricas de las plantas, de manera contraria, si el abatimiento es menor al nivel estático del pozo nos indica que el agua sí abastecerá cuando se rieguen las plantas en las *HSP*.

4.2. Evaluar los niveles promedio de radiación solar que se registran en la zona empleando los softwares RETScreen, Meteonorm, CropWat

En esta parte gracias a los softwares RETScreen, Meteonorm y CROPWAT se encontrarán los niveles de RS horizontal en la zona y como se explicó anteriormente se necesita determinar la RS que cae al panel solar de forma perpendicular a su superficie, entonces primero se calcula el ángulo de inclinación óptimo de los PSFV y luego se transforma de RS horizontal a RS sobre una superficie inclinada gracias a la serie de ecuaciones ya descritas.

Para calcular en ángulo de inclinación óptimo de los paneles se toma la Ecuación 6, considerando que la latitud $\varphi = -6^{\circ}25'51,27'' = -6,430908$.

$$\beta_{opt} = 3,7 + (0,69 \times |-6,430908|)$$

$$\beta_{opt} = 8,14^{\circ} \approx 8^{\circ}$$

La declinación angular (δ), la latitud (φ), el ángulo de elevación (α) y el ángulo de inclinación (β) que será el ángulo óptimo se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 19. Datos para determinar S_{mod} .

| Mes | Día | δ | φ | α | β |
|------------------|-----|----------|-----------|----------|---------|
| Enero | 17 | -20,92 | -6,430908 | 104,49 | 8 |
| Febrero | 47 | -12,95 | -6,430908 | 96,52 | 8 |
| Marzo | 75 | -2,42 | -6,430908 | 85,99 | 8 |
| Abril | 105 | 9,41 | -6,430908 | 74,16 | 8 |
| Mayo | 135 | 18,79 | -6,430908 | 64,78 | 8 |
| Junio | 162 | 23,09 | -6,430908 | 60,48 | 8 |
| Julio | 198 | 21,18 | -6,430908 | 62,39 | 8 |
| Agosto | 228 | 13,45 | -6,430908 | 70,12 | 8 |
| Setiembre | 258 | 2,22 | -6,430908 | 81,35 | 8 |
| Octubre | 288 | -9,6 | -6,430908 | 93,17 | 8 |
| Noviembre | 318 | -18,91 | -6,430908 | 102,48 | 8 |
| Diciembre | 344 | -23,05 | -6,430908 | 106,62 | 8 |

4.2.1. Software RETScreen

Al abrir el software existe una opción de ‘‘Punto de Referencia’’, es ahí donde se colocan las coordenadas de la zona de estudio, se selecciona ‘‘Pegar datos’’ y se obtienen los datos climatológicos; en la Tabla 20 se aprecia la RS expresada en $kWh/m^2/día$ y $MJ/m^2/día$; el Anexo 6 muestra todos los datos que nos brinda el software.

Tabla 20. Datos de RS horizontal según el software RETScreen.

| Mes | Radiación solar diaria - horizontal | Radiación solar diaria - horizontal |
|------------------|--|--|
| | $kWh/m^2/día$ | $MJ/m^2/día$ |
| Enero | 6,62 | 23,83 |
| Febrero | 6,59 | 23,72 |
| Marzo | 6,66 | 23,98 |
| Abril | 6,42 | 23,11 |
| Mayo | 5,40 | 19,44 |
| Junio | 4,21 | 15,16 |
| Julio | 4,01 | 14,44 |
| Agosto | 4,34 | 15,62 |
| Setiembre | 4,99 | 17,96 |
| Octubre | 5,54 | 19,94 |
| Noviembre | 5,96 | 21,46 |
| Diciembre | 6,34 | 22,82 |
| Anual | 5,58 | 20,10 |

Figura 51. Ubicación de las coordenadas en software RETScreen.



A continuación, se presentan los resultados de RS sobre el módulo según RETScreen.

Tabla 21. RS sobre el módulo según RETScreen.

| Mes | <i>shorz</i> | <i>sinc</i> | <i>smod</i> |
|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | <i>kWh/m²/día</i> | <i>kWh/m²/día</i> | <i>kWh/m²/día</i> |
| Enero | 6,62 | 6,84 | 6,32 |
| Febrero | 6,59 | 6,63 | 6,42 |
| Marzo | 6,66 | 6,68 | 6,66 |
| Abril | 6,42 | 6,67 | 6,61 |
| Mayo | 5,40 | 5,97 | 5,70 |
| Junio | 4,21 | 4,84 | 4,50 |
| Julio | 4,01 | 4,53 | 4,27 |
| Agosto | 4,34 | 4,62 | 4,52 |
| Setiembre | 4,99 | 5,05 | 5,05 |
| Octubre | 5,54 | 5,55 | 5,44 |
| Noviembre | 5,96 | 6,10 | 5,71 |
| Diciembre | 6,34 | 6,62 | 6,02 |
| Promedio | 5,58 | 5,84 | 5,60 |

El mes con mayor RS en el año según RETScreen es marzo y el de menor es julio, siendo los valores $6,66 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ y $4,27 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ respectivamente. El valor promedio al año corresponde a $5,60 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$.

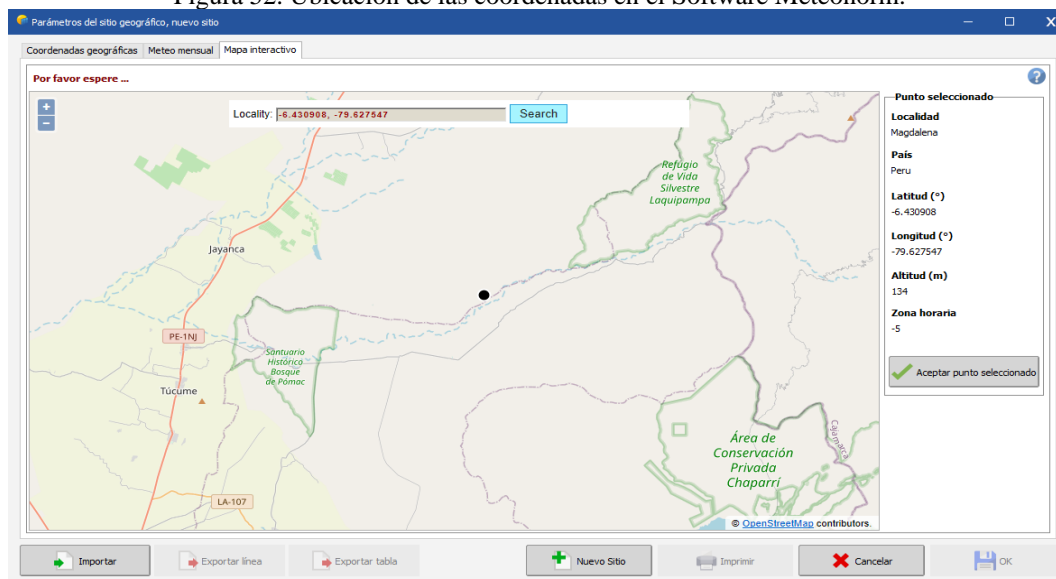
4.2.2. Software Meteonorm

Al colocar las coordenadas en el PVsyst nos proporciona los datos de RS horizontal expresados en $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ y $\text{MJ/m}^2/\text{día}$ pertenecientes a Meteonorm, en el Anexo 7 se puede visualizar el informe de PVsyst 7.4.

Tabla 22. Datos de RS horizontal según el software Meteonorm.

| Mes | Radiación horizontal global | Radiación horizontal global |
|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ | $\text{MJ/m}^2/\text{día}$ |
| Enero | 5,69 | 20,48 |
| Febrero | 5,43 | 19,55 |
| Marzo | 5,64 | 20,30 |
| Abril | 5,71 | 20,56 |
| Mayo | 5,69 | 20,48 |
| Junio | 5,81 | 20,92 |
| Julio | 6,00 | 21,60 |
| Agosto | 5,97 | 21,49 |
| Setiembre | 6,19 | 22,28 |
| Octubre | 6,55 | 23,58 |
| Noviembre | 6,46 | 23,26 |
| Diciembre | 5,76 | 20,74 |
| Anual | 5,91 | 21,27 |

Figura 52. Ubicación de las coordenadas en el Software Meteonorm.



A continuación, se presentan los resultados de RS sobre el módulo según Meteonorm.

Tabla 23. RS sobre el módulo según Meteonorm.

| Mes | <i>shorz</i> | <i>sinc</i> | <i>smod</i> |
|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | <i>kWh/m²/día</i> | <i>kWh/m²/día</i> | <i>kWh/m²/día</i> |
| Enero | 5,69 | 5,88 | 5,43 |
| Febrero | 5,43 | 5,47 | 5,30 |
| Marzo | 5,64 | 5,65 | 5,64 |
| Abril | 5,71 | 5,94 | 5,88 |
| Mayo | 5,69 | 6,29 | 6,01 |
| Junio | 5,81 | 6,68 | 6,21 |
| Julio | 6,00 | 6,77 | 6,38 |
| Agosto | 5,97 | 6,35 | 6,21 |
| Setiembre | 6,19 | 6,26 | 6,26 |
| Octubre | 6,55 | 6,56 | 6,44 |
| Noviembre | 6,46 | 6,62 | 6,20 |
| Diciembre | 5,76 | 6,01 | 5,46 |
| Promedio | 5,91 | 6,21 | 5,95 |

A partir de los datos obtenidos según Meteonorm el máximo valor está en el mes de octubre siendo $6,44 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ y el mínimo en febrero siendo $5,30 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$. Al año se presenta un valor promedio $5,95 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$.

4.2.3. Software CropWat 8.0

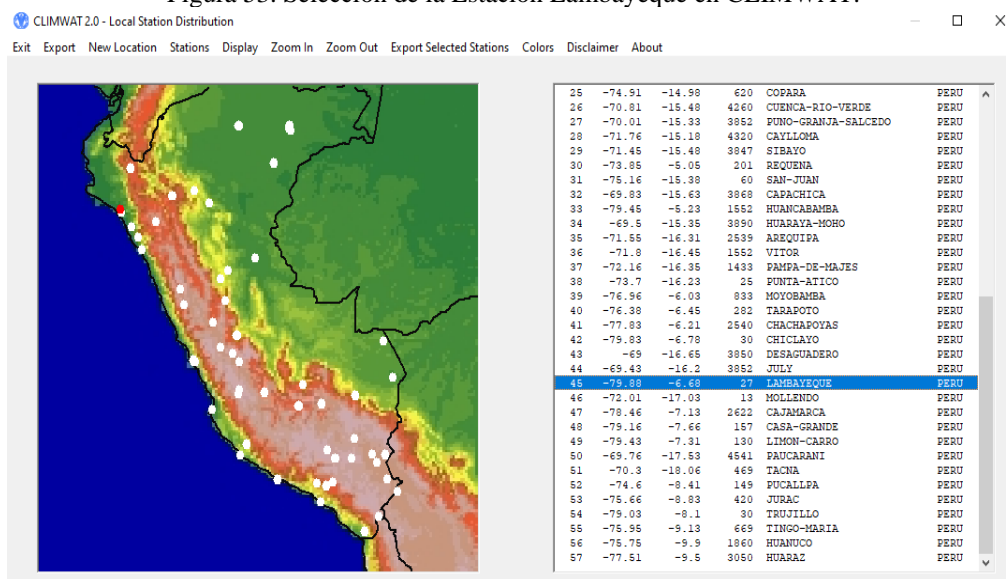
Antes de encontrar los niveles de RS en este programa se debe seleccionar y guardar en el computador la estación más cercana a tu zona de estudio, en este caso Estación Lambayeque como se ve en la Figura 53; esto es gracias al CLIMWAT que es un programa que se complementa con el CropWat.

Una vez guardada se abre el software CropWat y se exportan los datos de la Estación seleccionada. En el Anexo 8 se pueden ver los resultados climatológicos brindados por el software mencionado.

Tabla 24. Datos de RS horizontal según el software CropWat.

| Mes | Radiación horizontal | Radiación horizontal |
|------------------|-----------------------------|----------------------------|
| | $\text{kWh/m}^2/\text{día}$ | $\text{MJ/m}^2/\text{día}$ |
| Enero | 5,42 | 19,50 |
| Febrero | 5,50 | 19,80 |
| Marzo | 5,31 | 19,10 |
| Abril | 5,08 | 18,30 |
| Mayo | 4,61 | 16,60 |
| Junio | 3,94 | 14,20 |
| Julio | 3,86 | 13,90 |
| Agosto | 4,39 | 15,80 |
| Setiembre | 4,94 | 17,80 |
| Octubre | 5,22 | 18,80 |
| Noviembre | 5,36 | 19,30 |
| Diciembre | 5,28 | 19,00 |
| Anual | 4,91 | 17,70 |

Figura 53. Selección de la Estación Lambayeque en CLIMWAT.



A continuación, se presentan los resultados de RS sobre el módulo según CropWat.

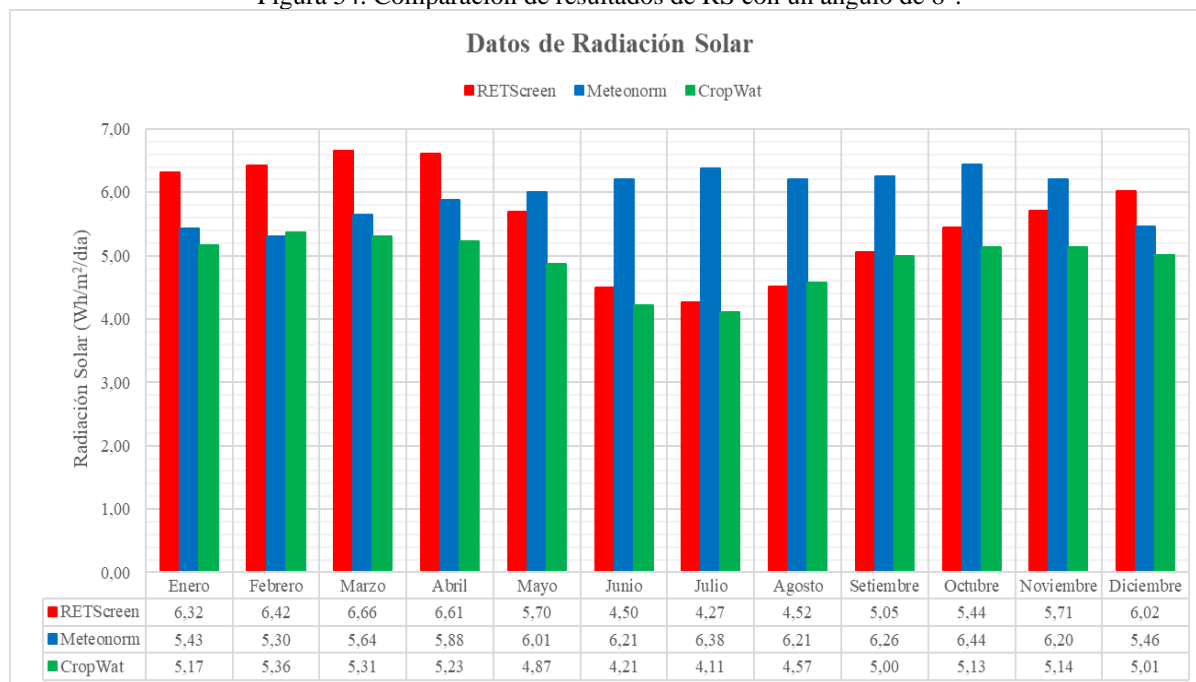
Tabla 25. RS sobre el módulo según CropWat.

| Mes | <i>shorz</i> | <i>sinc</i> | <i>smod</i> |
|------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | <i>kWh/m²/día</i> | <i>kWh/m²/día</i> | <i>kWh/m²/día</i> |
| Enero | 5,42 | 5,60 | 5,17 |
| Febrero | 5,50 | 5,54 | 5,36 |
| Marzo | 5,31 | 5,32 | 5,31 |
| Abril | 5,08 | 5,28 | 5,23 |
| Mayo | 4,61 | 5,10 | 4,87 |
| Junio | 3,94 | 4,53 | 4,21 |
| Julio | 3,86 | 4,36 | 4,11 |
| Agosto | 4,39 | 4,67 | 4,57 |
| Setiembre | 4,94 | 5,00 | 5,00 |
| Octubre | 5,22 | 5,23 | 5,13 |
| Noviembre | 5,36 | 5,49 | 5,14 |
| Diciembre | 5,28 | 5,51 | 5,01 |
| Promedio | 4,91 | 5,14 | 4,93 |

De igual forma se observan los valores máximos y mínimos perteneciendo a los meses febrero con un resultado de $5,36 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ y julio $4,11 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$. El valor promedio anual es $4,93 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$.

4.2.4. Comparación de los datos de RS

Figura 54. Comparación de resultados de RS con un ángulo de 8° .



Para cálculos posteriores por ejemplo las HSP o caudal de bombeo (Q_b) se requiere del valor de RS más crítico o sea el menor valor. Según los resultados de los softwares para RETScreen y CropWat el mes más crítico es julio y para Meteonorm el mes más crítico es febrero, es por ello que gracias a un instrumento se procede a medir *in situ* la RS solar de estos meses y se selecciona el menor valor para el diseño.

4.2.5. Medición *in situ*

Se realizó la medición de la irradiancia solar con la aplicación de un instrumento medidor de energía solar cuyo modelo es: SM206 – SOLAR. El instrumento se colocó en una superficie inclinada con un ángulo de 8° (simulando la superficie del módulo fotovoltaico).

Figura 55. Medidor SM206 – SOLAR en una superficie inclinada de 8°.



Los datos obtenidos con el medidor solar nos muestran una gráfica similar a la Figura 14, posteriormente se calcular el área debajo de la curva para así obtener la RS por mes.

La metodología para el cálculo de la RS *in situ* es la siguiente:

1. Las mediciones se realizaron cinco veces en el mes de febrero y julio, esos datos de irradiancia están especificados en los Anexos 9 y 10.
2. Para el cálculo de irradiancia se promediaron los resultados de los cinco días.
3. Las mediciones se realizaron cada 5 minutos, desde las 7:00 a.m. hasta las 5:00 p.m.

En las siguientes tablas se muestran los valores promedios de irradiancia del mes de febrero y julio.

FEBRERO

Tabla 26. Irradiancia del mes de febrero según Solar Meter SM206.

| Medición de la irradiancia solar (W/m^2) | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Hora | Primera medida | Segunda medida | Tercera medida | Cuarta medida | Quinta medida | Sexta medida | Séptima medida | Octava medida | Novena medida | Décima medida | Décima primera medida | Décima segunda medida |
| 7:00 - 8:00 | 88,4 | 98,6 | 105,6 | 115,8 | 128,4 | 134,8 | 149,2 | 159,8 | 168,7 | 175,4 | 189,6 | 198,9 |
| 8:00 - 9:00 | 214,7 | 226,9 | 252,3 | 264,1 | 285,4 | 307,6 | 328,9 | 362,4 | 384,7 | 402,2 | 425,7 | 446,8 |
| 9:00 - 10:00 | 466,8 | 495,7 | 527,9 | 542,6 | 581,1 | 608,7 | 623,4 | 654,7 | 346,1 | 315,2 | 296,4 | 254,2 |
| 10:00 - 11:00 | 268,1 | 308,1 | 339,7 | 386,8 | 826,4 | 854,9 | 869,8 | 876,9 | 883,6 | 906,7 | 911,4 | 928,7 |
| 11:00 - 12:00 | 946,8 | 965,8 | 986,1 | 1 005,4 | 1 018,5 | 1 028,7 | 1 046,1 | 1 061,7 | 1 085,4 | 1 113,8 | 1 124,8 | 1 133,9 |
| 12:00 - 13:00 | 1 149,8 | 1 166,7 | 1 179,4 | 1 186,3 | 1 201,5 | 1 221,4 | 1 233,4 | 1 215,7 | 1 194,2 | 1 189,4 | 1 153,8 | 1 137,6 |
| 13:00 - 14:00 | 1 118,7 | 1 102,8 | 1 095,3 | 1 081,4 | 1 063,3 | 1 039,4 | 1 018,4 | 998,5 | 991,7 | 981,7 | 958,9 | 932,3 |
| 14:00 - 15:00 | 926,5 | 909,5 | 899,7 | 887,2 | 881,6 | 864,9 | 851,4 | 833,4 | 815,7 | 795,9 | 384,2 | 322,5 |
| 15:00 - 16:00 | 396,4 | 725,6 | 706,1 | 687,4 | 653,6 | 597,1 | 569,2 | 548,3 | 526,4 | 492,2 | 468,7 | 441,9 |
| 16:00 - 17:00 | 428,7 | 405,3 | 381,3 | 362,7 | 335,4 | 306,1 | 287,1 | 266,9 | 247,8 | 225,3 | 207,7 | 176,9 |

JULIO

Tabla 27. Irradiancia del mes de julio según Solar Meter SM206.

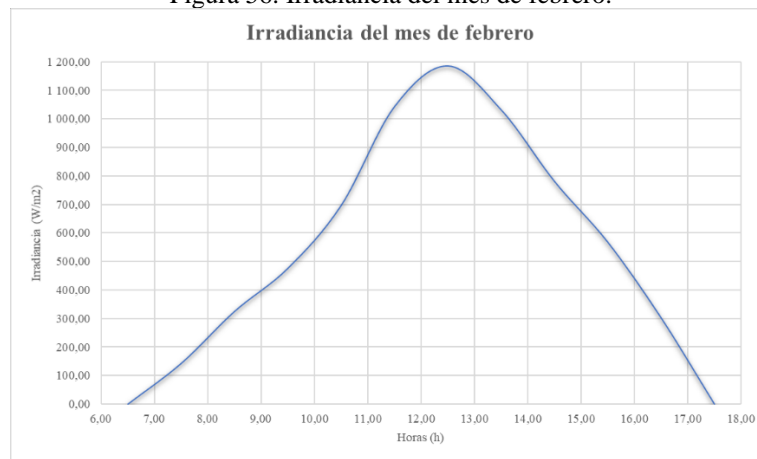
| Medición de la irradiancia solar (W/m^2) | | | | | | | | | | | | |
|--|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Hora | Primera medida | Segunda medida | Tercera medida | Cuarta medida | Quinta medida | Sexta medida | Séptima medida | Octava medida | Novena medida | Décima medida | Décima primera medida | Décima segunda medida |
| 7:00 - 8:00 | 69,7 | 77,7 | 95,0 | 119,1 | 148,1 | 175,1 | 202,6 | 227,3 | 247,8 | 257,0 | 268,9 | 284,9 |
| 8:00 - 9:00 | 299,2 | 325,2 | 354,0 | 384,4 | 416,0 | 439,3 | 465,1 | 500,1 | 540,5 | 575,0 | 617,5 | 658,1 |
| 9:00 - 10:00 | 661,9 | 685,9 | 687,3 | 693,9 | 694,7 | 695,5 | 685,9 | 676,5 | 670,8 | 670,9 | 670,1 | 675,8 |
| 10:00 - 11:00 | 650,9 | 671,3 | 666,0 | 674,3 | 676,4 | 677,8 | 679,8 | 681,5 | 692,3 | 695,9 | 700,2 | 706,9 |
| 11:00 - 12:00 | 711,4 | 733,4 | 748,1 | 762,0 | 777,3 | 796,7 | 812,1 | 829,6 | 844,9 | 864,1 | 876,1 | 895,1 |
| 12:00 - 13:00 | 904,0 | 915,8 | 918,0 | 915,7 | 906,9 | 886,2 | 878,6 | 866,7 | 855,6 | 841,6 | 831,3 | 824,3 |
| 13:00 - 14:00 | 816,1 | 810,6 | 799,9 | 790,9 | 781,7 | 772,7 | 763,9 | 771,7 | 738,2 | 733,0 | 725,6 | 719,6 |
| 14:00 - 15:00 | 714,0 | 706,3 | 699,4 | 694,0 | 684,1 | 671,0 | 659,9 | 650,8 | 644,4 | 635,9 | 628,5 | 619,7 |
| 15:00 - 16:00 | 659,3 | 644,8 | 631,6 | 602,4 | 577,7 | 552,6 | 507,1 | 486,0 | 446,5 | 402,2 | 367,4 | 322,0 |
| 16:00 - 17:00 | 293,4 | 275,5 | 251,9 | 231,3 | 203,8 | 192,8 | 182,8 | 161,4 | 129,8 | 103,6 | 83,7 | 74,1 |

4.2.5.1. Gráfica de la irradiancia y cálculo de la radiación solar de los meses de febrero y julio

Para la RS se aplica la Ecuación 5, considerando que $t = 5 \text{ min}$ equivalente a $1/12 \text{ h}$ y las HSP se determina como la relación de la RS sobre 1 000.

✓ Mes de febrero

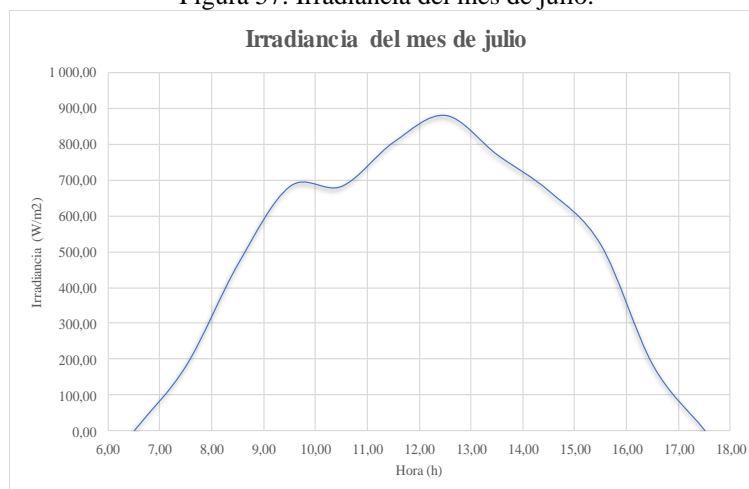
Figura 56. Irradiancia del mes de febrero.



$$RS = 6,55 \text{ kWh/m}^2$$

✓ Mes de julio

Figura 57. Irradiancia del mes de julio.



$$RS = 5,80 \text{ kWh/m}^2$$

Por lo tanto, el mes más crítico del año corresponde al mes de julio con un valor de radiación solar, $5,80 \text{ kWh/m}^2$ y HSP, $5,80 \text{ h}$.

Discusión

El contar con más de una fuente de datos de RS nos permite tener más opciones y seguridad al momento de realizar el diseño del SBS. Los softwares RETScreen, Meteonorm y CropWat nos proporcionan datos de RS horizontal y revisando bibliografías e investigaciones como [3], [30] o [32] existen fórmulas matemáticas que transforman la RS horizontal a RS sobre un plano inclinado, esto con la finalidad de que el SBS se diseñe con datos más exactos.

Se tomó el RETScreen porque los datos son extraídos de la NASA, sin embargo, presenta datos desactualizados, ya que al revisar los niveles de RS hace un año son los mismos que se muestran en el presente año; el Meteonorm, es un software de confianza para el diseño, porque los datos encontrados sí están en constante actualización (cambian dependiendo la versión del programa) y además el software que se usará para el diseño del SBS (PVsyst) toma de manera directa esta información y la incluye en sus cálculos y por último el software CropWat es empleado en la rama de la agricultura que muy aparte de determinar valores de RS también proporciona datos de evapotranspiración, que es un parámetro usado para encontrar la demanda hídrica. Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas 21; 23 y 25 y como se pueden ver que incluso los valores más críticos son muy próximos al valor mínimo de RS que según [108] en su investigación es $4 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$.

Al realizar la comparativa de los resultados de los tres softwares se concluyó que los meses con menor radiación solar en el año son febrero y julio. Se debe tomar el mes más crítico o sea el mes con menor RS en el año para establecer las *HSP* que serán las horas de bombeo [40] y a su vez el caudal de bombeo Q_b como mencionan los autores [109], [110]; esto me garantiza que si el SBS abastece teniendo en cuenta el mes más crítico mucho más serán los meses más favorables.

En esta investigación se optó por la utilización del medidor solar modelo SM206 – SOLAR para obtener resultados más reales de RS con un ángulo de inclinación de 8° en los meses más críticos del año, la desventaja de este método es que solo se midieron los niveles de RS durante cinco días ya que no se cuenta con una estación que mida este parámetro durante todos los días del mes. Asimismo, se construyó una superficie inclinada (8°) para simular el soporte del panel y poder determinar la RS con la inclinación mencionada y evitar las pérdidas por azimut y ángulo de inclinación.

Según lo mencionado anteriormente, la RS con la que se trabaja es $5,80 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$ correspondiente a julio y un valor de *HSP* de $5,80 \text{ h}$.

4.3. Determinación de los requerimientos del sistema de almacenamiento de agua para el riego suficiente del terreno de cultivo

4.3.1. Cálculo de la Radiación Extraterrestre

Para determinar este parámetro se tienen dos fuentes, la primera es utilizando la Tabla 5, el cual se realiza una interpolación para encontrar el respectivo valor con la latitud de la zona de estudio y la segunda es gracias a Meteonorm en el Anexo 7. Este resultado debe estar expresado en *mm /día*.

Tabla 28. Radiación extraterrestre según la Tabla 5 en (*mm/día*).

| Mes | Latitud Sur | | |
|------------------|-------------|--------------|-------|
| | -6,00 | -6,43 | -8,00 |
| Enero | 15,90 | 15,66 | 15,60 |
| Febrero | 15,90 | 15,82 | 15,80 |
| Marzo | 15,50 | 15,50 | 15,50 |
| Abril | 14,30 | 14,46 | 14,50 |
| Mayo | 13,00 | 13,24 | 13,30 |
| Junio | 12,20 | 12,51 | 12,60 |
| Julio | 12,50 | 12,81 | 12,90 |
| Agosto | 13,60 | 13,84 | 13,90 |
| Setiembre | 14,90 | 14,98 | 15,00 |
| Octubre | 15,70 | 15,62 | 15,60 |
| Noviembre | 15,80 | 15,64 | 15,60 |
| Diciembre | 15,80 | 15,56 | 15,50 |

Para determinar la radiación extraterrestre con el Anexo 7 se debe tener en cuenta la siguiente equivalencia de unidades:

$$1 \text{ kWh/m}^2/\text{día} = 3,6 \text{ MJ/m}^2/\text{día}$$

$$1 \text{ mm/día} = 2,45 \text{ MJ/m}^2/\text{día}$$

Como Meteonorm nos da los resultados en *kWh/m²/día*, se procede a realizar el cambio de unidades para los próximos cálculos, estos resultados los vemos en la siguiente tabla.

Tabla 29. Radiación extraterrestre según Meteonorm.

| Mes | R_o | R_o | R_o |
|------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------|
| | <i>kWh/m²/día</i> | <i>MJ/m²/día</i> | <i>mm/día</i> |
| Enero | 10,69 | 38,48 | 15,71 |
| Febrero | 10,76 | 38,74 | 15,81 |
| Marzo | 10,52 | 37,87 | 15,46 |
| Abril | 9,84 | 35,42 | 14,46 |
| Mayo | 9,03 | 32,51 | 13,27 |
| Junio | 8,55 | 30,78 | 12,56 |
| Julio | 8,70 | 31,32 | 12,78 |
| Agosto | 9,38 | 33,77 | 13,78 |
| Setiembre | 10,16 | 36,58 | 14,93 |
| Octubre | 10,60 | 38,16 | 15,58 |
| Noviembre | 10,67 | 38,41 | 15,68 |
| Diciembre | 10,61 | 38,20 | 15,59 |

Como se puede apreciar las dos fuentes presentan resultados bastante próximos; se tomarán los valores del Meteonorm porque como se mencionó el PVsyst trabaja con esta información.

4.3.2. Determinación de la temperatura máxima y mínima

Estos datos son obtenidos gracias al software CropWat en el Anexo 8.

Tabla 30. Valores de temperatura.

| Mes | t_{max} | t_{min} | t_{med} | Δt |
|------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | °C | °C | °C | °C |
| Enero | 30,00 | 20,50 | 25,25 | 9,50 |
| Febrero | 31,30 | 21,00 | 26,15 | 10,30 |
| Marzo | 31,20 | 20,80 | 26,00 | 10,40 |
| Abril | 29,50 | 19,50 | 24,50 | 10,00 |
| Mayo | 27,30 | 18,50 | 22,90 | 8,80 |
| Junio | 25,00 | 16,50 | 20,75 | 8,50 |
| Julio | 24,00 | 15,50 | 19,75 | 8,50 |
| Agosto | 23,50 | 15,00 | 19,25 | 8,50 |
| Setiembre | 23,80 | 15,30 | 19,55 | 8,50 |
| Octubre | 24,50 | 15,50 | 20,00 | 9,00 |
| Noviembre | 26,00 | 16,30 | 21,15 | 9,70 |
| Diciembre | 30,30 | 18,00 | 24,15 | 12,30 |

4.3.3. Cálculo de la evapotranspiración potencial ET_0

Se aplicó la Ecuación 46 perteneciente al Método de Hargreaves, los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 31. Evapotranspiración potencial ET_0 .

| Mes | t_{max} | t_{min} | t_{med} | Δt | R_0 | ET_0 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|------------|--------|-------------|
| | °C | °C | °C | °C | mm/día | mm/día |
| Enero | 30,00 | 20,50 | 25,25 | 9,50 | 15,71 | 4,79 |
| Febrero | 31,30 | 21,00 | 26,15 | 10,30 | 15,81 | 5,13 |
| Marzo | 31,20 | 20,80 | 26,00 | 10,40 | 15,46 | 5,02 |
| Abril | 29,50 | 19,50 | 24,50 | 10,00 | 14,46 | 4,45 |
| Mayo | 27,30 | 18,50 | 22,90 | 8,80 | 13,27 | 3,68 |
| Junio | 25,00 | 16,50 | 20,75 | 8,50 | 12,56 | 3,25 |
| Julio | 24,00 | 15,50 | 19,75 | 8,50 | 12,78 | 3,22 |
| Agosto | 23,50 | 15,00 | 19,25 | 8,50 | 13,78 | 3,42 |
| Setiembre | 23,80 | 15,30 | 19,55 | 8,50 | 14,93 | 3,74 |
| Octubre | 24,50 | 15,50 | 20,00 | 9,00 | 15,58 | 4,06 |
| Noviembre | 26,00 | 16,30 | 21,15 | 9,70 | 15,68 | 4,37 |
| Diciembre | 30,30 | 18,00 | 24,15 | 12,30 | 15,59 | 5,27 |

En el Anexo 8 también se puede apreciar datos de evapotranspiración potencial ET_0 que son muy próximos a los resultados obtenidos en la Tabla 31. Se debe precisar que los valores de ET_0 del Anexo 8 son resultados de la FAO.

4.3.4. Cálculo del factor de cultivo K_C

Actualmente se siembra limón, pero los dueños del terreno se proyectan a sembrar también palta, arándanos y espárragos.

4.3.4.1. Coeficiente de cultivo del limón

Para determinar el K_C del limón que es un cítrico se han empleado datos de la FAO [90], También se debe mencionar que la siembra comenzó el mes de julio y el periodo total es de 365 días.

Figura 58. Plantas de limón en el terreno de cultivo.

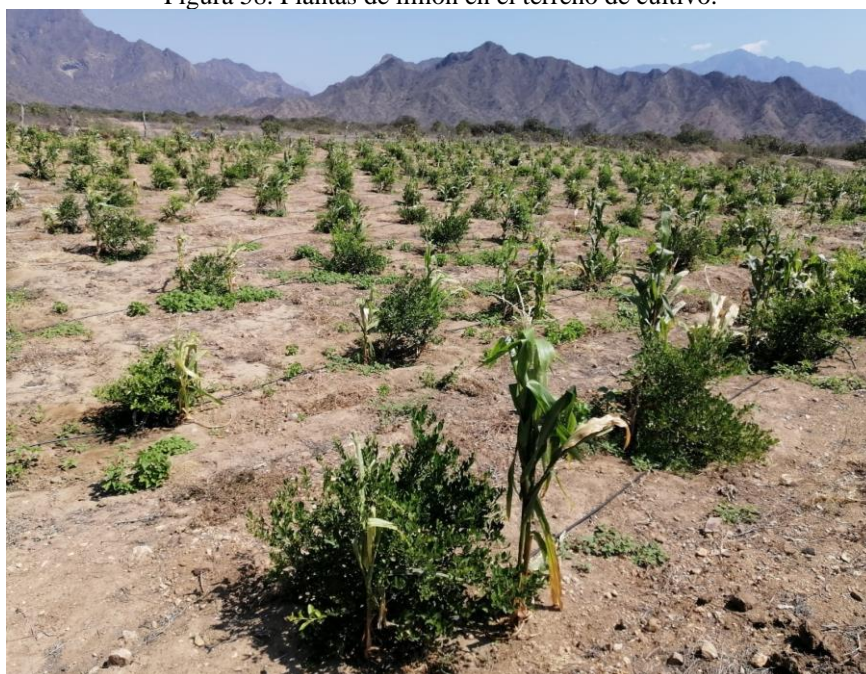


Tabla 32. K_C del limón.

| Mes | Días del periodo | K_C | Mes | Días del periodo | Mes |
|------------------|------------------|-------------|----------------|------------------|-------------|
| Julio | 31 | 0,70 | Enero | 31 | 0,65 |
| Agosto | 31 | 0,70 | Febrero | 28 | 0,65 |
| Setiembre | 30 | 0,69 | Marzo | 31 | 0,65 |
| Octubre | 31 | 0,67 | Abril | 30 | 0,67 |
| Noviembre | 30 | 0,65 | Mayo | 31 | 0,68 |
| Diciembre | 31 | 0,65 | Junio | 30 | 0,70 |

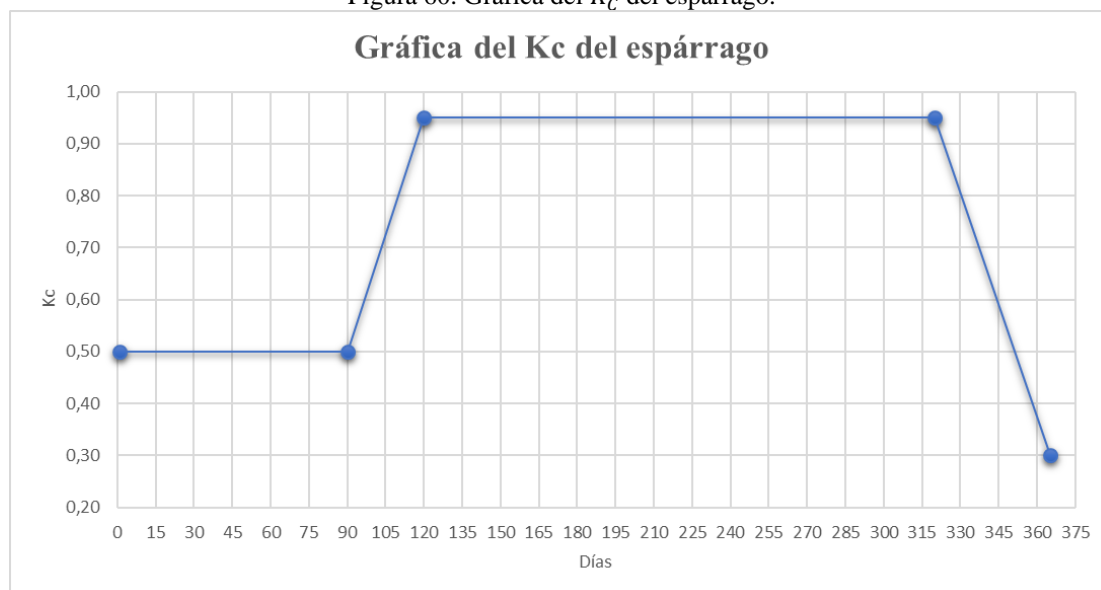
Figura 59. Gráfica del K_c del limón.

4.3.4.2. Coeficiente de cultivo del espárrago

Para los espárragos la FAO nos brinda los datos necesarios para realizar el gráfico de K_c ; como es un cultivo que aún no se siembra se tomará como referencia la recomendación de la FAO (mes de febrero) y también tiene una duración de 365 días.

Tabla 33. K_c del espárrago.

| Mes | Días del periodo | K_c | Mes | Días del periodo | K_c |
|----------------|------------------|-------------|------------------|------------------|-------------|
| Febrero | 28 | 0,50 | Agosto | 31 | 0,95 |
| Marzo | 31 | 0,50 | Setiembre | 30 | 0,95 |
| Abril | 30 | 0,50 | Octubre | 31 | 0,95 |
| Mayo | 31 | 0,95 | Noviembre | 30 | 0,95 |
| Junio | 30 | 0,95 | Diciembre | 31 | 0,80 |
| Julio | 31 | 0,95 | Enero | 31 | 0,35 |

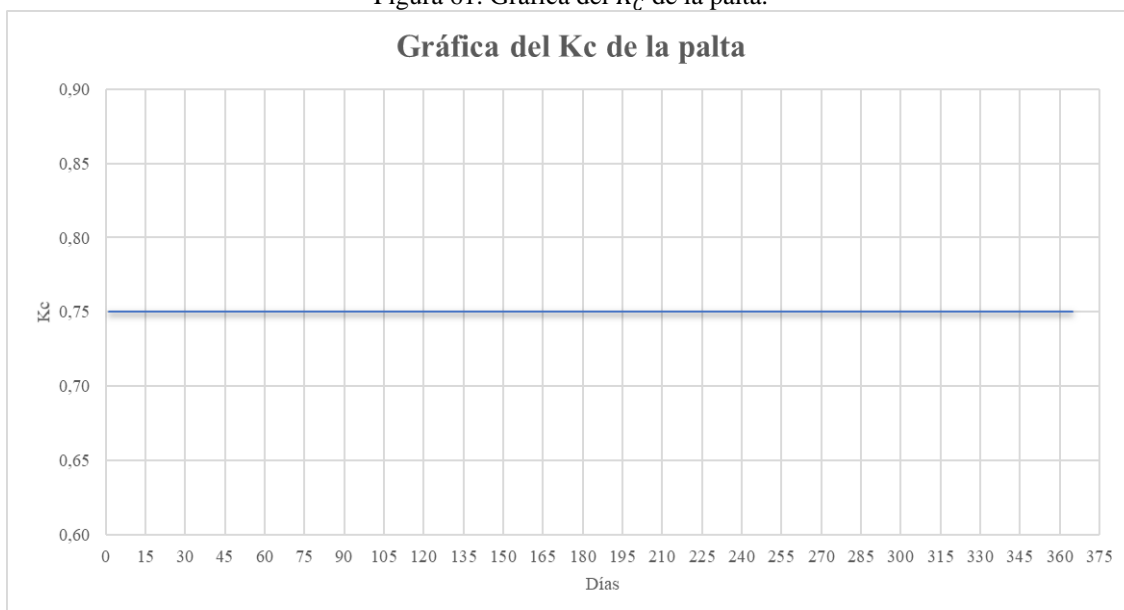
Figura 60. Gráfica del K_c del espárrago.

4.3.4.3. Coeficiente de cultivo de la palta

La FAO no nos brinda el K_c de la palta o aguacate, sin embargo, en [100] nos proporciona este dato promedio al año equivalente a 0,75 en todo el año.

Tabla 34. K_c de la palta.

| Mes | Días del periodo | K_c | Mes | Días del periodo | K_c |
|----------------|------------------|-------------|------------------|------------------|-------------|
| Enero | 31 | 0,75 | Julio | 31 | 0,75 |
| Febrero | 28 | 0,75 | Agosto | 31 | 0,75 |
| Marzo | 31 | 0,75 | Setiembre | 30 | 0,75 |
| Abril | 30 | 0,75 | Octubre | 31 | 0,75 |
| Mayo | 31 | 0,75 | Noviembre | 30 | 0,75 |
| Junio | 30 | 0,75 | Diciembre | 31 | 0,75 |

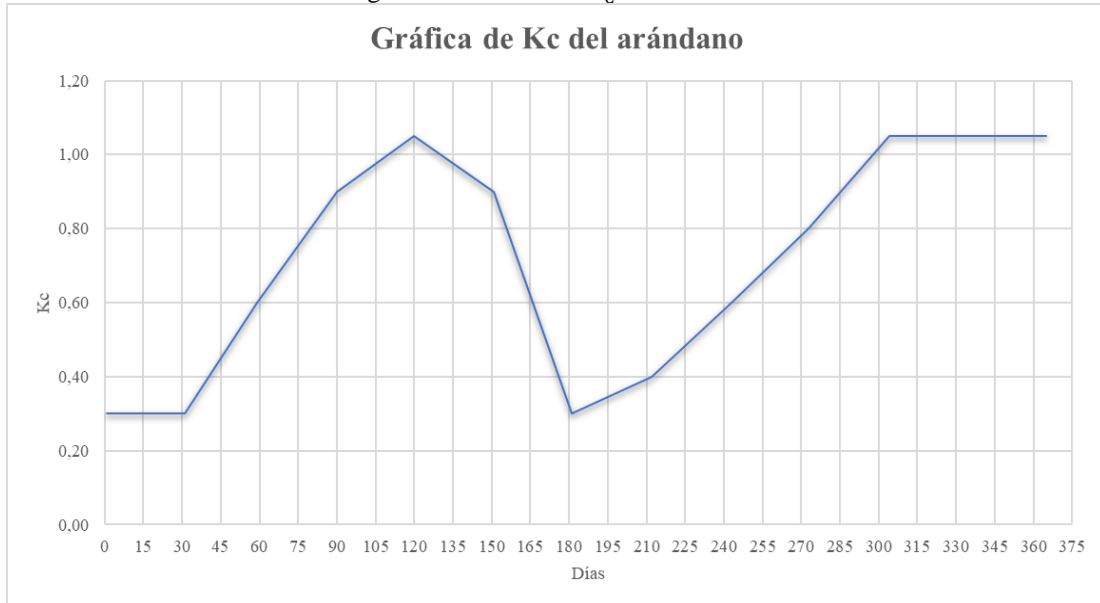
Figura 61. Gráfica del K_C de la palta.

4.3.4.4. Coeficiente de cultivo del arándano

Así como la palta, el autor [100] nos proporciona los datos de K_C en el año, teniendo en cuenta que los arándanos son frutillas.

Tabla 35. K_C del arándano.

| Mes | Días del periodo | K_C | Mes | Días del periodo | K_C |
|----------------|------------------|-------------|------------------|------------------|-------------|
| Enero | 31 | 0,30 | Julio | 31 | 0,40 |
| Febrero | 28 | 0,60 | Agosto | 31 | 0,60 |
| Marzo | 31 | 0,90 | Setiembre | 30 | 0,80 |
| Abril | 30 | 1,05 | Octubre | 31 | 1,05 |
| Mayo | 31 | 0,90 | Noviembre | 30 | 1,05 |
| Junio | 30 | 0,30 | Diciembre | 31 | 1,05 |

Figura 62. Gráfica del K_c del arándano.

4.3.5. Cálculo de la evapotranspiración real ET_c

Se aplica la Ecuación 49 para hallar la evapotranspiración real (ET_c) de las tres plantas; dichos valores los encontramos en la siguiente tabla:

Tabla 36. Evapotranspiración real por mes de cada planta.

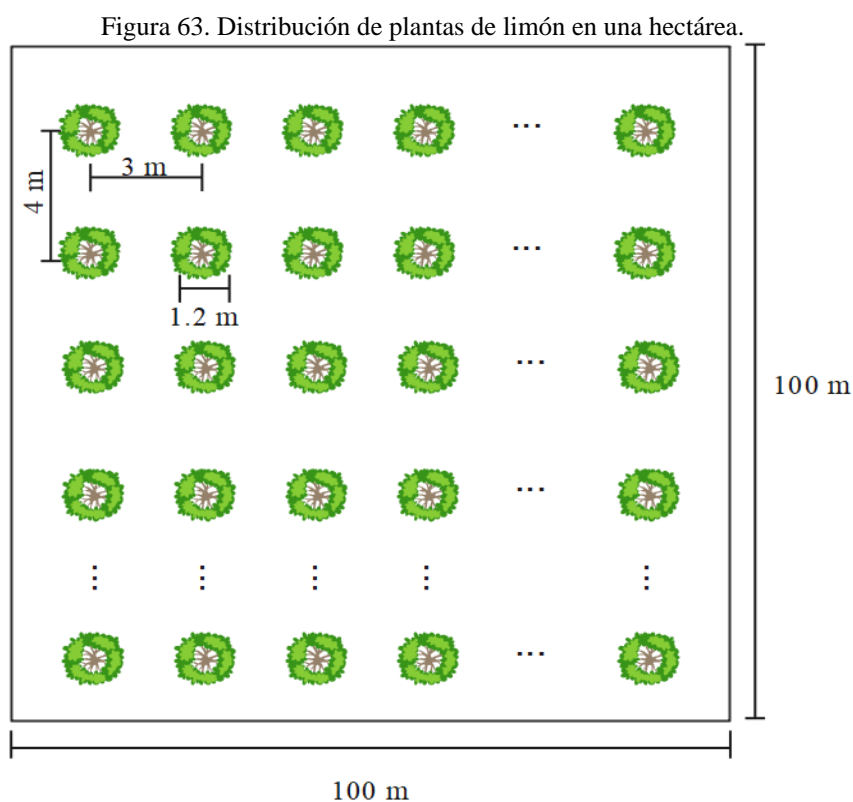
| Mes | ET_o | K_c | | | | $ET_c = K_c \times ET_o$ | | | |
|------------------|--------|-------|-----------|-------|----------|--------------------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Limón | Espárrago | Palta | Arándano | Limón | Espárrago | Palta | Arándano |
| Enero | 4,79 | 0,65 | 0,35 | 0,75 | 0,30 | 3,11 | 1,68 | 3,59 | 1,44 |
| Febrero | 5,13 | 0,65 | 0,50 | 0,75 | 0,60 | 3,33 | 2,56 | 3,85 | 3,08 |
| Marzo | 5,02 | 0,65 | 0,50 | 0,75 | 0,90 | 3,26 | 2,51 | 3,76 | 4,52 |
| Abril | 4,45 | 0,67 | 0,50 | 0,75 | 1,05 | 2,97 | 2,22 | 3,33 | 4,67 |
| Mayo | 3,68 | 0,68 | 0,95 | 0,75 | 0,90 | 2,51 | 3,50 | 2,76 | 3,31 |
| Junio | 3,25 | 0,70 | 0,95 | 0,75 | 0,30 | 2,27 | 3,08 | 2,43 | 0,97 |
| Julio | 3,22 | 0,70 | 0,95 | 0,75 | 0,40 | 2,25 | 3,06 | 2,41 | 1,29 |
| Agosto | 3,42 | 0,70 | 0,95 | 0,75 | 0,60 | 2,40 | 3,25 | 2,57 | 2,05 |
| Setiembre | 3,74 | 0,69 | 0,95 | 0,75 | 0,80 | 2,56 | 3,55 | 2,80 | 2,99 |
| Octubre | 4,06 | 0,67 | 0,95 | 0,75 | 1,05 | 2,71 | 3,86 | 3,05 | 4,26 |
| Noviembre | 4,37 | 0,65 | 0,95 | 0,75 | 1,05 | 2,84 | 4,15 | 3,28 | 4,59 |
| Diciembre | 5,27 | 0,65 | 0,80 | 0,75 | 1,05 | 3,43 | 4,22 | 3,95 | 5,54 |

4.3.6. Cálculo de la evapotranspiración corregida E_t

Se entiende la evapotranspiración corregida como un porcentaje de área que será regada con respecto a una hectárea, para ello la Ecuación 50 no da un parámetro T que se calcula con la Ecuación 51. El sistema que se emplea es el riego por goteo.

4.3.6.1. Evapotranspiración corregida para el limón

Como se dijo, en la actualidad se siembra limón entonces ya se tiene la distribución de las plantas en una hectárea, se realizó un esquema para mostrar esas dimensiones como se puede a continuación.



La distancia del borde del terreno a las plantas corresponde a 2 m y el sistema de riego que se aplica es el goteo.

$$\text{número de plantas de limón/hectárea} = 33 \times 25$$

$$\text{número de plantas de limón/hectárea} = 825$$

Área sombreada total = (número de plantas)(área por planta)

$$\text{Área sombreada total} = 825 \times \pi \times 0,6^2$$

$$\text{Área sombreada total} = 933,05 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ hectárea} = 10\,000 \text{ m}^2$$

Figura 64. Medición de la planta de limón.



Figura 65. Riego por goteo del limón.



Al aplicar la Ecuación 51, se obtiene:

$$T = \frac{933,05 \text{ m}^2}{10\,000 \text{ m}^2}$$

$$T = 0,093$$

Con el valor de T y aplicando la Ecuación 50, se obtiene E_t :

Tabla 37. Evapotranspiración corregida para el limón por hectárea.

| Mes | ET_c mm/día | T | E_t mm/día |
|------------------|------------------|-------|-----------------|
| Enero | 3,11 | 0,093 | 0,291 |
| Febrero | 3,33 | 0,093 | 0,311 |
| Marzo | 3,26 | 0,093 | 0,304 |
| Abril | 2,97 | 0,093 | 0,277 |
| Mayo | 2,51 | 0,093 | 0,234 |
| Junio | 2,27 | 0,093 | 0,212 |
| Julio | 2,25 | 0,093 | 0,210 |
| Agosto | 2,40 | 0,093 | 0,224 |
| Setiembre | 2,56 | 0,093 | 0,239 |
| Octubre | 2,71 | 0,093 | 0,253 |
| Noviembre | 2,84 | 0,093 | 0,265 |
| Diciembre | 3,43 | 0,093 | 0,320 |

4.3.6.2. Evapotranspiración corregida para el espárrago

La densidad de los espárragos según [101] es 25 000 *plantas/ha* y considerando un radio de 0,10 *m* se tiene:

$$\text{número de plantas de espárrago/hectárea} = 25\,000$$

Área sombreada total = (número de plantas)(área por planta)

$$\text{Área sombreada total} = 25\,000 \times \pi \times 0,10^2$$

$$\text{Área sombreada total} = 785,40 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ hectárea} = 10\,000 \text{ m}^2$$

Al aplicar la Ecuación 51, se obtiene:

$$T = \frac{1\,767,15 \text{ m}^2}{10\,000 \text{ m}^2}$$

$$T = 0,079$$

Con el valor de T y aplicando la Ecuación 50, se obtiene E_t :

Tabla 38. Evapotranspiración corregida para el espárrago por hectárea.

| Mes | $\frac{ET_c}{\text{mm/día}}$ | T | $\frac{E_t}{\text{mm/día}}$ |
|------------------|------------------------------|-------|-----------------------------|
| Enero | 1,68 | 0,079 | 0,132 |
| Febrero | 2,56 | 0,079 | 0,201 |
| Marzo | 2,51 | 0,079 | 0,197 |
| Abril | 2,22 | 0,079 | 0,175 |
| Mayo | 3,50 | 0,079 | 0,275 |
| Junio | 3,08 | 0,079 | 0,242 |
| Julio | 3,06 | 0,079 | 0,240 |
| Agosto | 3,25 | 0,079 | 0,255 |
| Setiembre | 3,55 | 0,079 | 0,279 |
| Octubre | 3,86 | 0,079 | 0,303 |
| Noviembre | 4,15 | 0,079 | 0,326 |
| Diciembre | 4,22 | 0,079 | 0,331 |

4.3.6.3. *Evapotranspiración corregida para la palta*

La densidad de las paltas según [102] es de 350 a 400 *plantas/ha* y considerando un radio de 0,50 *m* se tiene:

$$\mathbf{número\ de\ plantas\ de\ palta/hectárea = 400}$$

$$\text{Área\ sombreada\ total} = (\text{número\ de\ plantas})(\text{área\ por\ planta})$$

$$\text{Área\ sombreada\ total} = 400 \times \pi \times 0,50^2$$

$$\mathbf{\text{Área\ sombreada\ total} = 314,16\ m^2}$$

$$\mathbf{1\ hectárea = 10\ 000\ m^2}$$

Al aplicar la Ecuación 51, se obtiene:

$$T = \frac{314,16\ m^2}{10\ 000\ m^2}$$

$$\mathbf{T = 0,031}$$

Con el valor de T y aplicando la Ecuación 50, se obtiene E_t :

Tabla 39. Evapotranspiración corregida para la palta por hectárea.

| Mes | ET_c mm/día | T | E_t mm/día |
|------------------|------------------|-------|-----------------|
| Enero | 3,59 | 0,031 | 0,113 |
| Febrero | 3,85 | 0,031 | 0,121 |
| Marzo | 3,76 | 0,031 | 0,118 |
| Abril | 3,33 | 0,031 | 0,105 |
| Mayo | 2,76 | 0,031 | 0,087 |
| Junio | 2,43 | 0,031 | 0,076 |
| Julio | 2,41 | 0,031 | 0,076 |
| Agosto | 2,57 | 0,031 | 0,081 |
| Setiembre | 2,80 | 0,031 | 0,088 |
| Octubre | 3,05 | 0,031 | 0,096 |
| Noviembre | 3,28 | 0,031 | 0,103 |
| Diciembre | 3,95 | 0,031 | 0,124 |

4.3.6.4. Evapotranspiración corregida para el arándano

La densidad de las paltas según [103] es de 5 000 a 7 500 *plantas/ha* y considerando un radio de 0,12 *m* se tiene:

$$\text{número de plantas de arándano/hectárea} = 7\,500$$

$$\text{Área sombreada total} = (\text{número de plantas})(\text{área por planta})$$

$$\text{Área sombreada total} = 7\,500 \times \pi \times 0,15^2$$

$$\text{Área sombreada total} = 530,14 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ hectárea} = 10\,000 \text{ m}^2$$

Al aplicar la Ecuación 51, se obtiene:

$$T = \frac{942,48 \text{ m}^2}{10\,000 \text{ m}^2}$$

$$T = 0,053$$

Con el valor de T y aplicando la Ecuación 50, se obtiene E_t :

Tabla 40. Evapotranspiración corregida para el arándano por hectárea.

| Mes | ET_c <i>mm/día</i> | T | E_t <i>mm/día</i> |
|------------------|---|-----------------------|--|
| Enero | 1,44 | 0,053 | 0,076 |
| Febrero | 3,08 | 0,053 | 0,163 |
| Marzo | 4,52 | 0,053 | 0,240 |
| Abril | 4,67 | 0,053 | 0,248 |
| Mayo | 3,31 | 0,053 | 0,176 |
| Junio | 0,97 | 0,053 | 0,052 |
| Julio | 1,29 | 0,053 | 0,068 |
| Agosto | 2,05 | 0,053 | 0,109 |
| Setiembre | 2,99 | 0,053 | 0,158 |
| Octubre | 4,26 | 0,053 | 0,226 |
| Noviembre | 4,59 | 0,053 | 0,243 |
| Diciembre | 5,54 | 0,053 | 0,294 |

4.3.6.5. Resumen de resultados de evapotranspiración corregida

Tabla 41. Resumen de resultados de evapotranspiración corregida.

| Mes | E_t | | | |
|------------------|----------|-----------|-------|----------|
| | $mm/día$ | | | |
| | Limón | Espárrago | Palta | Arándano |
| Enero | 0,291 | 0,132 | 0,113 | 0,076 |
| Febrero | 0,311 | 0,201 | 0,121 | 0,163 |
| Marzo | 0,304 | 0,197 | 0,118 | 0,240 |
| Abril | 0,277 | 0,175 | 0,105 | 0,248 |
| Mayo | 0,234 | 0,275 | 0,087 | 0,176 |
| Junio | 0,212 | 0,242 | 0,076 | 0,052 |
| Julio | 0,210 | 0,240 | 0,076 | 0,068 |
| Agosto | 0,224 | 0,255 | 0,081 | 0,109 |
| Setiembre | 0,239 | 0,279 | 0,088 | 0,158 |
| Octubre | 0,253 | 0,303 | 0,096 | 0,226 |
| Noviembre | 0,265 | 0,326 | 0,103 | 0,243 |
| Diciembre | 0,320 | 0,331 | 0,124 | 0,294 |

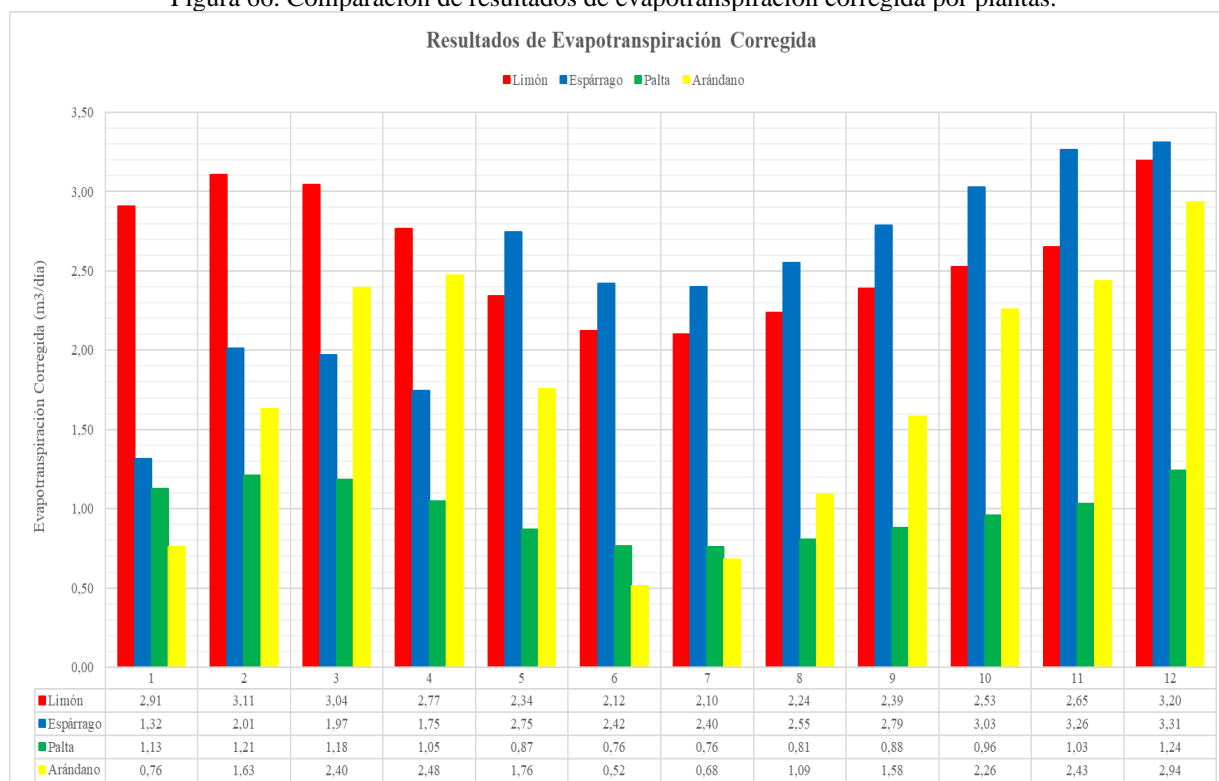
4.3.7. Cálculo de la demanda hídrica

Para hallar la demanda hídrica se multiplica por 10 la evapotranspiración corregida para determinar el volumen de agua por día ($m^3/día$).

Tabla 42. Demanda hídrica por mes de cada planta.

| Mes | E_t | | | |
|------------------|-----------|-------------|-------|----------|
| | $m^3/día$ | | | |
| | Limón | Espárrago | Palta | Arándano |
| Enero | 2,91 | 1,32 | 1,13 | 0,76 |
| Febrero | 3,11 | 2,01 | 1,21 | 1,63 |
| Marzo | 3,04 | 1,97 | 1,18 | 2,40 |
| Abril | 2,77 | 1,75 | 1,05 | 2,48 |
| Mayo | 2,34 | 2,75 | 0,87 | 1,76 |
| Junio | 2,12 | 2,42 | 0,76 | 0,52 |
| Julio | 2,10 | 2,40 | 0,76 | 0,68 |
| Agosto | 2,24 | 2,55 | 0,81 | 1,09 |
| Setiembre | 2,39 | 2,79 | 0,88 | 1,58 |
| Octubre | 2,53 | 3,03 | 0,96 | 2,26 |
| Noviembre | 2,65 | 3,26 | 1,03 | 2,43 |
| Diciembre | 3,20 | 3,31 | 1,24 | 2,94 |

Figura 66. Comparación de resultados de evapotranspiración corregida por plantas.



Al comparar los resultados en la gráfica anterior se concluye que el espárrago en el mes de diciembre presenta el valor máximo de demanda hídrica en el año con valor de $3,31 \text{ m}^3$. El SBS se diseña con este valor máximo.

Para un total de 16 *hectáreas*, la demanda hídrica total es **$52,96 \text{ m}^3$** al día, redondeando a **53 m^3** .

4.3.8. Cálculo del caudal de bombeo

Teniendo el requerimiento máximo de agua y dividiéndolo entre la HSP más crítico en el año, se determinará el caudal para el riego. Las HSP me indica el número de horas que se van a regar al día en todo el año.

$$Q_b = \frac{53,00 \text{ m}^3}{5,80 \text{ h}}$$

$$Q_b = 9,14 \text{ m}^3/\text{h}$$

Para dimensionar el SBS se debe buscar una bomba que pueda actuar con este caudal.

Para próximos cálculos es necesario el cambio de unidades de este parámetro.

$$Q_b = 9,14 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 219,31 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 0,00254 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

4.3.9. Cálculo del abatimiento del pozo

Reemplazando el caudal de bombeo en la Ecuación 54, se puede analizar si lo que te brinda el pozo es suficiente para el riego.

$$d = 0,002085(219,31) + 1,90 \times 10^{-6}(219,31)^{2,094}$$

$$d = 0,61 \text{ m}$$

Como este resultado corresponde a 60 *min* igual a 1 *h*, entonces se multiplica por las HSP para el descenso total, obteniendo:

$$d_{total} = 3,54 \text{ m}$$

4.3.10. Cálculo de la eficiencia del pozo

Para la eficiencia del pozo se aplica la Ecuación 32:

$$Eficiencia = \frac{0,002085 \times 219,31}{0,002085 \times 219,31 + 1,90 \times 10^{-6} \times 219,31^{2,094}} \times 100$$

$$Eficiencia = 75,09 \%$$

4.3.11. Diseño del reservorio

Se debe considerar que el volumen del reservorio debe ser mayor a las necesidades hídricas diarias.

$$V_R > 53 \text{ m}^3$$

El reservorio será recubierto de geomembrana y tendrá forma de tronco de pirámide invertida. Se considera en el área inferior una pendiente del 0,1 % que funciona como caída para que pueda transcurrir el agua hacia la tubería de salida y así realizar el riego. En la siguiente tabla se muestran las dimensiones de la geomembrana, datos necesarios para determinar volumen del reservorio y área de la geomembrana.

Tabla 43. Datos del reservorio.

| Dato | Medida | Unidad |
|---|---------------|----------------------------------|
| Altura Mayor del Agua (<i>h</i>) | 0,90 | <i>m</i> |
| Borde Libre (<i>Bl</i>) | 0,20 | <i>m</i> |
| Talud (<i>Z</i>) | 1,00 | |
| Pendiente (Transversal al Largo del Fondo) | 0,10 | % |
| Caudal de Entrada (<i>Qe</i>) | 9,14 | <i>m</i> ³ / <i>h</i> |
| Tiempo de Embalse (<i>Te</i>) | 5,80 | <i>h</i> |
| Ø Tubería de ingreso | 2,00 | <i>pulg</i> |
| Ancho de Corona | 1,50 | <i>m</i> |
| Largo del Fondo (<i>l</i>) | 8,00 | <i>m</i> |
| Ancho del Fondo (<i>a</i>) | 6,00 | <i>m</i> |

En el Anexo 11 se muestran los resultados del cálculo hidráulico del reservorio, donde el volumen neto que alcanzaría el agua es aproximadamente $55 m^3$. El reservorio debe estar ubicado en la zona más alta del terreno para así poder realizar el riego por gravedad.

En el Anexo 21 se muestra el plano del reservorio con las dimensiones más importantes. La siguiente figura muestra la construcción del reservorio con las dimensiones diseñadas.

Figura 67. Construcción del reservorio de agua.



4.3.12. Cálculo de la longitud de la tubería

Para este parámetro nos fijamos en la ilustración 68, donde nos muestra un perfil del sistema.

$$L = 2,00 m + 3,54 m + 14,20 m + 1,00 m + 3,00 m + 1,00 m + 500,00 m$$

$$L = 524,74 m$$

4.3.13. Cálculo del diámetro de la tubería

Se aplica la ecuación de Bresse representada por la Ecuación 44, el cual resultó:

$$D = 1,3 \times \left(\frac{5,80}{24}\right)^{\frac{1}{4}} \times \sqrt{0,00254}$$

$$D = 0,046 m$$

$$D = 46 mm \approx 1,81 \text{ pulgadas}$$

La tubería comercial que más se aproxima a este resultado es la de 2 *pulgadas* de diámetro nominal que equivale en *mm* a 50,8 y en *m* a 0,0508.

4.3.14. Cálculo de la velocidad del agua

Se despeja la velocidad en la Ecuación 35.

$$v = \frac{0,00254 \frac{m^3}{s}}{\frac{\pi \times (0,0508 m)^2}{4}}$$

$$v = 1,25 m/s$$

4.3.15. Cálculo de la altura manométrica

Primero se determina la altura geométrica con la Ecuación 39.

$$H_g = 3,54 m + 14,20 m + 15,00 m$$

$$H_g = 32,74 m$$

Luego se determina la altura dinámica que para su cálculo se necesita el número de Reynolds que luego nos ayudará a encontrar el coeficiente de fricción.

$$N_R = \frac{1,25 \frac{m}{s} \times 0,0508 m \times 1000 \frac{kg}{m^3}}{0,001003 \frac{kg}{m \times s}}$$

$$N_R = 63\,310,07$$

Se trata de un flujo turbulento, entonces, se aplica la Ecuación 42. El coeficiente de rugosidad se obtiene de la Tabla 3, $\varepsilon = 0,0015 mm$.

$$f = \frac{0,25}{\left[\log \left(\frac{1}{3,7 \left(\frac{50,8 mm}{0,0015 mm} \right)} + \frac{5,74}{63\,310,07^{0,9}} \right) \right]^2}$$

$$f = 0,01984$$

Posteriormente se debe determinar la pérdida por accesorios que como se puede apreciar en la imagen 68 se usará tres codos de 90° y una válvula globo cuyos coeficientes según la Tabla 4 son $K = 0,90$ y $K = 10$ respectivamente, por lo tanto, sumando la Ecuación 40 y Ecuación 45 se obtiene la altura dinámica.

$$H_d = 0,01984 \times \frac{524,74 \text{ m}}{0,0508 \text{ m}} \times \frac{\left(1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} + (3 \times 0,90 + 10) \times \frac{\left(1,25 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}$$

$$H_d = 17,33 \text{ m}$$

La altura manométrica se obtiene con la Ecuación 38.

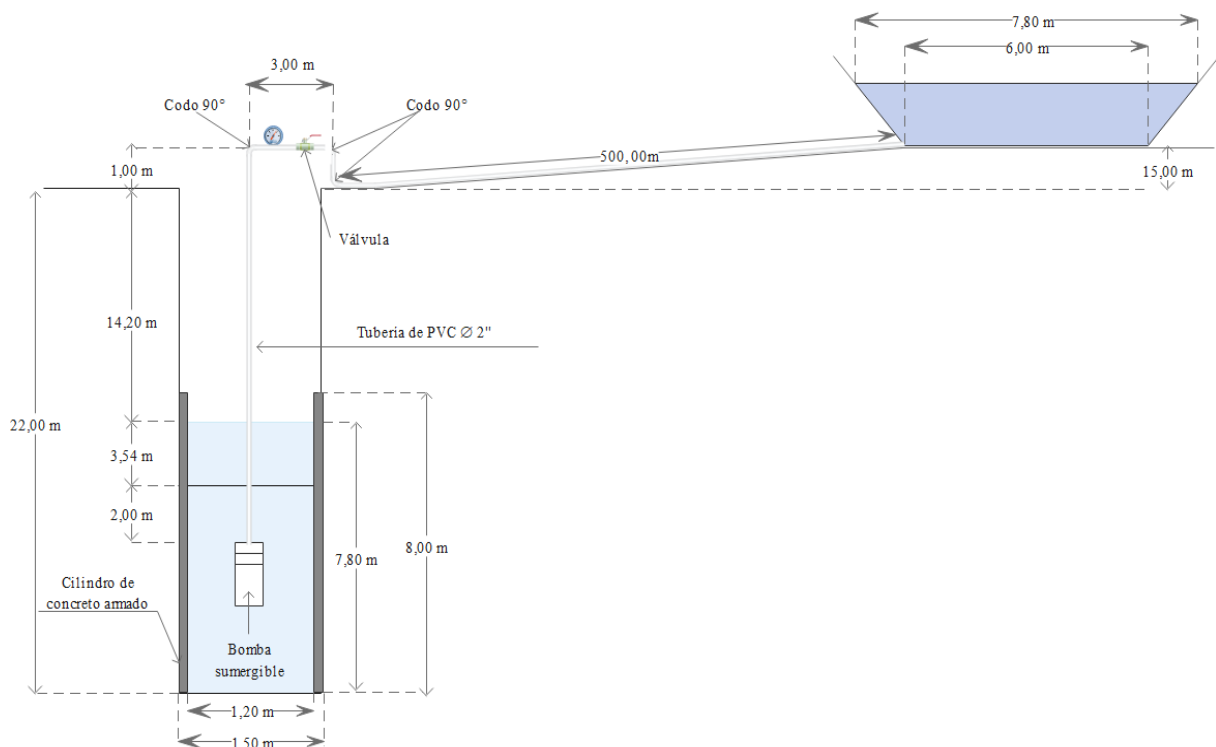
$$h = 32,74 \text{ m} + 17,33 \text{ m}$$

$$h = 50,07 \text{ m}$$

$$h = 50 \text{ m}$$

En la siguiente figura sin escala se puede mostrar las medidas y características que tendrá el sistema bomba reservorio.

Figura 68. Sistema bomba reservorio.



Discusión

Es acá donde se determinan los requerimientos del SBS a diseñar para así proceder a seleccionar los componentes.

Primero se calculó la cantidad de agua necesaria para las plantas a sembrar (limón, espárrago, palta y arándano), para ello se determinó la evapotranspiración, lo cual existen muchas formas de determinarlo, para este caso, se usó la fórmula de Hargreaves, que involucra datos de RS, temperatura, coeficiente de cultivo, etc., resultando así el espárrago en el mes de diciembre la planta que más necesita agua. Como se mencionó solo se siembra 01 hectárea, entonces para aumentar la producción este sistema se diseñó para abastecer las 16 hectáreas de todo el terreno requiriendo un total de $53 m^3$ por mes.

De igual forma se pudo determinar el caudal con el que actuará la bomba dividiendo el valor de la demanda entre las HSP que será el tiempo de bombeo.

Teniendo el valor del caudal de bombeo se puede hallar cuánto desciende el nivel de agua, aplicando la fórmula encontrada anteriormente con aplicación del bombeo escalonado sin recuperación. Como se explicó esto es con el fin de saber si el agua que almacena el pozo hasta el nivel estático es suficiente cuando se bombea con el caudal encontrado. En este caso se obtuvo un descenso de $3,54 m$ estando muy por debajo del almacenamiento, en conclusión, la oferta supera la demanda e inclusive la eficiencia del pozo pertenece al intervalo que establecen las fuentes bibliográficas.

Con estos datos encontrados también se dimensionan otras características y componentes del SBS como el reservorio, longitud de tubería, altura manométrica, diámetro de tubería, etc., siendo de suma importancia para determinar el resto de componentes del SBS.

4.4. Dimensionar y seleccionar los componentes del sistema de bombeo solar mediante el software PVsyst

4.4.1. Selección de componentes del Sistema de Bombeo Solar

4.4.1.1. Paneles solares

✓ Potencia Pico

Antes de aplicar la Ecuación 11, se debe determinar E_h , η_{mb} , F_m , γ , T_c y H_{dm} .

- **Energía hidráulica**

Se utiliza la Ecuación 20, pero antes se debe calcular la potencia hidráulica con la Ecuación 18.

$$P_h = 1\,000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \times 0,00254 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 50 \text{ m}$$

$$P_h = 1,25 \text{ kW}$$

$$\therefore E_h = 1,25 \text{ kW} \times 5,80 \text{ h}$$

$$E_h = 7,25 \text{ kWh/día}$$

- **Rendimiento del motor – bomba**

$$\eta_{mb} = 0,40$$

También se puede determinar la potencia máxima de la bomba y la energía máxima de la bomba.

$$P_{mb} = \frac{1,25 \text{ kW}}{0,40}$$

$$P_{mb} = 3,125 \text{ kW}$$

$$E_e = \frac{7,25 \text{ kW}}{0,40}$$

$$E_e = 18,125 \text{ kWh/día}$$

- **Factor de acoplo**

$$F_m = 1,10$$

- **Variación de potencia con la temperatura de las células**

$$\gamma = 0,0045 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

- **Temperatura de la célula**

Se obtiene aplicando la Ecuación 12.

$$T_c = 25 + 0,03 \times 1\,000$$

$$T_c = 55 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- **Radiación diaria media mensual**

$$H_{dm} = 5,80 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$$

Reemplazando en la Ecuación 11, se obtiene la potencia pico del generador.

$$P_p = \frac{7,25 \text{ kWh/día} \times 1\,000}{0,40 \times 1,10 \times (1 - 0,0045 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \times (55 - 25)^\circ\text{C}) \times 5,80 \text{ kWh/m}^2/\text{día}}$$

$$P_p = 3\,284,29 \text{ W}$$

$$P_p = 3,28 \text{ kW}$$

Se escogió el modelo **TSM – DE15M – (II) – 405** de la marca **Trina Solar**.

En la Tabla 44 se muestran las características básicas de este panel y en el Anexo 13 se puede ver detalladamente toda la información.

Tabla 44. Características del PSFV TSM – DE15M – (II) – 405 [104].

| | |
|---|--------------------------|
| Marca | Trina Solar |
| Modelo | TSM – DE15M – (II) – 405 |
| Tipo | Monocristalino |
| Número de celdas | 144 (6 × 24) celdas |
| Potencia máxima ($P_{m\acute{a}x}$) | 405 W |
| Voltaje máximo (V_{mpp}) | 40,50 V |
| Voltaje circuito abierto (V_{oc}) | 49,20 V |
| Corriente máxima (I_{mpp}) | 10,00 A |
| Corriente corto circuito (I_{sc}) | 10,52 A |

✓ **Número de paneles**

Se calcula aplicando la Ecuación 10.

$$3\,284,29\,W = N \times 405\,W$$

$$N_s \times N_p = 8,10$$

$$N_s \times N_p \approx 8$$

Por lo tanto, se consideró **8 paneles en serie × 1 string**.

✓ **Tensión del generador**

Despejando la Ecuación 13, se tiene:

$$U_G = 8 \times 40,50\,V$$

$$U_G = \mathbf{324,00\,V}$$

✓ **Corriente del generador**

Despejando la Ecuación 14, se tiene:

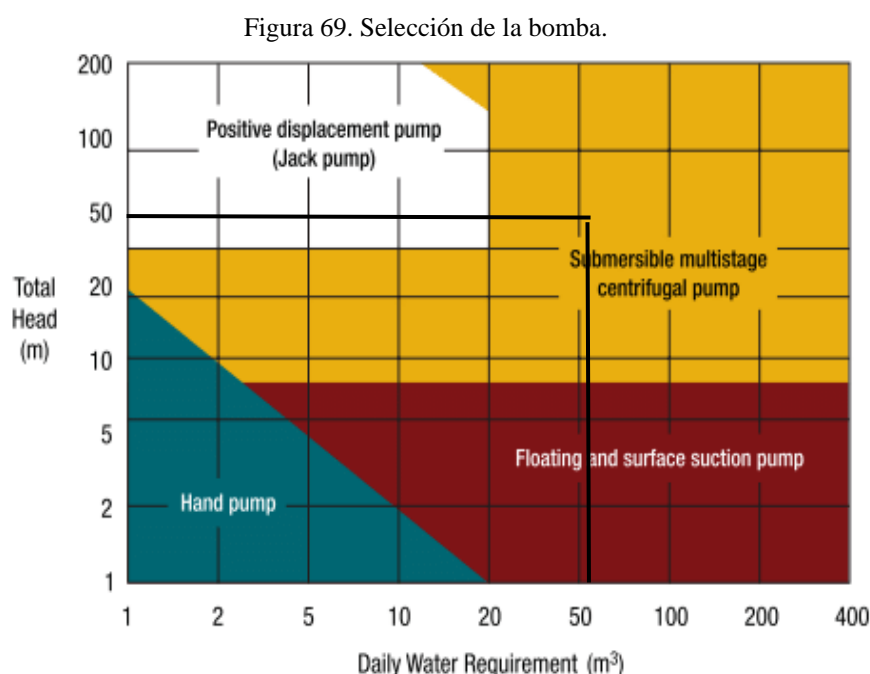
$$I_G = 1 \times 10,52\,A$$

$$I_G = \mathbf{10,52\,A}$$

4.4.1.2. Motor - bomba

Después de determinar parámetros importantes como caudal de bombeo y altura manométrica se selecciona el sistema motor bomba, para este caso se optó por una bomba centrífuga que es accionada con un motor de corriente continua de la marca **Lorentz** modelo **PS 4 000 C – SJ8 – 15**, cuyo caudal máximo es $14 \text{ m}^3/\text{h}$ y altura manométrica máxima de 80 m . En el Anexo 14 se puede apreciar más características de la bomba seleccionada.

Un primer criterio para la selección de esta bomba va relacionado con la demanda hídrica, ya que en este proyecto se supera los 15 m^3 diarios como nos menciona [3], por lo tanto, se escoge una bomba centrífuga que funcione con CC y un segundo criterio es la ilustración 31, que como se puede observar a continuación, se escoge una bomba centrífuga sumergible.

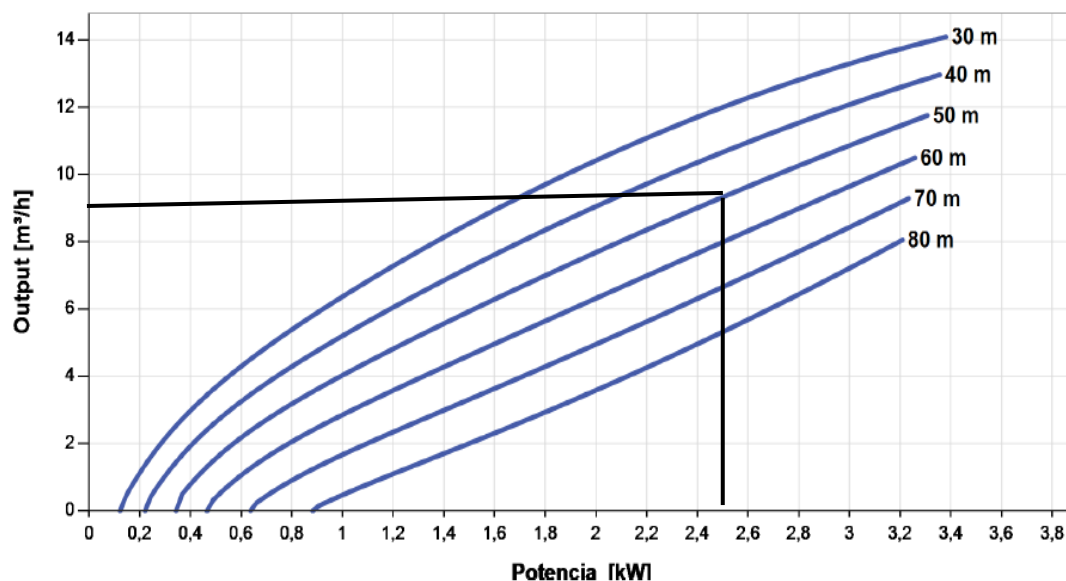


En la imagen posterior se puede determinar la potencia con la que trabajará la bomba gracias a la comparación de altura manométrica y caudal. Esta potencia equivale aproximadamente $2,5 \text{ kW}$.

Figura 70. Curva de la bomba sumergible modelo PS4 000 C – SJ8 – 15 [105].

Plantilla de datos de la bomba

Vmp* > 238 V



También se puede calcular el caudal pico que debe soportar la bomba con la aplicación de la Ecuación 17.

$$Q_p = \frac{3\,284,29\text{ W} \times 0,40}{9,81\text{ m/s}^2 \times 50,00\text{ m}}$$

$$Q_p = 2,68\text{ l/s}$$

$$Q_p = 9,65\text{ m}^3/\text{h}$$

El caudal pico debe ser máximo al caudal de bombeo porque debe abastecer la demanda.

4.4.1.3. Controlador**✓ Corriente del controlador**

Con la aplicación de la Ecuación 16, se obtiene:

$$I_{con} > 1,25 \times 10,52\text{ A} \times 1$$

$$I_{con} > 13,15\text{ A}$$

Se buscó en diferentes catálogos para seleccionar el controlador que cumpla con los valores determinados anteriormente y se seleccionó el controlador PS 4 000 de la marca Lorentz.

El valor de potencia máxima de 4 kW , la corriente máxima del motor es de 15 A y el voltaje mínimo es de 238 V , en el Anexo 14 se pueden apreciar más características del controlador seleccionado.

4.4.1.4. Otros componentes

Lorentz que es la marca de la bomba y controlador a usar en este SBS nos proporciona otros componentes para la instalación, en la Figura 71 podemos ver un esquema, donde a parte de la bomba y el controlador también se utiliza **sonda de pozo, interruptor flotante, protector contra sobretensiones, interruptor de desconexión y la puesta a tierra**; además entre otros componentes también tenemos la tubería, los accesorios de tubería y los cables [106].

También en la Figura 72, se muestra un esquema sobre el cableado que se tendrá en cuenta en el controlador también proporcionado por Lorentz [106].

Figura 71. Esquema de conexión del SBS [106].

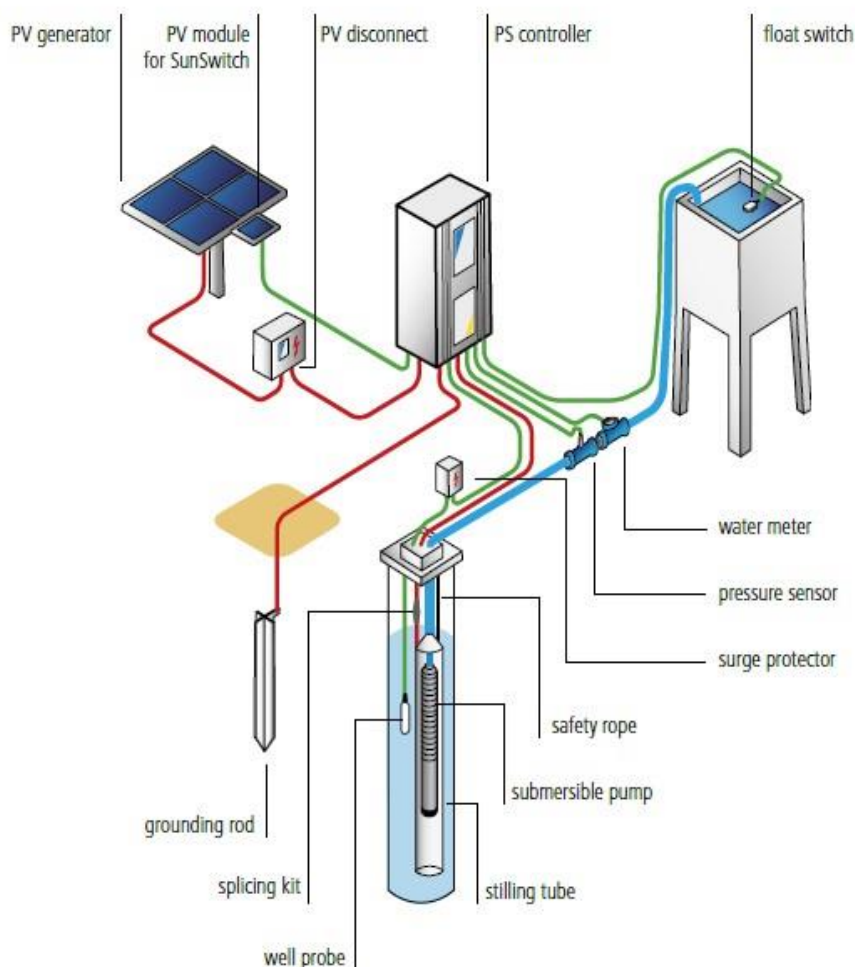
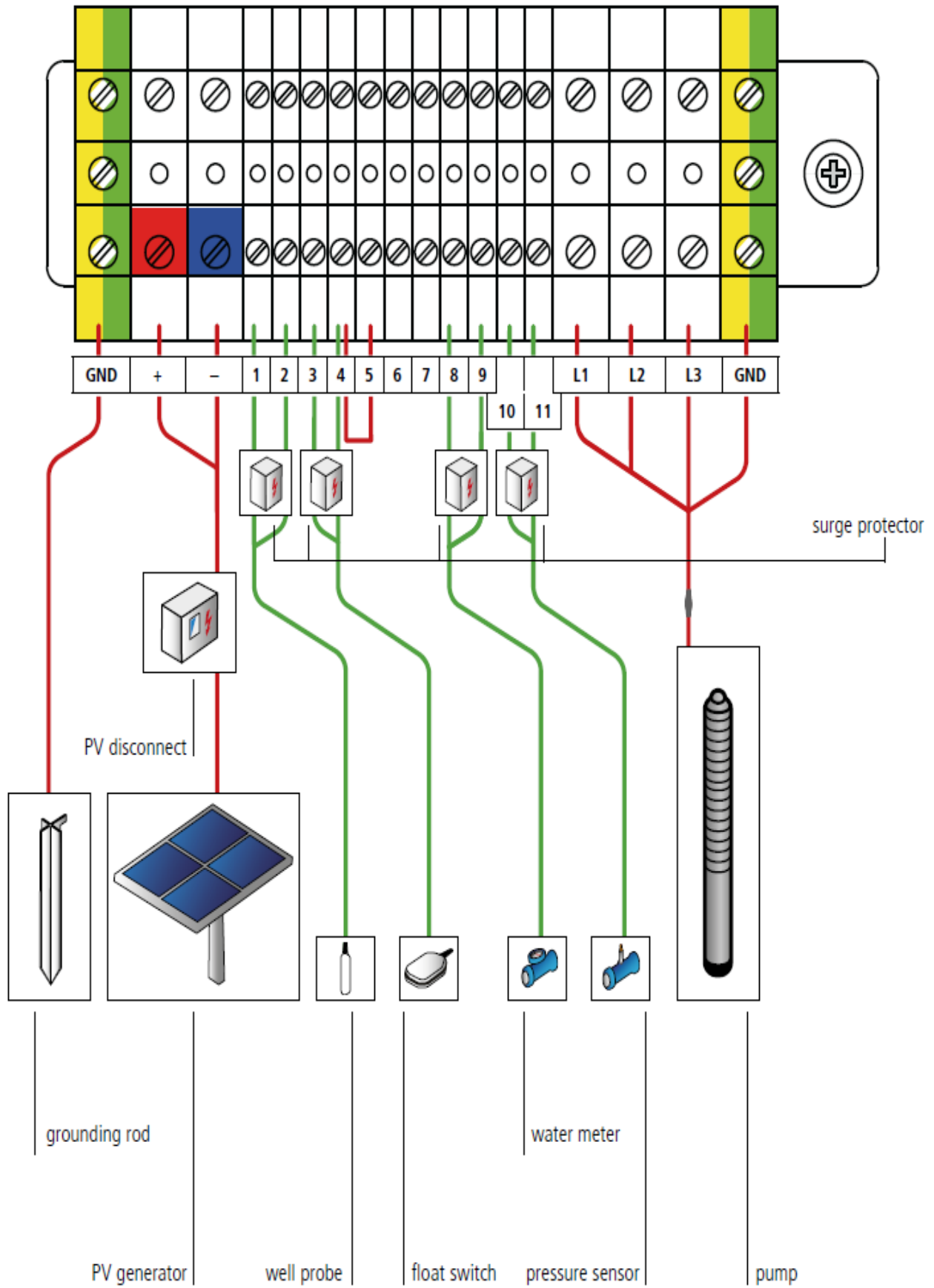


Figura 72. Esquema de cableado en el controlador Lorentz [106].



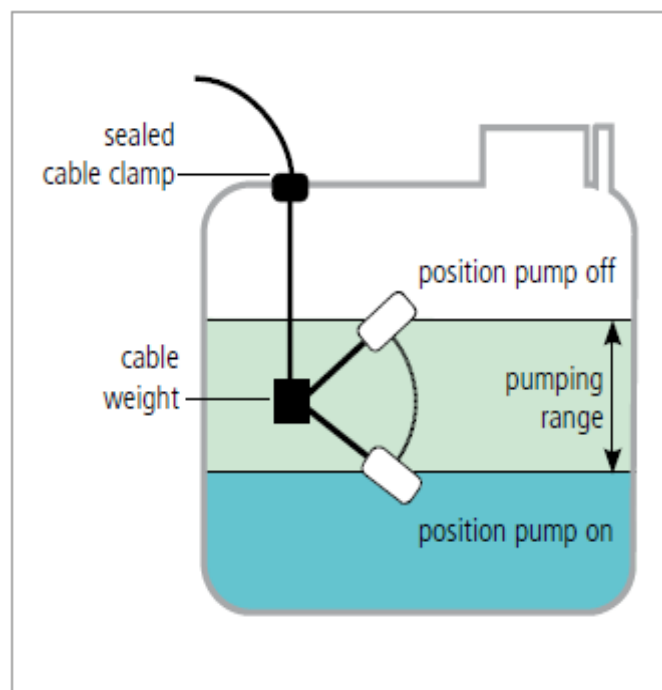
✓ Sonda de pozo

Esta sonda contiene en su interior un imán, cuando se sumerge la sonda el flotador se eleva y se cierra el interruptor (hace contacto), por otro lado, si el nivel de agua baja cae el flotador y se abre el interruptor (rompe el contacto), es por ello que el controlador detiene la bomba cuando el nivel de agua se recupera y el interruptor se cierra [106].

✓ Interruptor de flotador

Se recomienda para evitar el desbordamiento del agua del reservorio; cuando el reservorio esté lleno la bomba se detendrá y luego se encienda cuando baje el nivel [106].

Figura 73. Esquema del interruptor flotante [106].



✓ Protector contra sobretensiones

Los protectores contra sobretensiones están diseñados para proteger los dispositivos eléctricos de picos de tensión [106].

Figura 74. Protector contra sobretensiones [106].



✓ Interruptor de desconexión fotovoltaica

Diseñada para conectar los módulos fotovoltaicos con el controlador de la bomba con la aplicación de abrazaderas terminales dentro de la caja del interruptor [106].

Figura 75. Interruptor de desconexión fotovoltaica Lorentz [106].



✓ Puesta a tierra

La conexión a tierra es obligatoria para proteger a las personas de descargas eléctricas mortales y también protege contra la carga o cortocircuito dentro del dispositivo [106]. Se realizó la medición de la resistencia de la puesta a tierra con el telurómetro, siendo el valor 7,21 Ω .

Figura 76. Medición de la resistencia de la tierra.



✓ Tubería

La tubería en el diseño es de 2 pulgadas y tiene una longitud total de 524,74 m. Se seleccionó la tubería marca PAVCO, es de material PVC, de color gris y cada tubo tiene una longitud de 5 m.

✓ Accesorios de tubería

Para el sistema de tuberías se necesitan tres codos de 90° marca PAVCO y una válvula bola de 2 pulgadas marca Humboldt.

✓ Cables

Se aplica la expresión 37.

a) Tramo generador fotovoltaico – controlador

Para este caso la caída de tensión recomendada es $< 1\%$ [50].

$$V_{mpp,total} = 40,50 V \times 8$$

$$V_{mpp,total} = 324,00 V$$

$$I_{max} = 1,25 \times 10,00 A \times 1$$

$$I_{max} = 12,50 A$$

$$S = 2 \times \frac{5 m \times 12,50 A}{56 \frac{m}{\Omega mm^2} \times \left(\frac{1}{100} \times 324,00\right) V}$$

$$S = 0,69 mm^2$$

b) Tramo controlador – bomba

Para este caso la caída de tensión recomendada es $< 3\%$ [50]. La intensidad de corriente es $15 A$ ya que es la corriente eléctrica máxima del motor.

$$S = 2 \times \frac{30 \text{ m} \times 15 \text{ A}}{56 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2} \times \left(\frac{3}{100} \times 324,00\right) \text{ V}}$$

$$\mathbf{S = 1,65 \text{ mm}^2}$$

Para ambos casos se usará el cable RPVU90 de la marca INDECO calibre 10 AWG, que se utiliza para el cableado de interconexión de un sistema de energía fotovoltaica y además es aplicable para sistemas de CC y CA. En el Anexo 19 se puede visualizar el catálogo de mencionado cable eléctrico.

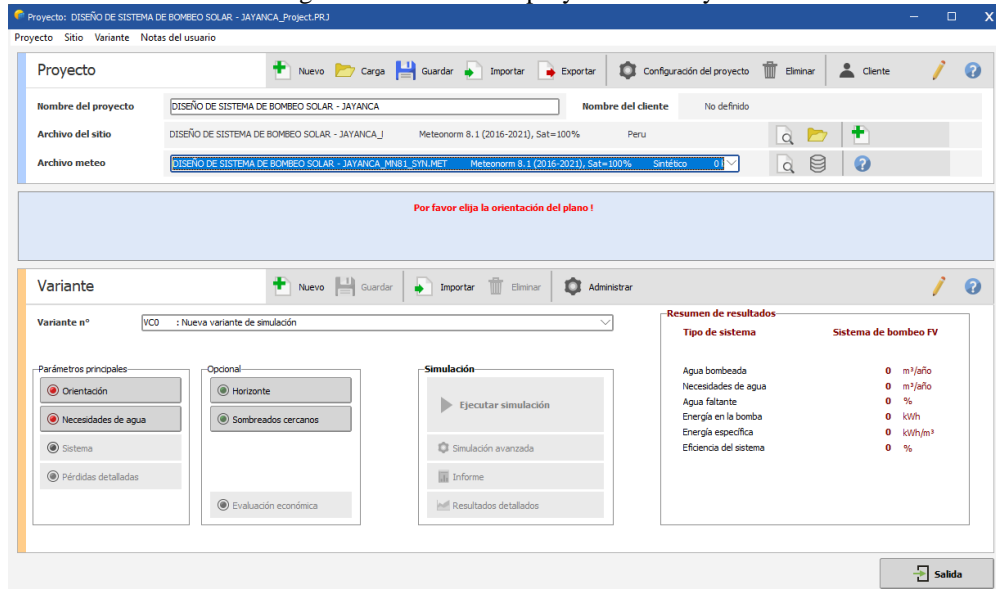
✓ **Geomembrana**

La geomembrana que usará es de HDPE cuyo espesor es 1 mm y el área total es $167,29 \text{ m}^2$; se redondea a 168 m^2 .

4.4.2. Dimensionamiento del sistema de bombeo con el software PVsyst

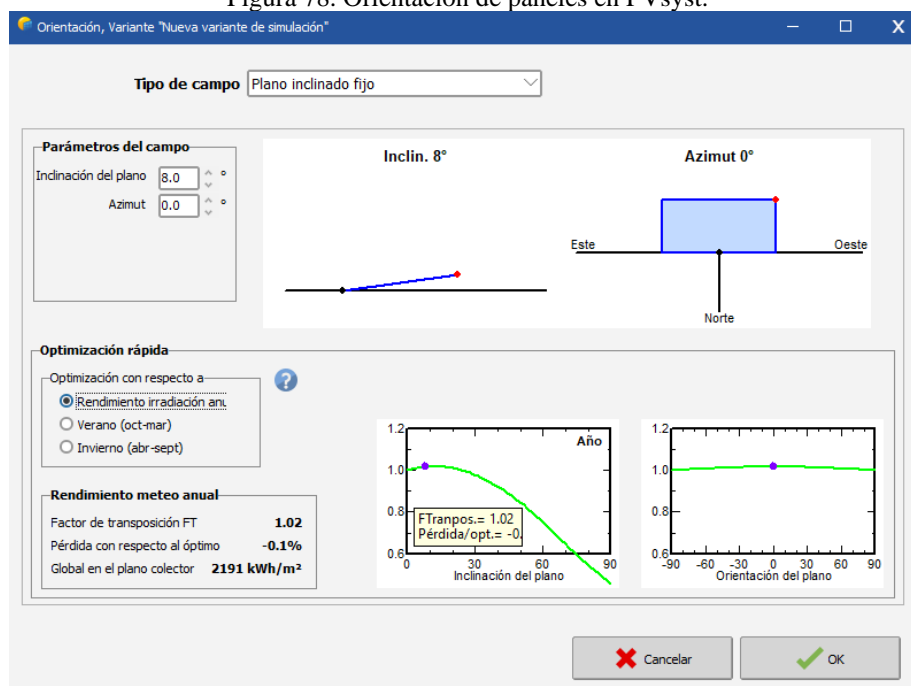
Al abrir el software PVsyst, para crear el proyecto primero se insertan las coordenadas donde se realizará el estudio y luego se creó un nombre para el proyecto a realizar.

Figura 77. Nombre del proyecto en PVsyst.



En orientación se inserta el valor del ángulo de inclinación de los paneles (8°), previamente se seleccionó ‘Plano inclinado fijo’.

Figura 78. Orientación de paneles en PVsyst.



Luego se selecciona “Necesidades de agua” donde se colocan las características del pozo, reservorio y tuberías.

Figura 79. Necesidades de agua (I).

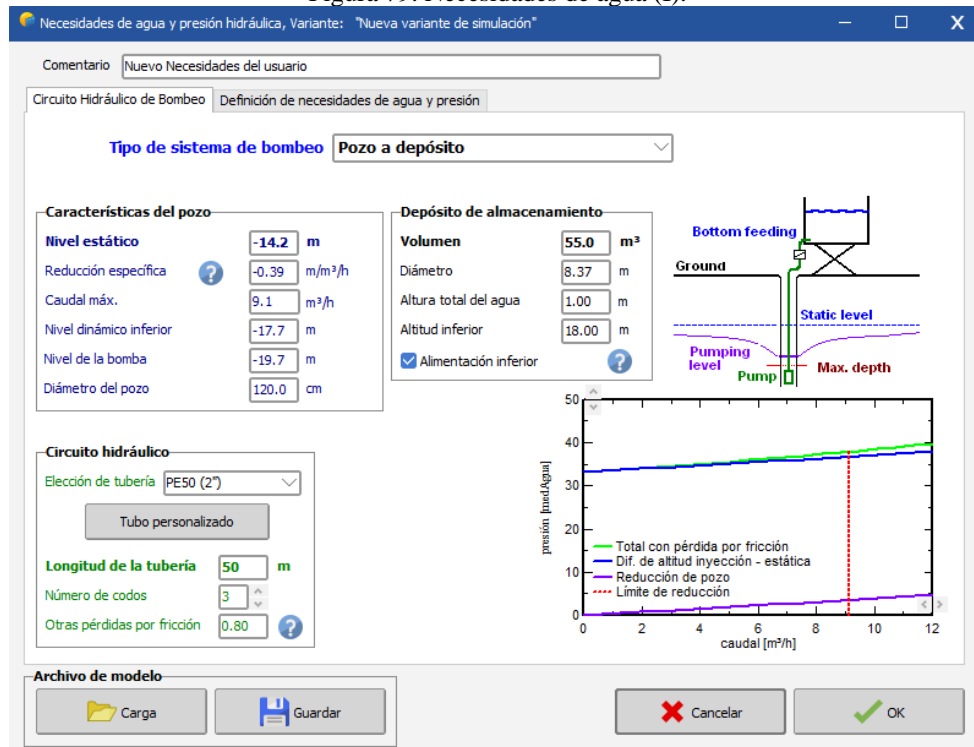
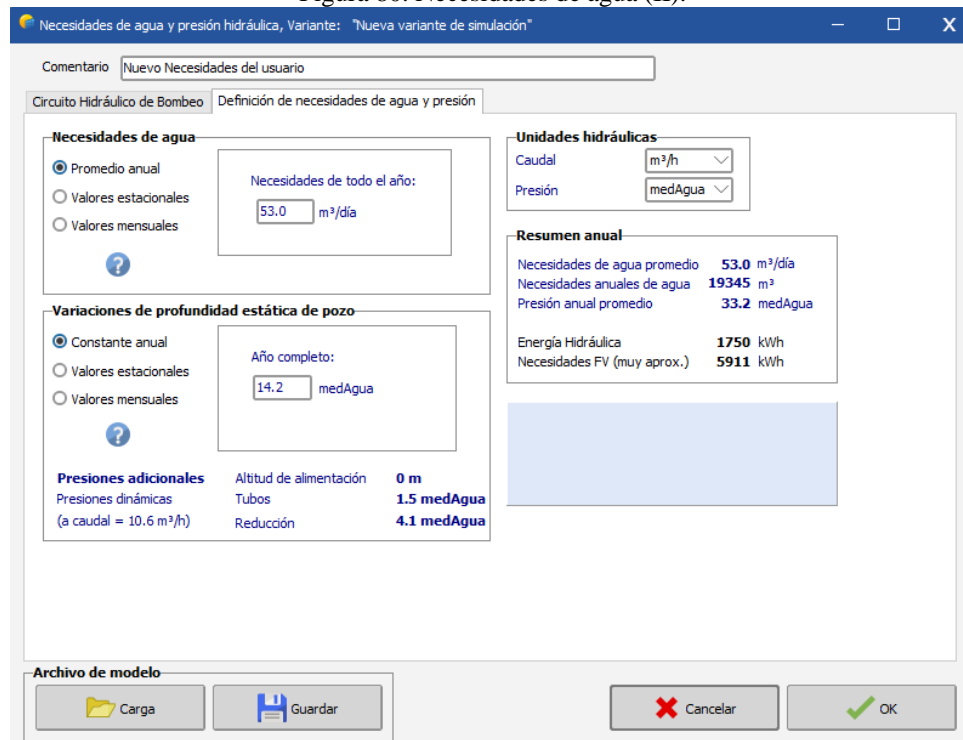


Figura 80. Necesidades de agua (II).



En "Sistema" se seleccionan los componentes seleccionados en los cálculos.

Figura 81. Selección de la bomba en PVsyst.

Definición del sistema de bombeo, Variante "Nueva variante de simulación"

Sugerencias de pre-dimensionamiento

| | | | | | |
|--|----------------------|-----|------|-----------------------------|--------------------|
| Necesidades diarias promedio : | Autonomía solicitada | 1.0 | Días | Volumen sugerido del tanque | 212 m ³ |
| Presión mín. 33.2 medAgua | Faltante aceptado | 5.0 | % | Potencia de bomba sugerida | 1020 W |
| Presión máx. 34.9 medAgua | | | | Potencia FV sugerida | 1288 Wp (nom.) |
| Volumen 53.0 m ³ /día | | | | | |
| Potencia hidráulica 984 W (muy aproximado) | | | | | |

Definición de bomba Diseño de subconjunto

Seleccione un modelo de bomba

Lorentz

3.4 kW 30-80 m Well, DC, Centrífuga de varias etapas PS4000 C-S38-15

1 Bombas en serie ?
1 Bombas en paralelo

Características de la bomba

Tecnología de bomba **Centrífuga de varias etapas**
Motor **Motor CC, sin escobillas**

| | | | |
|-----------------|--------|----------------|--------|
| Potencia máxima | 3400 W | Voltaje | 240 V |
| | | Corriente máx. | 13.8 A |

| | | | |
|-------------------------|------|------|-----------------------|
| Presión Mín / Nom / Máx | 30 | 60 | 80 medAgua |
| Caudal corresp. | 14.1 | 10.6 | 8.0 m ³ /h |
| Potencia corresp. | 3400 | 3300 | 3200 W |
| Eficiencia | 33.9 | 52.5 | 54.5 % |

Unidades para este proyecto

Caudal: m³/h
Presión: medAgua
Potencia: kW
Energía: kWh

Herramienta de cálculo de energía hidroeléctrica

Puede escribir aquí cualquier valor, no necesariamente relacionado con su proyecto

Caudal: 12.8 m³/h
Presión: 40.3 medAgua
Potencia: 1.403 kW

El caudal de la bomba está ligeramente sobredimensionado con respecto a las necesidades de agua.

Cancelar OK

Figura 82. Selección de paneles y controlador en PVsyst.

Definición del sistema de bombeo, Variante "Nueva variante de simulación"

Sugerencias de pre-dimensionamiento

| | | | | | |
|--|----------------------|-----|------|-----------------------------|--------------------|
| Necesidades diarias promedio : | Autonomía solicitada | 1.0 | Días | Volumen sugerido del tanque | 212 m ³ |
| Presión mín. 33.2 medAgua | Faltante aceptado | 5.0 | % | Potencia de bomba sugerida | 1020 W |
| Presión máx. 34.9 medAgua | | | | Potencia FV sugerida | 1288 Wp (nom.) |
| Volumen 53.0 m ³ /día | | | | | |
| Potencia hidráulica 984 W (muy aproximado) | | | | | |

Definición de bomba Diseño de subconjunto

Información del sistema

Bomba elegida PS4000 C-S38-15
Tecnología Centrífuga de varias etapas Presión 30.0 - 80.0 medAgua
Potencia máx. 3400 W Caudal 14.10 - 8.00 m³/h

Ayuda de pre-dimensionamiento

Sin dimensionamiento Ingrese potencia planeada 1.1 kWp
 Redimens. ... o área disponible 5 m²

Seleccione el módulo FV

Disponible ahora

Trina Solar 405 Wp 34V Si-mono TSM-DE15M-(II)-405 Desde 2020

Módulos necesarios aprox. 3 Dimensiones, voltaje : Vmpp (60°C) 35.4 V
Voc (-10°C) 54.2 V

Seleccione el modo de control y el controlador

Controlador universal modo de control **Convertidor MPPT-CC**

Todos los fabricantes 3.4 kW Convertidor MPPT-CC PS-4000 Lorentz Datasheet

Número de controladores 1

Diseño generador FV

Número de módulos y cadenas debe ser/estar:

Mód. en serie 6 Única posibilidad 6
1 Única posibilidad 1

núm. de módulos 6 Área 12 m²

Condiciones de operación

| | |
|-------------|-------|
| Vmpp (60°C) | 212 V |
| Vmpp (20°C) | 248 V |
| Voc (-10°C) | 325 V |

Irradia. plano 1000 kWh/m²
Imp 10.0 A
Isc 10.5 A
Isc (en STC) 10.5 A

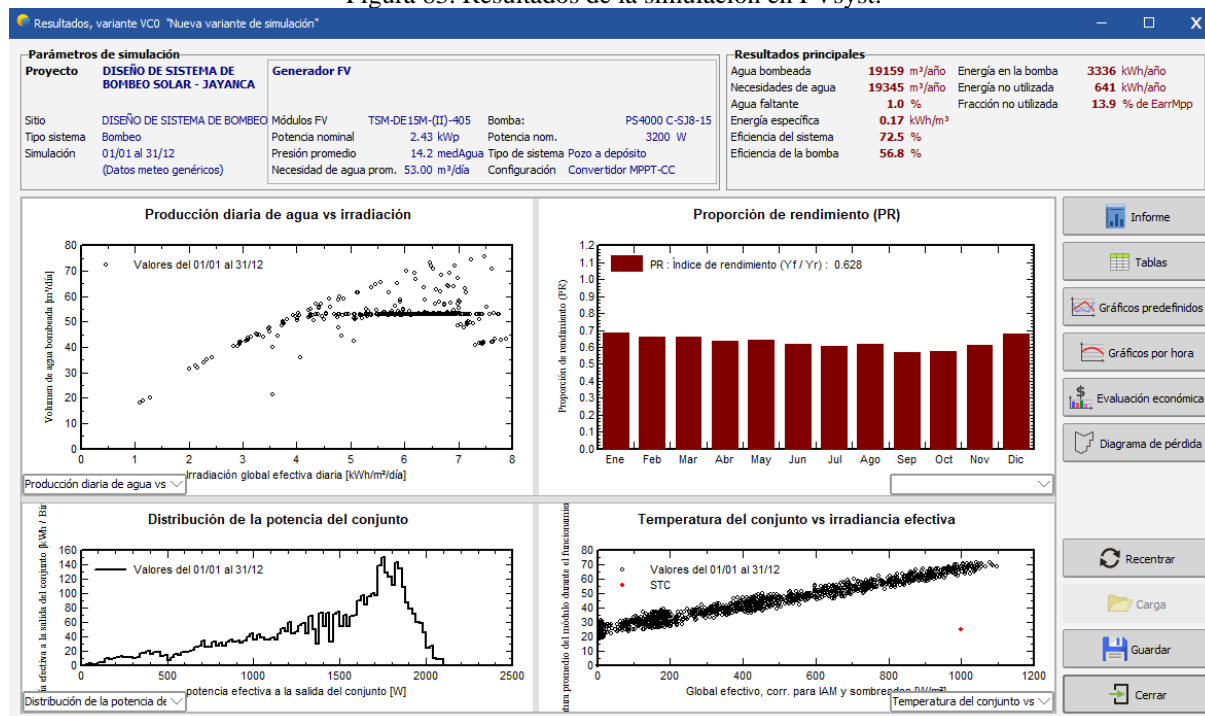
Potencia de funcionamiento máx. (en 1000 W/m² y 50°C) 2.2 kW
Potencia nom. conjunto (STC) 2.4 kWp

El caudal de la bomba está ligeramente sobredimensionado con respecto a las necesidades de agua.

Cancelar OK

Por último, se realiza la simulación en el software PVsyst, obteniendo los siguientes resultados.

Figura 83. Resultados de la simulación en PVsyst.



El informe completo de la simulación se puede visualizar en el Anexo 12.

Discusión

Se ha realizado el dimensionamiento con cálculos convencionales y con la aplicación del PVsyst.

Con respecto a los resultados en el PVsyst se calcula una potencia del sistema de 2 430 W, siendo muy próximo al valor determinado en la Figura 70. Sin embargo, para el total de paneles el PVsyst nos da un total de 6 paneles ya que es considerando el valor de la potencia calculada por este software, pero con los cálculos convencionales hay un total de 8 paneles, esto es porque se usó la potencia pico del sistema que es mayor.

El valor de potencia obtenida es teniendo en cuenta las condiciones de caudal y altura manométrica del sistema a diseñar.

Partiendo de ello para el sistema de bombeo solar se tomó el valor máximo considerando una potencia de 3,28 kW sin considerar las pérdidas, con un total de 8 paneles solares de la marca Trina, modelo TSM – DE15M – (II) – 405.

Para la selección de la bomba se tomaron dos criterios dando así la selección de una bomba que funcione con corriente continua. Esto ayuda en el análisis económico ya que no se constará con inversor. La bomba seleccionada es de marca Lorentz, modelo PS 4 000.

El controlador que se seleccionó también es de la marca Lorentz, cumpliendo con el valor máximo de corriente y MPPT integrado.

Los resultados en el PVsyst cumplen con los requisitos hidráulicos. Como se observa solo el 1% de la demanda hídrica al año queda faltante, pero teniendo en cuenta que se diseñó con el valor máximo de demanda hídrica al año. Si se realiza una sumatoria de los resultados de demanda hídrica por mes (valor máximo) y se multiplica por el número de días por mes se obtiene un total de $16\,703\text{ m}^3$ al año. Como se puede demostrar este valor está por debajo de la demanda hídrica que se diseñó el SBS, dando a entender que inclusive con el 1% faltante las 16 hectáreas se regarán sin problemas.

4.5. Realizar una evaluación económica del sistema de bombeo solar a diseñar

4.5.1. Presupuesto

Para el cálculo del presupuesto se tomó el Suministro de Componentes y Materiales y el Montaje que se debe realizar para el SBS.

En el costo unitario ya está incluido el IGV; para varios de estos costos se solicitaron cotizaciones de diferentes empresas y se selecciona la más económica, de igual forma para los componentes y materiales.

El transporte de materiales y componentes se considera el 8% del precio de materiales y componentes

El proyecto tiene un presupuesto de 65 964,17 soles.

Tabla 45. Presupuesto del SBS.

| ITEM | DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS | UND | METRADO | COSTO UNITARIO (soles) | PARCIAL (soles) |
|--|---|-----|---------|---------------------------|--------------------|
| I. Suministro de Componentes y Materiales | | | | | |
| 1.00 | Sistema de Bombeo Fotovoltaico | | | | |
| 1.01 | Bomba sumergible PS 4 000 C – SJ8 – 15 - LORENTZ | und | 1,00 | 8 050,00 | 8 050,00 |
| 1.02 | Panel solar TSM – DE15 – (II) – 405 – TRINA SOLAR | und | 8,00 | 950,00 | 7 600,00 |
| 1.03 | Controlado PS 4 000 | und | 1,00 | 11 000,00 | 11 000,00 |
| 1.04 | Estructuras de soportes de paneles solares | Glb | 1,00 | 1 735,96 | 1 735,96 |
| 1.05 | Sonda para pozo | und | 1,00 | 240,00 | 240,00 |
| 1.06 | Interruptor de flotador | und | 1,00 | 70,00 | 70,00 |
| 1.07 | Protector contra sobretensiones | und | 1,00 | 100,00 | 100,00 |
| 1.08 | Interruptor de desconexión fotovoltaica | und | 1,00 | 890,00 | 890,00 |
| Sub Total | | | | | 25 885,96 |
| 2.00 | Sistema Eléctrico | | | | |
| 2.01 | Cable RPVU90 2 10 AWG | m | 35,00 | 9,00 | 315,00 |
| Sub Total | | | | | 315,00 |
| 3.00 | Sistema de Tuberías | | | | |
| 3.01 | Tubería de 2 pulg. x 5 m PVC | und | 105,00 | 108,90 | 11 434,50 |
| 3.02 | Codo 90° de 2 pulg PVC | und | 3,00 | 19,90 | 59,70 |
| 3.03 | Válvula bola de 2 pulg | und | 1,00 | 27,90 | 27,90 |
| 3.04 | Uniones de 2 pulg | und | 104,00 | 16,00 | 1 664,00 |

| ITEM | DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS | UND | METRADO | COSTO UNITARIO (soles) | PARCIAL (soles) |
|---|--|-----|---------|------------------------------|--------------------|
| 3.05 | Manómetro de Glicerina 2,5 bar | und | 1,00 | 49,90 | 49,90 |
| 3.06 | Filtro para agua | und | 1,00 | 4,90 | 4,90 |
| Sub Total | | | | | 13 240,90 |
| 4.00 | Sistema de almacenamiento | | | | |
| 4.01 | Geomembrana de HDPE 1 mm | m2 | 168,00 | 9,00 | 1 512,00 |
| Sub Total | | | | | 1 512,00 |
| II. Montaje | | | | | |
| 1.00 | Montaje del Sistema de Bombeo Fotovoltaico | Glb | 1,00 | 4 130,00 | 4 130,00 |
| 1.01 | Instalación de la bomba sumergible | | | | |
| 1.02 | Instalación de 08 paneles solares | | | | |
| 1.03 | Instalación de controlador | | | | |
| 1.04 | Instalaciones eléctricas | | | | |
| 1.05 | Instalación de estructuras de soportes para paneles solares | | | | |
| Sub Total | | | | | 4 130,00 |
| 2.00 | Montaje del Sistema de Almacenamiento | Glb | 1,00 | 4 500,00 | 4 500,00 |
| 2.01 | Excavación con maquinaria | | | | |
| 2.02 | Nivelación y apisonado | | | | |
| 2.03 | Instalación de la geomembrana | | | | |
| Sub Total | | | | | 4 500,00 |
| 3.00 | Construcción de Pozo Tubular | Glb | 1,00 | 6 000,00 | 6 000,00 |
| 3.01 | Excavación del Pozo | | | | |
| 3.02 | Construcción de estructura de concreto armado | | | | |
| Sub Total | | | | | 6 000,00 |
| 4.00 | Construcción de Caseta | Glb | 1,00 | 3 000,00 | 3 000,00 |
| 4.01 | Obras de concreto simple | | | | |
| 4.02 | Obras de concreto armado | | | | |
| 4.03 | Obras de arquitectura | | | | |
| Sub Total | | | | | 3 000,00 |
| SUMINISTRO DE COMPONENTES Y MATERIALES | | | | | 44 753,86 |
| MONTAJE | | | | | 17 630,00 |
| FLETE | | | | | 3 580,31 |
| PRESUPUESTO | | | | | 65 964,17 |

4.5.2. Costo por mantenimiento

El mantenimiento de los sistemas solares no es de mucha exigencia, siendo generalmente la limpieza de los paneles, es por ello que según [107] el costo del mantenimiento anual equivale al 2,5% del costo de los PSFV. Para el mantenimiento de la bomba sumergible, se recomienda realizarla una vez al año y el costo por mantenimiento es de 200 soles.

$$\text{Costo por mantenimiento} = \frac{2,5}{100} \times 3\,800 + 200$$

$$\text{Costo por mantenimiento} = \text{S/. } 295,00$$

4.5.3. Ahorro por combustible

El costo por galón de gasolina es de S/.21,89 el galón, por semana se consume aproximadamente 2 galones. Por lo cual, al año el costo es:

$$\text{Ahorro por combustible} = 21,89 \times 2 \times 4 \times 12$$

$$\text{Ahorro por combustible} = \text{S/. } 2\,101,44$$

4.5.4. Ahorro por operación

El riego es diario y se requiere a dos personas que operen los motores de combustión durante todo el tiempo de riego, siendo el costo diario S/. 20, entonces al año se paga:

$$\text{Ahorro por operación} = 2 \times 20 \times 7 \times 4 \times 12$$

$$\text{Ahorro por operación} = \text{S/. } 13\,440,00$$

4.5.5. Ahorro por mantenimiento

Generalmente el mantenimiento de los motores de combustión se realiza cada tres meses, siendo el costo por cada mantenimiento S/. 200. Entonces al año se gasta:

$$\text{Ahorro por mantenimiento} = 200 \times 4$$

$$\text{Ahorro por mantenimiento} = \text{S/. } 800,00$$

4.5.6. Flujo de caja del proyecto

Los PSFV tienen un tiempo de vida de 20 años, entonces la caja de flujo tendrá una proyección para 20 años y se considera una tasa del 12%. El tiempo de vida de la bomba y controlador es de 5 años.

Dentro de la estructura del flujo de caja se consideran: los egresos, donde están incluidos el costo de inversión, el mantenimiento y el reemplazo de la bomba con el controlador; por otro lado, en los ingresos, están todos los gastos que ya no se realizarán.

En la Tabla 46 se muestra la caja de flujo y los valores del *VAN* y la *TIR*.

Tabla 46. Flujo de caja proyectado para 20 años.

| AÑOS | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| EGRESOS | -65 964,17 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -19 440,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -19 440,00 |
| INVERSIÓN | -65 964,17 | | | | | | | | | | |
| MANTENIMIENTO DE PANELES | | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 |
| REEMPLAZO DE LA BOMBA | | | | | | -8 050,00 | | | | | -8 050,00 |
| REEMPLAZO DEL CONTROLADOR | | | | | | -11 000,00 | | | | | -11 000,00 |
| INGRESOS | | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 |
| AHORRO POR COMBUSTIBLE | | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 |
| AHORRO POR OPERACIÓN | | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 |
| AHORRO POR MANTENIMIENTO | | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 |
| BENEFICIO | -65 964,17 | 15 951,44 | 15 951,44 | 15 951,44 | 15 951,44 | -3 098,56 | 15 951,44 | 15 951,44 | 15 951,44 | 15 951,44 | -3 098,56 |

| AÑOS | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
|---------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| EGRESOS | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -19 440,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 |
| INVERSIÓN | | | | | | | | | | |
| MANTENIMIENTO DE PANELES | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 | -390,00 |
| REEMPLAZO DE LA BOMBA | | | | | -8 050,00 | | | | | |
| REEMPLAZO DEL CONTROLADOR | | | | | -11 000,00 | | | | | |
| INGRESOS | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 | 16 341,44 |
| AHORRO POR COMBUSTIBLE | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 | 2 101,44 |
| AHORRO POR OPERACIÓN | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 | 13 440,00 |
| AHORRO POR MANTENIMIENTO | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 | 800,00 |
| BENEFICIO | 15 951,44 | 15 951,44 | 15 951,44 | 15 951,44 | -3 098,56 | 15 951,44 | 15 951,44 | 15 951,44 | 15 951,44 | 15 951,44 |

| | |
|------------|----------------------|
| VAN | S/. 32 760,78 |
| TIR | 19,91 % |

4.5.7. Análisis del VAN y la TIR

Como se puede apreciar el VAN es mayor a cero por lo tanto el proyecto de inversión es rentable, asimismo la TIR es mayor al 12%, estos resultados nos garantizan la viabilidad del proyecto diseñado.

4.5.8. Periodo de recuperación

Tabla 47. Periodo de recuperación del proyecto.

| Año | Flujo | Acumulado |
|-------------|-------------------|------------------|
| 00 | -65 964,17 | |
| 01 | 15 951,44 | 15 951,44 |
| 02 | 15 951,44 | 31 902,88 |
| 03 | 15 951,44 | 47 854,32 |
| 04 | 15 951,44 | 63 805,76 |
| 05 | -3 098,56 | 60 707,20 |
| 06 | 15 951,44 | 76 658,64 |
| 07 | 15 951,44 | 92 610,08 |
| 08 | 15 951,44 | 108 561,52 |
| 09 | 15 951,44 | 124 512,96 |
| 10 | -3 098,56 | 121 414,40 |
| 11 | 15 951,44 | 137 365,84 |
| 12 | 15 951,44 | 153 317,28 |
| 13 | 15 951,44 | 169 268,72 |
| 14 | 15 951,44 | 185 220,16 |
| 15 | -3 098,56 | 182 121,60 |
| 16 | 15 951,44 | 198 073,04 |
| 17 | 15 951,44 | 214 024,48 |
| 18 | 15 951,44 | 229 975,92 |
| 19 | 15 951,44 | 245 927,36 |
| 20 | 15 951,44 | 261 878,80 |
| Suma | 261 878,80 | |

$$PR = 5 + \frac{65\,964,17 - 60\,707,20}{15\,951,44}$$

$$PR = 5,33$$

La inversión se recupera en cinco años, tres meses y veintinueve días.

Discusión

Para el cálculo del presupuesto, se calculan los metrados y los costos unitarios. Para dichos costos se solicitaron cotizaciones a empresas.

Teniendo ya el costo de inversión del proyecto, egresos y los ahorros que se puedan tener, se determina con ayuda de flujos de caja el *VAN* y la *TIR*, que son parámetros que nos garantiza la viabilidad del proyecto. Estos valores son 32 760,78 *soles* y 19,91% respectivamente, por ende, se demuestra la viabilidad de este SBS.

Debido a que es un proyecto de inversión es de suma importancia saber en cuánto tiempo se recuperará dicha inversión. El periodo de recuperación es de cinco años, tres meses y veintinueve días; mostrando la viabilidad del proyecto.

V. Conclusiones

1. Para la verificación de la disponibilidad del recurso hídrico de la zona se revisó estudios realizados por la Autoridad Nacional del Agua donde muestra que la demanda hídrica de la Cuenca Motupe La Leche es $92\,692\text{ hm}^3$; asimismo, se construyó un pozo para la extracción de agua para el riego realizando el ensayo de bombeo escalonado sin recuperación para hallar el modelo matemático del descenso o abatimiento que depende del caudal de bombeo, demostrando que el nivel estático del pozo supera el descenso de $3,54\text{ m}$, también se calculó la eficiencia del pozo siendo $75,09\%$.
2. Los niveles de radiación solar en un plano de 8° obtenidos de las tres fuentes superan el nivel mínimo que se recomienda para el diseño de sistemas fotovoltaicos ($4\text{ kWh/m}^2/\text{día}$); el software RETScreen registró $5,60\text{ kWh/m}^2/\text{día}$ de promedio al año, Meteonorm registró $5,95\text{ kWh/m}^2/\text{día}$ y CropWat obtuvo $4,93\text{ kWh/m}^2/\text{día}$; para el diseño del sistema de bombeo se tomaron los valores medidos *in situ* de los meses más críticos según los softwares mencionados, dando como resultado de radiación solar $5,80\text{ kWh/m}^2$ y por ende $HSP = 5,80\text{ horas}$.
3. En la zona agrícola ubicada en Jayanca se siembra actualmente limón, pero se planifica también sembrar palta, arándanos y espárragos; aplicando el sistema por goteo para el riego y proyectando para sembrar las 16 hectáreas se obtiene como demanda hídrica $53\text{ m}^3/\text{día}$, el caudal de bombeo es $9,14\text{ m}^3/\text{h}$, el diámetro de la tubería es 2 pulgadas, el volumen del reservorio tiene una capacidad total de $71,36\text{ m}^3$, la longitud de la tubería es $524,74\text{ m}$ y la altura manométrica es 50 m .
4. Los resultados obtenidos con el software PVsyst son corroborados con cálculos convencionales, los componentes con su respectiva marca son las siguientes; una bomba sumergible marca LORENTZ modelo PS 4 000 C – SJ8 – 15, 8 paneles solares de la marca Trina Solar modelo TSM – DE15M – (II) con una potencia pico de 405 W_p y un controlador de la marca LORENTZ modelo PS 4 000.
5. El costo de inversión o en el año cero es $S/. 65\,964,17$; para el análisis de la rentabilidad del proyecto se le agrega el costo por año en mantenimiento y se consideran como ingresos el costo por el combustible, operación y mantenimiento de los motores de combustión interna; considerando un tiempo de vida de 20 años se obtiene un $VAN = S/. 32\,760,78 > 0$, una $TIR = 19,91\% > 12\%$ y un periodo de recuperación de $5,33\text{ años}$ demostrando la rentabilidad del sistema de bombeo solar diseñado.

VI. Recomendaciones

1. Se recomienda la implementación del sistema de bombeo solar diseñado, asimismo, una de las actividades más importantes del departamento de Lambayeque es la agricultura, es por ello que se debe incentivar a los pobladores de zonas agrícolas aisladas a implementar en sus terrenos de cultivo sistemas de bombeo solar, ya que genera beneficio ambiental, económico y productivo.
2. La radiación solar en una zona es de suma importancia para el diseño de sistemas fotovoltaicos, por ende, se recomienda automatizar la toma de datos de dicho parámetro para así obtener mayor información y un diseño más exacto.
3. En la implementación del sistema de bombeo solar diseñado, se recomienda que se realice el mantenimiento respectivo de los diferentes componentes seleccionados.
4. Si en el caso se complica la compra de los componentes del sistema diseñado, se debe evaluar en diferentes catálogos elementos con características similares a este sistema.
5. Se debe motivar a la investigación y aplicación de todo tipo de proyectos con energía solar fotovoltaica porque es una energía limpia que reduce la huella de carbono y conlleva al desarrollo científico en el Perú.

VII. Referencias

- [1] A. Keyhani , Design of smart power grid renewable energy systems, New Jersey: Wiley, 2011.
- [2] S. Montecinos Geisse y D. Carvajal Araneda, Energías renovables: Escenario actual y perspectivas futuras, La Serena: Universidad de La Serena, 2018.
- [3] J. De Juana Sardón, A. de Francisco García, J. Fernández Gonzáles, F. Santos García, M. Á. Herrero García y A. Crespo Martínez, Energías Renovables para el desarrollo, Madrid: Thomson Editores Spain Paraninfo, 2003.
- [4] K. D. P. y N. I. J. , Sistemas eléctricas de potencia, Tercera ed., México: MCGRAW - HILL INTERAMERICANA EDITORES, 2008, pp. 25-27.
- [5] L. Jarauta, Las energías renovables, Primera ed., Barcelona: UOC, 2014.
- [6] M. García Villas, Energía solar fotovoltaica y cooperación al desarrollo, Madrid: IEPALA, 1999.
- [7] L. Fraas y L. Partain, Solar Cells and Their Applications, Segunda ed., New Jersey: WILEY, 2010, pp. 3-4.
- [8] G. Arencibia-Carballo, «La importancia del uso de paneles solares en la generación de energía eléctrica,» *Electrónica de Veterinaria*, vol. 17, n° 9, pp. 1-4, 2016.
- [9] A. Castejón Oliva y G. Santamaría Herranz, Instalaciones solares fotovoltaicas, vol. 19, Madrid: Editex, S.A, 2010, pp. 39-50.
- [10] A. Bula, Importancia de la agricultura en el desarrollo socio - económico, Rosario: Informes del Observatorio UNR, 2020.
- [11] C. M. Barreto Cajina y J. J. Duffy, Riego solar - eólico por goteo de bajo costo para pequeños agricultores, Cusco, 2010.
- [12] B. R, M. B y D. A, Statu and experience of solar PV pumping in developing countries, Lisboa, 1991.
- [13] M. A. Abella y F. C. Romero, Sistemas de bombeo fotovoltaico.
- [14] B. Solís Sosa, M. Llerena Pratolongo, F. Coello Jaramillo, C. Miranda Velásquez, A. Suclupe Girio, E. Guevara Ccama, D. Chávez Vásquez, J. J. Morante Montenegro y W. Santos Viera, Energías renovables, Primera ed., Lima: Osinergmin, 2019.

- [15] Banco Interamericano de Desarrollo, *Elaboración de la Nueva Matriz Energética Sostenible y Evaluación*, Lima, 2012.
- [16] J. L. Farfán Neyra y W. A. Campos Ugaz, «Energía fotovoltaica para la explotación de agua subterránea,» *Revista de Investigación y Cultura*, vol. 8, nº 1, pp. 65-76, 2019.
- [17] Banco Central de Reserva, *Potencialidades productivas*.
- [18] E. R. Godoy Ortiz, *Diseño de sistema de riego en zona rural con energía solar fotovoltaica*, Universidad Católica de la Santísima Concepción, 2016.
- [19] A. Calero Agut, *Instalación de riego con bombeo solar fotovoltaico en Benlloch*, Universitat Jaume I, 2017.
- [20] L. E. González Dávila y Á. R. Lanuza Centeno, *Propuesta de un sistema solar fotovoltaico para riego por goteo en la finca Concepción Comaraca Ato viejo San Nicolás - Estelí, durante el periodo julio a noviembre del 2017*, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, 2018.
- [21] A. Gil Tomás, *Diseño integrado del funcionamiento de un bombeo de agua de gran potencia con una instalación solar fotovoltaica en el puerto de Catarroja (Valencia)*, Universidad Politécnica de Valencia, 2018.
- [22] J. A. Carta Gonzales, R. Calero Pérez, A. Colmenar Santos y M. A. Castro Gil, *Centrales de energías renovables*, Madrid : Pearson Educación S.A., 2009.
- [23] Comunidad de Madrid, *Guía de energía solar*, Madrid: Madrid Solar, 2006.
- [24] W. E. Flores Villalba y W. A. Urcia Chávez, *Diseño de una minicentral de generación de energía eléctrica mediante paneles solares en el caserío Huacrupe, Distrito Olmos, Provincia Lambayeque*, Universidad Señor de Sipán, 2017.
- [25] P. D. Valdivieso Salas, *Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP*, Universidad Católica del Perú, 2014.
- [26] Solargis, *Photovoltaic Electricity Potential*, The World Bank, 2017.
- [27] J. M. Méndez Muñis y R. Cuervo García, *Energía solar fotovoltaica*, Madrid: Fundación Confemetal.
- [28] A. W. Kiprono y A. Ibáñez Llario, *Solar Pumping for Water Supply*, Rugby: Practical Action Publishing, 2020.

- [29] M. A. Ramli y H. R. Boucekara, «Estimation of solar radiation on PV panel surface with optimum tilt angle using vortex search algorithm,» *IET Renewable Power Generation*, vol. 12, n° 10, pp. 1138-1145, 2018.
- [30] A. Luque y S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*, West Sussex: WILEY, 2003.
- [31] S. A. Klein, «Calculation of monthly average insolation on tilted surfaces,» *Solar Energy*, vol. 19, pp. 325-329, 1977.
- [32] M. A. Ramli, S. Twaha y Y. A. Al-Turki, «Investigating the performance of support vector machine and artificial neural networks in predicting solar radiation on a tilted surface: Saudi Arabia case study,» *Energy Conversion and Management*, p. 442–452, 2015.
- [33] SENAMHI, *Atlas Solar del Perú*, 2003.
- [34] R. Roman L, *RETSscreen: Un programa para Sistemas Energéticos*, Universidad de Chile, 2012, p. 1.
- [35] Government of Canada, «RETSscreen,» [En línea]. Available: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>. [Último acceso: 20 Octubre 2022].
- [36] SOLARSCHMIEDE, «SOLARSCHMIEDE,» [En línea]. Available: <https://www.solarschmiede.de/en/faq-meteonorm/>. [Último acceso: 2022 Noviembre 29].
- [37] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, «FAO,» [En línea]. Available: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/es/>. [Último acceso: 15 Marzo 2023].
- [38] J. C. Schallenberg Rodríguez, G. Piernavieja Izquierdo, C. Hernández Rodríguez, P. Unamunzaga Falcón, R. García Déniz, M. Díaz Torres, D. Cabrera Pérez, G. Martel Rodríguez, J. Pardilla Fariña y V. Subiela Ortin, *Energías Renovables y Eficiencia Energética*, Canarias: Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008.
- [39] Tecnométrica, «Tecnométrica,» [En línea]. Available: <https://www.tecnometrica.com.mx/Solarimetro-Medidor-digital-de-Radiacion-de-energia-solar-SM-206.html>. [Último acceso: 16 Febrero 2023].
- [40] J. Aguilera, L. Hontoria y F. J. Muñoz, *Dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos autónomos*, Universidad de Jaén.

- [41] J. Balfour, M. Shaw y N. Bremer Nash, *Introduction Photovoltaic System Desing*, Burlington: Jones Bartlett Learning, 2013.
- [42] Colegio oficial de ingenieros de telecomunicaciones, *Energía solar fotovoltaica*, Madrid: Colegio oficial de ingenieros de telecomunicaciones, 2007.
- [43] R. L. Espinoza Paredes, V. L. Nakama Martinez, D. Manza Monzó y Y. F. Alejandro Dominguez, *La ingeniería Fotovoltaica*, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2017.
- [44] E. E. Granda - Gutierrez, O. A. Orta, J. C. Diaz - Guillén, M. A. Jimenez, M. Osorio y M. A. González, «Modelado y simulación de celdas y paneles,» *ResearchGate*, vol. 35, pp. 17-22, 2013.
- [45] A. Salazar Peralta, J. A. Pichardo S. y U. Pichardo S., «La energía solar, una alternativa para la generación de energía renovable,» *Revista de Investigación y Desarrollo*, vol. 2, n° 5, pp. 11-20, 2016.
- [46] Gyuszkó y H. Goldon, *Solar Pumping*, Washington: International Bank for Reconstruction and Development, 2018.
- [47] P. E. Campana, H. Li, J. Zhang, R. Zhang, J. Liu y J. Yan, «Economic optimization of photovoltaic water pumping systems for irrigation,» *Energy Conversion and Management*, pp. 32-41, 2015.
- [48] M. Aliyu, G. Hassan, S. A. Said, M. U. Siddiqui y . A. T. Alawami, «A review of solar-powered water pumping systems,» *Elsevier*, pp. 61-76, 2018.
- [49] E. Rúa Ramírez, S. Hernández Moreno, L. Cely, A. Granados Comba, Á. M. González Amarillo, R. Ramírez Alvarado, A. Aguirre , J. Mancipe, C. Rojas y E. Torres Díaz, *Bombeo solar fotovoltaico*, Universidad Santo Tomás, 2020.
- [50] R. J. Monteza Mego, *Diseño de un sistema solar fotovoltaico tipo aislado para bombear agua para uso agrícola en el caserío el Almendral ubicado en el distrito de Choros, Cutervo - Cajamarca*, Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, 2019.
- [51] E. Van de Giessen, *Solar Pumping*, Practica Foundation.
- [52] *Innovación y Cualificación, Montaje mecánico de instalaciones fotovoltaicas*, Málaga: IC Editorial, 2017.
- [53] J. D. Ortiz, «Viabilidad técnico - económico de un sistema fotovoltaico de pequeña escala,» *Visión electrónica*, vol. III, n° 1, pp. 103-117, 2013.

- [54] C. J. Chen, *Physics of Solar Energy*, New Jersey: WILEY, 2011.
- [55] J. Cepeda y A. Sierra, *Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones*, Bogotá: Universidad Santo Tomás, 2017.
- [56] B. Pérez, *Todo lo que necesitas saber de la energía fotovoltaica*, Academia de energía solar, 2020.
- [57] A. Bhatia, *Design and Sizing of Solar Photovoltaic Systems*, Nueva Jersey: Continuing Education and Development.
- [58] M. Silva, *Modelado y estudio del impacto de sombras sobre paneles solares fotovoltaicos*, Mar del Plata: Universidad Nacional de Mar del Plata, 2020.
- [59] P. W. Potes y X. A. Proaño, «Design of a Photovoltaic System Connected to the Grid in the Engineering Faculty Facilities of the Technical University of Cotopaxi,» *Energía*, vol. II, n° 16, pp. 148-157, 2020.
- [60] Anónimo, *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*, 2012.
- [61] C. Zepellin H., J. Bunster Betteley y M. P. De la Cruz, *Diseño y dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados a red*, Santiago de Chile: Cámara Chilena de la Construcción, 2013.
- [62] E. Hakizimana, A. Ngendahayo, U. G. Wali, D. Sandoval y V. Kayibanda, «Analysis of Environmental Impacts of Solar Energy Technologies in Rwanda: GigaWatt,» *Energy and Environmental Engineering*, vol. 7, n° 2, pp. 38-49, 2020.
- [63] E. Rúa Ramírez, I. D. Mendoza Jiménez, E. Torres Suarez, E. G. Flórez Serrano y J. C. Serrano Rico, «Banco de pruebas didáctico para aprendizaje y medición del rendimiento de paneles solares fotovoltaicos,» *UIS Ingenierías*, vol. 20, n° 2, pp. 1-10, 2021.
- [64] P. Gonzales, F. Jurado, D. Granados y F. Ortiz, «Análisis de eficiencia y degradación de un sistema fotovoltaico a la red eléctrica,» *Iberoamericana de Ciencias*, vol. V, n° 6, pp. 254-275, 2018.
- [65] *Acción contra el Hambre, Bombeo Solar*, Red Internacional de Acción contra el Hambre.
- [66] D. E.O., O. N.F., N. E. y O. C.O.C., «Design and Economic Analysis of a Photovoltaic System: A Case Study,» *Int. Journal of Renewable Energy Development*, pp. 65-73, 2012.

- [67] O. Perpiñán Lamigueiro, *Energía Solar Fotovoltaica*, Creative Commons, 2020.
- [68] J. N. Shrestha Dra y A. K. Rajendra Karki, *Training Manual Solar PV Pumping System*, Katmandú: Alternative Energy Promotion Center (AEPC), 2014.
- [69] R. L. Mott, *Mecánica de fluidos*, Pearson, 2013.
- [70] M. EL Shimy y T. Abdo, «Viability and Emission Analysis of Various Energy Supply Options for Irrigation Water Pumping Systems,» *Economics of Variable Renewable Sources for Electric Power Production*, pp. 308-394, 2017.
- [71] K. Villalobos Brochel, *Guía para el monitoreo de aguas subterráneas*, 2009.
- [72] Municipalidad distrital de La Matanza, «Informe de la auditoría de cinco pozos a tajo abierto en la zona rural del municipio La Matanza,» Piura, 2011.
- [73] A. V. Vargas y F. Arellano, «Comparación de tres métodos para el cálculo de eficiencia de pozos,» *Geológica de América Central*, n° 27, pp. 97-110, 2002.
- [74] M. Villanueva Martínez y A. Iglesias López, *Pozos y acuíferos*, Madrid: Instituto geológico y minero de España.
- [75] A. Román-López, M. A. Inzunza-Ibarra, M. Villa-Castorena y E. A. Catalán-Valencia, «Modelación del abatimiento de pozos profundos,» *Terra Latinoamericana*, vol. 29, n° 1, pp. 1-10, 2011.
- [76] F. J. Sánchez San Román, *Eficiencia de una captación: Bombeos escalonados*, Dpto. Geología Univ. Salamanca.
- [77] Roscoe Moss Company, «Construcción de pozos de producción eficientes: La perspectiva a largo plazo en costos de operación y diseño de pozos».
- [78] C. A. Rosell Calderon, *Irrigación*, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 1998.
- [79] Haestad Methods, *Computer Applications in Hydraulic Engineering*, Pennsylvania: Bentley Institute Press, 2007.
- [80] E. Ramirez Ramirez, «Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural,» *Academia*, 2004.
- [81] A. Rocha Felices, *Hidráulica de canales y tuberías*, Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2007.
- [82] Grupo Editorial Megabyte, *Código Nacional de Electricidad*, Lima: Megabyte, 2020.
- [83] Autoridad Nacional del Agua (ANA), *Estudio hidrológico de la unidad hidrográfica Motupe La Leche*, Lima: Autoridad Nacional del Agua (ANA), 2019.

- [84] I. García Casillas y G. Briones Sánchez, Sistemas de riego por aspersión y goteo, México: Trillas, 2015.
- [85] A. Vásquez V., I. Vásquez R., C. Vásquez R y M. Cañamero K, Fundamento de la ingeniería de riego, Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017.
- [86] Anónimo, Cálculo de la Evapotranspiración Potencial mediante la fórmula de Hargreaves.
- [87] Senamhi, Generación de una base de datos de evapotranspiración grillada y de alta resolución a nivel nacional, Lima: Dirección general de hidrología y recursos hídricos, 2015.
- [88] M. O. Pérez Conga, Bombeo solar del río Alameda con energía solar fotovoltaica para cultivar hortalizas en la Comunidad Campesina de Totorá - Jesús Nazareno - Huamanga - Ayacucho, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, 2019.
- [89] O. B. Garay Canales, Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos, Lima: INCAGRO, 2009.
- [90] R. G. Allen, L. S. Pereira, D. Raes y M. Smith, Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, Roma: FAO, 1998.
- [91] J. R. Vilca Quisque, Estudio paara el bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica aplicado al reigo en el sector ganadero de Rosapata ubicado en la cuenca Llallimayo, Univerisdad Nacional del Altiplano de Puno, 2021.
- [92] Gregory Guevara, «Demanda hídrica de cultivos Parte 2 [vídeo],» Youtube, 2020.
- [93] N. Sapag Chain, Proyectos de inversión, Pearson Educación de Chile S.A., 2011.
- [94] P. S. Abad Mariños y E. A. Flores Mendo, Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para reducir el consumo de combustibles en la plataforma de descarga de la pesquera exalmar - Chimbote Perú, Universidad Nacional del Santa.
- [95] C. García Castro, Simulación de Instalaciones fotovoltaicas con PVsyst, Universidad de Jaén, 2015.
- [96] S. Deambi, Photovoltaic System Design: Procedures, Tools and Applications, CRC Press, 2013.
- [97] Apm Peripheral Pump, Peripheral Pump.
- [98] Pedrollo, Electrobombas sumergibles.
- [99] HONDA, Motobomba Honda WB 30 PX - Especificaciones técnicas.

- [100] A. E. Brambila Michel, «NETAFIN,» 2021 Setiembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.netafim.com.mx/blog/LAMINA-DE-RIEGO-Y-MONITOREO-DE-HUMEDAD-EN-SUELO-PARA-FRUTILLAS-Y-AGUACATE/#que-ha-hecho-posible-la-agronomia-hibrida>. [Último acceso: 16 Marzo 2023].
- [101] InfoAgro, «InfoAgro,» [En línea]. Available: https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_esparrago__parte_i_.asp#:~:text=6.5.-,Densidad%20de%20plantaci%C3%B3n.,de%201%20x%200.33%20m.. [Último acceso: 16 Marzo 2023].
- [102] Ministerio de Agricultura y Ganadería, «Ministerio de Agricultura y Ganadería,» [En línea]. Available: <https://www.agricultura.gob.ec/iniap-evalua-cultivo-de-aguacate/#:~:text=La%20distancia%20de%20siembra%20debe,toneladas%20por%20hect%C3%A1rea%20al%20a%C3%B1o..> [Último acceso: 16 Marzo 2023].
- [103] Redagrícola, «Redagrícola,» [En línea]. Available: <https://www.redagricola.com/pe/arandanos-macetas-mejor-calidad-mayor-precocidad/#:~:text=Como%20referencia%2C%20las%20densidades%20normales,llegado%20a%2010%2C000%20plantas%2Fha..> [Último acceso: 16 Marzo 2023].
- [104] Trina Solar, TSM - DEG17M.20 - (II).
- [105] Lorentz, PS 4000 C - SJ8 - 15.
- [106] Lorentz, Manual for Installation and Operation.
- [107] J. Dávalos Pongo, Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío La Guayaba, distrito de Bellavista, Jaén - Cajamarca, Universidad Nacional de Jaén, 2019.
- [108] V. M. Sanchez Loli, Estudio de factibilidad de sistema fotovoltaico para reducir costos de energía del fundo La Viña Batangrande - Chiclayo, Universidad Cesar Vallejo, 2018.
- [109] M. Ballester Pelegrín, Estudio de bombeo para instalación de riego mediante instalación solar fotovoltaica, cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena, 2018.
- [110] J. P. Ortiz Ortiz y D. M. Aldana, Dimensionamiento de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para una zona rural de Piura, Perú, Piura: Universidad de Piura, 2013.

VIII. Anexos

Anexo 1. Manómetros indicando presiones en el tubo de Venturi.



Anexo 2. Aplicación del método volumétrico.



Anexo 3. Crecimiento de la planta de limón.



Anexo 4. Código MATLAB para solución de ecuaciones según el Método de Newton Raphson.

```

clear
clc
disp('Método de Newton Raphson')
syms x
f=input('Introduzca la función f(x):');
pi=input('Introduzca el punto Xi:');
err=input('Porcentaje de error:');
ezplot(f)
grid on
d=diff(f);
d=inline(d);
f=inline(f);
ea=100;
j=0;
while ea>err
    xi=pi-(f(pi)/d(pi));
    ea=abs((xi-pi)/xi)*100;
    pi=xi;
    j=j+1;
end
fprintf('\nRaíz= %8.3f en %d Iteraciones',pi,j)

```

Anexo 5. Código MATLAB para resolver sistemas de ecuaciones.

```

syms A B
eq1=57.89*A+4907.86*B==0.13
eq2=333.50*A+192027.17*B==1.06
[X Y]=equationsToMatrix([eq1 eq2],[A B])
R=linsolve(X,Y)

```


Anexo 6. Informe de datos climatológicos según el software RETScreen.

RETScreen - Ubicación

Suscriptor: Visualización

Condiciones de referencia del sitio

Ubicación de datos meteorológicos Ubicación de la instalación

Leyenda

- Ubicación de la instalación
- Ubicación de datos meteorológicos

| | Unidad | Ubicación de datos meteorológicos | Ubicación de la instalación | Fuente |
|--|--------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------|
| Latitud | | -6.5 | -6.4 | |
| Longitud | | -80.0 | -79.6 | |
| Zona climática | | 2B - Caliente - Seca | | |
| Elevación | m | 47 | 145 | NASA |
| Temperatura de diseño de la calefacción | °C | 16.4 | | NASA - Mapa |
| Temperatura de diseño del aire acondicionado | °C | 28.4 | | NASA |
| Amplitud de la temperatura del suelo | °C | 10.8 | | NASA |

| Mes | Temperatura del aire | Humedad relativa | Precipitación | Radiación solar diaria - horizontal | Presión atmosférica | Velocidad del Viento | Temperatura del suelo | Grados-días de calefacción 18 °C | Grados-días de refrigeración 10 °C |
|---------------|----------------------|------------------|---------------|-------------------------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| | °C | % | mm | kWh/m ² /d | kPa | m/s | °C | °C·d | °C·d |
| Enero | 22.8 | 83.2% | 9.92 | 6.62 | 100.6 | 3.9 | 23.8 | 0 | 397 |
| Febrero | 24.2 | 81.4% | 15.96 | 6.59 | 100.5 | 3.8 | 25.2 | 0 | 398 |
| Marzo | 24.1 | 81.3% | 15.81 | 6.66 | 100.5 | 3.9 | 25.0 | 0 | 437 |
| Abril | 22.5 | 83.2% | 8.70 | 6.42 | 100.6 | 4.5 | 23.2 | 0 | 375 |
| Mayo | 21.2 | 84.2% | 2.17 | 5.40 | 100.6 | 5.0 | 21.8 | 0 | 347 |
| Junio | 20.2 | 84.5% | 0.60 | 4.21 | 100.7 | 5.2 | 20.7 | 0 | 306 |
| Julio | 19.5 | 84.1% | 0.62 | 4.01 | 100.7 | 5.4 | 20.1 | 0 | 295 |
| Agosto | 19.0 | 83.7% | 0.62 | 4.34 | 100.8 | 5.4 | 19.8 | 0 | 279 |
| Setiembre | 18.8 | 83.9% | 1.20 | 4.99 | 100.8 | 5.3 | 19.7 | 0 | 264 |
| Octubre | 18.9 | 84.2% | 4.03 | 5.54 | 100.8 | 4.8 | 19.9 | 0 | 276 |
| Noviembre | 19.8 | 83.7% | 3.00 | 5.96 | 100.7 | 4.5 | 20.7 | 0 | 294 |
| Diciembre | 21.3 | 83.7% | 4.65 | 6.34 | 100.6 | 4.2 | 22.2 | 0 | 350 |
| Anual | 21.0 | 83.4% | 67.28 | 5.58 | 100.6 | 4.7 | 21.8 | 0 | 4,017 |
| Fuente | NASA | NASA | NASA | NASA | NASA | NASA | NASA | NASA | NASA |
| Medido a | | | | | m | 10 | 0 | | |

Datos climatológicos

Leyenda

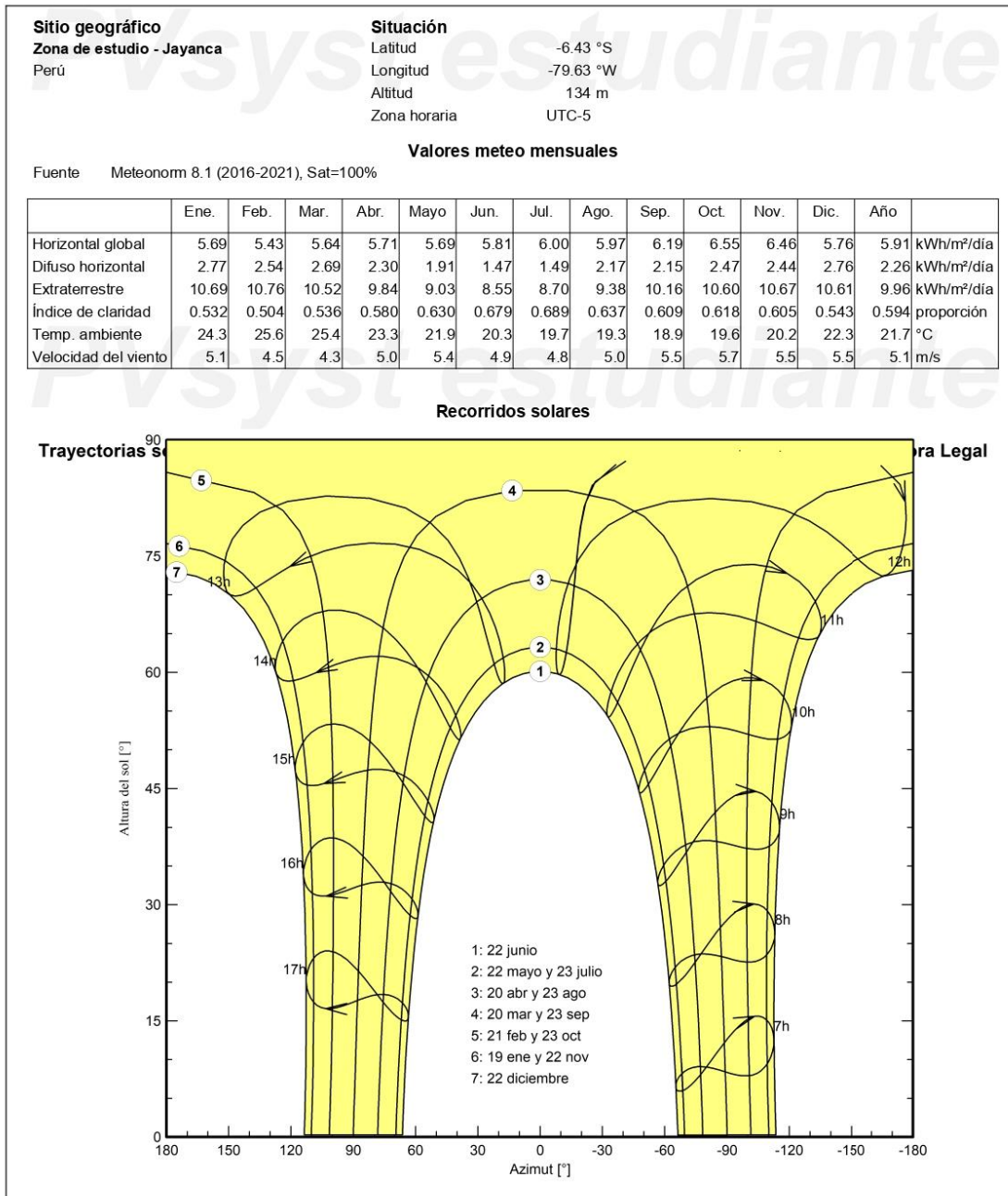
- Radiación solar diaria - horizontal
- Temperatura del aire

Anexo 7. Informe de datos climatológicos según el software Meteonorm.



Luis Gerardo Vilchez Cornejo (Peru)

PVsyst V7.3.2



Anexo 8. Informe de datos climatológicos según el software CROPWAT.

Monthly ETo Penman-Monteith - C:\Program Files (x86)\CLIMWAT 2.0 for CROPWAT V2.0\LA...

Country Location 45 Station LAMBAYEQUE

Altitude 27 m. Latitude 6.68 °S Longitude 79.88 °W

| Month | Min Temp °C | Max Temp °C | Humidity % | Wind km/day | Sun hours | Rad MJ/m ² /day | ETo mm/day |
|-----------|----------------|----------------|---------------|----------------|--------------|-------------------------------|---------------|
| January | 20.5 | 30.0 | 76 | 346 | 6.3 | 19.5 | 4.78 |
| February | 21.0 | 31.3 | 74 | 311 | 6.4 | 19.8 | 5.05 |
| March | 20.8 | 31.2 | 75 | 311 | 6.1 | 19.1 | 4.90 |
| April | 19.5 | 29.5 | 76 | 346 | 6.3 | 18.3 | 4.55 |
| May | 18.5 | 27.3 | 78 | 346 | 6.2 | 16.6 | 3.89 |
| June | 16.5 | 25.0 | 79 | 311 | 4.9 | 14.2 | 3.21 |
| July | 15.5 | 24.0 | 81 | 311 | 4.5 | 13.9 | 2.97 |
| August | 15.0 | 23.5 | 81 | 346 | 5.1 | 15.8 | 3.19 |
| September | 15.3 | 23.8 | 80 | 346 | 5.6 | 17.8 | 3.53 |
| October | 15.5 | 24.5 | 79 | 380 | 5.9 | 18.8 | 3.84 |
| November | 16.3 | 26.0 | 77 | 346 | 6.2 | 19.3 | 4.11 |
| December | 18.0 | 30.3 | 77 | 380 | 6.1 | 19.0 | 4.71 |
| Average | 17.7 | 27.2 | 78 | 340 | 5.8 | 17.7 | 4.06 |

Anexo 9. Resultados de los cinco días de medición de irradiancias del mes de febrero.

Medición de la irradiancia solar (W/m^2)

| Día | Hora | Primera medida | Segunda medida | Tercera medida | Cuarta medida | Quinta medida | Sexta medida | Séptima medida | Octava medida | Novena medida | Décima medida | Décima primera medida | Décima segunda medida |
|------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 7:00 - 8:00 | 90,2 | 99,8 | 111,4 | 117,1 | 128,7 | 139,4 | 151,4 | 165,8 | 176,5 | 182,9 | 191,3 | 207,3 |
| | 8:00 - 9:00 | 217,9 | 238,7 | 254,9 | 286,9 | 315,8 | 331,8 | 354,7 | 376,4 | 387,5 | 409,6 | 428,7 | 448,9 |
| | 9:00 - 10:00 | 479,6 | 497,9 | 518,5 | 536,2 | 573,9 | 601,7 | 622,5 | 653,5 | 687,3 | 711,4 | 733,3 | 763,9 |
| | 10:00 - 11:00 | 776,4 | 798,5 | 808,9 | 827,3 | 837,2 | 853,9 | 865,9 | 880,1 | 892,7 | 908,4 | 920,5 | 933,4 |
| | 11:00 - 12:00 | 952,3 | 976,8 | 995,6 | 1 018,3 | 1 029,5 | 1 046,8 | 1 069,7 | 1 086,4 | 1 105,2 | 1 121,3 | 1 132,9 | 1 141,5 |
| | 12:00 - 13:00 | 1 150,8 | 1 165,6 | 1 178,9 | 1 186,5 | 1 201,5 | 1 225,9 | 1 239,7 | 1 222,7 | 1 202,9 | 1 187,3 | 1 162,3 | 1 143,5 |
| | 13:00 - 14:00 | 1 125,8 | 1 111,2 | 1 092,8 | 1 075,3 | 1 066,8 | 1 035,4 | 1 015,7 | 1 008,7 | 994,5 | 985,3 | 971,2 | 943,1 |
| | 14:00 - 15:00 | 923,4 | 913,5 | 903,6 | 896,6 | 883,9 | 871,9 | 856,4 | 835,7 | 829,4 | 815,9 | 795,6 | 781,3 |
| | 15:00 - 16:00 | 745,2 | 715,6 | 701,1 | 676,4 | 643,8 | 628,9 | 598,2 | 551,5 | 528,9 | 508,3 | 483,9 | 467,3 |
| | 16:00 - 17:00 | 441,5 | 410,2 | 388,5 | 359,8 | 325,1 | 309,6 | 284,7 | 268,7 | 245,3 | 223,5 | 209,5 | 183,9 |
| 2 | 7:00 - 8:00 | 91,5 | 97,5 | 105,4 | 112,4 | 122,8 | 133,7 | 152,6 | 160,5 | 173,8 | 185,3 | 195,7 | 205,7 |
| | 8:00 - 9:00 | 219,2 | 244,8 | 256,8 | 288,5 | 308,9 | 325,7 | 348,1 | 379,3 | 382,1 | 404,3 | 436,8 | 452,9 |
| | 9:00 - 10:00 | 485,2 | 499,1 | 534,2 | 559,2 | 572,6 | 596,5 | 615,3 | 642,8 | 676,2 | 701,9 | 737,5 | 772,2 |
| | 10:00 - 11:00 | 786,8 | 802,4 | 815,3 | 822,3 | 834,8 | 849,2 | 859,5 | 883,4 | 896,5 | 911,9 | 927,3 | 939,1 |
| | 11:00 - 12:00 | 948,7 | 962,5 | 986,8 | 1 009,4 | 1 021,3 | 1 033,4 | 1 052,9 | 1 077,5 | 1 098,2 | 1 115,4 | 1 129,4 | 1 139,5 |
| | 12:00 - 13:00 | 1 153,4 | 1 162,8 | 1 177,2 | 1 188,9 | 1 206,8 | 1 232,6 | 1 242,8 | 1 228,1 | 1 200,5 | 1 181,2 | 1 168,9 | 1 143,9 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 13:00 - 14:00 | 1 128,3 | 1 118,5 | 1 088,6 | 1 073,2 | 1 059,0 | 1 033,5 | 1 012,1 | 1 004,5 | 998,5 | 981,2 | 963,3 | 945,9 |
| | 14:00 - 15:00 | 928,3 | 915,8 | 906,5 | 891,5 | 882,3 | 867,3 | 845,6 | 831,7 | 822,2 | 808,4 | 796,3 | 772,4 |
| | 15:00 - 16:00 | 743,9 | 728,6 | 712,2 | 688,3 | 659,4 | 635,9 | 608,7 | 589,4 | 543,1 | 511,9 | 492,5 | 475,3 |
| | 16:00 - 17:00 | 456,9 | 438,2 | 394,7 | 372,5 | 346,1 | 315,3 | 291,1 | 277,5 | 253,9 | 228,1 | 213,5 | 197,8 |
| 3 | 7:00 - 8:00 | 89,2 | 93,8 | 103,2 | 105,6 | 115,6 | 125,9 | 142,0 | 157,9 | 168,1 | 183,4 | 196,3 | 203,6 |
| | 8:00 - 9:00 | 215,8 | 237,6 | 244,7 | 273,8 | 295,5 | 317,2 | 339,7 | 352,9 | 376,4 | 399,2 | 428,7 | 449,5 |
| | 9:00 - 10:00 | 472,4 | 490,3 | 521,9 | 543,5 | 566,5 | 585,3 | 603,4 | 635,9 | 673,4 | 697,2 | 725,4 | 758,9 |
| | 10:00 - 11:00 | 773,2 | 796,5 | 806,4 | 816,7 | 827,9 | 837,4 | 846,3 | 876,9 | 887,5 | 905,2 | 922,9 | 938,5 |
| | 11:00 - 12:00 | 945,6 | 858,3 | 973,8 | 1 001,7 | 1 015,8 | 1 027,5 | 1 045,8 | 1 064,2 | 1 085,7 | 1 109,4 | 1 123,5 | 1 135,5 |
| | 12:00 - 13:00 | 1 146,9 | 1 155,7 | 1 172,2 | 1 185,7 | 1 198,4 | 1 225,6 | 1 235,5 | 1 220,2 | 1 192,5 | 1 176,9 | 1 163,8 | 1 139,6 |
| | 13:00 - 14:00 | 1 123,2 | 1 111,5 | 1 092,9 | 1 070,0 | 1 052,5 | 1 028,8 | 1 015,3 | 1 002,8 | 995,4 | 975,6 | 954,9 | 932,5 |
| | 14:00 - 15:00 | 921,4 | 911,5 | 902,2 | 885,3 | 875,4 | 853,1 | 839,2 | 829,4 | 819,5 | 803,9 | 785,4 | 752,5 |
| | 15:00 - 16:00 | 735,3 | 722,8 | 705,9 | 693,5 | 642,9 | 627,5 | 597,9 | 562,4 | 536,8 | 505,1 | 486,5 | 468,5 |
| | 16:00 - 17:00 | 441,3 | 419,5 | 382,2 | 355,7 | 329,5 | 307,5 | 286,7 | 264,9 | 233,8 | 219,8 | 204,3 | 176,8 |
| 4 | 7:00 - 8:00 | 89,2 | 93,8 | 103,2 | 105,6 | 115,6 | 125,9 | 142,0 | 157,9 | 168,1 | 183,4 | 196,3 | 203,6 |
| | 8:00 - 9:00 | 215,8 | 237,6 | 244,7 | 273,8 | 295,5 | 317,2 | 339,7 | 352,9 | 376,4 | 399,2 | 428,7 | 449,5 |
| | 9:00 - 10:00 | 472,4 | 490,3 | 521,9 | 543,5 | 566,5 | 585,3 | 603,4 | 635,9 | 673,4 | 697,2 | 725,4 | 758,9 |
| | 10:00 - 11:00 | 773,2 | 796,5 | 806,4 | 816,7 | 827,9 | 837,4 | 846,3 | 876,9 | 887,5 | 905,2 | 922,9 | 938,5 |
| | 11:00 - 12:00 | 945,6 | 858,3 | 973,8 | 1 001,7 | 1 015,8 | 1 027,5 | 1 045,8 | 1 064,2 | 1 085,7 | 1 109,4 | 1 123,5 | 1 135,5 |
| | 12:00 - 13:00 | 1 146,9 | 1 155,7 | 1 172,2 | 1 185,7 | 1 198,4 | 1 225,6 | 1 235,5 | 1 220,2 | 1 192,5 | 1 176,9 | 1 163,8 | 1 139,6 |
| | 13:00 - 14:00 | 1 123,2 | 1 111,5 | 1 092,9 | 1 070,0 | 1 052,5 | 1 028,8 | 1 015,3 | 1 002,8 | 995,4 | 975,6 | 954,9 | 932,5 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 14:00 - 15:00 | 921,4 | 911,5 | 902,2 | 885,3 | 875,4 | 853,1 | 839,2 | 829,4 | 819,5 | 803,9 | 785,4 | 752,5 |
| | 15:00 - 16:00 | 735,3 | 722,8 | 705,9 | 693,5 | 642,9 | 627,5 | 597,9 | 562,4 | 536,8 | 505,1 | 486,5 | 468,5 |
| | 16:00 - 17:00 | 441,3 | 419,5 | 382,2 | 355,7 | 329,5 | 307,5 | 286,7 | 264,9 | 233,8 | 219,8 | 204,3 | 176,8 |
| | 7:00 - 8:00 | 91,2 | 101,6 | 112,8 | 124,6 | 133,7 | 144,9 | 157,8 | 175,8 | 182,4 | 191,2 | 195,7 | 209,8 |
| | 8:00 - 9:00 | 225,5 | 246,7 | 274,8 | 295,3 | 321,9 | 342,5 | 372,8 | 380,6 | 398,7 | 425,4 | 445,6 | 472,1 |
| | 9:00 - 10:00 | 483,9 | 512,7 | 528,3 | 552,9 | 579,3 | 615,8 | 638,7 | 672,1 | 702,6 | 725,3 | 749,3 | 772,1 |
| | 10:00 - 11:00 | 783,5 | 805,6 | 824,3 | 832,2 | 844,5 | 865,9 | 875,3 | 885,5 | 892,2 | 908,5 | 919,3 | 931,4 |
| 5 | 11:00 - 12:00 | 953,8 | 975,3 | 996,9 | 1 015,3 | 1 029,4 | 1 047,2 | 1 076,1 | 1 092,5 | 1 109,3 | 1 122,2 | 1 135,8 | 1 145,6 |
| | 12:00 - 13:00 | 1 151,1 | 1 166,3 | 1 179,3 | 1 186,7 | 1 215,4 | 1 228,5 | 1 235,6 | 1 221,6 | 1 207,4 | 1 187,3 | 1 159,7 | 1 145,7 |
| | 13:00 - 14:00 | 1 122,3 | 1 111,6 | 1 097,7 | 1 081,4 | 1 072,3 | 1 035,7 | 1 026,5 | 1 008,3 | 992,9 | 987,3 | 968,3 | 952,9 |
| | 14:00 - 15:00 | 922,2 | 914,4 | 908,7 | 895,4 | 876,1 | 865,4 | 852,9 | 846,8 | 828,6 | 816,5 | 807,5 | 791,3 |
| | 15:00 - 16:00 | 768,4 | 738,5 | 719,8 | 695,4 | 667,3 | 643,2 | 601,9 | 563,1 | 532,5 | 510,7 | 483,2 | 442,1 |
| | 16:00 - 17:00 | 428,6 | 412,8 | 399,7 | 375,8 | 342,6 | 319,2 | 297,3 | 285,4 | 268,9 | 245,3 | 218,7 | 205,6 |

Anexo 10. Resultados de los cinco días de medición de irradiancias del mes de julio

Medición de la irradiancia solar (W/m^2)

| Día | Hora | Primera medida | Segunda medida | Tercera medida | Cuarta medida | Quinta medida | Sexta medida | Séptima medida | Octava medida | Novena medida | Décima medida | Décima primera medida | Décima segunda medida |
|------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 7:00 - 8:00 | 71,5 | 80,2 | 99,6 | 124,8 | 165,3 | 189,8 | 213,1 | 238,6 | 256,2 | 261,4 | 274,2 | 289,6 |
| | 8:00 - 9:00 | 301,8 | 336,1 | 365,2 | 393,2 | 429,6 | 451,9 | 477,8 | 516,2 | 567,2 | 605,1 | 659,2 | 695,8 |
| | 9:00 - 10:00 | 683,6 | 701,6 | 709,8 | 717,2 | 725,2 | 732,4 | 739,1 | 742,2 | 745,3 | 752,3 | 767,5 | 772,9 |
| | 10:00 - 11:00 | 745,2 | 753,6 | 757,8 | 765,4 | 771,3 | 782,7 | 786,7 | 795,2 | 807,7 | 811,3 | 815,3 | 819,5 |
| | 11:00 - 12:00 | 822,3 | 827,2 | 835,6 | 848,1 | 856,2 | 862,9 | 873,7 | 886,3 | 892,4 | 905,4 | 911,1 | 915,3 |
| | 12:00 - 13:00 | 922,6 | 920,4 | 917,8 | 906,8 | 896,4 | 875,2 | 870,4 | 861,7 | 858,4 | 842,6 | 828,4 | 822,2 |
| | 13:00 - 14:00 | 821,3 | 817,6 | 804,3 | 792,9 | 789,5 | 777,4 | 765,2 | 756,2 | 742,1 | 737,3 | 731,1 | 724,9 |
| | 14:00 - 15:00 | 720,6 | 712,3 | 702,1 | 695,4 | 684,8 | 676,7 | 662,8 | 658,2 | 651,7 | 639,2 | 635,2 | 618,3 |
| | 15:00 - 16:00 | 650,5 | 642,9 | 631,2 | 594,7 | 575,2 | 554,7 | 494,2 | 475,4 | 421,8 | 382,8 | 355,4 | 301,4 |
| | 16:00 - 17:00 | 285,7 | 268,3 | 247,9 | 235,7 | 208,7 | 194,6 | 175,4 | 155,8 | 118,5 | 97,5 | 82,4 | 75,9 |
| 2 | 7:00 - 8:00 | 69,4 | 77,5 | 96,8 | 118,1 | 142,8 | 163,2 | 193,8 | 227,4 | 245,9 | 253,2 | 266,5 | 281,9 |
| | 8:00 - 9:00 | 299,2 | 322,8 | 346,9 | 385,2 | 406,3 | 425,9 | 452,1 | 475,1 | 508,4 | 537,2 | 577,8 | 603,9 |
| | 9:00 - 10:00 | 634,3 | 667,2 | 688,7 | 706,8 | 722,9 | 729,9 | 741,4 | 746,8 | 756,2 | 765,5 | 779,8 | 781,2 |
| | 10:00 - 11:00 | 757,5 | 761,8 | 766,8 | 771,8 | 780,7 | 786,9 | 791,4 | 793,6 | 806,2 | 815,3 | 825,2 | 831,7 |
| | 11:00 - 12:00 | 836,3 | 842,4 | 849,1 | 853,4 | 855,6 | 860,5 | 868,2 | 875,3 | 886,2 | 891,8 | 904,5 | 912,6 |
| | 12:00 - 13:00 | 916,4 | 911,2 | 905,4 | 896,9 | 882,1 | 877,4 | 886,9 | 878,7 | 853,2 | 832,9 | 826,1 | 817,4 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 13:00 - 14:00 | 812,1 | 805,3 | 796,3 | 790,2 | 782,4 | 772,9 | 761,3 | 845,7 | 740,6 | 735,1 | 725,3 | 718,1 |
| | 14:00 - 15:00 | 713,6 | 706,3 | 693,2 | 692,3 | 682,9 | 674,1 | 666,3 | 655,9 | 646,1 | 636,8 | 628,3 | 623,8 |
| | 15:00 - 16:00 | 667,5 | 659,6 | 637,3 | 608,7 | 582,9 | 562,3 | 513,9 | 486,3 | 462,1 | 413,9 | 363,1 | 326,2 |
| | 16:00 - 17:00 | 303,1 | 276,7 | 255,6 | 242,3 | 199,5 | 196,0 | 188,1 | 176,2 | 156,3 | 118,2 | 88,7 | 76,3 |
| 3 | 7:00 - 8:00 | 72,3 | 78,4 | 95,6 | 117,8 | 147,6 | 175,7 | 201,6 | 217,8 | 248,2 | 259,3 | 268,9 | 285,2 |
| | 8:00 - 9:00 | 299,6 | 318,2 | 356,2 | 385,3 | 412,1 | 446,2 | 466,2 | 498,1 | 536,4 | 562,1 | 603,3 | 666,2 |
| | 9:00 - 10:00 | 668,3 | 696,3 | 653,6 | 633,9 | 592,1 | 557,5 | 473,2 | 411,9 | 357,9 | 331,1 | 272,4 | 279,7 |
| | 10:00 - 11:00 | 262,3 | 288,1 | 379,4 | 423,2 | 453,3 | 468,9 | 503,2 | 525,9 | 573,3 | 612,9 | 656,9 | 706,3 |
| | 11:00 - 12:00 | 726,9 | 782,9 | 831,3 | 853,8 | 876,7 | 893,9 | 902,1 | 905,1 | 912,4 | 916,5 | 922,7 | 925,3 |
| | 12:00 - 13:00 | 930,2 | 936,9 | 946,7 | 937,6 | 928,6 | 913,7 | 905,2 | 882,3 | 873,6 | 858,2 | 841,7 | 829,4 |
| | 13:00 - 14:00 | 817,3 | 813,6 | 807,3 | 796,3 | 781,6 | 774,2 | 767,2 | 753,4 | 735,6 | 729,2 | 722,9 | 716,1 |
| | 14:00 - 15:00 | 706,7 | 701,3 | 698,6 | 691,3 | 688,2 | 671,6 | 658,7 | 653,2 | 647,6 | 631,9 | 623,9 | 613,4 |
| | 15:00 - 16:00 | 655,3 | 643,2 | 621,8 | 586,9 | 566,9 | 519,2 | 478,2 | 466,2 | 437,2 | 398,7 | 366,9 | 316,1 |
| | 16:00 - 17:00 | 292,7 | 281,8 | 266,9 | 223,2 | 206,7 | 193,9 | 185,7 | 163,2 | 133,2 | 117,6 | 91,3 | 78,2 |
| 4 | 7:00 - 8:00 | 67,5 | 72,6 | 88,4 | 116,2 | 129,6 | 165,5 | 194,2 | 222,7 | 244,6 | 255,9 | 267,6 | 284,9 |
| | 8:00 - 9:00 | 297,6 | 326,2 | 352,4 | 376,1 | 418,2 | 439,6 | 462,6 | 506,7 | 548,1 | 577,9 | 625,3 | 662,2 |
| | 9:00 - 10:00 | 661,6 | 675,8 | 692,3 | 701,9 | 712,3 | 721,2 | 733,6 | 735,9 | 747,2 | 755,3 | 764,2 | 774,9 |
| | 10:00 - 11:00 | 747,7 | 704,3 | 672,1 | 643,2 | 607,3 | 575,9 | 535,7 | 502,2 | 459,1 | 416,4 | 372,3 | 343,9 |
| | 11:00 - 12:00 | 325,2 | 358,9 | 362,3 | 388,3 | 426,4 | 479,7 | 523,2 | 579,6 | 629,7 | 694,6 | 726,3 | 799,6 |
| | 12:00 - 13:00 | 826,4 | 878,9 | 893,2 | 918,6 | 923,7 | 896,2 | 866,8 | 853,2 | 844,7 | 837,9 | 831,4 | 827,1 |
| | 13:00 - 14:00 | 813,5 | 809,2 | 796,5 | 791,2 | 783,4 | 769,7 | 763,2 | 744,9 | 736,1 | 727,5 | 720,1 | 716,2 |

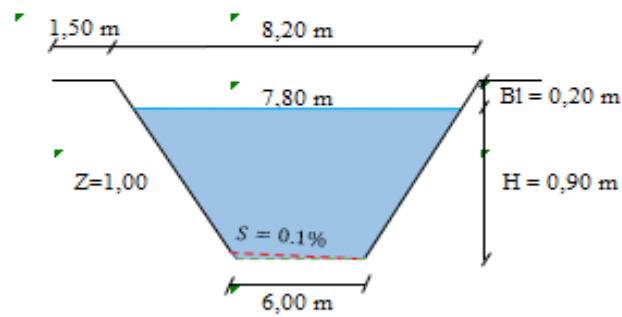
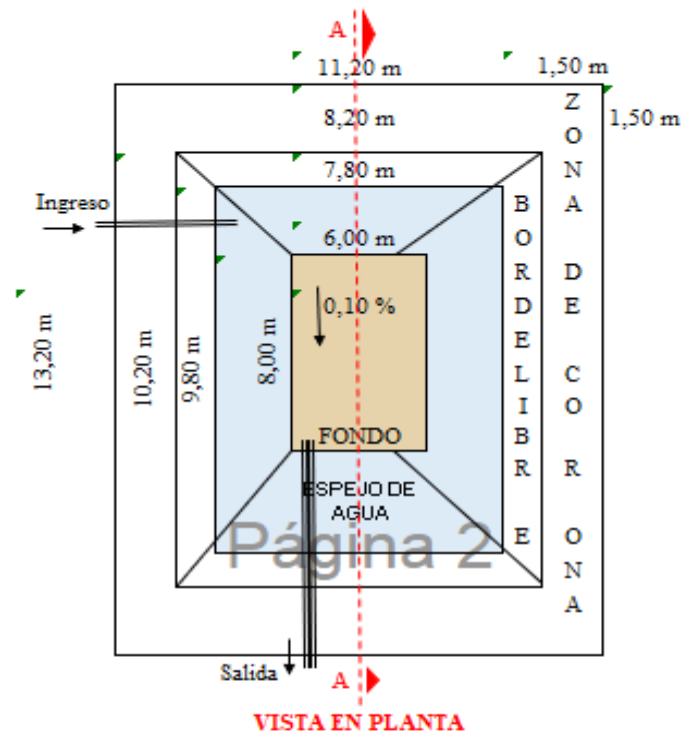
| | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 14:00 - 15:00 | 712,4 | 706,3 | 705,2 | 698,4 | 688,2 | 664,2 | 657,9 | 644,7 | 642,2 | 638,2 | 631,0 | 627,3 |
| | 15:00 - 16:00 | 665,7 | 633,1 | 631,7 | 603,4 | 581,4 | 562,7 | 521,3 | 513,6 | 478,6 | 416,2 | 378,9 | 334,3 |
| | 16:00 - 17:00 | 296,9 | 274,2 | 256,8 | 235,7 | 202,7 | 188,4 | 180,2 | 146,2 | 102,7 | 89,7 | 77,6 | 71,8 |
| 5 | 7:00 - 8:00 | 67,6 | 79,7 | 94,6 | 118,5 | 155,2 | 181,1 | 210,4 | 229,9 | 244,2 | 255,4 | 267,1 | 282,9 |
| | 8:00 - 9:00 | 297,6 | 322,9 | 349,5 | 382,3 | 413,8 | 432,8 | 466,7 | 504,6 | 542,3 | 592,9 | 621,8 | 662,3 |
| | 9:00 - 10:00 | 661,6 | 688,4 | 692,3 | 709,8 | 721,2 | 736,3 | 742,3 | 745,8 | 747,6 | 750,1 | 766,7 | 770,4 |
| | 10:00 - 11:00 | 741,6 | 848,9 | 753,7 | 767,8 | 769,2 | 774,7 | 782,1 | 790,8 | 815,4 | 823,6 | 831,3 | 833,2 |
| | 11:00 - 12:00 | 846,3 | 855,4 | 862,3 | 866,3 | 871,7 | 886,3 | 893,4 | 901,6 | 903,7 | 912,2 | 915,9 | 922,9 |
| | 12:00 - 13:00 | 924,6 | 931,7 | 926,8 | 918,7 | 903,6 | 868,6 | 863,9 | 857,8 | 848,2 | 836,3 | 829,1 | 825,3 |
| | 13:00 - 14:00 | 816,2 | 807,3 | 795,2 | 783,9 | 771,4 | 769,3 | 762,7 | 758,2 | 736,7 | 735,9 | 728,7 | 722,6 |
| | 14:00 - 15:00 | 716,8 | 705,3 | 697,8 | 692,6 | 676,3 | 668,2 | 653,8 | 641,9 | 634,3 | 633,2 | 624,1 | 615,9 |
| | 15:00 - 16:00 | 657,3 | 645,2 | 635,9 | 618,2 | 582,3 | 564,3 | 527,8 | 488,7 | 432,9 | 399,4 | 372,8 | 331,9 |
| | 16:00 - 17:00 | 288,8 | 276,7 | 232,3 | 219,6 | 201,3 | 191,0 | 184,7 | 165,6 | 138,3 | 95,1 | 78,7 | 68,2 |

DISEÑO HIDRÁULICO DE RESERVORIO

| 1. DATOS: | Medida | Und |
|---|---------------|-------------------|
| * Altura Mayor del Agua (h) | 0,90 | m |
| * Borde Libre (Bl) | 0,20 | m |
| * Talud (Z) | 1,00 | |
| * Pendiente (Transversal al Largo del Fondo) | 0,10 | % |
| * Caudal de Entrada (Qe) | 9,14 | m ³ /h |
| * Tiempo de Embalse (Te) | 5,80 | h |
| * Ø Tubería de ingreso | 2,00 | pulg |
| * Ancho de Corona (Obtenido del Cálculo Estructural) | 1,50 | m |
| * Largo del Fondo (l) | 8,00 | m |
| * Ancho del Fondo (a) | 6,00 | m |
| | | |
| 2. CÁLCULOS HIDRÁULICOS: | | |
| * Volumen Neto de Diseño (Vn) | 53,00 | m ³ |
| * Área del Fondo (Af) | 48,00 | m ² |
| * Largo del Espejo de Agua (L) | 9,80 | m |
| * Ancho del Espejo de Agua (B) | 7,80 | m |
| * Área del Espejo de agua (A) | 76,44 | m ² |
| * Largo de Borde Superior (Lt) | 10,20 | m |
| * Ancho del Borde Superior (Bt) | 8,20 | m |
| * Área del Borde Superior (At) | 83,64 | m ² |
| * Altura Menor del Agua (h') | 0,894 | m |
| * Área a la Altura que se llega con la Pendiente (Ap) | 48,17 | m ³ |
| * Reducción de Volumen por Pendiente (Vp) | 0,1444 | m ³ |
| * Volumen Neto Calculado (Vnc) | 55,36 | m ³ |
| * Volumen Neto Total (Incluido Borde Libre) | 71,36 | m ³ |
| | | |
| 3. CÁLCULOS DE LA CORONA: | | |
| * Largo de la Corona (Parte Externa) | 13,20 | m |
| * Ancho de la Corona (Parte Externa) | 11,20 | m |
| | | |
| 4. ÁREA DE LA GEOMEMBRANA: | | |
| * Área de la zona de corona | 64,20 | m ² |
| * Área del fondo | 48,00 | m ² |

| | | |
|--------------------------|--------|----------------|
| * Área de espejo de agua | 44,91 | m ² |
| * Área del bode libre | 10,18 | m ² |
| * Área de la geomembrana | 167,29 | m ² |

DISEÑO HIDRÁULICO DE RESERVORIO



Anexo 12. Informe PVsyst.



Versión 7.4.2

PVsyst - Informe de simulación

Sistema de bombeo FV

Proyecto: DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR - JAYANCA

Variante: Nueva variante de simulación

Sistema de bombeo FV

Potencia del sistema: 2430 Wp

DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR - JAYANCA - Perú

Autor(a)

Luis Gerardo Vilchez Comejo (Peru)



Proyecto: DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR - JAYANCA

PVsyst V7.4.2

VC0, Fecha de simulación:
04/10/23 00:41
con v7.4.2

Variante: Nueva variante de simulación

Luis Gerardo Vilchez Cornejo (Peru)

Resumen del proyecto

| Sitio geográfico | Situación | Configuración del proyecto |
|---|--------------------|----------------------------|
| DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR - JAYANCA | -8.43 °S | Albedo 0.20 |
| Perú | Longitud -79.63 °W | |
| | Altitud 134 m | |
| | Zona horaria UTC-5 | |
| Datos meteo | | |
| DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR - JAYANCA | | |
| Meteonorm 8.1 (2016-2021), Sat=100% - Sintético | | |

Resumen del sistema

| Sistema de bombeo FV | Pozo a depósito |
|--------------------------------|------------------------------|
| Orientación campo FV | Necesidades de agua |
| Plano fijo | Constante anual 53.00 m³/día |
| Inclinación/Azimut 8 / 0 ° | |
| Información del sistema | |
| Generador FV | |
| Núm. de módulos 6 unidades | |
| Pnom total 2430 Wp | |

Resumen de resultados

| Agua | Energía | Eficiencias |
|------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|
| Agua bombeada 19159 m³ | Energía en la bomba 3336 kWh | Eficiencia del sistema 72.5 % |
| Específico 2251 m³/kWp/bar | Específico 0.17 kWh/m³ | Eficiencia de la bomba 56.8 % |
| Necesidades de agua 19345 m³ | Sin usar (tanque lleno) | |
| Agua faltante 1.0 % | Energía FV no utilizada 641 kWh | |
| | Fración no utilizada 13.9 % | |

Tabla de contenido

| | |
|---|---|
| Resumen de proyectos y resultados | 2 |
| Parámetros generales, Características del generador FV, Pérdidas del sistema. | 3 |
| Resultados principales | 5 |
| Diagrama de pérdida | 6 |
| Gráficos predefinidos | 7 |



Proyecto: DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR -
JAYANCA

Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.2

VCD, Fecha de simulación:
04/10/23 00:41
con v7.4.2

Luis Gerardo Vilchez Cornejo (Peru)

Pérdidas del sistema.

Factor de pérdida térmica

Temperatura módulo según irradiancia
Uc (const) 20.0 W/m²K
Uv (viento) 0.0 W/m²K/m/s

Pérdidas de cableado CC

Res. conjunto global 367 mΩ
Frac. de pérdida 1.5 % en STC

Pérdida de calidad módulo

Frac. de pérdida -0.8 %

Pérdidas de desajuste de módulo

Frac. de pérdida 2.0 % en MPP

Factor de pérdida IAM

Efecto de incidencia (IAM): Fresnel, revestimiento AR, n(vidrio)=1.526, n(AR)=1.290

| 0° | 30° | 50° | 60° | 70° | 75° | 80° | 85° | 90° |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1.000 | 0.999 | 0.987 | 0.962 | 0.892 | 0.816 | 0.681 | 0.440 | 0.000 |



Proyecto: DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR - JAYANCA

PVsyst V7.4.2

VCO, Fecha de simulación:
04/10/23 00:41
con v7.4.2

Variante: Nueva variante de simulación

Luis Gerardo Vilchez Cornejo (Peru)

Resultados principales

Producción del sistema

| | |
|---------------------|------------------------------|
| Agua | |
| Agua bombeada | 19159 m ³ |
| Específico | 2251 m ³ /kWp/bar |
| Necesidades de agua | 19345 m ³ |
| Agua faltante | 1.0 % |

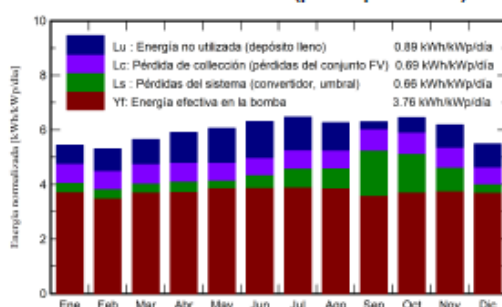
Energía

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| Energía en la bomba | 3336 kWh |
| Específico | 0.17 kWh/m ³ |
| Sin usar (tanque lleno) | |
| Energía FV no utilizada | 641 kWh |
| Fracción no utilizada | 13.9 % |

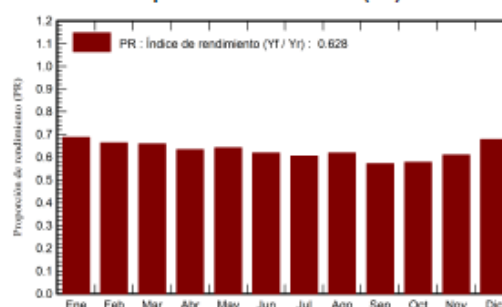
Eficiencias

| | |
|------------------------|--------|
| Eficiencia del sistema | 72.5 % |
| Eficiencia de la bomba | 58.8 % |

Producciones normalizadas (por kWp instalado)



Proporción de rendimiento (PR)



Balances y resultados principales

| | GlobEff kWh/m ² | EArrMPP kWh | E_PmpOp kWh | ETkFull kWh | H_Pump medAgua | WPumped m ³ | W_Used m ³ | W_Miss m ³ |
|------------|-------------------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Enero | 164.2 | 351.2 | 281.7 | 40.63 | 35.54 | 1651 | 1637 | 5.94 |
| Febrero | 144.9 | 306.7 | 239.2 | 40.57 | 35.33 | 1419 | 1421 | 62.94 |
| Marzo | 171.1 | 362.3 | 280.5 | 51.59 | 35.60 | 1636 | 1634 | 8.64 |
| Abril | 173.5 | 369.9 | 273.0 | 63.98 | 35.71 | 1565 | 1575 | 14.61 |
| Mayo | 184.0 | 395.3 | 292.7 | 76.72 | 35.92 | 1654 | 1643 | 0.00 |
| Junio | 185.4 | 402.1 | 284.5 | 79.81 | 36.04 | 1590 | 1590 | 0.00 |
| Julio | 196.7 | 426.3 | 294.9 | 75.04 | 36.06 | 1643 | 1643 | 0.00 |
| Agosto | 190.4 | 414.4 | 292.1 | 62.97 | 35.99 | 1643 | 1643 | 0.00 |
| Septiembre | 185.3 | 400.7 | 262.4 | 15.58 | 35.56 | 1511 | 1511 | 79.00 |
| Octubre | 195.6 | 422.6 | 280.7 | 33.29 | 35.64 | 1614 | 1614 | 28.51 |
| Noviembre | 180.6 | 391.1 | 274.8 | 49.67 | 35.61 | 1590 | 1590 | 0.00 |
| Diciembre | 165.2 | 357.6 | 280.0 | 50.87 | 35.56 | 1644 | 1643 | 0.00 |
| Año | 2136.9 | 4600.2 | 3336.5 | 640.73 | 35.71 | 19159 | 19145 | 199.63 |

Leyendas

| | | | |
|---------|--|---------|------------------------------|
| GlobEff | Global efectivo, corr. para IAM y sombreados | WPumped | Volumen de agua bombeada |
| EArrMPP | Energía virtual del conjunto en MPP | W_Used | Agua extraída por el usuario |
| E_PmpOp | Energía de funcionamiento de la bomba | W_Miss | Agua faltante |
| ETkFull | Energía no utilizada (tanque lleno) | | |
| H_Pump | Presión total promedio en la bomba | | |



Proyecto: DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR - JAYANCA

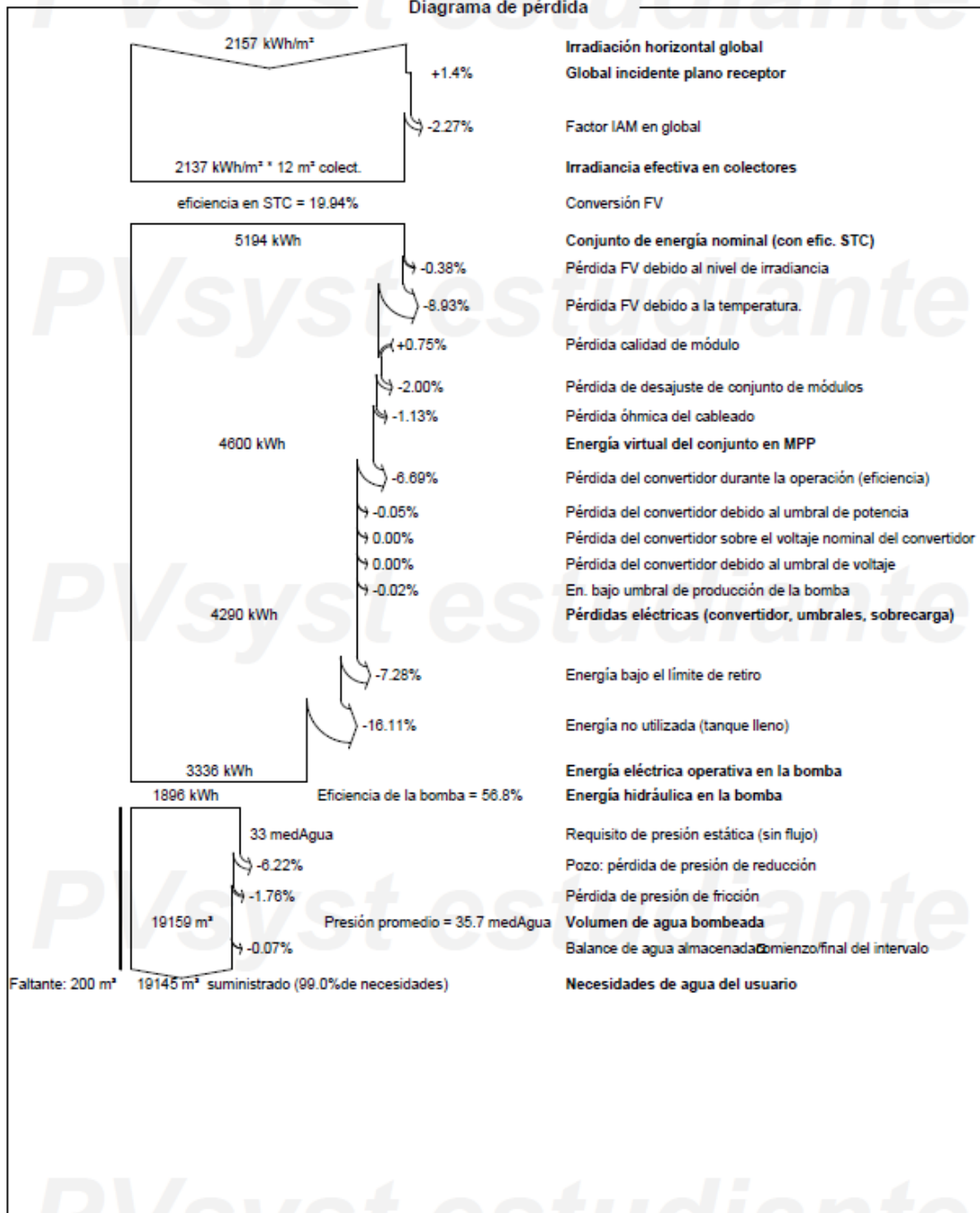
Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.2

VCD, Fecha de simulación:
04/10/23 00:41
con v7.4.2

Luis Gerardo Vilchez Cornejo (Peru)

Diagrama de pérdida





Proyecto: DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR - JAYANCA

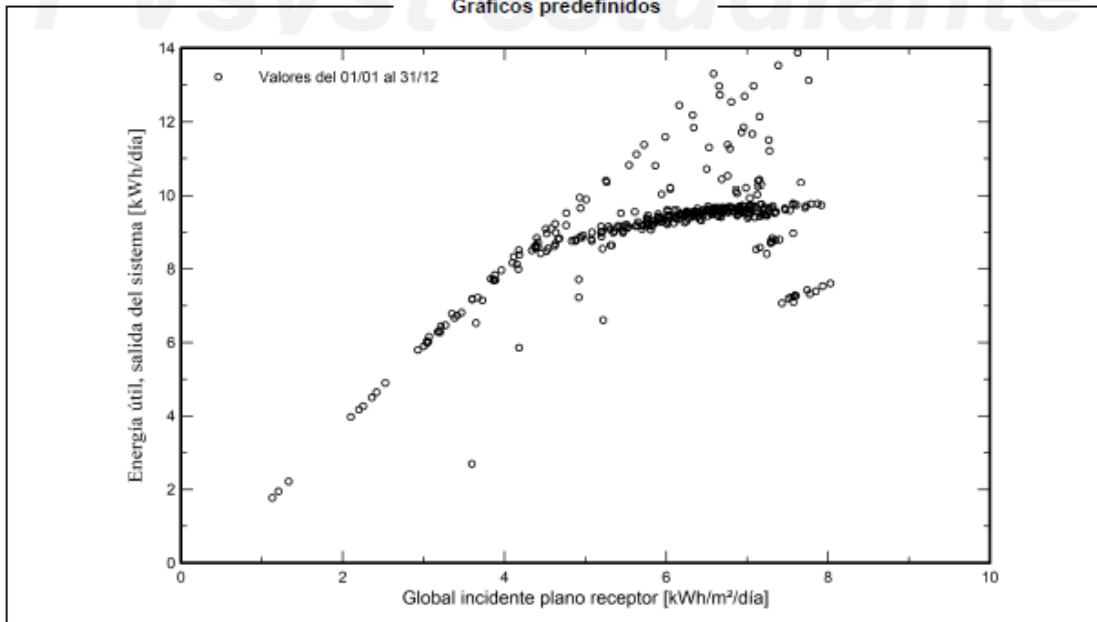
Variante: Nueva variante de simulación

PVsyst V7.4.2

VCO, Fecha de simulación:
04/10/23 00:41
con v7.4.2

Luis Gerardo Vilchez Cornejo (Peru)

Gráficos predefinidos



PVsyst estudiante

PVsyst estudiante


PVsyst estudiante

Anexo 13. Ficha técnica del panel solar marca Trina modelo TSM – DE15M(II).

Mono Multi Solutions

TALLMAX^M

TSM-DE15M(II)



144 HALF-CUT MONOCRYSTALLINE CELLS

390-415W POWER OUTPUT RANGE





20.7% MAXIMUM EFFICIENCY





0/+5W POSITIVE POWER TOLERANCE


Founded in 1997, Trina Solar is the world's leading comprehensive solutions provider for solar energy. We believe close cooperation with our partners is critical to success. Trina Solar now distributes its PV products to over 60 countries all over the world. Trina Solar is able to provide exceptional service to each customer in each market and supplement our innovative, reliable products with the backing of Trina Solar as a strong, bankable partner. We are committed to building strategic, mutually beneficial collaboration with installers, developers, distributors and other partners.

Comprehensive Product And System Certificates

IEC61215/IEC61730/UL1703
IEC61701 Salt Mist Corrosion
IEC62716 Ammonia Corrosion
IEC60068 Blowing Sand
ISO9001; ISO14001; OHSAS18001










High power output

- Multi busbar technology combined with mono PERC cells
- Reduced BOS costs with higher power bins and 1,500V system voltage
- Consistently high bankability ratings by BNEF, banks and investors




Half-cut cell design brings higher efficiency

- Optimized power output under inter-row shading conditions
- Low thermal coefficients for higher energy yield at elevated operating temperatures
- Reduced interconnection losses



Highly reliable due to stringent quality control

- Over 30 in-house tests (UV, TC, HF, and many more)
- In-house testing goes well beyond certification requirements
- PID resistant
- 2x 100% inline EL inspection

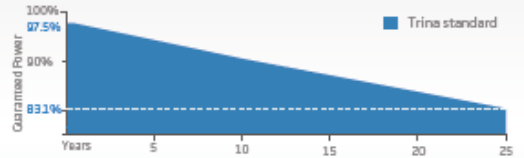


Certified to withstand challenging environmental conditions


- Salt Mist Corrosion
- Ammonia Corrosion
- Blowing Sand

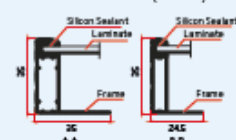
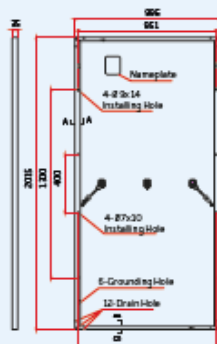
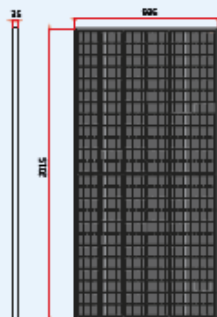
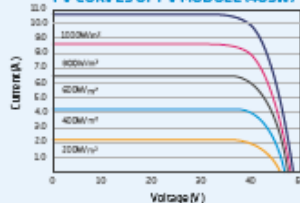
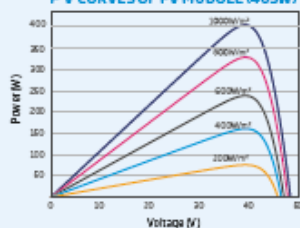
PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty · 25 Year Power Warranty



From the 2nd year to the 25th year, the average annual power decline will be no more than 0.5%.



DIMENSIONS OF PV MODULE
TSM-DE15M(II) (unit: mm)

I-V CURVES OF PV MODULE (405W)

P-V CURVES OF PV MODULE (405W)


| ELECTRICAL DATA @ STC | TSM-390 DE15M(II) | TSM-395 DE15M(II) | TSM-400 DE15M(II) | TSM-405 DE15M(II) | TSM-410 DE15M(II) | TSM-415 DE15M(II) |
|---------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Peak Power Watts- P_{max} (Wp)* | 390 | 395 | 400 | 405 | 410 | 415 |
| Power Output Tolerance- P_{max} (W) | 0/+5 | 0/+5 | 0/+5 | 0/+5 | 0/+5 | 0/+5 |
| Maximum Power Voltage- U_{mp} (V) | 40.0 | 40.1 | 40.3 | 40.5 | 40.7 | 40.9 |
| Maximum Power Current- I_{mp} (A) | 9.75 | 9.86 | 9.92 | 10.0 | 10.07 | 10.15 |
| Open Circuit Voltage- U_{oc} (V) | 48.5 | 48.7 | 49.0 | 49.2 | 49.4 | 49.6 |
| Short Circuit Current- I_{sc} (A) | 10.30 | 10.37 | 10.45 | 10.52 | 10.59 | 10.66 |
| Module Efficiency η_p (%) | 19.4 | 19.7 | 19.9 | 20.2 | 20.4 | 20.7 |

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass 1.5
 * Measuring tolerance: ±3%

| ELECTRICAL DATA @ NMOT | TSM-390 DE15M(II) | TSM-395 DE15M(II) | TSM-400 DE15M(II) | TSM-405 DE15M(II) | TSM-410 DE15M(II) | TSM-415 DE15M(II) |
|-------------------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Maximum Power- P_{max} (Wp) | 295 | 299 | 302 | 306 | 310 | 314 |
| Maximum Power Voltage- U_{mp} (V) | 37.6 | 37.8 | 38.0 | 38.2 | 38.4 | 38.6 |
| Maximum Power Current- I_{mp} (A) | 7.84 | 7.90 | 7.95 | 8.01 | 8.07 | 8.13 |
| Open Circuit Voltage- U_{oc} (V) | 45.7 | 45.9 | 46.2 | 46.4 | 46.6 | 46.8 |
| Short Circuit Current- I_{sc} (A) | 8.30 | 8.36 | 8.42 | 8.47 | 8.53 | 8.58 |

NMOT: Irradiance 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1m/s.

MECHANICAL DATA

| | |
|----------------------|--|
| Solar Cells | Monocrystalline |
| Cell Orientation | 144 cells (6x 24) |
| Module Dimensions | 2015 × 996 × 35 mm |
| Weight | 22.0 kg |
| Glass | 3.2 mm, High Transmission, AR Coated Heat Strengthened Glass |
| Encapsulant Material | EVA |
| Backsheet | White |
| Frame | 35 mm Anodized Aluminium Alloy |
| J-Box | IP 68 rated |
| Cables | Photovoltaic Cable 4.0mm ² Portrait: N 140mm/P 285mm, Landscape: N 1400 mm/P 1400 mm |
| Connector | TS4 |

TEMPERATURE RATINGS

| | |
|---|------------|
| NMOT (Nominal Module Operating Temperature) | 41°C (±3K) |
| Temperature Coefficient of P_{max} | -0.36%/K |
| Temperature Coefficient of U_{oc} | -0.26%/K |
| Temperature Coefficient of I_{sc} | 0.04%/K |

MAXIMUM RATINGS

| | |
|-------------------------|--------------------|
| Operational Temperature | -40 to +85°C |
| Maximum System Voltage | 1500V DC (IEC) |
| Max Series Fuse Rating | 20A |
| Snow Load | 5400 Pa (3600Pa*) |
| Wind Load | 2400 Pa (1600 Pa*) |

* design load with safety factor 1.5
 (DO NOT connect Fuse in Combiner Box with two or more strings in parallel connection)

PACKAGING CONFIGURATION

| | |
|----------------------------|------------|
| Modules per box: | 30 pieces |
| Modules per 40' container: | 660 pieces |

WARRANTY

| |
|--------------------------------------|
| 10 year Product Workmanship Warranty |
| 25 year Linear Performance Warranty |

(Please refer to product warranty for details)

Anexo 14. Ficha técnica de bomba sumergible y controlador marca Lorentz modelo PS 4 000 [105].

LORENTZ 

PS4000 C-SJ8-15

Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

Gama de sistemas

| | |
|--------|---------------------------|
| Altura | max. 80 m |
| Flujo | max. 14 m ³ /h |

Datos técnicos

Controlador PS4000

- Entradas de control para protección contra operación en seco, control remoto, etc.
- Protegido contra polaridad reversa, sobre carga y temperatura excesiva
- MPPT (Maximum Power Point Tracking) Integrado

| | |
|--------------------|-------------|
| Potencia | max. 4,0 kW |
| Voltaje de entrada | max. 375 V |
| Óptimo Vmp* | → 238 V |
| Corriente motor | max. 15 A |
| Eficiencia | max. 98 % |
| Temp. del ambiente | -30...50 °C |
| Modo de protección | IP54 |

Motor ECDRIVE 4000-C

- Motor CD sin escobillas - libre de mantenimiento
- Llenada de agua
- Materiales Premium, acero Inoxidable: AISI 304/316
- Sin elementos electrónicos en el motor

| | |
|----------------------|-----------------|
| Potencia nominal | 3,5 kW |
| Eficiencia | max. 92 % |
| Revoluciones motor | 900...3.300 rpm |
| Clase de aislamiento | F |
| Modo de protección | IP68 |
| Inmersión | max. 250 m |

Cabeza de bomba PE C-SJ8-15

- Válvula no retorno
- Materiales Premium, acero Inoxidable: AISI 304
- Opcional: protección contra operación en seco
- Centrifugal pump

Undidad de bomba PU C-SJ8-15 (Motor, Cabeza de bomba)

| | |
|-------------------------|-------------|
| Diámetro de perforación | min. 4,0 in |
| Temperatura del agua | max. 50 °C |

Normas



2006/42/EC, 2004/108/EC, 2006/95/EC

Meets the requirements of:
IEC/EN 61702:1995,
IEC/EN 62253 Ed.1

El logo refleja la aprobación que ha sido garantizada para este producto familiar. Los productos son ordenados con la aprobaciones específicas que el mercado requiere.

*Vmp: Voltaje máximo de carga bajo STC



BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
Kroegerskoppel 7, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany,
Tel +49 (0)4193 7548-0, Fax -29, www.lorentz.de



Creado por LORENTZ COMPASS 3.0.10.93

Todas las especificaciones e información están dadas con buenas intenciones. Los errores son posibles y los productos pueden estar sujetos a cambios sin ninguna notificación. Las fotografías pueden diferenciar de los productos actuales dependiendo de los requerimientos y regularizaciones del mercado local.

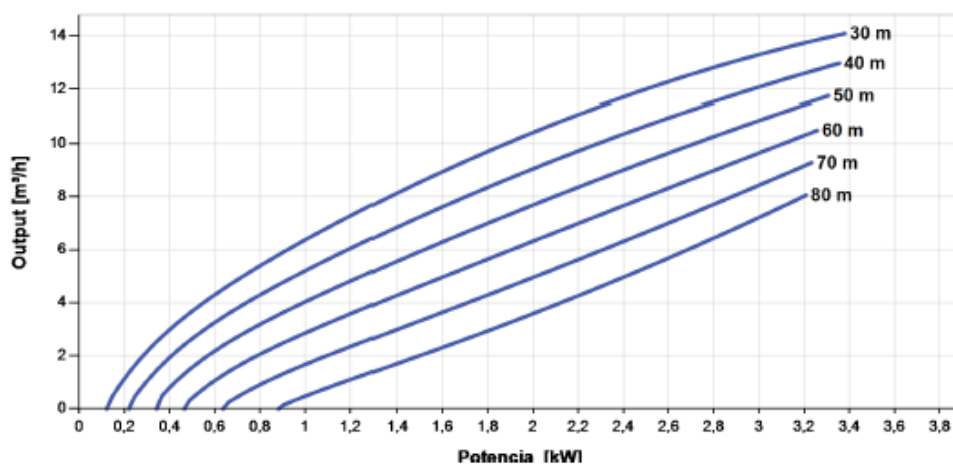
Sun. Water. Life.

PS4000 C-SJ8-15

Sistema de bomba inmersa para pozos de 4"

Plantilla de datos de la bomba

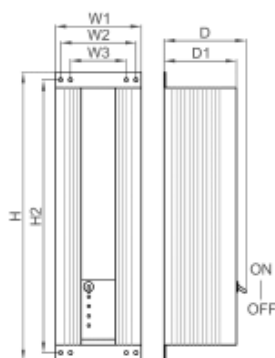
Vmp* > 238 V



Dimensiones y pesos

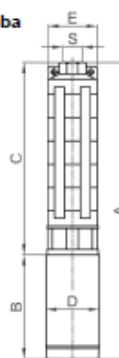
Controlador

H = 595 mm
 H2 = 563 mm
 W1 = 178 mm
 W2 = 156 mm
 W3 = 116 mm
 D = 165 mm
 D1 = 150 mm



Unidad de bomba

A = 1.118 mm
 B = 245 mm
 C = 873 mm
 D = 96 mm
 E = 98 mm
 S = 2 in



| | Peso neto |
|-----------------|-----------|
| Controlador | 9,0 kg |
| Unidad de bomba | 21 kg |
| Motor | 10 kg |
| Cabeza de bomba | 11 kg |

*Vmp: Voltaje máximo de carga bajo STC

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
 Kroegerskoppel 7, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany.
 Tel +49 (0)4193 7548-0, Fax +49 (0)4193 7548-1, www.lorentz.de

Creado por LORENTZ COMPASS 3.0.10.93

Todas las especificaciones e información están dadas con buenas intenciones. Los errores son posibles y los productos pueden estar sujetos a cambios sin ninguna notificación. Las fotografías pueden diferenciar de los productos actuales dependiendo de los requerimientos y regularizaciones del mercado local.

Sun. Water. Life.



Well Probe

Mechanically Activated Device for Dry Run Protection in Applications with LORENTZ Solar Pump Systems

The switch can be used to detect the water level within a well. When the water level in the well dropped below the level of the well probe, the LORENTZ Controller will stop the pump and indicates Source Low LED.

ORDER INFORMATION

- Item no.: 19-000000 product name: Well probe sensor

FEATURES

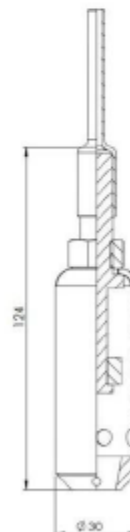
- Reliable dry run protection
- Simple to install
- Trouble free operation
- Corrosion-free
- Splicing kit included

TECHNICAL DATA

- Max. operating temperature 55 °C
- Enclosure class: IP68
Submersion depth: max 50 m
- Cable length: 1.5m
- Wire size: 2x 0.75mm² or AWG 19, waterproofed
- Mounted in vertical position
- Meets the requirements for CE

DIMENSION/WEIGHT

- Packaging dimensions: 260 x 170 x 40 mm
10.3 x 6.7 x 1.6 in
- Total weight: 0.1 kg / 0.2 lbs



LORENTZ 

Float Switch

Mechanically Activated Device for Water Level Detection in Applications with LORENTZ Solar Pump Systems

The switch can be used to detect the water level within a tank. When the water level in the tank reaches the maximum, the LORENTZ Controller will stop the pump and indicates Tank Full LED.

ORDER INFORMATION

- Item no.: 19-000030 product name: Float Switch

FEATURES

- N.O. (normally open) and N.C. (normally closed) function
- Reliable water level detection
- Simple to install
- Trouble free operation
- Not sensitive to rotation
- Corrosion-free

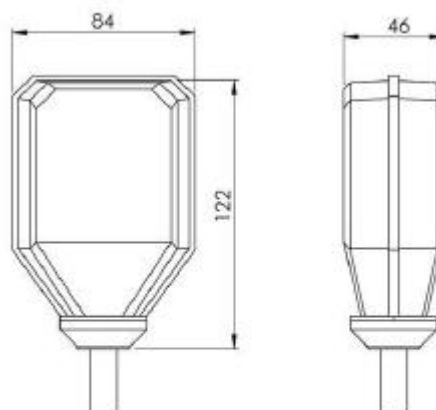


TECHNICAL DATA

- Operating temperature: -10°C to 55°C
- Storage temperature: -10°C to 55°C
- Enclosure class: IP68
- Cable length: 3m, waterproof
- Wire size: 3x 1.0mm² or AWG 18
- Meets the requirements for CE

DIMENSION/WEIGHT

- Packaging dimensions: 230 x 160 x 55 mm
9.1 x 6.3 x 2.2 in
- Total weight: 0.8 kg / 1.8 lbs



BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
Slebenstuecken 24, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany
Tel +49 (0)4193 8806-700, www.lorentz.de

Sun. Water. Life.

All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice. Pictures may differ from actual products depending on local market requirements and regulations.

LORENTZ

Surge Protector

Device to Protect LORENTZ Pump Accessories from Voltage Spikes

ORDER INFORMATION

- Item no.: 19-000280 product name: Surge Protector

FEATURES

- Reliable surge protection for all LORENTZ pump accessories
- Can be installed inside the PS Controller

TECHNICAL DATA

- Max. voltage: 14 VDC
- Max current 8/20 μ s: 500 A
- Enclosure class: IP65
- Ambient temperature: max. 50°C
- Wire size: 2x 1.5mm² or AWG 16
- Meets the requirements for CE



DIMENSION/WEIGHT

- Packing dimensions: 70 x 45 x 20 mm
2.8 x 1.8 x 0.8 in
- Total weight 0.1 kg / 0.2 lbs

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
 Siebenstuecken 24, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany
 Tel +49 (0)4193 8806-700, www.lorentz.de

All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice.
 Pictures may differ from actual products depending on local market requirements and regulations.

Sun. Water. Life.

LORENTZ

PV Disconnect 440-40-1

Box with DC Disconnect Switch and optional lightning surge protection

ORDER INFORMATION

- Item no.: 19-000137 product name: PV Disconnect 440-40-1
- Item no.: 19-002120 product name: MNSPD-115
- Item no.: 19-002130 product name: MNSPD-300
- Item no.: 19-002140 product name: MNSPD-600

Lightning surge protectors must be ordered separately

FEATURES

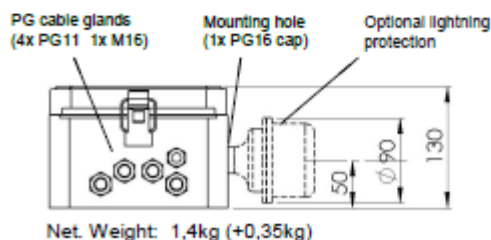
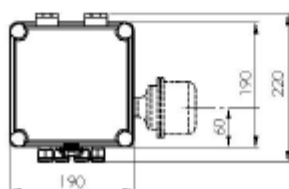
- Designed for PS150 – PS4000
- For professional installation of pumping systems

TECHNICAL DATA

- DC rated disconnect switch enclosed
- Enclosure class IP 54
- Meets the requirements for CE

| PV Disconnect 440-20-1 | |
|------------------------|------------------------|
| Max. voltage | 440 V DC |
| Max. current | 40 A |
| String cable size | 4 - 10 mm ² |
| Output cable size | 4 - 10 mm ² |

DIMENSION/WEIGHT [mm]



Optional lightning surge protector

- Connects through an existing mounting hole in the PV connect housing
- Proper grounding of the device is mandatory to achieve protection

| Controller | MidNite surge protector |
|----------------|-------------------------|
| PS150 – PS200 | MNSPD115 |
| PS600 – PS1800 | MNSPD300 |
| PS4000 | MNSPD600 |

BERNT LORENTZ GmbH & Co. KG
 Siebenstuecken 24, 24558 Henstedt-Ulzburg, Germany
 Tel +49 (0)4193 8806-700, www.lorentz.de

Sun. Water. Life.

All specifications and information are given with good intent, errors are possible and products may be subject to change without notice. Pictures may differ from actual products depending on local market requirements and regulations

Anexo 19. Ficha técnica del conductor RPVU 90.

RPVU90 2 kV

Contacto
Venta Local
ventas.peru@nexans.com

Para la interconexión de sistemas de energía fotovoltaicos.

DESCRIPCIÓN**Aplicación:**

Se utiliza para el cableado de interconexión de un sistema de energía fotovoltaica con toma de tierra y sin conexión a tierra descrito en la CSA 22.2 N°271.

Adecuados para sistemas de corriente continua (CC) y corriente alterna (CA), destinados a instalaciones de acuerdo con el Código Eléctrico Canadiense, Parte I.

Se puede utilizar en instalaciones enterradas, en ductos o al aire libre, en ambientes secos o húmedos.

Construcción:

1. Conductor: Cobre blando, clase B.
2. Aislamiento: Polietileno reticulado XLPE antillama.

Principales características:

El cable está diseñado para trabajar a una temperatura máxima de operación de 90°C y una temperatura mínima de -40°C. Resistente a la abrasión, humedad y calor, alta resistencia de aislamiento. Resistencia a los rayos solares. Resistencia al aceite y a la gasolina. Resistente a la propagación vertical de la llama CSA C22.2 No 2556/FT1 y CSA C22.2 No 2556/VW-1. Resistente a la propagación horizontal de la llama CSA C22.2 No 2556/FT2.

Calibre:

10 AWG y 8 AWG.

Marcación:

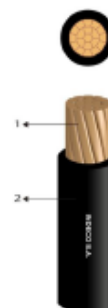
INDECO S.A. RPVU90 2 kV - Calibre - Año - Metrado secuencial.

Embalaje:

En carretes de madera no retornables.

Color:

Negro o Rojo.

**NORMAS**

Nacional ASTM B 8;
CSA C22.2 N° 271; CSA C22.2 N
° 2556; CSA C22.2 N° 38



Tensión de operación
2 kV



Resistencia a aceites
CSA C22.2 N° 2568/4.2.8.3
- Resistencia a aceite



No propagación de la llama
CSA C22.2 N° 2568/8.4 -
VW1 Encendido de llama



Resist. Radiación UV
CSA C22.2 N° 2568/4.2.8.6
- Resistencia a los rayos
solares



Temperatura mínima
operación
-40 °C



Temperatura máxima
operación
90 °C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser considerados como que constituyen una representación de la parte de Nexans.
Generado 20/06/23 www.nexans.pe Página 1 / 4

INDECO
by Nexans

RPVU90 2 kV

Contacto
Venta Local
ventas.peru@nexans.com

Características de uso

| | |
|--|--------|
| Temperatura de sobrecarga de emergencia | 130 °C |
| Temperatura máxima del conductor en corto-circuito | 250 °C |

DATOS DIMENSIONALES AWG

| ITEM | Calibre (AWG/ KCMIL) | Nº total alambres | Diam. Conductor [mm] | Mín. espes Aislam. [mm] | Diam. Nom. Exterior [mm] | Peso aprox. [kg/km] |
|------|-------------------------|----------------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|
| 01 | 10 | 7 | 2.8 | 1.52 | 6.1 | 81 |
| 02 | 8 | 7 | 3.4 | 1.78 | 7.1 | 120 |

DATOS ELÉCTRICOS AWG

| ITEM | Calibre (AWG/ KCMIL) | Max. DC Resist. Cond. 20°C [Ohm/km] | Rigidez dieléctri ca [kV] | Tiempo Rigidez Dielectrica Vca al aislamiento [min.] | Capac. Corriente ducto/enterrado a 30°C [A] | Capac. Corriente aire 30°C [A] | Capacitancia Nominal [pF/m] |
|------|-------------------------|--|------------------------------------|--|--|---|-----------------------------------|
| 01 | 10 | 3.409 | 6.0 | 1 | 40 | 55 | 178.0 |
| 02 | 8 | 2.144 | 7.5 | 1 | 55 | 80 | 189.0 |

LISTA DE PRODUCTOS

| Ref. Nexans | Ref. de País | Nombre | Calibre (AWG/ KCMIL) | Diámetro del conductor [mm] | Mínimo espesor de aislamiento [mm] |
|---------------|-----------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------------------|--|
| ☎ P00032345-0 | - | RPVU90 2 kV 10 AWG | 10 | 2.8 | 1.52 |
| ☎ P00032346-0 | - | RPVU90 2 kV 10 AWG | 10 | 2.8 | 1.52 |
| ☎ P00032347-0 | - | RPVU90 2 kV 8 AWG | 8 | 3.4 | 1.78 |

☎ = Realizar pedido, 📦 = Reservar stock,



Tensión de operación
2 kV



Resistencia a aceites
CBA C22.2 Nº 2568/4.2.8.3
- Resistencia a aceites



No propagación de la llama
CBA C22.2 Nº 2568/8.4 -
VW1 Encayo de llama



Resist. Radiación UV
CBA C22.2 Nº 2568/4.2.8.5
- Resistencia a los rayos
solares



Temperatura mínima
operación
-40 °C



Temperatura máxima
operación
80 °C

Todos los dibujos, diseños, especificaciones, planos y detalles sobre pesos, dimensiones, etc. contenidos en la documentación técnica o comercial de Nexans son puramente indicativos, y no serán contractuales para Nexans, ni podrán ser consideradas como que constituyen una representación de la parte de Nexans.
Generado 20/09/23 www.nexans.pe Página 3 / 4

INDECO
by Nexans

Anexo 20. Certificado de calibración del telurómetro.



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

N° 2210330



Página 1 de 2

Área de Metrología

Laboratorio de Calibración

I. Datos Generales

Solicitante: INGENIERÍA, SERVICIOS ELÉCTRICOS, MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD E.I.R.L.

Dirección: Los Duraznos Mz. B2, Lt. 25, A.H. Milagro de Dios, Jose Leonardo Ortiz, Chiclayo, Lambayeque.

N° de Expediente: 1 0930 001 22

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Los resultados del certificado se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones.

II. Datos del objeto de Calibración

Fecha de recepción: 2022-01-30

Descripción: TELURÓMETRO

Marca / Fabricante: PRASEK® / No indica

Modelo: PR-522

Número de serie: H180250973

Identificación: No indica

Intervalo de medición: 0 a 40,00 Ω ; 400,0 Ω ; 4000 Ω Resistencia de tierra
0 a 400,0 V Tensión de tierraResolución: 0,01 Ω ; 0,1 Ω ; 1 Ω
0,1 V

El usuario esta en la obligación de recalibrar el instrumento a intervalos adecuados, los cuales deben ser elegidos con base en las características del trabajo realizado y el tiempo de uso del instrumento.

ICYM S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

III. Condiciones de Calibración

Fecha de calibración: 2022-01-30

Lugar de calibración: Laboratorio de Calibración - Área de Metrología
Av. Brasil 3774, Magdalena del Mar, Lima, Lima.

Temperatura inicial: 22,5 °C Humedad relativa inicial: 61 %

Temperatura final: 22,5 °C Humedad relativa final: 62 %

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización previa por escrito del laboratorio que lo emite.

IV. Método de Calibración

Determinación de los errores de indicación por el método de comparación directa entre los valores de indicación del instrumento bajo calibración y los valores dados por un instrumento de referencia, comparación realizada en las funciones medición de resistencia y tensión.

V. Patrones de Referencia

| Patrón utilizado | Número de certificado / informe | Trazabilidad de referencia |
|-----------------------------|---------------------------------|----------------------------|
| Multímetro de 6 1/2 dígitos | EVL515333 Enero 2022 | Everett Service Center |

El certificado de calibración sin firma y sello carece de validez.

Sello



Firma/s autorizada/s

SALVADOR LEONIDAS
MOGROVEJO BARRERA
INGENIERO FÍSICO
REG. C.P. N° 147694

Fecha de emisión

Ing. Salvador Leonidas Mogrovejo Barrera

Gerencia del Servicio de Metrología

2022-01-31

20F10 12 2010 00



VI. Resultados de Medición

Función de medición de resistencia - 03 Hilos

| Objeto de Calibración | | Valor de Referencia (Ω) | Error (Ω) | Incertidumbre (Ω) | Error Máximo Permitido (Ω) |
|-----------------------|----------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--|
| Intervalo de Medida | Indicación (Ω) | | | | |
| 0 a 40,00 Ω | 4,15 | 4,00 | 0,15 | 0,006 | 0,28 |
| | 12,26 | 12,00 | 0,26 | 0,006 | 0,45 |
| | 20,18 | 20,00 | 0,18 | 0,006 | 0,60 |
| | 28,08 | 28,00 | 0,08 | 0,006 | 0,76 |
| | 36,17 | 36,00 | 0,17 | 0,006 | 0,92 |
| 0 a 400,0 Ω | 40,5 | 40,0 | 0,5 | 0,06 | 1,1 |
| | 121,6 | 120,0 | 1,6 | 0,06 | 2,7 |
| | 202,6 | 200,0 | 2,6 | 0,06 | 4,4 |
| | 281,4 | 280,0 | 1,4 | 0,06 | 5,9 |
| | 361,9 | 360,0 | 1,9 | 0,06 | 7,5 |
| 0 a 4000 Ω | 403 | 400 | 3 | 0,6 | 11 |
| | 1204 | 1200 | 4 | 0,6 | 27 |
| | 2017 | 2000 | 17 | 0,6 | 43 |
| | 2824 | 2800 | 24 | 0,6 | 59 |
| | 3633 | 3600 | 33 | 0,6 | 76 |

Error máximo permitido (E.M.P): Es el error máximo permitido, el cual es de $\pm (2,0\%$ de la lectura + 20 dígitos) en el intervalo de medida de 0 a 40,00 Ω ; $\pm (2\%$ de la lectura + 3 dígitos) en el intervalo de medida de 400,0 Ω , 4000 Ω ; según especificaciones técnicas del fabricante.

Función de medición de tensión alterna

| Objeto de Calibración | | | Valor de Referencia (V) | Error (V) | Incertidumbre (V) | Error Máximo Permitido (V) |
|-----------------------|-------------------|--------------------|----------------------------|--------------|----------------------|-------------------------------|
| Intervalo de Medida | Indicación (V) | Frecuencia (Hz) | | | | |
| 0 a 400,0 V | 40,8 | 60 | 40,0 | 0,8 | 0,06 | 1,0 |
| | 202,3 | 60 | 200,0 | 2,3 | 0,06 | 2,6 |
| | 363,4 | 60 | 360,0 | 3,4 | 0,06 | 4,2 |

Error máximo permitido (E.M.P): Es el error máximo permitido, el cual es de $\pm (1,0\%$ de la lectura + 6 dígitos) en el intervalo de medida de 0 a 400,0 V; según especificaciones técnicas del fabricante.

VII. Observaciones

Se adjunta una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO".

VIII. Incertidumbre

La incertidumbre expandida de la medición que se presenta esta basada en una incertidumbre estándar multiplicado por un factor de cobertura $k=2$, el cual proporciona un nivel de confianza de aproximadamente 95 %. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición", segunda edición, julio del 2001 (Traducción al castellano efectuada por Indecopi, con autorización de ISO, de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corrected and reprinted in 1995, equivalente a la publicación del BIPM JCGM:100 2008, GUM 1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement").

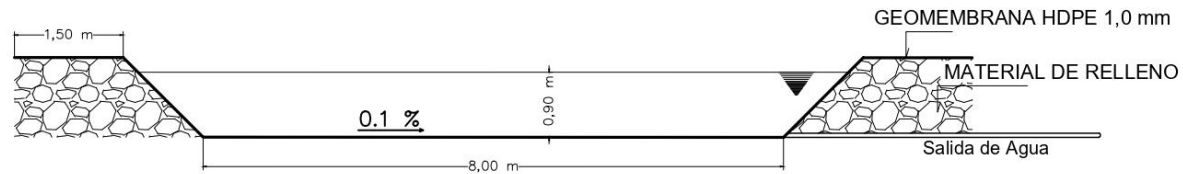
La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

FIN DEL DOCUMENTO

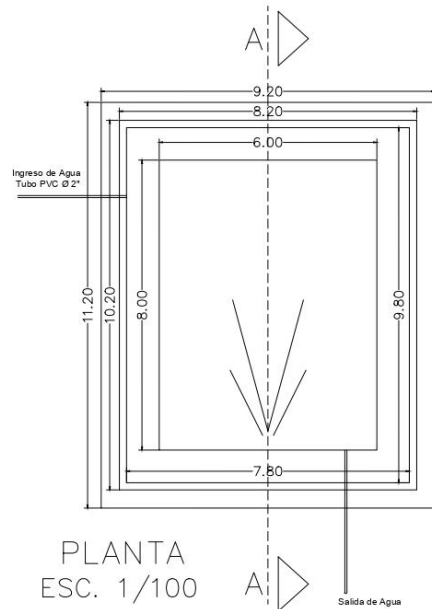


Anexo 21. Plano de reservorio de geomembrana para el riego.

RESERVORIO DE GEOMEMBRANA PARA RIEGO



CORTE A-A
ESC. 1/50



PLANTA
ESC. 1/100

- * CAUDAL: 9,14 m³/h
- * VOLUMEN DE AGUA: 53,00 m³
- * VOLUMEN DEL RESERVORIO: 72,00 m³
- * ÁREA DE GEOMEMBRANA: 168,00 m²

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO



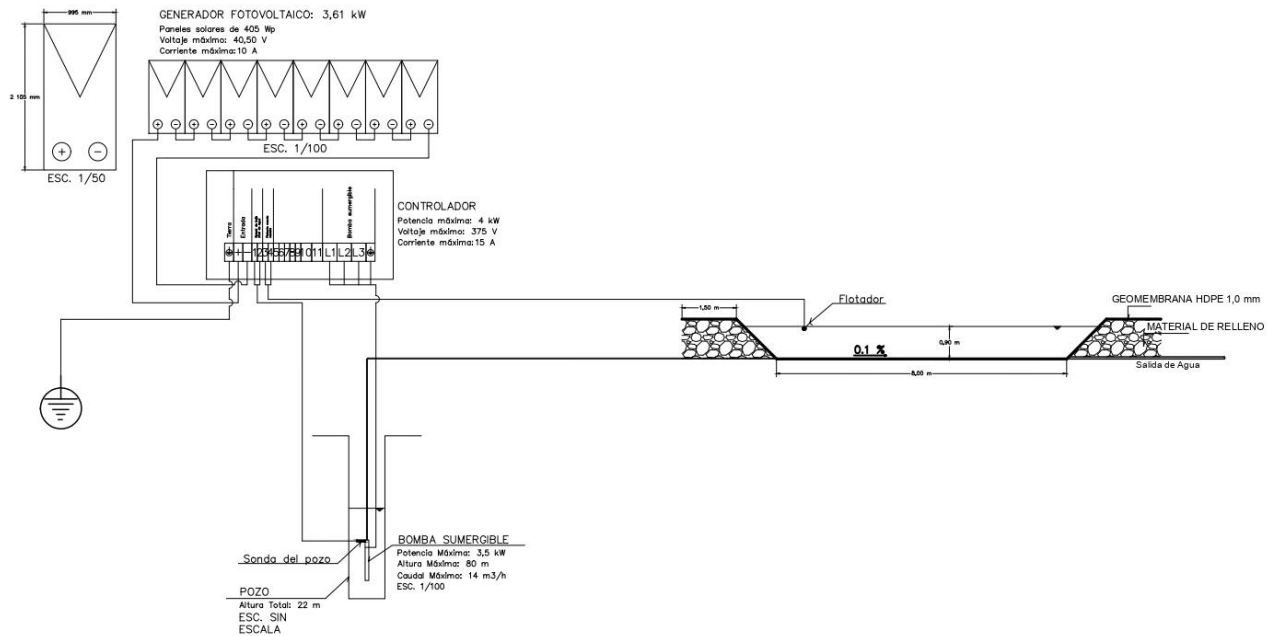
| | | |
|---|--------------------------|-----------------------|
| UBICACION: CENTRO POBLADO MANCHURIA MAGDALENA | | |
| DISTRITO: JAYANCA | PROVINCIA: LAMBAYEQUE | REGION: LAMBAYEQUE |
| PROYECTO: DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR | | |
| PLANO: RESERVORIO V=72,00 m ³ | | |
| BACHILLER: VILCHEZ CORNEJO LUIS GERARDO | | |
| ESCALAS: INDICADAS | FECHA: FEBRERO DEL 2024 | |

LAMINA:

01

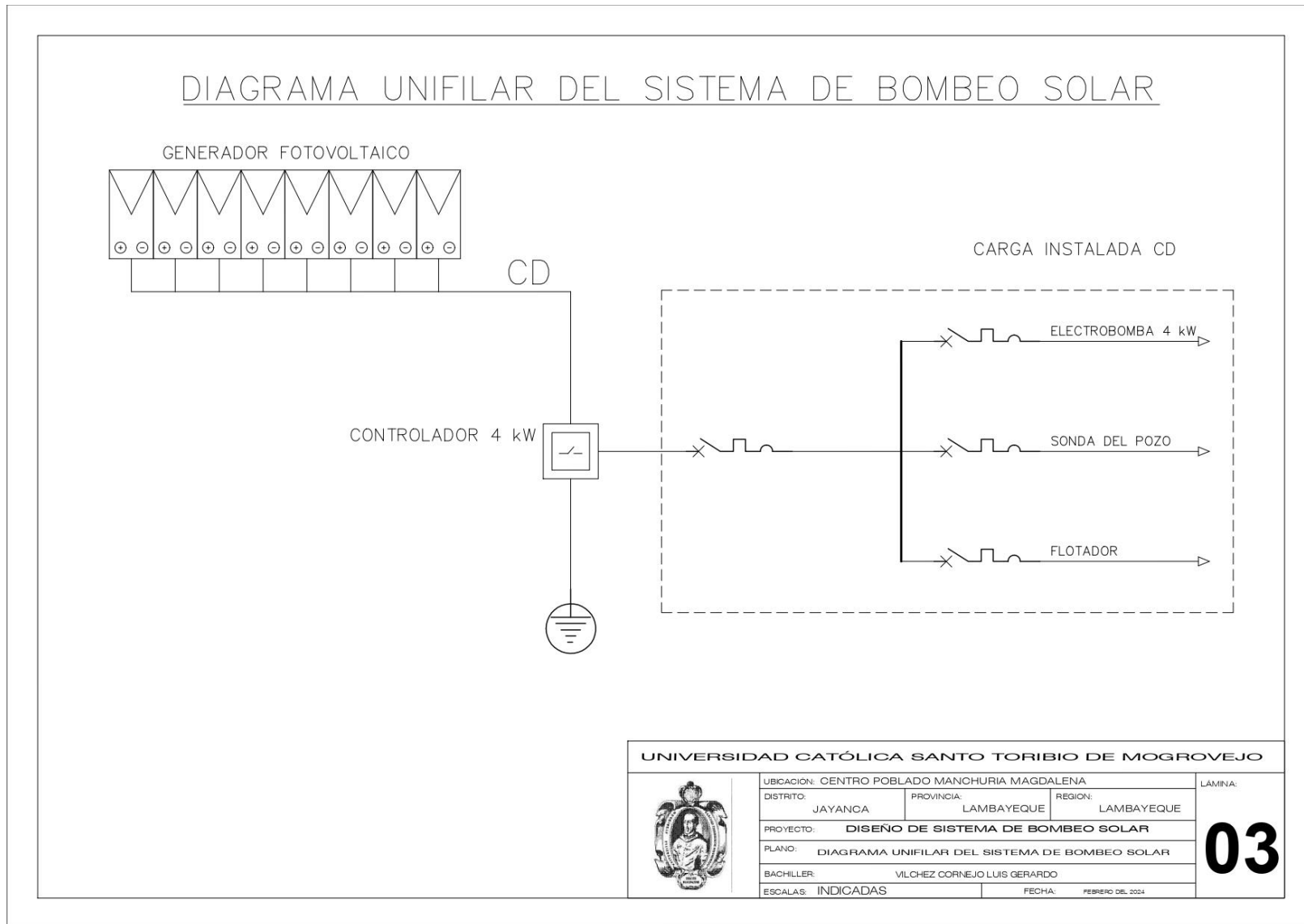
Anexo 22. Esquema de conexiones del sistema de bombeo solar.

ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR



| | | | | |
|--|---|-------------------------|---------------------------------|--------------------|
| UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO | | | | |
| | UBICACION: CENTRO POBLADO MANCHURIA MAGDALENA | | LAMINA: 02 | |
| | DISTRITO: JAYANCA | PROVINCIA: LAMBAYEQUE | | REGION: LAMBAYEQUE |
| | PROYECTO: DISEÑO DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR | | | |
| | PLANO: ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR | | | |
| | BACHILLER: VILCHEZ CORNEJO LUIS GERARDO | | | |
| ESCALAS: INDICADAS | | FECHA: FEBRERO DEL 2024 | | |

Anexo 23. Diagrama unifilar del sistema de bombeo solar.



Anexo 24. Cotización de instalación del sistema de bombeo solar.




• Ejecución de instalaciones de alumbrado de seguridad para la iluminación de edificios, hospitales, torres y circuitos conectados.
 • Diseño, Construcción, Mantenimiento y Certificación de Sistemas de Puesta a Tierra.
 • Diseño e instalación de Protección de Puntos y Conexiones de Seguridad de Sistemas de alarmas contra incendios, Luces de emergencia y Pulpas eléctricas.
 • Inspección y mantenimiento de instalaciones eléctricas y sistemas eléctricos.
 • Venta de equipos y materiales eléctricos.

| COTIZACIÓN | | | | | |
|--|---|-------|-------|------------------|---------------|
| SERVICIO DE INSTALACIÓN DE SISTEMA DE BOMBEO SOLAR | | | | | |
| Nombre o razón social | | | | Sr. José Vilchez | |
| Dirección | | | | Batangrande | |
| Fecha | | | | 10/10/2023 | |
| SERVICIOS | | | | | |
| Item | Concepto | Unid. | Cant. | Costo Unt. | Costo Parcial |
| 1.00 | Instalación de bombeo solar | glob. | 1.00 | S/ 3,500.00 | S/ 3,500.00 |
| 1.10 | Instalación de 09 paneles solares | | | | |
| 1.20 | Instalación de 01 bomba sumergible 4 KW | | | | |
| 1.30 | Instalación de un 01 controlador | | | | |
| 1.40 | Instalación de estructuras de soportes de paneles solares | | | | |
| 1.50 | Suministro e instalación de Cables y conectores | | | | |
| | | | | SUB TOTAL | S/ 3,500.00 |
| | | | | IGV 18% | S/ 630.00 |
| | | | | TOTAL | S/ 4,130.00 |

| | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Soporte técnico garantizado • Personal técnico capacitado • Somos una empresa socialmente responsable • El personal cuenta con SCTR (Seguro Contra Accidentes de Riesgo) para casos de accidentes laborales. <p>FORMAS Y CONDICIONES DE PAGO</p> <ul style="list-style-type: none"> • El cliente deberá abonar el 70% antes de iniciar los trabajos y el 50% restante será abonado a la culminación del servicio. <p>N° de cuenta de ahorros BBVA: 0011-0285-0201810737 CC: 011-285-000201810737-41 N° Cuenta Banco de la Nación para Deduciones: 00-231-323252</p> | <p>INSEL MANTENIMIENTO ELÉCTRICO Flor del Rocio Criollo Suárez GERENTE GENERAL</p> |
|--|---|

Anexo 25. Cotización de soportes para los paneles solares.

| | | | | | | | | | |
|--|--|---|------------------------------|--|-----------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--|
|  | FABRICACIONES MULTIPLES Y SERVICIOS S.A.C. Innovación, calidad y compromiso. | | Cotización R23-024 | | | | | | |
| | RUC: 20610972218 DIRECCION: P.J. 9 DE OCTUBRE CAL. QUIPUCAMAYOC - PIMENTEL | | | | | | | | |
| RUC | Cliente | Contacto | Fecha | Ciudad | | | | | |
| DNI : 73200660 | - | Vilchez Cornejo Luis Gerardo | 30/10/2023 | CHICLAYO | | | | | |
| Teléfono | Dirección | Email | Tipo de moneda | Forma de pago | | | | | |
| 927 353 596 | - | - | SOLES | AL CONTADO | | | | | |
| Item | Referencia | Descripción | Cantidad | Unidad | Valor unitario | Valor Total | | | |
| 1 | FABRICACION | FABRICACION DE SOPORTES PARA PANELES SOLARES 05 PANELES MEDIDAS: ANCHO : 0.99 MT LARGO : 2.10 MT CONSTA: -Soporte de tubo cuadrado de 1 1/2 con sus respectivas platinas de sujecion. -Lijado mecanico manual . -03 capas de pintura | 1 | und | S/ 762.00 | S/ 762.00 | | | |
| 2 | INSTALACION | Servicio de instalacion | 1 | und | S/ 280.00 | S/ 280.00 | | | |
| Observaciones: | | | | | IMPORTE | S/ 1,042.00 | | | |
| | | | | | IGV 18% | S/ 187.56 | | | |
| | | | | | TOTAL | S/ 1,229.56 | | | |
| TERMINOS Y CONDICIONES | | | | | | | | | |
| * TIEMPO DE ENTREGA: | | - | | * ESTA COTIZACION DEJA SIN EFECTO TODAS LAS ANTERIORES | | | | | |
| * LUGAR DE ENTREGA: | | FAMYSER SAC | | * PRECIO TOTAL INCLUYE IGV | | | | | |
| * VALIDEZ DE COTIZACION: | | 2 DIAS | | | | | | | |
| CUENTAS CORRIENTES | | | | | | | | | |
| BCP SOLES: | 305-9947674-06-1 | | BCP DOLARES: | 305-9942849-13-3 | | | | | |
| BCP SOLES CCI: | 230500994767406000 | | BCP DOLARES CCI: | 230500994284913000 | | | | | |
| CUENTA DE DETRACCION (B.N.): | | | 00-231-383115 | | | | | | |
| SIN OTRO PARTICULAR, Y A LA ESPERA DE UNA PRONTA RESPUESTA, NOS DESPEDIMOS DE USTEDES. | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <tr> <td>CONTACTO: ROCIO SUAREZ</td> </tr> <tr> <td>CELULAR: 976121014</td> </tr> <tr> <td>CORREO : contabilidad.famysersac@gmail.com</td> </tr> </table> | | | | | | | CONTACTO: ROCIO SUAREZ | CELULAR: 976121014 | CORREO : contabilidad.famysersac@gmail.com |
| CONTACTO: ROCIO SUAREZ | | | | | | | | | |
| CELULAR: 976121014 | | | | | | | | | |
| CORREO : contabilidad.famysersac@gmail.com | | | | | | | | | |



FABRICACIONES MULTIPLES Y SERVICIOS

S.A.C.

Innovación, calidad y compromiso.

RUC:20610972218

DIRECCION: P.J. 9 DE OCTUBRE CAL. QUIPUCAMAYOC - PIMENTEL

Cotización

R23-025

| RUC | Cliente | Contacto | Fecha | Ciudad |
|----------------|-----------|------------------------------|----------------|---------------|
| DNI : 73200660 | - | Vilchez Cornejo Luis Gerardo | 30/10/2023 | CHICLAYO |
| Teléfono | Dirección | Email | Tipo de moneda | Forma de pago |
| 927 353 596 | - | - | SOLES | AL CONTADO |

| Item | Referencia | Descripción | Cantidad | Unidad | Valor unitario | Valor Total |
|-----------------------|-------------|---|----------|--------|----------------|-------------|
| 1 | FABRICACION | FABRICACION DE SOPORTES PARA PANELES SOLARES 04 PANELES MEDIDAS: ANCHO : 0.99 MT LARGO : 2.10 MT CONSTA: -Soporte de tubo cuadrado de 1 1/2 con sus respectivas platinas de sujecion. -Lijado mecanico manual . -03 capas de pintura | 1 | und | S/ 710.00 | S/ 710.00 |
| 2 | INSTALACION | Servicio de instalacion | 1 | und | S/ 280.00 | S/ 280.00 |
| Observaciones: | | | | | IMPORTE | S/ 990.00 |
| | | | | | IGV 18% | S/ 178.20 |
| | | | | | TOTAL | S/ 1,168.20 |

TERMINOS Y CONDICIONES

| | | |
|--------------------------|-------------|--|
| * TIEMPO DE ENTREGA: | - | * ESTA COTIZACION DEJA SIN EFECTO TODAS LAS ANTERIORES |
| * LUGAR DE ENTREGA: | FAMYSER SAC | * PRECIO TOTAL INCLUYE IGV |
| * VALIDEZ DE COTIZACION: | 2 DIAS | |

CUENTAS CORRIENTES

| | | | |
|------------------------------|--------------------|------------------|--------------------|
| BCP SOLES: | 305-9947674-06-1 | BCP DOLARES: | 305-9942849-13-3 |
| BCP SOLES CCI: | 230500994767406000 | BCP DOLARES CCI: | 230500994284913000 |
| CUENTA DE DETRACCION (B.N.): | | 00-231-383115 | |

SIN OTRO PARTICULAR, Y A LA ESPERA DE UNA PRONTA RESPUESTA, NOS DESPEDIMOS DE USTEDES.

| |
|--|
| CONTACTO: ROCIO SUAREZ |
| CELULAR: 976121014 |
| CORREO : contabilidad.famysersac@gmail.com |

Anexo 26. Cotización de geomembrana 01.

GEOPERU CORP S.A.C.

CLIENTE : LUIS GERARDO VILCHEZ CORNEJO
RUC : 73200660
DIRECCIÓN: -
TELÉFONO : 927 353 596

N° COTIZACION : 2023 - EV07654
FECHA : 14/10/2023

EJECUTIVO COMERCIAL: Edgar Vilalva
CELULAR: 941 301 278

Estimado(a) LUIS GERARDO VILCHEZ CORNEJO

De nuestra consideración

Por intermedio de la presente nos es grato hacer llegar nuestra propuesta económica.

| IT | COD | DESCRIPCION | CANT | U/M | P./Unit. \$ | TOTAL \$ | |
|----|-----|---|--------|-----|-------------|-----------------|---------------|
| 1 | 8 | GEOMEMBRANA HDPE 1.00 MM LISA NOMINAL/PRESENTACION 7 MTSANCHO X 310 MTL | 168.00 | MT2 | 2.23 | 374.64 | |
| 2 | | | | | | - | |
| 3 | | | | | | - | |
| 4 | | | | | | - | |
| 5 | | | | | | - | |
| 6 | | | | | | - | |
| 7 | | | | | | - | |
| 8 | | | | | | - | |
| 9 | | | | | | - | |
| 10 | | | | | | - | |
| 11 | | | | | | - | |
| 12 | | | | | | - | |
| 13 | | | | | | - | |
| 14 | | | | | | - | |
| 15 | | | | | | - | |
| 16 | | | | | | - | |
| 17 | | | | | | - | |
| 18 | | | | | | - | |
| 19 | | | | | | - | |
| 20 | | | | | | - | |
| 21 | | | | | | - | |
| 22 | | | | | | - | |
| 23 | | | | | | - | |
| 24 | | | | | | - | |
| 25 | | | | | | - | |
| 26 | | | | | | - | |
| 27 | | | | | | - | |
| 28 | | | | | | - | |
| 29 | | | | | | - | |
| 30 | | | | | | - | |
| 31 | | | | | | - | |
| 32 | | | | | | - | |
| 33 | | | | | | - | |
| | | | | | | Sub total \$ | 374.64 |
| | | | | | | IGV 18 % | 67.44 |
| | | | | | | Total \$ | 442.08 |

SON : CON 00/100 Dolares Americanos
NOTA : Precio incluye IGV

CONDICIONES COMERCIALES:

FORMA DE PAGO : AL CONTADO
VALEZ DE LA OFERTA : 2 DIAS HÁBILES
FECHA DE ENTREGA : 1 A 2 DIAS
LUGAR DE ENTREGA : ALMACENES GEOPERU CORP S.A.C.
OBSERVACIONES :

SIRVASE A DEPOSITAR:

BCP : CUENTAS CORRIENTES SOLES
SOLES : 191 - 9938324 - 00 - 9
CCI : 00-219100993832400952

BCP : CUENTAS CORRIENTES DOLARES
DOLARES: 191 - 9939856 - 19 - 3
CCI : 00-219100993985619358

Sin otro particular y a la espera de sus gratas ordenes, quedamos de ud.

Edgar Vilalva
Ejecutivo Comercial

Tel: 01 402 6997 - 941301278

Col. Gomez Sanchez NRO 413 Urb. Aurora, Miraflores - Lima
Av. Tupac amari 034-A Urb. Manco Inca, Comas - Lima
TELEF: (01) 402 6997 - 933 814 737 - 992 712 507 - 941 301 278
E-MAIL: ventas@geoperu.com.pe, evilalva@geoperu.com.pe

Aprobado por:

www.geoperu.com.pe

Anexo 27. Cotización de geomembrana 02.

Atención: **FRANK DIAZ**

Estimados Señores:

TC

Atendiendo a su solicitud, le hacemos llegar nuestra cotización como sigue:

| ITEM | COD. | U/M | CANT. | DESCRIPCIÓN - PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO | VALOR UNIT. \$ | VALOR VTA. TOTAL \$ |
|----------------------|------|-----|--------|--|----------------|---------------------|
| 1 | 3 | MT2 | 168.00 | GEOMEMBRANA HDPE 1.00 MM LISA NOMINAL // PRESENTACION POR ROLLO: 7 MT ANCHO X 225 MTL = 1575 MT2 (Peso / MT2 : 0.855 Kg) | 2,000 | 336.00 |
| Sub Total DOLARES | | | | | | 336.00 |
| IGV 18% | | | | | | 60.48 |
| TOTAL DOLARES | | | | | | 396.48 |

Los precios indicados son por el suministro del total de lo ofertado. Cambio en las cantidades o reducción de la O/C puede originar una revisión de los precios. / **El TC se considera para el día en que se emite la cotización de cambiar fecha actualizar TC - Sunat venta**

CONDICIONES COMERCIALES:

| | |
|--|--|
| TIEMPO DE ENTREGA : | 2 - 4Días Aprox./ Entregas parciales , DESPUES DE CONFIRMAR DEPOSITO - STOCK ENTREGA INMEDIATA (PREVIA COORDINACIÓN) |
| FORMA DE PAGO: | CONTADO |
| DESPACHO 2023 ALMACENES G&C | Toda Guía Remisión G&C indicara como punto único de llegada : Nuestros almacenes (Entrega del producto) - Favor de enviar su GR Clientes Local o de provincia para transportar sus requerimientos. |
| ESPECIFICACIONES TECNICAS : | FICHA TÉCNICA /CERTIFICADO CALIDAD / CARTA DE GARANTÍA |
| LUGAR DE ENTREGA: | Calle San Carlos 490 Mz. B lote 03 Ate - Lima. Ref. Pasando el mercado productores - cruzando la riel del tren / ATE - LIMA |
| VALIDEZ DE LA OFERTA: | 2 DIAS |
| DESPACHO G&C: | Traer G/R - en blanco (Cliente - Transporte) / Copia OC / Voucher del deposito |
| Nº DE CUENTA BCP: | |
| DOLARES : | 193-2450571-1-51 CCI : 002 - 19300245057115115 |
| SOLES : | |



Movil : 968 893 479
 Email: comercial@frank-diaz.net
 web: www.frank-diaz.net

¡Agradecerle por la confianza!
 Envios a Nivel Nacional

G&C COMERCIALIZADORA GEOSINTÉTICOS / RUC : 20603433671

Anexo 28. Distribución de paneles solares en SketchUp.

