

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO



CENTRO DE POSGRADOS

PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES COHORTE 2021

Tema: EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO PARA EL SISTEMA DE RIEGO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS DE LA GRANJA AGROPECUARIA LA VICTORIA DEL CANTÓN CEVALLOS TUNGURAHUA

Trabajo de titulación, previo a la obtención del Título de Cuarto Nivel de Magíster en Energías Renovables

Modalidad del Trabajo de Titulación: Proyecto de Titulación con Componente de Investigación Aplicada

Autor: Ingeniero Víctor Fabián Aguirre Sánchez

Director: Ingeniero Cristian Samuel Laverde Albacerracín, Magister

Ambato – Ecuador

2023

A la Unidad Académica de Titulación del Centro de Posgrados

El Tribunal receptor del Trabajo de Titulación, presidido por Ingeniero Oscar Fernando Ibarra Torres Magister, Delegado por el Ingeniero Héctor Fernando Gómez Alvarado, PhD. Director del Centro de Posgrados e integrado por los señores: Ingeniero, Carlos Diego Gordón Gallegos, PhD e Ingeniero, Percy Alberto Ríos Villacorta, PhD; designados por la Unidad Académica de Titulación del Centro de Posgrados de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “*Evaluación del funcionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico para el sistema de riego de cultivos hidropónicos de la granja agropecuaria La Victoria del Cantón Cevallos Tungurahua*” elaborado y presentado por el señor Ingeniero, Víctor Fabián Aguirre Sánchez, para optar por el Título de cuarto nivel de Magíster en Energías Renovables; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Titulación, el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.

Ing. Oscar Fernando Ibarra Torres Mgtr.
Presidente y Miembro del Tribunal

Ing. Carlos Diego Gordón Gallegos PhD.
Miembro del Tribunal

Ing. Percy Alberto Ríos Villacorta PhD.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Titulación presentado con el tema: Evaluación del funcionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico para el sistema de riego de cultivos hidropónicos de la granja agropecuaria La Victoria del Cantón Cevallos Tungurahua, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero Víctor Fabián Aguirre Sánchez, Autor bajo la Dirección de Ingeniero Cristian Samuel Laverde Albacerracín Magister, Director del Trabajo de Titulación, y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.

Ingeniero Víctor Fabián Aguirre Sánchez
c.c.: 1720598182
AUTOR

Ingeniero Cristian Samuel Laverde Albacerracín Magister
c.c.: 0502662455
DIRECTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Titulación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.

Ingeniero Víctor Fabián Aguirre Sánchez
c.c.: 1720598182

ÍNDICE GENERAL

Portada.....	i
A la Unidad Académica de Titulación del Centro de Posgrados.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
AGRADECIMIENTO.....	xi
DEDICATORIA.....	xii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xiii
CAPÍTULO I.....	1
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 General.....	4
1.3.2 Específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	5
2.1 Estado del arte.....	5
2.2 Fundamentación teórica.....	2
2.2.1 Energías renovables.....	2
2.2.2 Sistemas fotovoltaicos.....	7
2.2.3 Sistemas de bombeo fotovoltaicos.....	10
2.2.4 Software PVsyst.....	25
CAPÍTULO III.....	27
MARCO METODOLÓGICO.....	27
3.1 Ubicación.....	27
3.2 Equipos y materiales.....	27
3.2.1 Equipos.....	28
3.2.2 Materiales.....	32
3.3 Tipo de investigación.....	32

3.4	Prueba de Hipótesis	33
3.5	Población o muestra:	33
3.6	Recolección de información	34
3.7	Variables respuesta o resultados alcanzados	35
CAPÍTULO IV		36
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		36
4.1	Dimensionamiento.....	37
4.1.1	Diseño del sistema.....	37
4.1.2	Determinación de la hora solar pico (HSP)	41
4.1.3	Cálculo del consumo Diario.....	42
4.2	Simulación PVSyst v6.8.1	48
4.2.1	Parámetros del sitio geográfico	49
4.2.2	Datos generales del proyecto	51
4.2.3	Parámetros principales de la simulación	52
4.2.4	Análisis de Resultados	56
4.3	Implementación de sistema fotovoltaico	57
4.3.1	Cálculo del rendimiento de los paneles.....	58
4.3.2	Resultados preliminares de la implementación.....	63
4.3.3	Análisis de la Bomba	67
4.4	Aplicación del sistema.....	77
4.4.1	Cálculo de Unidades de aspersión experimental.....	78
4.4.2	Área de cultivo	79
4.4.3	Número de electroválvulas.....	79
4.4.4	Validación de Hipótesis	80
4.5	Gases de efecto invernadero.....	81
4.5.1	Factor de Emisión	82
4.5.2	Cálculo de descontaminación diaria:	82
4.5.3	Cálculo de la descontaminación anual:	83
4.6	Costo del proyecto.....	83
4.6.1	Cálculo del periodo de recuperación.....	86
4.6.2	El período de recuperación de la inversión (PRI)	86
CAPÍTULO V		87
CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS		87

5.1	Conclusiones	87
5.2	Recomendaciones	89
5.3	Bibliografía.....	91
5.4	Anexos.....	96
5.4.1	Manual de mantenimiento del sistema fotovoltaico paneles.....	96
5.4.2	Manual de funcionamiento del sistema fotovoltaico aislado	98
5.5	Data Sheet – Panel Solar Policristalino 345 W	101
5.6	Data Sheet – Inversor Powest Híbrido 1 kVA	102
5.7	Data Sheet – Bomba de Agua ½ HP.....	104
5.8	Planos	106
5.8.1	Casa de Bombeo.....	106
5.8.2	Plano – Soporte Paneles Solares	107
5.8.3	Plano – Diagrama Eléctrico	108
5.8.4	Plano – Instalación de Bomba.....	109
5.8.5	Plano – Equipo de Bombeo.....	110
5.8.6	Plano – Invernadero	111
5.8.7	Plano – Estanterías del Invernadero.....	112
5.8.8	Plano – Perfil del sistema de Bombeo.....	113
5.8.9	Plano – Estantería por bandejas	114
5.8.10	Plano – Invernadero	115
5.8.11	Plano – Vaporizadores	116
5.9	Carta Solar del Cantón Cevallos.....	118
5.10	Coefficiente k de latitud -1°	119
5.11	Sistema Fotovoltaico para Bombeo de Agua Cultivo Hidropónico	119
5.12	Simulación PVSyst 6.8.1	120

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO ELECTROQUÍMICO ...	21
TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE BATERÍAS	24
TABLA 3. COMPARACIÓN ENTRE PANELES SOLARES.....	28
TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE CONTROLADORES.....	29
TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DE BATERÍAS	30
TABLA 6. TIPOS DE SISTEMAS DE BOMBEO	31
TABLA 7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	33
TABLA 8. BASE DE DATOS DE IRRADIANCIA CON BASE A LOS 15 AÑOS DE EXPOSICIÓN.....	40
TABLA 9. DETERMINACIÓN DE LA HSP	42
TABLA 10. CONSUMO DE ENERGÍA DIARIA.....	42
TABLA 11. CONSUMO TOTAL DIARIO	43
TABLA 12. CÁLCULO DEL INVERSOR.....	47
TABLA 13. SELECCIÓN DEL INVERSOR.....	47
TABLA 14. DATOS GEOGRÁFICOS DEL SITIO DE ESTUDIO.....	48
TABLA 15. CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA.....	52
TABLA 16. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PANEL	58
TABLA 17. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL INVERSOR.....	59
TABLA 18. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	63
TABLA 19. CÁLCULO DEL CAUDAL CON BASE EN LA ENERGÍA SUMINISTRADA	66
TABLA 20. VALOR K DE ACCESORIOS (RESUMIDA).....	71
TABLA 21. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BOMBA (CAUDAL VS ALTURA).....	74
TABLA 22. TABLA DE ECUACIONES POR FABRICANTE VS AUTOR.....	76
TABLA 23. CONSUMO Y COSTO MENSUAL DE KWH, GRANJA “LA VICTORIA”	84
TABLA 24. COSTO DE EQUIPO Y MATERIALES	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Energía Solar	3
Figura 2. Efecto fotovoltaico	4
Figura 3. Angulo del Cenit del Sol.....	5
Figura 4. Albedo de radiación	6
Figura 5. Sistema fotovoltaico de bombeo.....	8
Figura 6. Sistema de conexión en red ON GRID.....	8
Figura 7. Sistema autónomo OFF GRID	9
Figura 8. Esquema fotovoltaico de bombeo.....	11
Figura 9. Efecto fotovoltaico	13
Figura 10. Célula solar	14
Figura 11. Sistema de bombeo	15
Figura 12. Tipologías de bombas	16
Figura 13. Bomba Centrífuga.....	16
Figura 14. Bomba de desplazamiento positivo	17
Figura 15. Bomba de diafragma.....	17
Figura 16. Bomba de engranajes	18
Figura 17. Bomba de paletas	18
Figura 18. Bomba de Tornillo.....	19
Figura 19. Función de una bomba de presión	19
Figura 20. Caudal	20
Figura 21. Altura de elevación	20
Figura 22. Ubicación de los paneles solares en la granja la victoria.....	27
Figura 23. Panel solar Policristalino POWEST 345W.....	29
Figura 24. UPS Híbrida 1 kVA	30
Figura 25. Batería de gel 12V 200AH Para Sistemas Solares	31
Figura 26. Sistema de bombeo	32
Figura 27. Metodología empleada en el desarrollo del proyecto	36
Figura 28. Irradiación solar anual	37
Figura 29. Datos Irradiación global Horizontal – Nasa Power	38
Figura 30. Datos Irradiación global Horizontal – PVGIS.....	39
Figura 31. Datos irradiación global Horizontal – Inamhi	39
Figura 32. Comparación de datos irradiación global Horizontal	41

Figura 33. Ubicación del proyecto, granja la Victoria	48
Figura 34. Localización del proyecto.....	50
Figura 35. Coordenadas geográficas	50
Figura 36. Meteorología Mensual	51
Figura 37. Esquema del sistema de riego para el cultivo hidropónico	51
Figura 38. Parámetros principales de la simulación.....	52
Figura 39. Valores de orientación	53
Figura 40. Circuito hidráulico de bombeo	53
Figura 41. Necesidades de agua	54
Figura 42. Información del sistema – Definición de la Bomba	55
Figura 43. Información del sistema – Definición de paneles e inversor	55
Figura 44. Parámetros principales y resultados.....	56
Figura 45. Producción de Energía.....	56
Figura 46. Diagrama de generación total de energía y pérdida.....	57
Figura 47. Análisis de la carta Solar	61
Figura 48. Configuración del sitio para determinar la irradiación – Octubre	65
Figura 49. Configuración del sitio para determinar la irradiación – Noviembre	65
Figura 50. Configuración del sitio para determinar la irradiación – Diciembre	66
Figura 51. Modelo matemático de la curva de rendimiento de la bomba Paolo, proporcionada por el fabricante	73
Figura 52. Modelo matemático de la curva de rendimiento de la bomba Paolo, proporcionada por el autor	75
Figura 53. Sistema hidropónico	78
Figura 54. Sistema hidropónico (componentes del sistema).....	78
Figura 55. Arreglo de paneles solares	80
Figura 56. Componentes del módulo fotovoltaico.....	80

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer de manera especial a mis padres, Marcia E. y Víctor Hugo, quienes con su esfuerzo y afán lograron sembrar el anhelo de superación en mi vida.

A mi hermano, Lenin, quien ha estado conmigo incondicionalmente y colaborando en largas jornadas de aprendizaje.

Finalmente, agradezco profundamente a la institución, Universidad Técnica de Ambato, por sus niveles de excelencia académica; a los Docentes, por sus conocimientos y orientación; y a todos mis amigos que conocí en esta Maestría.

Víctor Aguirre S.

DEDICATORIA

Con todo el sentimiento para las personas que me pudieron acompañar, en especial a mis padres y hermano.

En memoria de mis abuelos maternos y abuelo paterno, personas extraordinarias que han llenado mi vida de sabidurías, valores y sabios consejos.

Además, dedico este proyecto a todos mis amigos y familiares que se han preocupado por mi bienestar en el tiempo que he dedicado a mi postgrado.

Víctor Aguirre S.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
CENTRO DE POSGRADOS
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES
COHORTE 2021

TEMA:

EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTVOLTAICO PARA EL SISTEMA DE RIEGO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS DE LA GRANJA AGROPECUARIA LA VICTORIA DEL CANTÓN CEVALLOS TUNGURAHUA

MODALIDAD DE TITULACIÓN: *Proyecto de Titulación con Componente de Investigación Aplicada*

AUTOR: *Ingeniero Víctor Fabián Aguirre Sánchez*

DIRECTOR: *Ingeniero Cristian Samuel Laverde Albacerracín Magister*

FECHA: *Doce de junio de dos mil veintitrés*

RESUMEN EJECUTIVO

Es pertinente señalar que debido a los recientes cambios a nivel global, la energía solar fotovoltaica se ha vuelto cada vez más común y versátil, con una creciente variedad de aplicaciones. Aunque la captación de energía solar no es una novedad, su utilidad ha evolucionado con el tiempo. Por lo tanto, el propósito de esta investigación es evaluar el desempeño de un sistema de bombeo fotovoltaico para su implementación en un sistema de nebulización en la Granja La Victoria. Se utilizó un enfoque metodológico cuantitativo, basado en cálculos estandarizados y precedentes nacionales e internacionales, con un diseño pre-experimental para abordar la hipótesis y medir las variables. Además, la investigación se caracterizó por ser documentada, exploratoria, explicativa y de campo.

Los resultados de la simulación y la implementación práctica del sistema indican que dos paneles de 345 W en configuración paralela, una bomba periférica de 373 W y un inversor MPPT-CA de 1kW son adecuados para satisfacer las necesidades energéticas del proyecto (1.636 Wh/día). En términos de eficiencia, se logró un rendimiento del sistema del 89,40%. Además, la eficiencia de la bomba, considerada como un equipo

unitario, alcanzó el 61%, mientras que la eficiencia de la bomba como parte del sistema fotovoltaico alcanzó el 51%.

Finalmente, en lo que concierne a la protección del medio ambiente, la reducción de dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) y gases fluorados es crucial. La implementación del sistema presentado en este estudio se espera que reduzca 0,97 m³/día de CO₂. En resumen, se debe promover activamente la investigación y la aplicación de sistemas fotovoltaicos altamente eficientes en diversos sectores, especialmente en el cantón Cevallos, que se caracteriza por ser un área agroindustrial en pequeña escala, ya que existen planteles avícolas, cultivo de flores, crianza de animales menores, así como el cultivo de legumbres y cereales.

DESCRIPTORES: *BATERÍA, BOMBA DE AGUA, CULTIVO HIDROPÓNICO, INVERSOR, PANELES SOLARES, SISTEMA FOTOVOLTAICO.*

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

Es acertado acotar que debido a la poca investigación de nuevas energías limpias a nivel mundial ha provocado que la energía solar fotovoltaica se vuelva cada vez más común y con mayor cantidad de aplicaciones. Es decir, el aprovechamiento de la energía del sol no es ninguna novedad, pero si tiene varias aplicaciones que se han ido actualizando al pasar de los años (Silva M. , 2020). Por otro lado, la capacidad fotovoltaica instalada en el mundo en el año 2018 fue más de 500 GW, y se estima que para el año 2040 ésta llegue a los 3.000 GW (Castaño & García, 2020).

Es por este motivo que actualmente, la humanidad, empresas y Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) están muy preocupados por la contaminación ambiental producida especialmente por la combustión de los hidrocarburos y sus derivados; esto ha provocado que se vuelquen todos los esfuerzos de la ciencia y técnica al estudio, generación y distribución de energías limpias, tal es el caso; energía solar, eólica, biomasa, mareomotriz, geotérmica, hidráulica (Prada & Martínez, 2022). De todas las tipologías acotadas con antelación la energía solar que aparentemente es infinita ha tomado la delantera con respecto a la capacidad de producción a gran escala.

Este tipo de energía tiene su origen en la invención de Charles Fritts (efecto fotovoltaico), que dio origen a los paneles solares modernos; investigadores como Horace de Saussure o Edmond Becquerel, iniciaron estudios serios sobre la incidencia de la radiación solar sobre el planeta a la par de establecer su aplicabilidad dentro de la industria. En términos simples, la energía se desarrolla por medio de un proceso, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones y liberar electrones, generando una corriente eléctrica. El estudio y aplicación de este fenómeno, llamado efecto fotoeléctrico, han originado el diseño de equipos llamados paneles solares que se componen de células fotovoltaicas, que convierten la luz solar en electricidad de corriente continua, durante las horas del día (Pacheco *et al.*, 2021); energía que puede

ser debidamente utilizada para solventar las necesidades humanas y dar el primer paso para no depender de energías provinientes de elementos fosiles.

La matriz energética de América Latina sigue dependiendo principalmente de fuentes de energía fósiles: petróleo y sus derivados, gas natural y, en menor medida, carbón. Para 2020, la producción de energía dependerá del petróleo como fuente principal junto con el gas natural. En el mismo año, la oferta total de energía primaria en América Latina estuvo compuesta aproximadamente por un 30% de petróleo, un 30% de gas natural, un 5% de carbón, un 9% de energía hidroeléctrica, biogás, energía solar, energía eólica y otras energías primarias, como los productos vegetales como los residuos, caña de azúcar y leña, representan el 24% (Castrejón, 2022). Por otro lado, de acuerdo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) propuestos por Naciones Unidas, el 59% de la electricidad producida proviene de fuentes renovables y el país aspira a alcanzar el 70% para 2030 (Olmo, 2022).

Para concretar un proyecto sobre sistema de bombeo fotovoltaico con éxito es necesario comprender y dominar conceptos fundamentales sobre energía solar fotovoltaica, ingeniería hidráulica de movimiento de fluidos, funcionamiento y acople del conjunto motor - bomba. Así mismo manifestaremos que los sistemas fotovoltaicos son de alta confiabilidad y larga duración, con un mínimo costo de mantenimiento lo que redundará en la recuperación en corto plazo de los valores de financiamiento, frente a otras alternativas; además, tiene un bajo impacto ambiental. Cabe indicar también que los sistemas de bombeo fotovoltaicos son estructuras modulares que pueden instalarse y adecuarse en sitios de difícil acceso y lugares donde no existe servicio de tendido eléctrico.

Es por este motivo que la presente investigación afronta la necesidad de aprovechar la energía solar en beneficio de diversas aplicaciones, en este caso en específico diseñar y dimensionar una estación fotovoltaica que suministre energía eléctrica a una bomba para suministrar fluido hidráulico a una instalación de cultivos hidropónicos que son muy conocidos en la agricultura como complemento para alimentación de crianza de animales menores. El desarrollo de la investigación es presentado en cinco capítulos, como se explica a continuación:

El CAPÍTULO I, EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN, define el tema, el planteamiento del problema, introducción, justificación y objetivos.

El CAPÍTULO II, ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS, presenta los antecedentes de investigación tomando en cuenta estudios anteriores, mismos que desde luego abordan a profundidad la temática de estudio.

El CAPÍTULO III, MARCO METODOLÓGICO, detalla la ubicación de la investigación, los recursos utilizados, el tipo de investigación, la hipótesis, su población, la recolección y procesamiento de la información.

El CAPÍTULO IV, RESULTADOS Y DISCUSIÓN, evidencia el análisis de los resultados alcanzados junto con su respectiva explicación y discusión.

El CAPÍTULO V, CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS, desarrolla las conclusiones obtenidas en el desenvolvimiento de la investigación y las sugerencias relacionadas con su culminación. Además, se muestra la bibliografía y los respectivos anexos.

Durante la investigación se presentaron limitaciones sobre los recursos económicos, debido a que la investigación necesita equipos tecnológicos y éste es un factor limitante capaz de influir en la calidad del estudio.

1.2 Justificación

En Ecuador, generalmente la agricultura es un modo de vida, mas no una actividad rentable, pues uno de sus grandes problemas constituye los elevados costos de la energía, los fertilizantes, los pesticidas y fungicidas, falta de asistencia técnica, déficit de agua de regadío, costos de semillas, falta de crédito barato y problemas de almacenamiento y comercialización de los productos agrícolas (Coba, 2022).

En este contexto, Estupiñán *et al.* (2022) exponen que, en el sector agrícola el gasto energético puede representar hasta el 30% de los costes totales de producción, comparativa que denota la importante de la utilización de energía dentro del desarrollo

de los cultivos. Está claro que, debido a este mayor precio de la energía, se genera una clara problemática para los productores y por ende la cadena productiva lo cual justifica la ejecución del proyecto ya que una de las formas de coadyuvar a la solución de los problemas del campo agrícola, es precisamente proveer de energía abundante y barata.

Sin embargo, los costes de aplicación no son del todo pequeños como inversión inicial, pero si bien el costo inicial de la implementación puede ser onerosa, al final puede resultar barato, dado la vida útil del equipo, más o menos 15 años, aprovechamiento de incentivos crediticios del gobierno frente a la aplicación de energías limpias. Además, existe un beneficio ambiental; pues, aunque sea mínimo, contribuye a la eliminación de los gases de efecto invernadero que se producen al utilizar hidrocarburos y sus derivados para la producción de energía. Sin mencionar el hecho que se puede generar una sintonía con las políticas del actual Gobierno que estimula la explotación y uso de energías limpias y renovables.

Por consiguiente, el presente trabajo de investigación se basó en la evaluación del funcionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico para el sistema de riego de cultivos hidropónicos de la granja agropecuaria La Victoria del Cantón Cevallos Tungurahua.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Evaluar el funcionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico para el sistema de riego de cultivos hidropónicos de la granja agropecuaria La Victoria.

1.3.2 Específicos

- a. Dimensionar el módulo fotovoltaico para un sistema de bombeo para los cultivos hidropónicos de la granja La Victoria.

- b. Simular el arreglo fotovoltaico por medio del software PVsyst 6.8.1 con el propósito de verificar su funcionalidad.
- c. Calcular la eficiencia del módulo fotovoltaico bajo condiciones climáticas con relación a la radiación solar.
- d. Diagnosticar la eficiencia de la bomba y calcular el caudal suministrado bajo condiciones climáticas con relación a la radiación solar.

CAPÍTULO II

ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

2.1 Estado del arte

El estado del arte proporciona una visión integral de los avances más recientes en el diseño, eficiencia, tecnología y sistemas de bombeo de agua alimentados por energía solar. Además, se resalta la importancia de los sistemas fotovoltaicos de bombeo de agua como una contribución significativa a la transición hacia un futuro más sostenible y sólido desde una perspectiva energética y agrícola.

Según Ballester (2018), el procedimiento se enfoca en dimensionar un sistema fotovoltaico completo a partir de datos básicos proporcionados por el proyecto hidráulico y las necesidades hídricas. Se calculan los elementos más apropiados para el proceso de bombeo que trasladará agua desde tres embalses de diferente capacidad y altitud. El arreglo fotovoltaico se compone de 160 módulos distribuidos en 10 filas de 16 módulos cada una, generando una potencia total de 51,2 kW. Además, este proyecto contribuye a la reducción de emisiones de CO₂, evitando la liberación de 299 toneladas métricas de este gas de efecto invernadero.

Según Morales (2018) en el desarrollo de un Proyecto de bombeo fotovoltaico se empleó el software PVsyst para simular el dimensionamiento de módulos fotovoltaicos, inversor, bomba y elementos de protección hidráulica. Se tuvieron en cuenta las condiciones climáticas de la zona. El resultado fue la instalación de 629 paneles de 315 Wp, generando una potencia pico de 214 Wp. Se utilizó un inversor de 200 KWh para convertir la corriente continua en alterna, produciendo una energía anual de 294 MWh. El sistema de bombeo se destinó al riego en el sector agrícola.

Por otro lado, Ramírez (2019) en su proyecto de investigación, estudia la factibilidad de un sistema fotovoltaico con el objetivo de utilizar la energía solar sin almacenamiento, para alimentar motores y facilitar el bombeo de agua para la agricultura en el distrito Mosnefú. El autor dimensionó el sistema para una radiación de 4,471 KWh / m² y los módulos seleccionados suman una potencia de 1800 W.

El estudio de Martínez *et al.* (2020) se centró en evaluar el rendimiento de un sistema de bombeo de agua solar en la Facultad de Ingeniería Agrícola de Karnataka. Los investigadores observaron que la producción de energía de los paneles solares aumenta a medida que la intensidad solar aumenta. En condiciones de mediodía, lograron una eficiencia de bombeo del 66,07%.

Ruiz (2021) en su informe de investigación desarrolló un modelo de evaluación integral sostenible para sistemas de bombeo fotovoltaico. El estudio fue implementado en dos comunidades rurales del departamento de León. Se realizaron estudios de parámetros eléctricos e hidráulicos de los sistemas fotovoltaicos y desarrollaron una plantilla para dimensionar nuevos sistemas de bombeo para comunidades aisladas de las conexiones de la red eléctrica.

2.2 Fundamentación teórica

A continuación, se enlistan varios enunciados teóricos con base en la variable de estudio.

2.2.1 Energías renovables

Las energías renovables representan fuentes de energía sostenible que se originan a partir de los procesos y movimientos naturales del planeta, sin depender de recursos derivados de combustibles fósiles ni de desechos de origen inorgánico. Entre las principales manifestaciones de estas energías se incluyen: energía solar, energía eólica, energía mareomotriz, energía geotérmica, energía hidráulica, biomasa y biogás. (Medina, 2018).

2.2.1.1 Energía Solar

La energía solar es la fuente de energía más prometedora, limpia y de infinito potencial. Es la energía que proviene del sol a través de rayos solares y partículas cargadas de energía llamadas fotones. Además, es una fuente de energía sostenible y renovable, que no emiten gases de efecto invernadero (Muñoz *et al.*, 2019).

El Sol libera una enorme cantidad de energía de radiación a su entorno: 174 PW (1 PW = 1.015 W) en la atmósfera superior de la Tierra. Cuando la energía llega a la superficie de la Tierra, ha sido atenuada dos veces tanto por la atmósfera (6% por reflexión y 16% por absorción) como por las nubes (20% por reflexión y 3% por absorción). Otro 51% (89 PW) de la radiación solar entrante total llega a la tierra y los océanos (Hartmann *et al.*, 2011).

Es evidente que, a pesar de la atenuación, la cantidad total de energía solar disponible oscila entre 300 y 5.500 Wh/m² al día, pero debido a que es de baja densidad con intermitencias, es necesario recolectarla y almacenarla de manera eficiente (Pérez C. , 2021).



Figura 1. Energía Solar

Nota: Energía solar para el sistema fotovoltaico. Tomado de (Endesa, 2019)

2.2.1.2 Energía Solar Fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica se caracteriza por transformar de forma directa la radiación solar en electricidad utilizando una moderna tecnología fundamentada en el efecto fotovoltaico sobre células fotoeléctricas de tipo modular. La energía solar fotovoltaica no contamina y sus gastos de mantenimiento y explotación son casi nulos (Espejo & Aparicio, 2020).

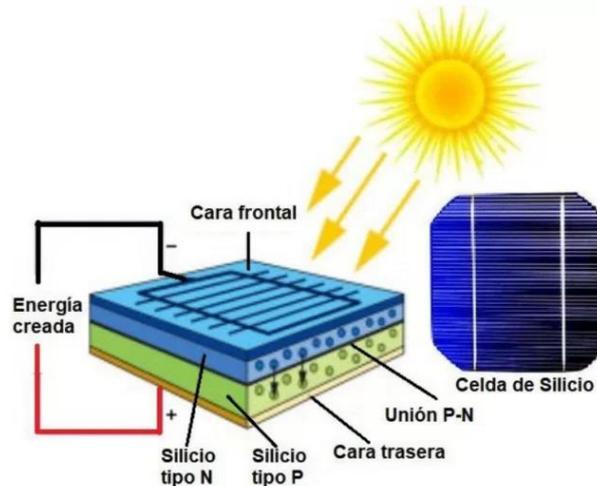


Figura 2. Efecto fotovoltaico

Nota: Energía solar fotovoltaica. Tomado de (Endesa, 2019).

2.2.1.3 Radiación Solar

La radiación solar se define como la energía radiada por el Sol y medida en la superficie de la Tierra. Es un recurso natural que existe desde tiempos inmemoriales y ha permitido la supervivencia de la humanidad. Esta energía se cuantifica en términos de radiación solar global, una cantidad que representa la cantidad de energía electromagnética que golpea una superficie por unidad de tiempo y por unidad de área, y se estima en 1.368 W/m^2 (Contreras *et al.*, 2018).

Por otro lado, es importante resaltar que el nivel de radiación que llega a la superficie de la Tierra depende principalmente del ángulo del cenit del Sol (que, a su vez, depende de la hora del día, la ubicación geográfica y la estación), el contenido total de ozono, la cobertura de nubes, la altitud del mar, el albedo o reflectancia del suelo, ozono troposférico y otros contaminantes gaseosos (Quiñones *et al.*, 2019).

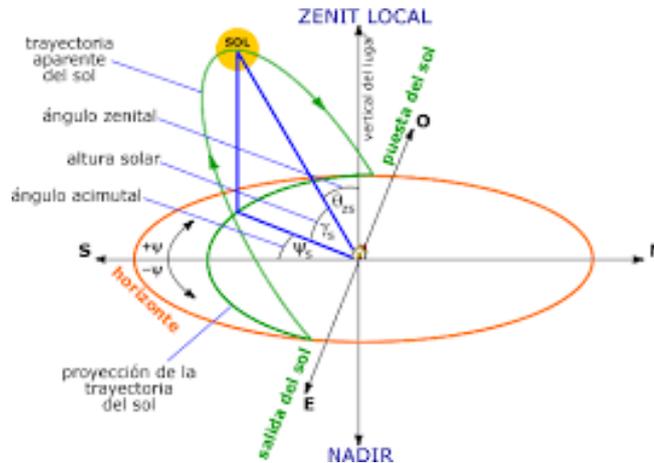


Figura 3. Angulo del Cenit del Sol

Nota: La figura mostrada el ángulo del cenit. Tomado de: (Quiñones *et al.*, 2019).

De igual manera, la cantidad de radiación solar que llega a la superficie depende en gran medida de la altitud del Sol. En las regiones tropicales, donde el sol está casi vertical durante los meses de verano, los niveles de radiación son muy altos. Por el contrario, la altitud del Sol es baja incluso en verano en las regiones polares, y los niveles de radiación son de bajos a moderados debido a este efecto (Fernández , 2020). Es de hecho por este aspecto que la radiación solar que llega a la Tierra se puede dividir en 3 componentes:

- Radiación solar directa
- Radiación solar difusa
- Radiación solar reflejada o albedo

Radiación Directa: Bajo la influencia del fenómeno de absorción, esta es la radiación que los humanos reciben directamente del sol. Esta varía en función de la nubosidad del momento, así como de la estación del año en la que se mida.

Radiación dispersa: Bajo la influencia del fenómeno de difusión, esta es la radiación que se recibe como resultado del reflejo de la radiación solar de las nubes, partículas en el aire, etc.

Radiación Global: La suma de la radiación directa y dispersa.

Albedo de radiación: Se trata principalmente de radiación reflejada, como es el caso de superficies blancas, etc. A menudo se utiliza en módulos bifaciales. Sin embargo, para concretar su implementación es importante considerar la posición del Sol, misma que cambia a lo largo del día y la estación, por lo que también cambia el ángulo en el que los rayos del Sol inciden en una superficie, como los paneles solares. Por ende, la energía recibida depende de la orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos (Fernández , 2020).

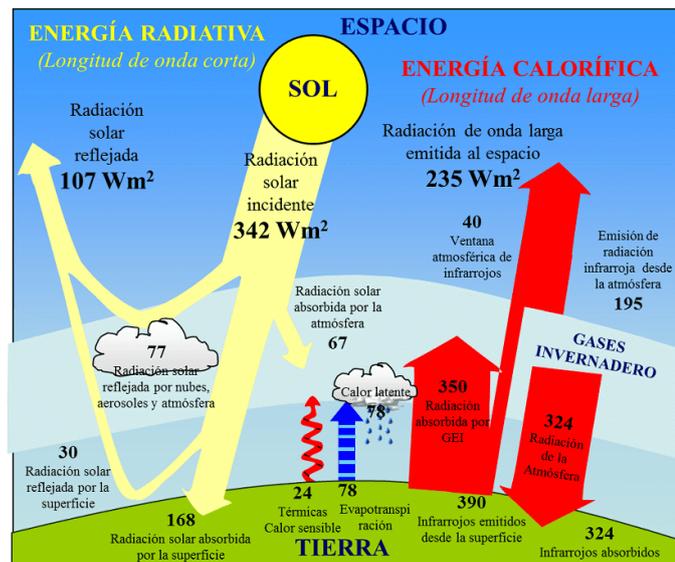


Figura 4. Albedo de radiación

Nota: La figura mostrada el albedo de radiación. Tomado de: (Quiñones *et al.*, 2019).

2.2.1.4 Hora Solar Pico HSP

Salas *et al.*, (2018) aseveran que la hora solar pico (HSP) se puede definir como una unidad de medida de la radiación solar y es el tiempo (en horas) de una radiación solar continua hipotética de 1000 W/m². Determinar este valor es importante porque de ello depende el éxito de un proyecto de instalación. Para ello es necesario recordar que la radiación no es la misma todos los meses del año y para instalaciones utilizadas anualmente es imposible obtener resultados satisfactorios calculando meses de alta radiación ya que la instalación está diseñada para dar respuesta a ellos, no cubrirá la demanda real en meses de baja radiación, por ello es necesario examinar correctamente el azimut (ángulo que forma el meridiano con el círculo vertical que pasa por un punto de la esfera celeste o del globo terráqueo).

2.2.2 Sistemas fotovoltaicos

Las celdas o módulos fotovoltaicos, también llamados comúnmente paneles solares son dispositivos electrónicos capaces de captar la energía luminosa proveniente de la radiación solar y convertirla en energía eléctrica para su respectivo aprovechamiento. Los sistemas fotovoltaicos (FV) atrapan la energía de los fotones y la transfieren a los átomos de silicio de las células fotovoltaicas y luego se liberan en forma de electrones para generar una corriente eléctrica; convirtiendo la energía solar directamente en electricidad sin la intervención de generadores, motores u otros equipos. La vida útil de los paneles solares tiene un promedio superior a los 15 años, son compactos, de diseño simple y rara vez requieren mantenimiento (Silva & Zambrano , 2022).

2.2.2.1 Sistemas fotovoltaicos de conexión a red

El concepto de sistemas fotovoltaicos solares conectados a la red es aplicable a una amplia gama de aplicaciones, desde cientos de megavatios hasta pequeños sistemas de unos pocos kilovatios. En términos generales, los generadores fotovoltaicos conectados a la red pueden brindar beneficios significativos a los sistemas de distribución, dependiendo de las características y condiciones de operación de la red de distribución, así como también de su ubicación dentro de la red (Muñoz *et al.*, 2019).

Los principales beneficios del uso de sistemas en red son la reducción del consumo de energía, la reducción del impacto ambiental y la mejora de la infraestructura o el valor inmobiliario.

Los componentes principales de un sistema fotovoltaico conectado a red son: el panel fotovoltaico, que es el elemento encargado de convertir la radiación solar en electricidad, y un elemento que condiciona la energía producida, un inversor de corriente continua a alterna, cuya función es optimizar la energía generada por el panel para las características eléctricas requeridas por la red a la que se conectará (Espinel *et al.*, 2020).

El sistema de conexión a la red produce electricidad de corriente continua a través de uno o más paneles solares fotovoltaicos, esta energía se convierte en corriente compatible con los electrodomésticos o máquinas a través de uno o más inversores de conexión a la red, la energía producida se utiliza para consumo propio en el hogar o negocio; a la red pública se conecta en paralelo que recibe el excedente y suministra la energía que falta (Hartmann *et al.*, 2011).



Figura 5. Sistema fotovoltaico de bombeo

Nota: La figura mostrada con antelación denota el arreglo el sistema fotovoltaico de bombeo. Tomado de: (Durán, 2013).

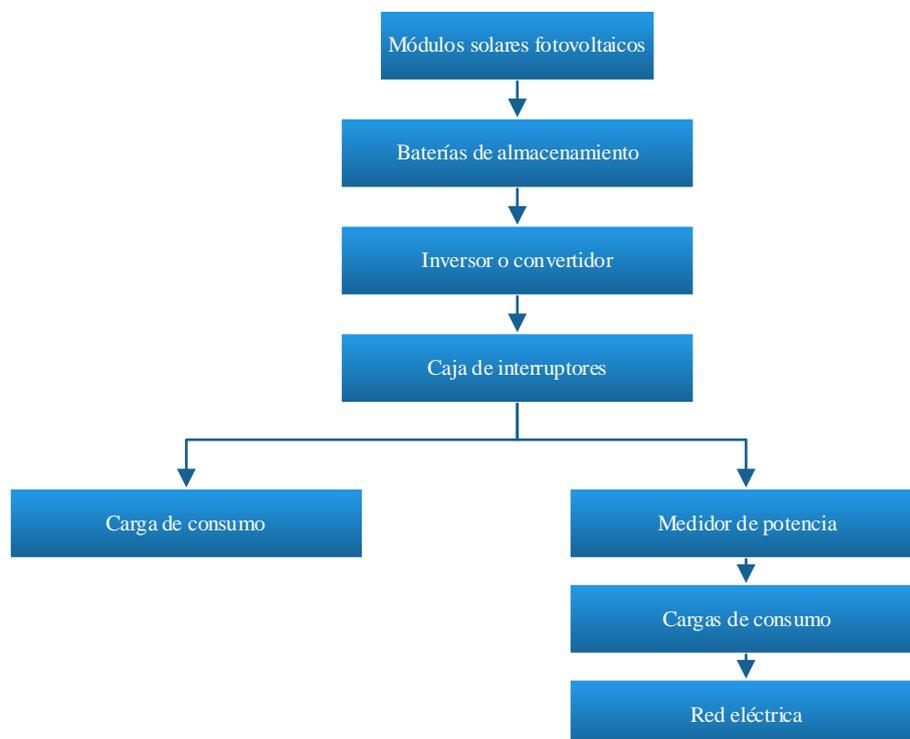


Figura 6. Sistema de conexión en red ON GRID

Nota: Sistemas solares conectados a la red ON GRID. Adaptado de (MRWATT, 2023).

2.2.2.2 Instalación Generadora Aislada (Autónoma - OFF GRID)

Un sistema de conexión autónomo aislado OFF GRID consiste en una instalación que está completamente desconectada de la red eléctrica pública, lo que significa que toda la energía que se puede recolectar se almacena en baterías, que luego se utilizan para alimentar cualquier dispositivo electrónico deseado. El sistema no depende de la conexión a redes eléctricas públicas, lo que brinda una solución rentable para áreas con difícil acceso a dichas redes (Pisco, 2021). El sistema incluye:

- Energía solar: La energía del sol es el factor más importante en las conexiones, es el motor que impulsa la energía eléctrica.
- Paneles Solares: Estos paneles captan la radiación solar en el lugar donde está instalado el sistema. Convierten esta radiación en corriente continua.
- Banco de Baterías: Al ser un sistema autónomo, las baterías son esenciales para este sistema, pues almacenan toda la energía captada por las células solares.
- Controlador: este dispositivo evita que las baterías absorban más energía cuando alcanzan su carga máxima para evitar la sobrecarga y el mal funcionamiento del sistema.
- Inversor: Este dispositivo electrónico convierte la corriente continua almacenada en el módulo en corriente alterna. La energía de CA se utiliza para alimentar todos los dispositivos que desea utilizar.



Figura 7. Sistema autónomo OFF GRID

Nota: La figura mostrada con antelación denota los empleados en el sistema OFF GRID. Tomado de (MRWATT, 2023).

2.2.3 Sistemas de bombeo fotovoltaicos

El sistema incluye los siguientes elementos:

- Panel fotovoltaico
- Regulador/controlador de carga
- Banco de baterías
- Inversor DC/AC
- Motor DC o AC
- Bomba
- Tanque

El funcionamiento del sistema de bombeo FV se basa en el efecto de la luz solar sobre los paneles solares para convertir la energía luminosa en electricidad en forma de corriente continua. Posteriormente esta electricidad ingresa al regulador que controla el estado de carga y dicha energía es almacenada en el banco de baterías. Si la bomba de agua es alimentada por un motor AC, es necesario contar con un inversor DC/AC para convertir la corriente directa de las baterías en corriente alterna. Cuando la DC o AC es entregada al motor DC o AC, este a su vez accionará la bomba ubicada en el pozo o tanque de almacenamiento del agua y finalizará el ciclo del sistema (Fajardo, 2021).

La ventaja de trabajar con sistemas AC es que pueden suministrar agua en ausencia de radiación solar. Además, la energía almacenada en la batería se puede utilizar para alimentar otros componentes que no forman parte del sistema de bombeo simplemente dimensionando el sistema de batería.

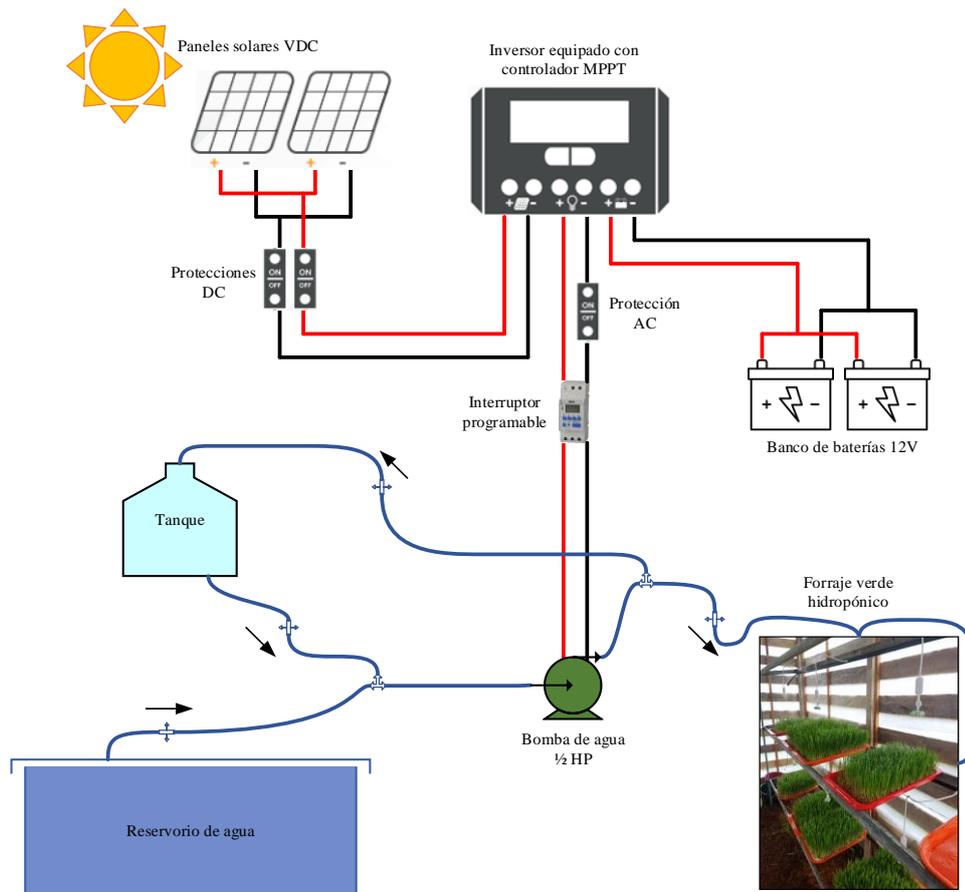


Figura 8. Esquema fotovoltaico de bombeo

Nota: Elaboración propia.

2.2.3.1 Células solares

La transformación de la radiación solar en electricidad es el paso más importante e inicial para comprender el concepto de energía solar que se produce por el efecto fotovoltaico, observado por primera vez por Becquerel a mediados de la década de 1950. Este sistema se define básicamente como la aparición de una tensión eléctrica entre dos electrodos fijados a un sistema sólido o líquido al incidir la luz sobre dicho sistema (Raphael *et al.*, 2018). Prácticamente todos los dispositivos fotovoltaicos contienen una unión p-n en un semiconductor donde se produce y mejora la tensión fotoeléctrica. Estos dispositivos fotovoltaicos también se denominan células solares. Las células solares o fotovoltaicas, como suelen denominarse, son dispositivos semiconductores que convierten la luz solar en electricidad de corriente continua (CC).

La humanidad tiene una larga historia en el uso de la energía solar para obtener calor, pero la producción de electricidad es mucho más reciente. Está estrechamente ligada a la física moderna del estado sólido. La célula solar produce el efecto fotovoltaico (foto- luz, voltaico - electricidad). En el efecto fotovoltaico, los fotones inciden sobre la superficie de un material semiconductor, como el silicio, y liberan electrones de los átomos del material. Añadir compuestos químicos a la composición del material es muy útil para liberar electrones (Pacheco *et al.*, 2021). Obviamente, esto crea una corriente eléctrica y es debido al efecto fotovoltaico, una célula solar de silicio uniforme típica de cuatro pulgadas puede producir aproximadamente un vatio de electricidad de corriente continua. Grupos de células fotovoltaicas pueden configurarse eléctricamente en módulos y matrices, que pueden utilizarse para cargar baterías, hacer funcionar motores y alimentar cualquier número de cargas eléctricas. Junior *et al.*, (2020) asevera que, con el equipo de conversión de potencia adecuado, los sistemas fotovoltaicos pueden producir corriente alterna (CA) compatible con cualquier aparato convencional y funcionar en paralelo e interconectados a la red eléctrica.

Proporcionar pequeñas cantidades de energía en lugares inaccesibles y remotos, que necesiten poco o ningún mantenimiento o atención. Lo más importante a recordar es que el material dentro de la célula tiene el fin de absorber la luz. El material semiconductor tiene que ser capaz de absorber una gran parte del espectro solar. Las propiedades de absorción del material están directamente relacionadas con la luz absorbida en una región más o menos cerca de la superficie. Cuando se absorbe la luz, se generan pares electrón-hueco que llegan a la unión separada por un campo eléctrico (Junior *et al.*, 2020). Otra cosa es que los semiconductores deben estar tan cerca como sea posible, incluso para los semiconductores de absorción débil como el silicio.

Las células solares que se utilizan en la práctica se empaquetan en módulos que contienen varias células de silicio cristalino conectadas en serie o una capa de material de película fina conectada en serie. Este módulo tiene dos objetivos principales: en primer lugar, protege las células solares de los riesgos medioambientales y, en segundo lugar, genera un voltaje mayor que una sola célula, que puede suministrar menos de 1

voltio. Las células solares de capa fina se fabrican aplicando capas finas de materiales semiconductores a un material de soporte sólido (Junior *et al.*, 2020).

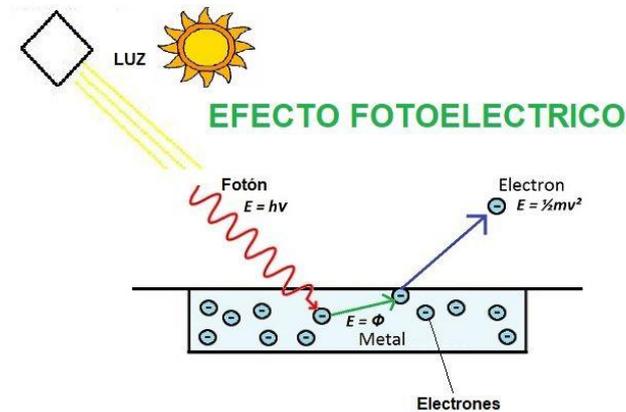


Figura 9. Efecto fotoeléctrico

Nota: La figura mostrada con antelación denota como es el efecto fotoeléctrico. Tomado de (MRWATT, 2023).

Por lo tanto, la luz solar que entra en la capa intrínseca generará electrones libres en el conductor. Las capas tipo p y tipo n crean un campo eléctrico a través de la capa intrínseca. El campo eléctrico realiza los electrones libres en la capa de tipo n, mientras que las cargas positivas se acumulan en la capa de tipo p. El grosor total de las capas de tipo p, intrínseca y de tipo n es de aproximadamente una micra. Sin embargo, este proceso es menos eficiente que el del silicio monocristalino y policristalino, las células solares de película fina pueden ser aún más prometedoras para la generación de energía a gran escala debido a la facilidad de producción en masa y al menor coste de los materiales (Thais & Moehlecke, 2017). El uso de láminas delgadas en lugar de obleas de silicio reduce enormemente la cantidad de material semiconductor necesario para cada célula. Las células solares pueden fabricarse a partir de películas muy finas de silicio en una forma conocida como silicio amorfo, en la que los átomos de silicio están mucho menos ordenados que en las formas cristalinas. Por otro lado, el óxido de estaño se utiliza en lugar de una rejilla metálica para la capa superior de las láminas fotovoltaicas de película fina (Thais & Moehlecke, 2017).

El silicio amorfo es la tecnología de capa fina que es utilizada mayormente en la construcción de células solares, proporciona una eficiencia de entre el 5 y el 7% de la

célula. Según Días (2018), los diseños de doble y triple unión, también llamados células fotovoltaicas multiunión, aumentan la eficiencia hasta el 8-10%. Las capas adicionales capturan diferentes longitudes de onda de la luz. La célula superior capta la luz azul, la central la verde y la inferior la roja. Los módulos fotovoltaicos más eficientes suelen emplear células de silicio monocristalino, con eficiencias de hasta el 15%. Las células policristalinas son menos caras de fabricar, pero la eficiencia de los módulos ronda el 11%. Las células de película delgada son aún más baratas, pero dan eficiencias de hasta el 8% y sufren mayores pérdidas por deterioro (Dos Santos & Barrozo, 2021).

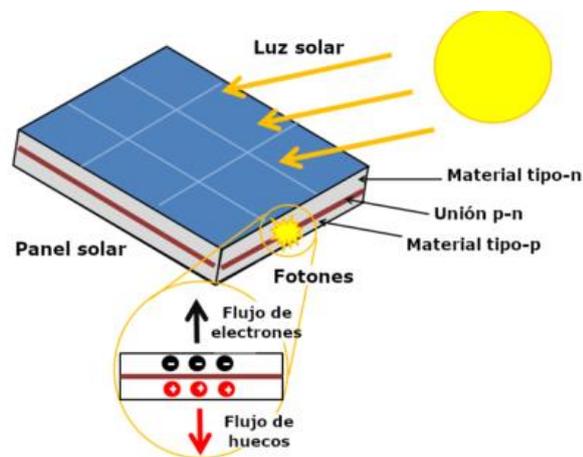


Figura 10. Célula solar

Nota: La figura mostrada con antelación denota una celda solar en su máxima extensión. Tomado de (MRWATT, 2023).

2.2.3.2 Inversores fotovoltaicos

El inversor solar es un equipo electrónico que procesa la energía eléctrica y se encarga de convertir el voltaje continuo almacenado en baterías en una tensión alterna sinusoidal, similar a la tensión proporcionada por el sistema eléctrico de potencia público (Abella, 2019).

2.2.3.3 Sistema de Bombeo

Un sistema de bombeo consta de varios componentes que se pueden enviar a través de tuberías y en última instancia, recolectar líquidos, lo que ayuda a cumplir con los requisitos de flujo y presión del proceso. La bomba y su actuador que puede ser un

motor eléctrico o un motor de combustión interna, son los dos componentes principales de un dispositivo de bombeo. Por consiguiente, el proceso de trabajo es: El actuador genera energía mecánica, que la bomba convierte en energía cinética, que recibe el fluido en forma de presión, velocidad y posición (Pedraza & Rosas, 2011).

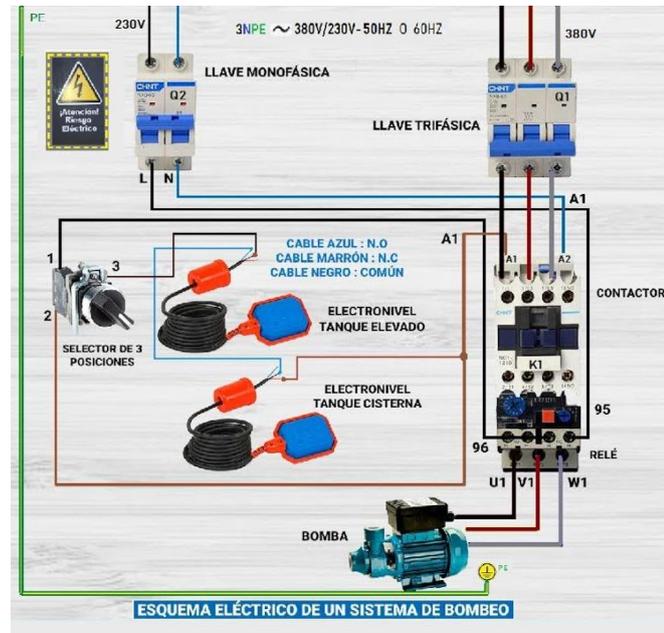


Figura 11. Sistema de bombeo

Nota: La figura mostrada con antelación denota las componentes de un sistema de Bombeo. Tomado de: (Galvis, 2021).

2.2.3.4 Bombas de agua

Una bomba es una máquina que convierte la energía mecánica en energía hidráulica. Dentro de estas, las bombas de desplazamiento positivo tienen una estructura flotante que obliga al líquido a fluir a través de la máquina debido a los cambios de volumen. Estas abren una cavidad donde el líquido ingresa por la entrada y cierra el líquido, empujando el líquido hacia afuera por la salida. Las bombas centrífugas están diseñadas para una altura manométrica más o menos constante y, por lo general, proporcionan caudales más altos que las bombas de desplazamiento positivo (Galvis, 2021). Una clasificación de bombas se describe a continuación.

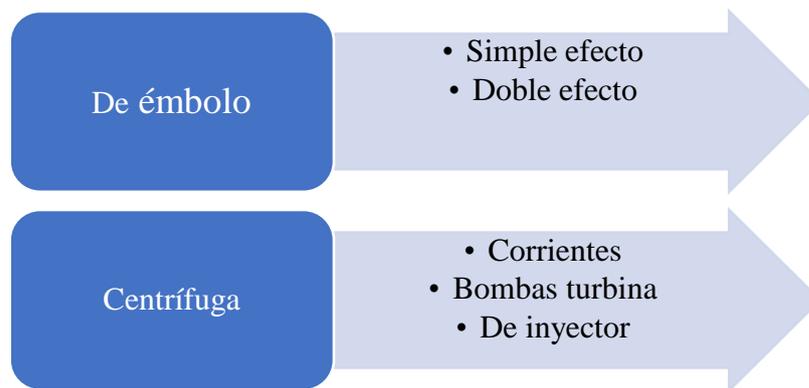


Figura 12. Tipologías de bombas

Nota: La figura mostrada con antelación denota las tipologías de bombas más empleadas. Adaptado de: (Galvis, 2021).

Tipos de bombas para sistemas de bombeo

Bomba Centrífuga: Debido a su eficiencia y adaptabilidad, las bombas centrífugas se utilizan a menudo en los sistemas de riego. Funcionan convirtiendo la energía cinética del fluido, que se acelera en la rueda giratoria, en energía de presión. A medida que aumenta la presión corporal, el líquido se filtra más rápido. Son ideales para bombear agua clara y fluidos de baja viscosidad. Pueden operar a baja presión con alto caudal o a alta presión con bajo caudal (Orozco, 2013).



Figura 13. Bomba Centrífuga

Nota: La figura mostrada con antelación denota la configuración de una bomba centrífuga. Tomado de: (Orozco, 2013).

Bomba de desplazamiento positivo: Las bombas de desplazamiento positivo son la mejor opción para mover productos químicos y líquidos espesos. Cada ciclo de operación implica atrapar y desplazar una cantidad específica de fluido. El fluido es

aspirado y luego impulsado por la descarga cuando gira el rotor o el pistón. Este tipo de bomba generalmente maneja tasas de flujo más bajas, pero puede generar presiones más altas que las bombas centrífugas (Viejo, 2003).

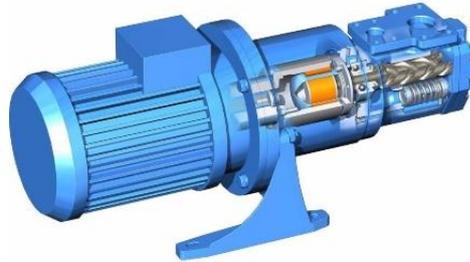


Figura 14. Bomba de desplazamiento positivo

Nota: La figura mostrada con antelación denota la configuración de una bomba de desplazamiento positivo. Tomado de: (Orozco, 2013).

Bomba de Diafragma: En las bombas de diafragma, el fluido es movido por un diafragma flexible. El diafragma se contrae y expande en respuesta a la presión del aire u otro fluido similar, creando un flujo de fluido. Pueden manejar caudales moderados a bajas presiones y tolerar materiales abrasivos, corrosivos y pegajosos (Orozco, 2013).



Figura 15. Bomba de diafragma

Nota: La figura mostrada con antelación denota la configuración de una bomba de diafragma. Tomado de: (Orozco, 2013).

Bomba de Engranajes: Una bomba de engranajes consta de dos engranajes que interactúan entre sí. Cuando el engranaje gira, moviéndose de succión a descarga, el

fluido queda atrapado entre sus dientes. A menudo se utilizan en aplicaciones industriales y son ideales para líquidos con viscosidad baja a media (Viejo, 2003).



Figura 16. Bomba de engranajes

Nota: La figura mostrada con antelación denota la configuración de una bomba de engranajes. Tomado de: (Orozco, 2013).

Bomba de Paletas: Tienen paletas montadas en un rotor dentro de una carcasa. La fuerza centrífuga hace que las paletas se muevan hacia afuera a medida que gira el rotor, produciendo un movimiento de bombeo. Se utilizan en sistemas de flujo medio y baja presión, como la transferencia de fluidos y el riego (Orozco, 2013).



Figura 17. Bomba de paletas

Nota: La figura mostrada con antelación denota la configuración de una bomba de paletas. Tomado de: (Viejo, 2003).

Bomba de Tornillo: Es una bomba de desplazamiento positivo que utiliza un tornillo helicoidal excéntrico para mover fluidos de manera controlada, siendo ideal para

aplicaciones que requieren una manipulación cuidadosa de líquidos viscosos y con sólidos sin agitarlos. (Viejo, 2003).



Figura 18. Bomba de Tornillo

Nota: La figura mostrada con antelación denota la configuración de una bomba de tornillo. Tomado de: (Viejo, 2003).

2.2.3.5 Principios de funcionamiento de las bombas

Durante el funcionamiento de la bomba, se transfiere energía para mover un fluido de un lugar a otro. La presión, el flujo y la cabeza en el sistema están estrechamente relacionados con esta operación (Czekaj, 1988).

Presión: Es la fuerza que el fluido ejerce sobre las paredes del sistema para crear presión en el sistema de bombeo al agregar energía cinética al fluido que circula en las bombas. Por ejemplo, en una bomba centrífuga, la aceleración de la rotación del impulsor hace que el fluido entre a una presión más baja y salga a una presión más alta (Durán, 2013).

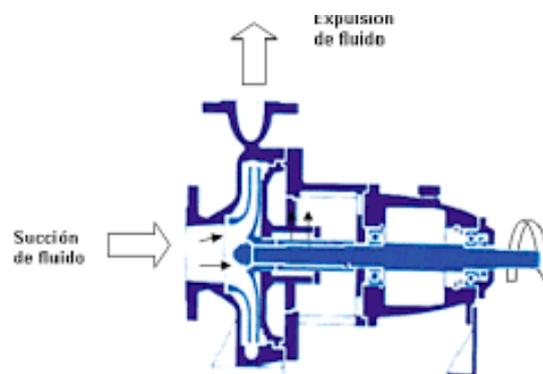


Figura 19. Función de una bomba de presión

Nota: La figura mostrada con antelación denota unos de los principios al momento de trabajar con bombas. Tomado de: (Durán, 2013).

Caudal: La cantidad de fluido que se mueve a través de un sistema por unidad de tiempo se llama tasa de caudal. Al proporcionar la fuerza necesaria las bombas pueden mover el fluido desde el punto de succión hasta el punto de descarga. El flujo que puede manejar una bomba se ve directamente afectado por su capacidad para generar energía y superar las limitaciones del sistema, como la fricción de la tubería.

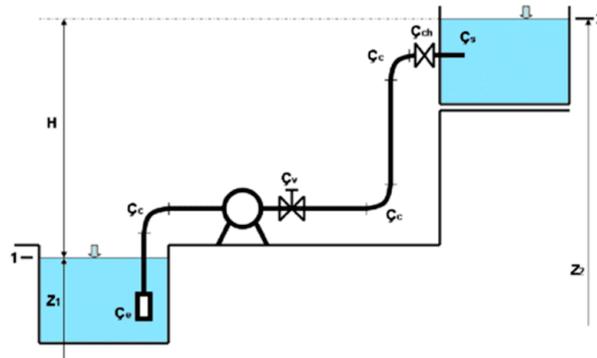


Figura 20. Caudal

Nota: La figura mostrada con antelación denota uno de los principios al momento de trabajar con bombas. Tomado de: (Durán, 2013).

Altura de Elevación (o Altura Manométrica Total): La altura de elevación se refiere a la distancia vertical que el fluido debe elevarse desde el punto de succión hasta el punto de descarga. Las bombas agregan energía al fluido para superar la gravedad y elevarlo a través de esta distancia. La altura de elevación también incluye las pérdidas de energía debidas a la fricción y otros factores en el sistema.

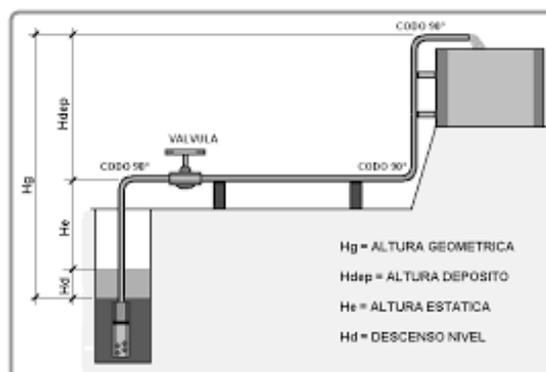


Figura 21. Altura de elevación

Nota: La figura mostrada con antelación denota unos de los principios al momento de trabajar con bombas. Tomado de: (Durán, 2013).

La relación entre estos factores se puede explicar utilizando la ecuación de la energía en la bomba, conocida como la "ecuación de Bernoulli modificada":

$$H = \frac{P}{\rho g} + z + \frac{V^2}{2g} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

H es la altura de elevación (en metros).

P es la presión (en Pascales).

ρ es la densidad del fluido (en kg/m³).

g es la aceleración debido a la gravedad (en m/s²).

z es la altura vertical (en metros) sobre una referencia arbitraria.

V es la velocidad del fluido (en m/s).

Esta ecuación muestra cómo la presión, la altura de elevación y la velocidad del fluido se relacionan para mantener la energía constante en el sistema. Al entender estos principios, se tiene la capacidad para seleccionar la bomba adecuada para alcanzar el caudal y la altura de elevación deseados en un sistema de riego para cultivos hidropónicos.

2.2.3.6 Sistemas de almacenamiento electroquímico

Los sistemas de almacenamiento electroquímico o sistemas de almacenamiento en baterías son los mecanismos más económicos y viables para el almacenamiento de energía (Silva & Zambrano , 2022). Las baterías son dispositivos que consisten en módulos multiceldas en donde se producen una variedad de reacciones químicas que convierte la energía química liberada en corriente eléctrica, a través de procesos de oxidación y reducción. Como se puede observar en la Tabla 1, se encuentran descritos los sistemas de baterías más utilizados.

TABLA 1. TECNOLOGÍAS DE ALMACENAMIENTO ELECTROQUÍMICO

Tecnología	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
Batería de plomo - ácido	<ul style="list-style-type: none"> • Madurez tecnológica. • Autodescarga de 0,09% a 0,4%. • Densidad energética de 50Wh/L a 100 Wh/L. • Vida útil de 3 a 15 años. 	<ul style="list-style-type: none"> • Largo tiempo de carga. • Afectaciones por temperatura ambiental. • Mantenimiento continuo. • Pocos ciclos completos de carga y descarga de 250 a 2500. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sector automotriz: baterías para arranque y tracción. • Para usos en comunicaciones, señalamientos, alarmas, iluminación. • Para equipos U.P.S. • Aplicaciones autónomas sin conexión a red. • Para energía solar y eólica.
Baterías de ión litio	<ul style="list-style-type: none"> • Alta eficiencia y densidad de energía (3 veces la de una batería plomo-ácido). • Requiere poco mantenimiento. • Tensión más alto por celda. • Baja tasa de auto descarga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo para aplicaciones de mediana a gran escala. • Vida útil corta. • Velocidades de carga limitada. • Sensible a temperaturas altas. • Requiere un circuito de protección. • Utiliza electrolitos orgánicos inflamables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pequeños dispositivos de electrónica de consumo móvil (teléfonos, ordenadores). • Vehículos eléctricos.
Baterías de níquel - cadmio (Ni-Cd)	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología madura y robusta. • Elevado rendimiento (mejor que la batería de plomo - ácido). • Alta densidad de energía. • Tolerante a altas temperaturas. • Baja tasa de auto descarga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado coste de materias primas en su fabricación. • Alta toxicidad por uso de metales pesados. • Efecto memoria, lo cual acelera su proceso de descarga. La batería necesita 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos domésticos. • Aplicaciones en aviación, telecomunicaciones, • satélites y astronáutica.

Tecnología	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
	<ul style="list-style-type: none"> • Ciclo de vida prolongado (más de 3500 ciclos completos). • Mantenimiento bajo. • Capacidad para soportar elevadas corrientes de descarga. • Gran variedad de tamaños. 	<ul style="list-style-type: none"> • cargarse y descargarse completamente. 	
Baterías de níquel - hidruro metálico (NiMH)	<ul style="list-style-type: none"> • Son una extensión de la tecnología de las baterías de Ni-Cd, pero evitando los problemas ambientales que estas producen. • Mayor densidad de energía que las baterías de Ni-Cd. • Efecto memoria, casi despreciable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alta autodescarga. • Peligrosa si es sobrecargada. • No trabajan bien a bajas temperaturas. • Precio elevado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivos electrónicos portables (teléfonos móviles). • Aplicaciones en vehículos eléctricos e híbridos, telecomunicaciones, satélites, astronáutica.
Baterías de flujo	<ul style="list-style-type: none"> • Vida útil superior a 10000 ciclos de carga y descarga completos. • Materias primas de construcción económicas. • Alcanzan mayores profundidades de descarga. 	<ul style="list-style-type: none"> • Eficiencia relativamente baja. • Energía en comparación con otras baterías. • Complejidad en su construcción. • Alto costo de reparación y mantenimiento. • Riesgo de fugas de fluidos electrolíticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Vehículos eléctricos. • Almacenamiento de energía de fuentes renovables. • Regulación del sistema eléctrico distribuido y redes inteligentes.
Baterías de sodio - azufre (NaS)	<ul style="list-style-type: none"> • Batería de alta temperatura. • Elevada potencia. • Densidad de energía alta en comparación con tecnologías de flujo y plomo-ácido (entre 140 Wh/L y 300 Wh/L). 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicaciones limitadas por motivos de seguridad. • Problemas de corrosión, sellado 	<ul style="list-style-type: none"> • Solo para aplicaciones fijas. • Almacenamiento para energías renovables. • Múltiples funciones para sistemas eléctricos.

Tecnología	Ventajas	Desventajas	Aplicaciones
	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción con materiales baratos y abundantes. • Sistemas compactos. • Autodescargas muy bajas. 	<ul style="list-style-type: none"> • entre electrodos y en los compartimentos. • Cuentan con elementos de seguridad debido a posibles reacciones químicas sodio-azufre. 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Batería de alta temperatura. • Buena densidad de energía. • Bajas tasas de autodescarga. 		
Baterías de cloruro de níquel y sodio (Na-Ni-Cl)	<ul style="list-style-type: none"> • Menor riesgo de incendio en comparación con tecnologías NaS. • Materiales de construcción menos corrosivos, adecuadas para aplicaciones móviles. • Vida útil razonable (1000 a 7500 ciclos). 	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas por mantenimiento de la temperatura de la batería. 	<ul style="list-style-type: none"> • Electromovilidad. • Funciones de soporte de red eléctrica.

Nota: La tabla muestra los sistemas de almacenamiento más comunes para albergar energía solar. Adaptado de: (Giraldo & Sotelo, 2018).

TABLA 2. CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE BATERÍAS

Característica	Plomo - ácido	Ión litio	Ni-Cd	NiMH	Baterías flujo	NaS	Na-Ni-Cl
Densidad energética (Wh/L o Wh/kg)	50 - 100 Wh/L	250 Wh/kg	50 - 150 Wh/L	100 Wh/kg	50 Wh/kg	140 - 300 Wh/L	250 Wh/kg
Vida útil (años)	3 - 15	5	5	6 - 10	Mayor a 20	10	5
Carga/descarga (ciclos)	250 - 2500	400 - 500	más de 3500	500 - 2000	10000	5000 - 10000	1000 - 7500
Tiempo de carga (horas)	8 - 16	2 - 4	10 - 14	2 - 4	-	Más de 10	-

Característica	Plomo - ácido	Ión litio	Ni-Cd	NiMH	Baterías flujo	NaS	Na-Ni-Cl
Autodescarga (%/día)	0,09 - 0,4	0.2	1	1	0,5	0,05 - 1	5
Costos	Bajo	Medio	Alto	Bajo	Medio	Muy alto	Alto
Aplicable para energía solar fotovoltaica	Si	No	Si	No	Si	Si	No

Nota: La tabla muestra las características de los sistemas de almacenamiento más comunes para albergar energía solar. Tomado de: (Giraldo & Barahona, 2018).

Considerando los beneficios, inconvenientes y aplicaciones de cada tipo de almacenamiento electroquímico y con la ayuda de la comparativa en la Tabla 2; se concluye que la batería de plomo-ácido tiene una buena relación de desempeño vs costo. Sin embargo, es la de menor densidad de energía por peso y volumen. Este tipo de batería recargable resulta ser la opción más viable, efectiva y completa, por lo tanto, se plantea su utilización en el desarrollo de la investigación.

2.2.4 Software PVsyst

PVsyst es un paquete de software para PC y es una de las herramientas de modelado de energía que utiliza la industria solar para simular la recolección de energía de un sitio de proyecto potencial. PVsyst contiene parámetros que se pueden personalizar en función del módulo solar que se va a modelar. Se utiliza para el estudio, dimensionamiento y análisis de datos de sistemas fotovoltaicos completos. Se trata de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, autónomos, de bombeo y de red de CC, e incluye extensas bases de datos de componentes de sistemas fotovoltaicos y métodos, así como herramientas generales de energía solar (Sharma *et al.*, 2018).

PVsyst incluye varias bases de datos de componentes utilizados en sistemas fotovoltaicos, las cuales son:

2.2.4.1 Módulos fotovoltaicos en el software PVsyst

La base de datos de módulos fotovoltaicos incluye alrededor de 12.500 dispositivos. Hasta 2008, se actualizaba principalmente utilizando la encuesta de la revista PHOTON, publicada como tablas impresas cada año. Desde entonces, los datos son proporcionados por los propios fabricantes, lo que mejora la fiabilidad.

2.2.4.2 Inversores en el software PVsyst

La base de datos de inversores incluye alrededor de 4.800 dispositivos.

2.2.4.3 Datos meteorológicos en el software PVsyst

Además de la base de datos meteorológica que se incluye en el software, PVsyst da acceso a muchas fuentes de datos meteorológicos disponibles en la web e incluye una herramienta para importar fácilmente las más populares. La base de datos en PVsyst se actualiza a petición de los fabricantes y está disponible en cada nueva versión del software (es decir, cada 1-2 meses) (Silvestre, Castañer, & Guasch, 2018). Aunque PVsyst es una herramienta muy útil y ampliamente utilizada para el diseño y análisis de sistemas fotovoltaicos, también tiene algunas desventajas que deben tenerse en cuenta.

2.2.4.4 Curva de aprendizaje en el software PVsyst

PVsyst es una herramienta muy completa y avanzada, lo que significa que puede llevar algún tiempo aprender a utilizar todas sus funciones y herramientas. Sin embargo, hay muchos recursos disponibles para ayudar a los usuarios a aprender a usar el software, como tutoriales en línea y cursos de capacitación.

2.2.4.5 Costo del software PVsyst

PVsyst es un software comercial, lo que significa que los usuarios deben pagar por una licencia para utilizarlo. Sin embargo, el costo de la licencia puede ser una inversión

valiosa para aquellos que utilizan regularmente el software para el diseño y análisis de sistemas fotovoltaicos.

2.2.4.6 Limitaciones en la base de datos del software PVsyst

Aunque PVsyst incluye extensas bases de datos de componentes meteo y sistemas fotovoltaicos, puede haber casos en los que un componente específico no esté incluido en la base de datos. En estos casos, los usuarios pueden ingresar manualmente los datos del componente en el software (Silvestre, Castañer, & Guasch, 2018).

CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación

La granja agropecuaria “La Victoria” geográficamente se encuentra en la provincia de Tungurahua, cantón Cevallos, en el barrio Santo Domingo; ubicada entre $1^{\circ}21'0.81''S$ de latitud y $78^{\circ}38'4.65756''O$ de longitud.

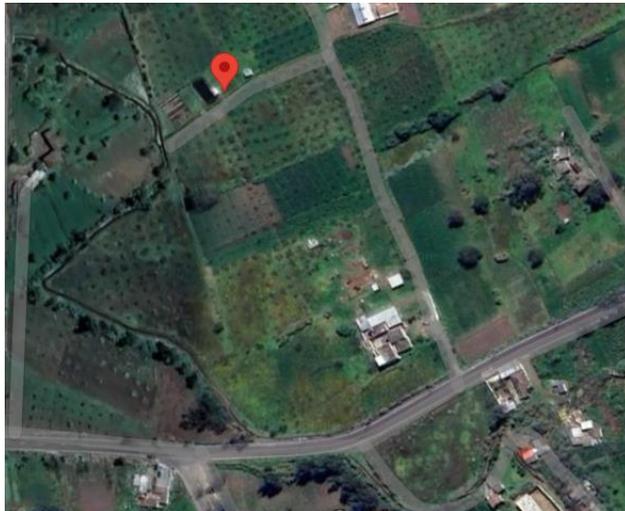


Figura 22. Ubicación de los paneles solares en la granja la victoria

Nota: La figura muestra la ubicación del módulo solar fotovoltaico. Adptada de Google Maps.

3.2 Equipos y materiales

Para la realización de la presente investigación de un sistema fotovoltaico, se utilizaron referencias bibliográficas fundamentados en estudios TFM, (Trabajo Fin de Master) y revistas científicas de alto impacto. Por otro lado, para el módulo solar fotovoltaico se utilizaron varios equipos y materiales que se detallan a continuación:

3.2.1 Equipos

Los equipos empleados en el desarrollo del presente trabajo de investigación se enlistan a continuación con el propósito de generar una comparativa y desde ese punto establecer una selección acertada.

3.2.1.1 Paneles Solares Policristalino 345 W

TABLA 3. COMPARACIÓN ENTRE PANELES SOLARES

Características	POWEST	SunPower	Panasonic
Eficiencia	Hasta 25,2%	Hasta 22,8%	Hasta 22,2%
Potencia máxima	345 W	440-420W	410W
Garantía de producción	30 años	25 años	25 años
Coefficiente de temperatura	-0,25%/°C	-0,26%/°C	-0,26%/°C
Tecnología de células	Heterounión con conexiones sin espacios	Heterounión con conexiones sin espacios	Heterounión con conexiones sin espacios

Nota: La tabla muestra las características del panel solar empleado.

De acuerdo con la TABLA 3. el módulo solar fotovoltaicos marca POWEST es ideal para el uso en plantas industriales con un peso de 22,5 kg y dimensiones de 1956 mm x 992 mm x 40 mm lo que le hace ideal para una potencia máxima de 345 W; además, cuenta con una eficiencia mayor siendo de hasta 25,2%. Sin mencionar el hecho que su adquisición es instantánea dentro del sector de estudio.



Figura 23. Panel solar Policristalino POWEST 345 W

Nota: La figura muestra el panel fotovoltaico utilizado.

3.2.1.2 UPS Híbrida 1 kVA

A continuación, se muestra una tabla comparativa entre varios controladores existentes en el mercado.

TABLA 4. CARACTERÍSTICAS DE CONTROLADORES

Marca	EPEVER	Aramox	Powest Hybrid	SRNE Solar
Tecnología	MPPT	MPPT	MPPT	MPPT
Voltaje del sistema	12/24VDC auto	12V/24V	12/24VDC auto	12/24VDC auto
Corriente máxima de carga	10A, 20A, 30A, 40A	40 ^a	10A, 20A, 30A, 40A, 60A,	20A, 30A, 40A
Voltaje máximo de circuito abierto fotovoltaico	100V	100V	80V	100V
Eficiencia máxima	≤98%	≤95%	≥98%	≤97%

Nota: La tabla muestra las características del controlador empleado.

El equipo seleccionado para gestionar el sistema es el controlador de la marca POWEST que consta de un controlador MPPT 60 A que gestiona de manera eficiente la energía del módulo solar fotovoltaicos paneles solares; logrando un sistema sin cortes de luz, con la capacidad de trabajar en diferentes modos según la necesidad, equipado con un cargador inteligente que detecta el tipo de batería que se esté

implementando; además, tiene una eficiencia máxima del 98% siendo el mayor comparado con las demás marcas.



Figura 24. UPS Híbrida 1 kVA

Nota: La figura muestra el controlador POWEST UPS Híbrida 1 kVA.

3.2.1.3 Batería Solar 12V, 200AH

Las baterías de formato de gel proporcionan el estado de operación correcto para su uso en módulos fotovoltaicos, ya que tienen una duración prolongada de 100 horas, además soporta un gran número de ciclos entre 500 y 1000; mantienen una vida útil de 4 a 8 años, la TABLA 5, especifica las características de 3 tipos de baterías que se pueden conseguir en el mercado.

TABLA 5. CARACTERÍSTICAS DE BATERÍAS

Marca	VMAXTANKS	QP	ExpertPower
Modelo	12-Volt 125Ah AGM Deep Cycle Battery	Deep Cycle GEL Battery 12 Volt 100Ah	12v 33Ah Rechargeable Deep Cycle Battery
Tipo de batería	AGM1	AGM1	AGM1
Capacidad (Ah)	125	200	33
Voltaje (V)	12	12	12
Vida útil (ciclos)	800-1500	500-1000	100-500

Nota: La figura muestra la batería que se va a utilizar en el desarrollo del proyecto.

De acuerdo con lo detallado anteriormente se selecciona la batería de marca QP Gel, pues tiene una capacidad de 200Ah que es lo que se busca para este proyecto y una vida útil muy aceptable, si se le da un buen cuidado puede durar hasta mil ciclos de carga, aunque la batería de otra marca tiene mejores características es más costosa.



Figura 25. Batería de gel 12V 200AH Para Sistemas Solares

Nota: La figura muestra la batería que se va a utilizar en el desarrollo del proyecto. Tomado de: (Giraldo & Barahona, 2018)

3.2.1.4 Sistema de bombeo

TABLA 6. TIPOS DE SISTEMAS DE BOMBEO

Marca	Paolo	Truper	Karson
Modelo	PBP50	BOAC-1/2A456	No especificado789
Tipo de bomba	Periférica	Centrífuga4	Periférica7
Potencia (HP)	medio HP	medio HP	medio HP
Altura máxima (m)	32	18	15
Caudal máximo (L/min)	33	121	74
Profundidad máxima de succión (m)	8	84	54
Precio	\$ 90	\$ 150	\$ 50

Nota: La tabla muestra la bomba que se va a utilizar en el desarrollo del proyecto.

El sistema de bombeo se ha utilizado una bomba de la marca Paolo Modelo PBP50, cuenta con una potencia de ½ HP la cual consta de una tubería de diámetro 30,25 mm, además tiene un costo medio con respecto a las otras tres marcas, cumple con los

requisitos para realizar la actividad planteada. No se elige la marca Truper porque excede el presupuesto disponible.



Figura 26. Sistema de bombeo

Nota: La figura muestra el sistema de bombeo para el riego de cultivos hidropónicos.

3.2.2 Materiales

- Software para el procesamiento digital de la información: Arc View 3.2, Arc GIS 8.2, Auto Cad 2009, Arc Map, Access, Surfer. PVGIS, NASA POWER e INAMHI.
- Formularios, Data sheet: Especificaciones de la bomba de agua (presión, potencia y caudal), fotografías, esferos.

3.3 Tipo de investigación

El desarrollo de la investigación fue de tipo cuantitativo, debido a que se va efectuar cálculos estandarizados, con base a proyectos previos en el ámbito nacional e internacional, además con un diseño metodológico pre-experimental de un solo grupo para dar respuesta a la hipótesis y después medir cada una de las variables.

Se efectuó una investigación de tipo: Información documentada, exploratoria, explicativa y de campo. La recolección de información se llevó a efecto por medio de observación.

A continuación, con el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico y por medio del análisis de los datos obtenidos se estableció si se cumplió con el objetivo del uso de energías renovables y con ello aprobar el proyecto.

3.4 Prueba de Hipótesis

La investigación efectuada se basa en fundamentos técnicos y análisis cuantitativo, busca como evaluar el funcionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico por lo cual se presenta las siguientes hipótesis:

Ho: El sistema de bombeo será sostenible por medio de energía fotovoltaica.

Hi: El sistema de bombeo fotovoltaico no será sostenible por medio de energía fotovoltaica.

3.5 Población o muestra:

La población muestra está relacionada a las variables que van a ser estudiadas a la par de centrarse en un sitio en particular como es el caso de la Granja “La Victoria”.

TABLA 7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Matriz Operacional de las Variables			
Variable	Tipo	Dimensiones	Indicadores
Energía Fotovoltaica	Variable Independiente	Estudio de la potencia Energética (radiación W/m^2) del módulo fotovoltaico	Piranómetro
		Estudio de la corriente (A) dada por el panel	Pinza Amperimétrica
		Estudio del voltaje (V) almacenado en el banco de baterías	Multímetro
		Eficiencia del panel fotovoltaico (%)	Se calcula dividiendo la potencia pico del panel por la irradiación en condiciones estándar (STC) multiplicada por la superficie en metros cuadrados del panel
		Temperatura de la celda en funcionamiento nominal ($^{\circ}C$)	Termómetro Digital
		Potencia en el punto máximo MPP (W)	$MPP = I_{mpp} \times V_{mpp}$

Variable Dependiente	Caudal del sistema agua (m^3/s)	Cronómetro y volumen del reservorio
	Profundidad o Nivel del agua del reservorio (m)	Flexómetro
	Especificaciones de la bomba de agua (presión, potencia y caudal)	Data sheet
	Tipos de bombas	Data sheet
	Presión (PSI)	Manómetro

Nota: La tabla muestra la operacionalización de variables.

3.6 Recolección de información

En lo que respecta a la recopilación de información se efectuó una investigación de tipo: Información documentada, exploratoria, explicativa y de campo. Debido a su enfoque cuantitativo se efectuó la recolección de datos como indican los autores siguientes:

Durante el proceso de cuantificación numérica, el instrumento de medición o de recolección de datos es fundamental. Por lo que deben ser correctos, o que indiquen lo que interese medir con facilidad y eficiencia; Según Contreras *et al.*, (2018), expresa que un instrumento de medición analiza tres características principales:

- Validez: se refiere al grado en que la prueba está midiendo lo que en realidad se desea medir.
- Confiabilidad: Se menciona a la exactitud y a la precisión de las técnicas de medición.
- Factibilidad: Se menciona a los factores que disponen la posibilidad de realización, tales como: factores económicos, conveniencia y el grado en que los instrumentos de medición sean interpretables.

Es por este motivo que el enfoque dentro de la investigación fue únicamente de manera matemática por medio de ecuaciones y expresiones que permitieron estimar el dimensionamiento del sistema. Dichos datos se constituyeron de la irradiancia o exposición solar en un periodo de 15 años de tres fuentes categóricas. En lo que respecta a la validación de hipótesis, su apreciación fue expresada al orientar el sistema de bombea hacia una aplicación práctica (nebulización).

3.7 Variables respuesta o resultados alcanzados

Una vez efectuado la evaluación del funcionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico de la granja agropecuaria La Victoria del Cantón Cevallos Tungurahua. Se espera obtener como resultado.

- La bomba conservará los patrones de comportamiento dados por sus fabricantes Data sheet, especificaciones de la bomba de agua (presión, potencia y caudal), eficiencia en rango bajo nuevas condiciones climáticas y en relación con la mayor radiación solar durante todo el día (11 am a 15 pm).
- Se empleará programas como el PVGIS, NASA POWER e INAMHI para obtener los datos de irradiación solar y temperatura para dimensionar un sistema fotovoltaico.
- El sistema de bombeo podrá ser empleado en una aplicación práctica (nebulización).

La figura 27 expuesta a continuación muestra el proceso metodológico que se aplicó en este proyecto.

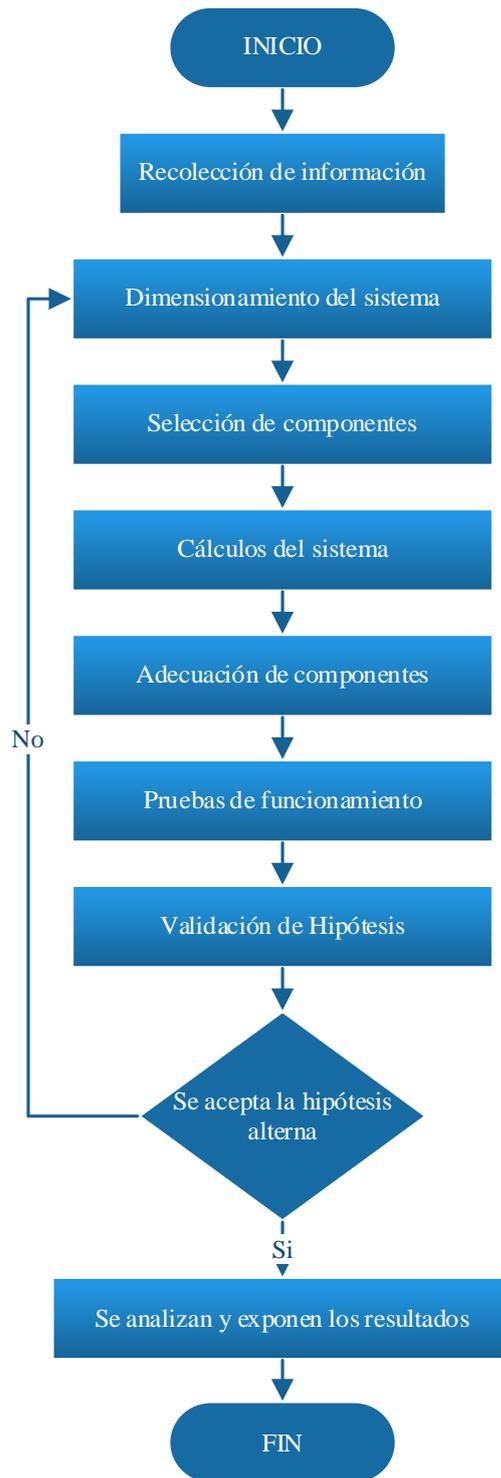


Figura 27. Metodología empleada en el desarrollo del proyecto

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Dimensionamiento

Con el propósito de generar un modelo efectivo, es importante recordar que las instalaciones fotovoltaicas tienen pérdidas que pueden ser de tipo ópticas, térmicas y eléctricas; las cuales provocan que no toda la energía que son capaces de producir sea aprovechada. Es por este motivo que estimar de manera correcta la producción puede generar un diseño apropiado y desde luego otorgar una viabilidad efectiva. En consecuencia, a continuación, se desarrolló la adecuación del sistema fotovoltaico teniendo en cuenta la irradiación del sector objeto de estudio.

4.1.1 Diseño del sistema

Para el análisis del potencial solar en la granja agropecuaria “La Victoria”, se ha tomada como base el atlas solar del Ecuador, el mismo que fue desarrollado con la finalidad de proporcionar información de la producción de electricidad, mostrando la energía solar media de los valores diarios de la radiación solar, tanto la difusa como la total. En la figura 28, se puede ver los sitios con mayor irradiación en el país y que tienen grandes beneficios para generar energía fotovoltaica.

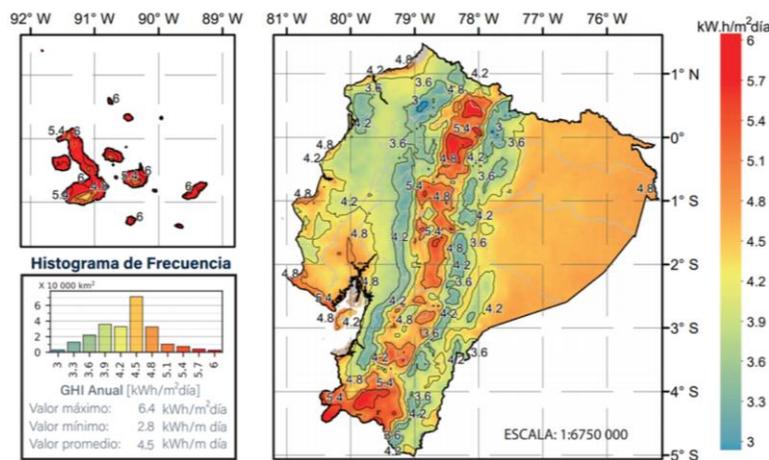


Figura 28. Irradiación solar anual

Nota: La figura muestra la estimación de la irradiancia para el Ecuador. Tomado de Atlas Solar del Ecuador.

Para la determinación de la radiación solar en diferentes puntos del Ecuador se puede hacer uso del atlas solar, así como de varias herramientas informáticas que existen en

la actualidad entre las que se puede citar herramientas como Solar GIS, NASA, PVGIS e INAMHI y varios softwares que tienen esta información.

4.1.1.1 Irradiación global Horizontal (Nasa Power)

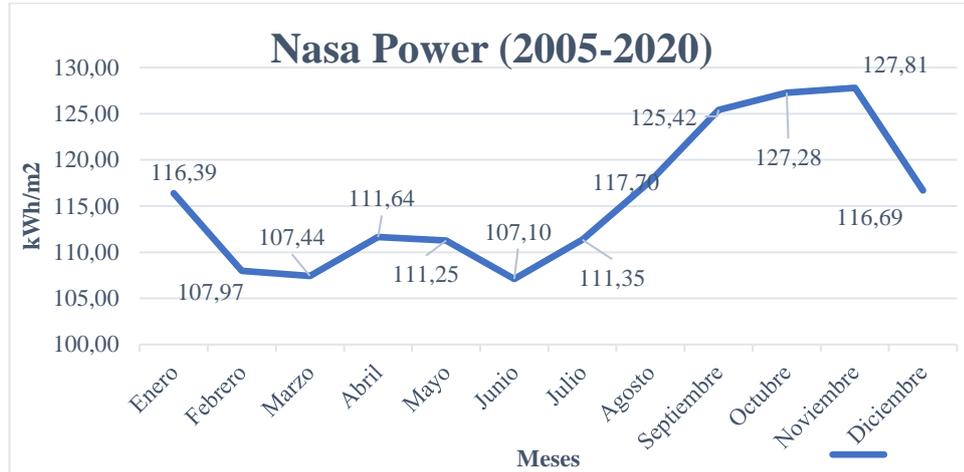


Figura 29. Datos Irradiación global Horizontal – Nasa Power

Nota: La figura muestra en promedio la irradiancia en el cantón Cevallos (Nasa power)

La plataforma Nasa Power, referente de la figura 29, muestra que la irradiación mensual máxima se evidencia en el mes de noviembre con $127,81 \text{ kWh/m}^2$, mientras que la mínima fue $107,10 \text{ kWh/m}^2$ mes de junio.

4.1.1.2 Irradiación global Horizontal (PVGIS)

La plataforma PVGIS que registra el satélite NSRDB $0.038^\circ \times 0.038^\circ$ ($\sim 4 \text{ km}$), proporcionado por el NREL Laboratorio Nacional de Energía Renovable; parte de la Base de Datos Nacional de Radiación Solar. En la figura 30, muestra los valores de irradiación global en el periodo 2005-2020, del cantón Cevallos – Tungurahua Ecuador. El pico mínimo corresponde al mes de junio con $151,79 \text{ kWh/m}^2$ y su máximo $189,72 \text{ kWh/m}^2$ para el mes de septiembre.

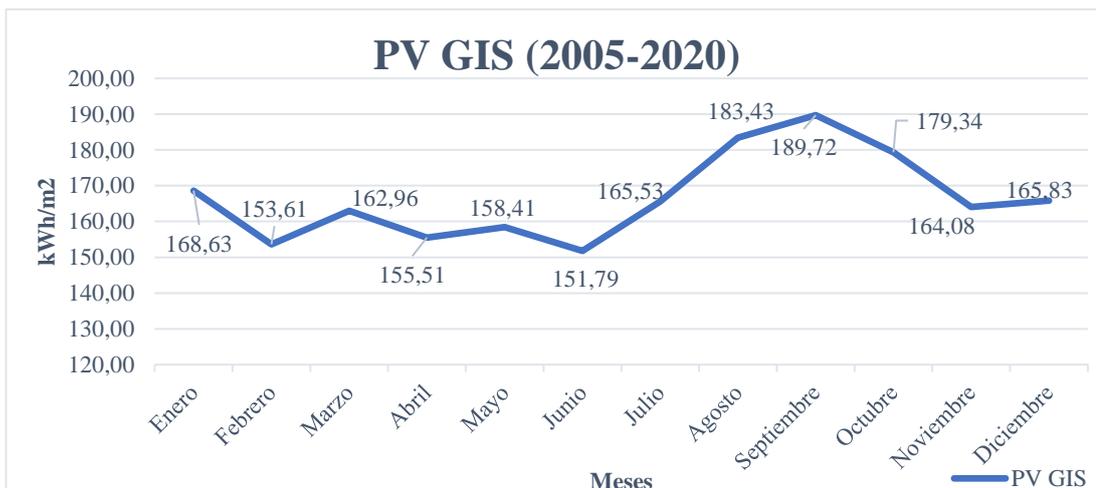


Figura 30. Datos Irradiación global Horizontal – PVGIS

Nota: La figura muestra en promedio la irradiancia en el cantón Cevallos (PVGIS)

4.1.1.3 Irradiación global Horizontal (Inamhi)

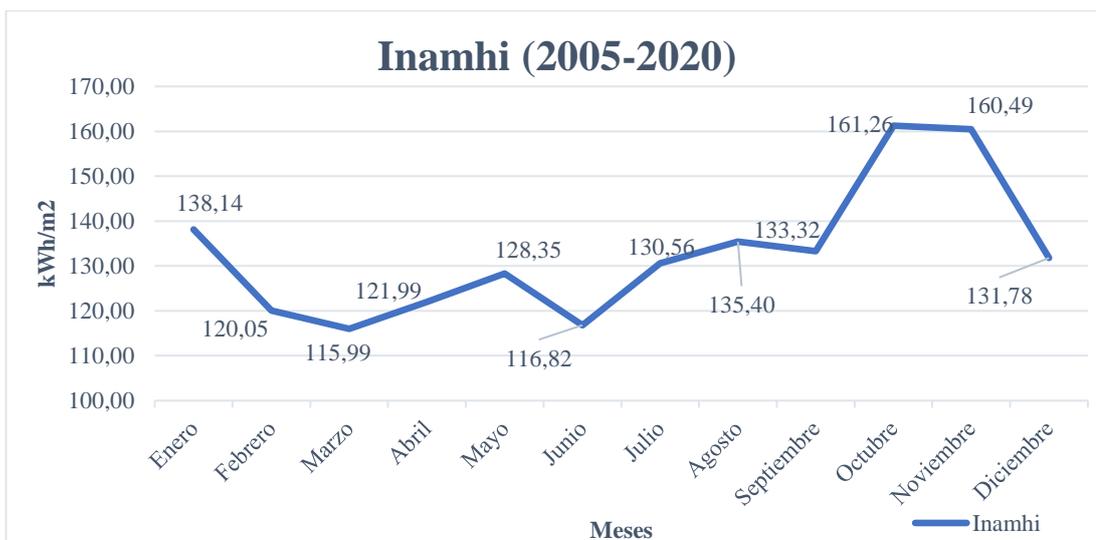


Figura 31. Datos irradiación global Horizontal – Inamhi

Nota: La figura muestra en promedio la irradiancia en el cantón Cevallos (Inamhi)

La figura 31 muestra la irradiación mensual mínima dentro de la base de datos Inamhi en $115,99 \text{ kWh/m}^2$ para el mes de marzo, y la irradiación máxima para el mes de octubre un valor de $161,26 \text{ kWh/m}^2$.

Una vez analizada las diferentes fuentes de datos, se muestra la Tabla 8, con el propósito de establecer una comparación de radiación y así determinar el potencial de luz solar que se genera y puede ser aprovechada.

TABLA 8. BASE DE DATOS DE IRRADIANCIA CON BASE A LOS 15 AÑOS DE EXPOSICIÓN

Mes	PV GIS kWh/m2/mes	Nasa Power kWh/m2/mes	Inamhi kWh/m2/mes	Promedio kWh/m2/mes
Enero	168,63	116,39	138,14	141,05
Febrero	153,61	107,97	120,05	127,21
Marzo	162,96	107,44	115,99	128,80
Abril	155,51	111,64	121,99	129,71
Mayo	158,41	111,25	128,35	132,67
Junio	151,79	107,10	116,82	125,23
Julio	165,53	111,35	130,56	135,82
Agosto	183,43	117,70	135,40	145,51
Septiembre	189,72	125,42	133,32	149,49
Octubre	179,34	127,28	161,26	155,96
Noviembre	164,08	127,81	160,49	150,79
Diciembre	165,83	116,69	131,78	138,10
Max	189,72	127,81	161,26	155,96
Mín	151,79	107,10	115,99	125,23

Nota: La tabla muestra información sobre la irradiación Global Horizontal emitida por el sol con base en tres fuentes para detallar un promedio de irradiación.

Por medio de la tabla mostrada con antelación se puede estimar un valor de irradiación total por cada una de las plataformas. Dentro de las cuales los valores a emplear permitirán estimar el valor de la hora solar pico para la caracterización del sistema.



Figura 32. Comparación de datos irradiación global Horizontal

Nota: La figura mostrada con antelación muestra información sobre la irradiación emitida por el sol con base en varias fuentes para detallar un promedio de trabajo con el propósito de estimar la hora solar pico.

4.1.2 Determinación de la hora solar pico (HSP)

La hora solar pico se calcula mediante la ecuación en función de la radiación solar

$$HSP = \frac{I \text{ diaria}}{1.000 \frac{W}{m^2}} \quad (Ec. 2)$$

Donde:

HSP: Hora solar Pico

I diario: Radiación diaria

Para aplicar la fórmula de la HSP fue necesario transformar las unidades de kWh/m², a unidades de Wh/m², encontrando el I diario. Ese valor se divide para el factor de 1.000 W/m². Además, se debe hacer relación al ángulo de inclinación de 15° de los paneles y en función de la latitud de -1° se halla una tabla con esa latitud del sitio del estudio a través de factores de corrección que se utiliza con el fin de determinar la óptima HSP, para el dimensionamiento se escogió trabajar con el mes de menos horas puesto que el sistema debe funcionar en las peores condiciones de luz solar.

TABLA 9. DETERMINACIÓN DE LA HSP

Mes	Irradiación horizontal global Wh/m2/día	Factor de corrección	Irradiación global sobre un plano Inclinado Wh/m2/día	HSP diario Optima
Enero	4.550,00	0,88	4.004,00	4,00
Febrero	4.543,21	0,92	4.179,75	4,18
Marzo	4.154,84	0,97	4.030,19	4,03
Abril	4.323,67	1,02	4.410,14	4,41
Mayo	4.279,68	1,05	4.493,66	4,49
Junio	4.174,33	1,06	4.424,79	4,42
Julio	4.381,29	1,04	4.556,54	4,56
Agosto	4.693,87	1,01	4.740,80	4,74
Septiembre	4.983,00	0,97	4.833,51	4,83
Octubre	5.030,97	0,93	4.678,80	4,68
Noviembre	5.026,33	0,89	4.473,43	4,47
Diciembre	4.454,83	0,87	3.875,70	3,87

Nota: La tabla mostrada con antelación muestra información sobre el cálculo de la HSP con base en factor de corrección. El valor para considerar es de 3,9 horas, es decir, la cantidad de menor valor por el tema de trabajo en condiciones extremas y pasar al cálculo del consumo diario.

4.1.3 Cálculo del consumo Diario

TABLA 10. CONSUMO DE ENERGÍA DIARIA

DIMENSIONAMIENTO DE UN SISTEMA AISLADO							
Cargas # eléctricas	Cantidad	Pot. Nomin al [W]	Pot. Total (W)	Voltaje del equipo	Horas de Uso Diario	Consumo Diario Wh/día Energía	Demanda Máxima Watts
Bomba de							
1 Agua (1/2 Hp)	1	373	373	110	4	1.492	1.865
2 Timer	1	4,50	4,50	110	4	18	4,50
3 Electro válvula	60	0,52	31,50	110	4	126	31,50
TOTAL			409		12	1.636	1.901

Nota: La tabla muestra el consumo de energía con base en los elementos del arreglo; teniendo un valor de 1.636 Wh/día.

TABLA 11. CONSUMO TOTAL DIARIO

Potencia. Max Demanda	409	W
Energía de Max. Demanda por día	1636	Wh/día
Potencia Pico	1901	W
Potencia real exigida /(Factor simultalidad 0,8)	327,20	W

Nota: La tabla muestra el resumen de datos.

4.1.3.1 Cálculo de potencia de generación fotovoltaica

Para detallar este aspecto es necesario emplear la ecuación 3 mostrada a continuación:

$$PGV = \frac{E (wh) * fs}{(n_{sis}) * HSP} \quad (Ec. 3)$$

Donde:

PGV: potencia necesaria de generación

E (wh): demanda de energía por día

fs: factor de sobredimensionamiento

(n_{sis}): rendimiento del sistema

HSP: hora solar pico

$$PGV = \frac{1636 * 1,20}{0,80 * 3,90} = 629,23 W$$

En este punto se considera que para establecer el número de paneles es necesario identificar al valor del consumo de energía y dividirlo para el valor de energía obtenido. En este aspecto, al considerar dos paneles de alrededor de 345 W se podría solventar la cantidad de energía necesaria. En este aspecto se considera el valor de 2 paneles sin embargo se ofrece un cálculo posterior teniendo en consideración la expresión y/o ecuación denominada Ec. 3.

$$(Wp)potencia\ pico \geq\ consumo$$

$$690 \geq 629,23 W$$

4.1.3.2 Cálculo del acumulador/baterías

El cálculo de esta expresión se efectuó tomando en cuenta la formula denotada a continuación:

$$C_{BB(Ah)} = \frac{E (wh) * (DA)}{(V_{sis}) * (PD)} \quad (Ec. 4)$$

Donde:

$C_{BB(Ah)}$: Capacidad del banco de baterías (Ah) nominal

$E (wh)$: Energía (demanda diaria wh)

(DA) : Autonomía (días)

(V_{sis}) : Voltaje del sistema (V)

(PD) : Profundidad de descarga

$$C_{BB(Ah)} = \frac{(1636) * (1,25)}{(12) * (0,50)} = 340,83 A$$

Con base en este valor, se selecciona la batería 200 Ah, teniendo en cuenta que si se desea que el sistema funcione apropiadamente debe mantenerse la siguiente expresión:

$$C_{BBnominal} \geq C_{BB} \quad (Ec. 5)$$
$$400 \geq 340,83 \text{ efectivo}$$

Es importante resaltar que el voltaje se eligió a partir del consumo diario, tomando en cuenta los siguientes aspectos

- De 1 a 2.000 Wh de consumo diario. Sistema a 12 V
- De 2.001 a 4.000 Wh de consumo diario: Sistema a 24 V.
- De 4.001 Wh en adelante de consumo diario: Sistema a 48 V.

Es por este motivo que todo el sistema se enfocó dentro de un modelo de 12 voltios.

4.1.3.3 Cálculo de los módulos fotovoltaicos

Para el cálculo de los módulos se respaldó en las siguientes consideraciones. En primera instancia al valor del consumo diario

$$\begin{aligned} \text{Potencia FV} &= \frac{\text{Consumo Diario}}{\text{Hora Solar M\u00ednima}} \quad (\text{Ec. 6}) \\ \text{Potencia FV} &= \frac{1963,20 \text{ Wh/dia}}{3,90 \text{ h/dia}} = 503,38 \text{ W} \end{aligned}$$

4.1.3.4 Estimaci\u00f3n de n\u00famero de m\u00f3dulos

$$\begin{aligned} \text{N\u00famero de M\u00f3dulos FV} &= \frac{\text{Potencia FV}}{\text{Potencia del M\u00f3dulo}} \quad (\text{Ec. 7}) \\ \text{N\u00famero de M\u00f3dulos FV} &= \frac{503,38 \text{ W}}{345 \text{ W}} \\ \text{N\u00famero de M\u00f3dulos FV} &= 1,46 = 2 \text{ m\u00f3dulos} \end{aligned}$$

La potencia fotovoltaica necesaria para el dise\u00f1o requiere de un arreglo de 2,00 m\u00f3dulos con una potencia Fotovoltaica de 503,38 W. Por otro lado, fue indispensable valorar el amperaje que soportar\u00e1n las bater\u00edas de almacenamiento considerando una eficiencia del inversor del 90% y un voltaje del sistema de 12 voltios; por medio de la expresi\u00f3n mostrada a continuaci\u00f3n.

$$\begin{aligned} \text{Capacidad de las Bater\u00edas} &= \frac{\frac{(\text{consumo diario Wh/d\u00eda})}{\text{eficiencia del inversor } v}}{\text{voltaje del sistema}} \quad (\text{Ec. 8}) \\ \text{Capacidad de las Bater\u00edas} &= \frac{\frac{(1963,20 \text{ Wh/d\u00eda})}{0,90}}{12 \text{ V}} \\ \text{Capacidad de las Bater\u00edas} &= 181,80 \frac{\text{Ah}}{\text{d\u00eda}} = 182 \frac{\text{Ah}}{\text{d\u00eda}} \end{aligned}$$

De esta manera se pueden considerar que el sistema requiere de $182 \frac{Ah}{día}$, para que el arreglo de baterías sea en serie o paralelo. Para este cálculo fue necesario considerar que la profundidad de descarga es igual al 50%, la autonomía de 1 días y las baterías más accesibles en el mercado tienen un amperaje igual a 200 Ah.

$$Baterias\ en\ paralelo = \frac{\left(\frac{Ah}{día}\right) (días\ de\ autonomía)}{\frac{Profundidad\ de\ descarga}{Capacidad\ de\ la\ batería}} \quad (Ec. 9)$$

$$Baterias\ en\ paralelo = \frac{\left(182 \frac{Ah}{día}\right) (1\ día)}{\frac{0,50}{200\ Ah}}$$

$$Baterias\ en\ paralelo = 1,82$$

El arreglo de baterías por selección fue igual 2 baterías de 200 Ah y 12 voltios tipo Gel; sin embargo, la cantidad de amperaje casi es el total del valor permisible para la batería. En consecuencia, se plantea colocar dos baterías en paralelo para almacenaje, pues en este arreglo los amperajes se suman y el voltaje se mantiene, todo desde la perspectiva de una profundidad de descarga igual a 0,5.

4.1.3.5 Selección del regulador e inversor

En este punto es necesario abordar que el regulador posee valor de intensidad y voltaje pico que vienen dados de fábrica y en el caso de la presente investigación se obtuvo un inversor que posee regulador e inversor en la misma estructura del equipo. Sin embargo, es fundamental efectuar un pequeño análisis al respecto del circuito (2 paneles en paralelo).

Datos:

$$V_{oc} = 46,10\ V$$

$$I_{sc} = 9,45\ A$$

MODULOS PARALELO

$$Reg, V \geq 1 * 46,10 V$$

$$Reg, V \geq 46,10 V$$

$$Reg, I \geq 2 * I * Fs$$

$$Reg, I \geq 2 * 9,45 * 1,20$$

$$Reg, I \geq 22,68 A$$

Entonces:

Voltaje = 46,10 V

Corriente = 23 A

Por este motivo se identifica y selecciona el controlador idóneo cuyas características principales son: Modelo controlador de carga MPPT 60 A, corriente de carga máxima 60 A, teniendo una corriente por defecto de 40 A y voltaje de circuito abierto 80 V; que trabaja con en el voltaje y amperaje calculado (voltaje 46,10 V, amperaje 23 A); además, por su facilidad de compra y por supuesto, teniendo en mente las siguientes instancias.

TABLA 112. CÁLCULO DEL INVERSOR

Potencia Demanda Max.	409,00	W
Potencia Pico.	1.901,00	W
Factor- Simultaneidad.	0,80	

$$Pot\ inv. \geq Potencia\ Demanda\ Max * Factor\ Simultaneidad$$

$$Pot\ inv. \geq (409\ W)(0,80) = 327,20\ W$$

TABLA 13. SELECCIÓN DEL INVERSOR

Marca	EPEVER	Aramox	Powest Hybrid	SRNE Solar
Tecnología	MPPT	MPPT	MPPT	MPPT
Voltaje del sistema	12,00 /24,00 VDC auto	12,00 V/ 24,00 V	12,00/24,00 VDC auto	12,00/24,00VD C auto
Corriente máxima de carga	10,00 A, 20,00 A, 30,00 A, 40,00 A	40,00 A	10,00 A, 20,00 A, 30,00 A, 40,00 A, 60,00 A,	20,00 A, 30,00 A, 40,00 A
Voltaje máximo	100,00 V	100,00 V	80,00 V	100,00 V
Eficiencia máxima	≤98,00%	≤95,00%	≥98,00%	≤97,00%

Nota: De esa manera se selecciona un inversor de 1.000 W vatios con pico de 2.000 W. El más común y económico es el Powest de 1kva que puede ser obtenido en el mercado sin mayor novedad a la par que desde luego responde a los requerimientos de voltaje e intensidad.

4.2 Simulación PVSyst v6.8.1

Para el dimensionamiento de una instalación solar fotovoltaica, se requiere conocer y tener parámetros como ubicación geográfica, radiación solar y especificaciones técnicas de los equipos que forman la instalación.

La granja agropecuaria “La Victoria” geográficamente se encuentra en el barrio Santo Domingo de Cevallos, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua en Ecuador. El sistema solar de bombeo de agua se ubicará dentro de los predios de la granja junto al sistema de reserva de agua que la misma dispone para el riego de cultivos, como se presentan en la figura 33.



Figura 33. Ubicación del proyecto, granja la Victoria

Nota: La figura muestra el esquema la ubicación del proyecto objeto de estudio. Tomado de Google Maps.

TABLA 14. DATOS GEOGRÁFICOS DEL SITIO DE ESTUDIO

Datos geográficos de la localización de la instalación				
Instalación	Latitud	Longitud	Elevación, m.s.n.m.	Temperatura Media Anual, °C
Fotovoltaica de bombeo				
Instalación fotovoltaica de bombeo	1°21'0.81"S	78°38'4.6575"O	2987	13

Nota: La tabla expuesta con antelación denota los datos geográficos.

Para proceder a la instalación fotovoltaica de bombeo, el dato primordial que se busca es la irradiación en el lugar de interés. Este valor puede ser determinado realizando mediciones en el lugar con el equipo adecuado o mediante el uso de varias bases de datos que disponen de esa información. En el caso de estudio se ha utilizado el software denominado PVsyst, que presenta tablas de valores de irradiación global horizontal en cualquier parte del mundo. Los datos proporcionados por este programa provienen de Meteonorm, Nasa y PVGIS, así mismo permite ingresar datos medidos en el sitio de estudio. A pesar de que Meteonorm es una de las bases de datos climáticas más reconocidas y confiables del mundo, construida a partir de mediciones de diversos parámetros durante más de treinta años a través de estaciones climáticas distribuidas en todo el mundo y satélites. Para el estudio se ha considerado trabajar con un valor promedio. Dentro del análisis de irradiación fue fundamental verificar si existe suficiente recurso solar para la aplicación del proyecto por medio de una búsqueda en varios sitios meteorológicos, como, por ejemplo; Meteonorm, Nasa Power, PVGIS e INAMHI; cada una de estas fuentes consideran una serie de condiciones climáticas para detallar la irradiancia (nubosidad, pluviosidad, temperatura y viento) dentro de un área determinada (Cevallos) en un periodo de 15 años (2005-2020).

4.2.1 Parámetros del sitio geográfico

El programa PVsyst en su versión 6.8.1 permite ingresar con precisión los valores de coordenadas geográficas, altitud y uso horario para que los resultados sean lo más exactos posibles a la realidad.

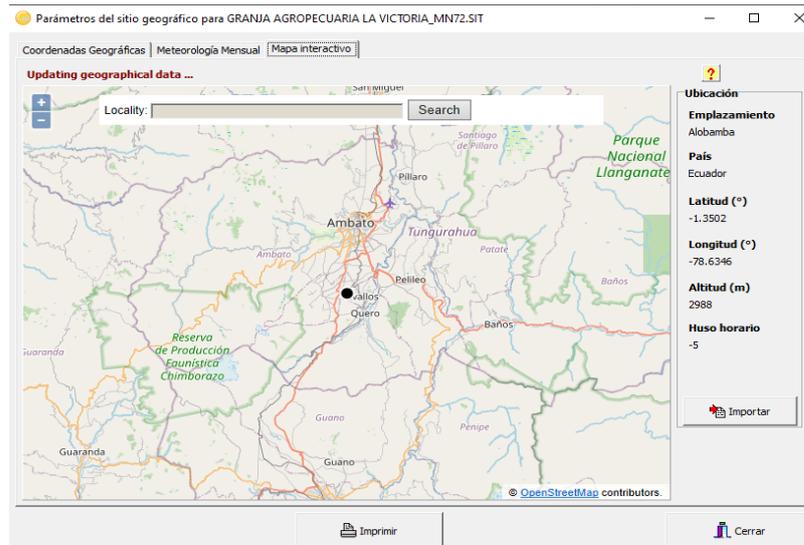


Figura 34. Localización del proyecto.

Nota: En esta figura se muestra el mapa interactivo proporcionado por el software. Adaptada de PVSyst 6.8.1.

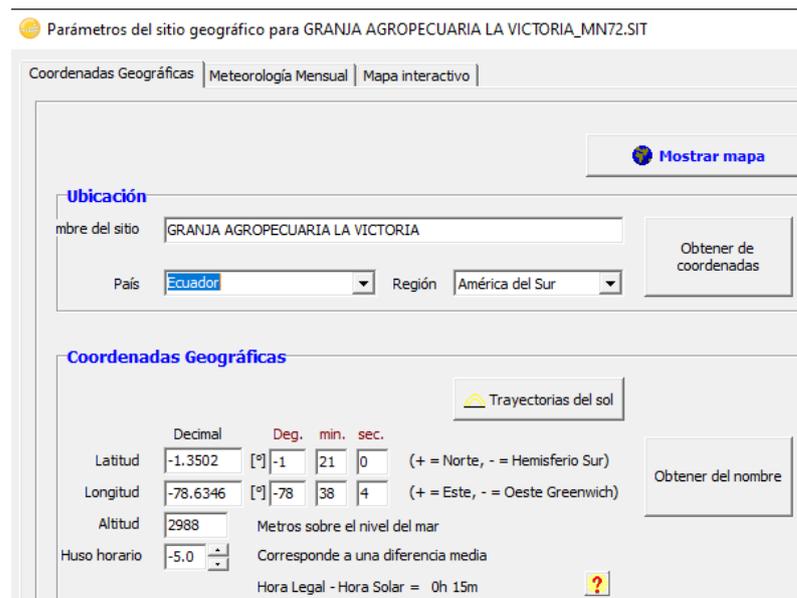


Figura 35. Coordenadas geográficas

Nota: Adaptado de PVSyst 6.8.1.

En la figura 36, se escogen los datos meteorológicos, en este caso se utilizaron la base de datos del sistema Meteonorm 7.2, en donde se pueden apreciar la información de Irradiación global e Irradiación difusa horizontal en kWh/m² por mes durante un año.

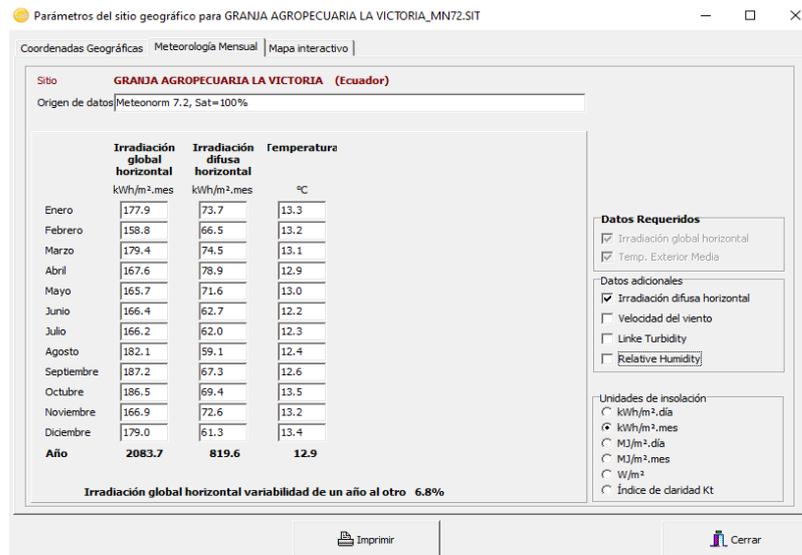


Figura 36. Meteorología Mensual

Nota: En esta figura se muestran los datos meteorológicos del sistema Meteororm 7.2 concernientes a la irradiación global e Irradiación difusa horizontal en KWh/m2 por mes. Adaptado de PVSyst 6.8.1.

4.2.2 Datos generales del proyecto

El sistema de riego cuenta con una bomba de ½ Hp, la cual permite la entrega de un caudal de 26,5 litros/minutos, ideales para que el sistema entregue el requerimiento de agua al cultivo.

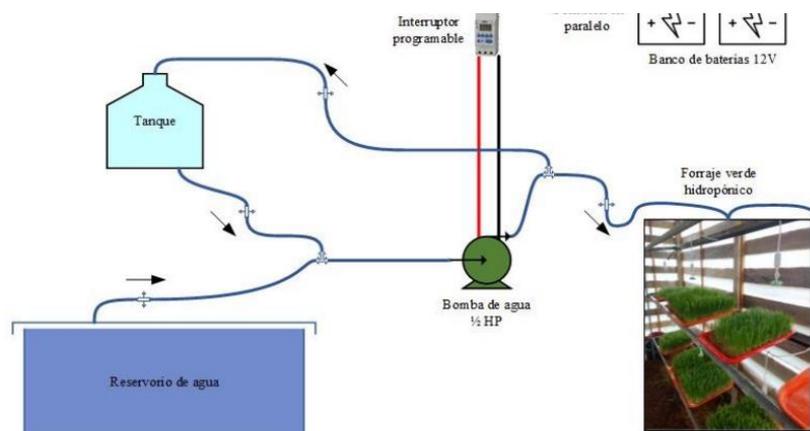
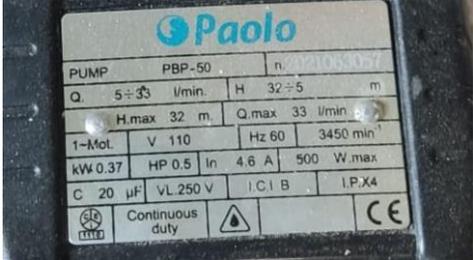


Figura 37. Esquema del sistema de riego para el cultivo hidropónico

Nota: La figura muestra el esquema de elementos para el desarrollo de un modelo de cultivo hidropónico.

Los datos de placa de la bomba se presentan en la Tabla 15.

TABLA 15. CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA

DETALLE	UNIDADES	DATOS DE PLACA
Potencia	0,370 kW	
Voltaje	110 V	
Corriente nominal	4.6	
Altura de bombeo	5-32	
Caudal	5- 33 l/min	
Caudal máximo	33 l/min	

Nota: La tabla expuesta con antelación denota las características puntuales de la bomba objeto de estudio.

4.2.3 Parámetros principales de la simulación

La figura 38 proporciona los datos esenciales requeridos para iniciar la simulación. Estos datos incluyen información sobre el emplazamiento geográfico, la base de datos de irradiación solar, orientación y necesidades del agua.

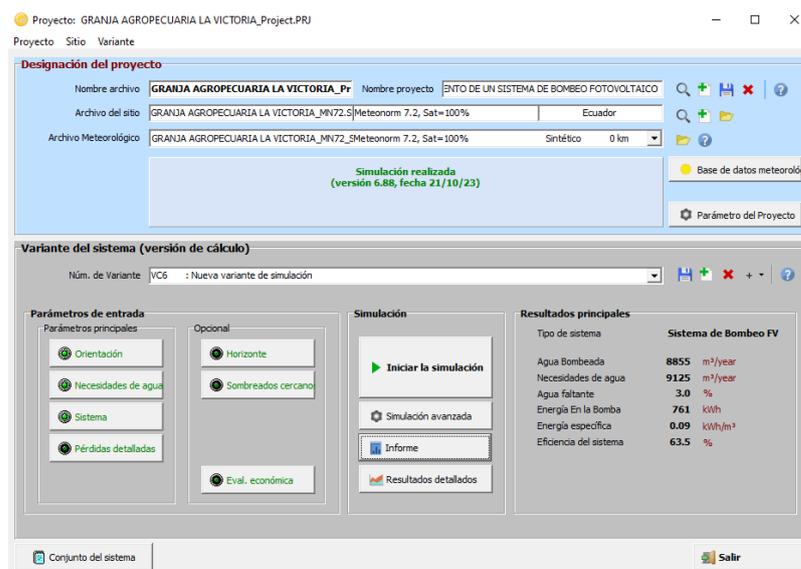


Figura 38. Parámetros principales de la simulación

Nota: Adaptado de PVSyst 6.8.1.

En la figura 39 se ingresaron los valores de orientación: Acimut 0° y plano de inclinación 15°. Además, ofrece información de la productividad meteorológica anual.

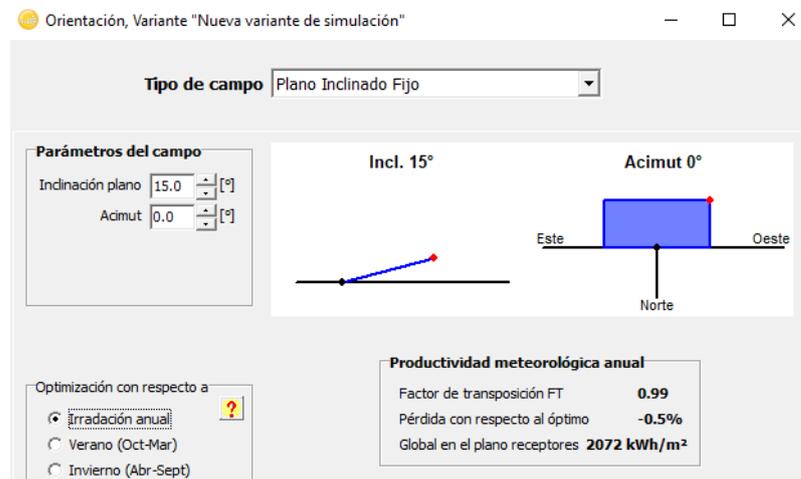


Figura 39. Valores de orientación

Nota: Adaptado de PVSyst 6.8.1.

La figura 40 presenta los detalles clave relacionados con la bomba y el sistema de tuberías. El nivel del reservorio se encuentra a 0,5 m debajo del eje de referencia que coincide con eje de rotación de la bomba de agua; el depósito al cual se eleva el agua se encuentra a 3 m del eje de referencia, además el volumen del tanque es de 16 m³ y se utilizó una tubería de 10 m de largo.

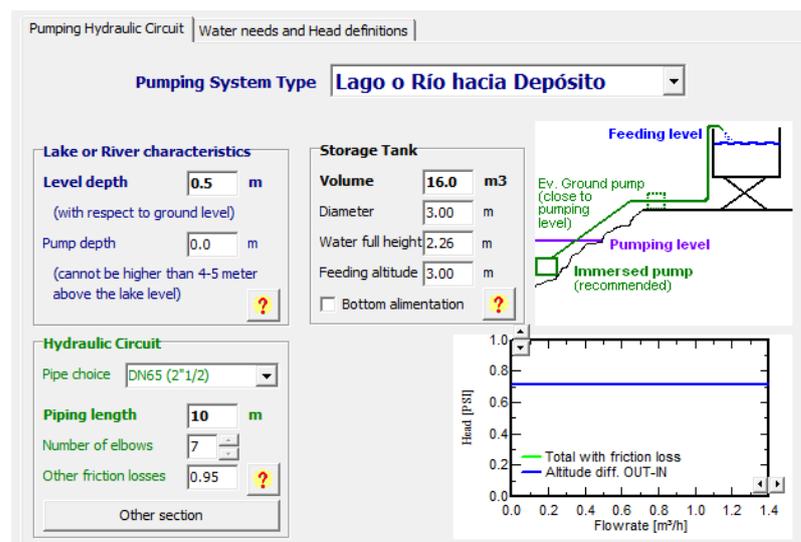


Figura 40. Circuito hidráulico de bombeo

Nota: Adaptado de PVSyst 6.8.1.

En la figura 41 se exponen las demandas de agua, en total $6,36 \text{ m}^3$ por día o 26,5 litros por minuto, así como la presión requerida por el sistema, expresada en 0,7 PSI correspondiente a la presión del circuito hidráulico, es decir desde el reservorio hasta el tanque de almacenamiento del agua, cuyo valor es calculado automáticamente por el software a partir de los datos ingresados en la figura 40.

Parameter	Value
Water needs average	6.36 m³/día
Yearly water needs	2321 m³
Yearly Head average	0.71 PSI
Hydraulic energy	3 kWh
PV needs (very roughly)	11 kWh

Figura 41. Necesidades de agua

Nota: Adaptado de PVSyst 6.8.1.

En la figura 42, se han incluido los detalles relativos a la bomba. En este caso, se trata de una bomba periférica que opera en la superficie y utiliza tecnología de paletas rotativas. Esta bomba está equipada con un motor de corriente alterna monofásico, con una potencia nominal de 373 W a 120 Vac y una corriente máxima de 3,6 A.

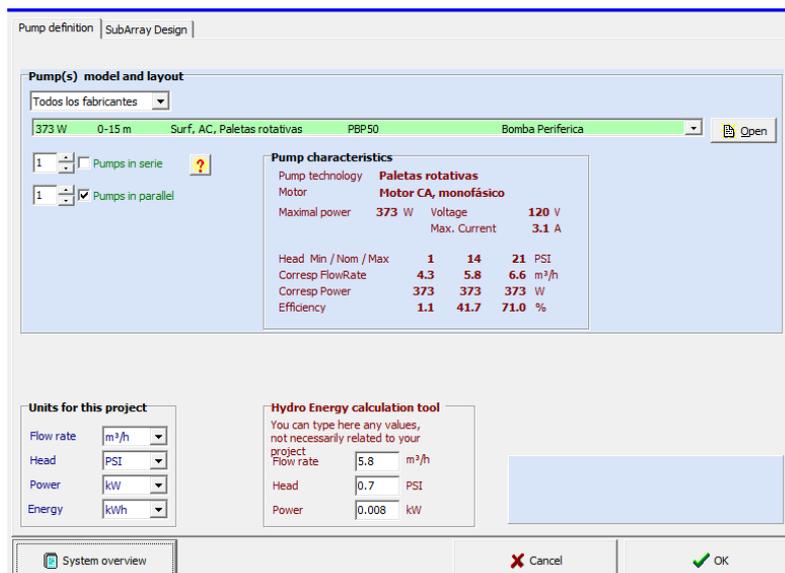


Figura 42. Información del sistema – Definición de la Bomba

Nota: Adaptado de PVSyst 6.8.1.

En la figura 43, se detallan las especificaciones de los paneles solares. En esta ocasión, se ha optado por un panel policristalino con una potencia de 345 W y una tensión de 38 V. Asimismo, se ha seleccionado un inversor de 1 kW que opera en conjunto con un controlador de carga MPPT.

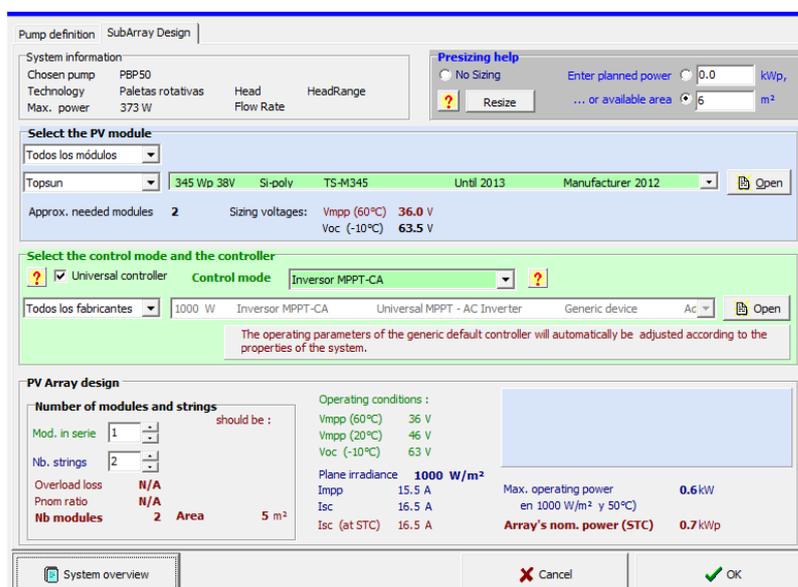


Figura 43. Información del sistema – Definición de paneles e inversor

Nota: Adaptado de PVSyst 6.8.1.

4.2.4 Análisis de Resultados

Tras completar la simulación, en la que se emplearon dos paneles configurados en paralelo, con una potencia total combinada de 690 W (equivalente a 345 W cada uno), además, se integró una bomba periférica de 373 W, junto con un inversor MPPT-CA de 1 kW. En la figura 44 se ven reflejados los resultados principales de la simulación, donde se puede destacar la energía consumida por la bomba en 218 kWh.

Parámetros principales del sistema		Tipo de sistema	Lago o Río hacia Depósito	
Requisitos del sistema		presión básica	0.7 PSI	Necesidades de agua 6.4 m³/día
Bomba		Modelo/Fabricante	PBP50 / Bomba Periferica	
Conjunto FV		Modelo/Fabricante	TS-M345 / Topsun	
		Núm. de módulos	1 S x 2 P	Potencia del conjunto 690 Wp
Configuración del sistema		Estrategia de Control	Inversor MPPT-CA	
Resultados principales de la simulación				
Producción del sistema	Agua Bombeada	2328 m³	Específico	67371 m³/kWp/bar
	Necesidades de agua	2321 m³	Agua faltante	-0.3%
	Energía En la Bomba	218 kWh	Específico	0.09 kWh/m³
	Energía FV no utilizada (depósito lleno)	761 kWh	Fracción no Utilizada	63.5 %
	Eficiencia del sistema	18.2 %	Eficiencia de la bomba	1.5 %

Figura 44. Parámetros principales y resultados

Nota: Adaptado de PVSyst 6.8.1.

En la simulación, se registró un bombeo de 2.328 m³ de agua, generando una energía fotovoltaica de 979 kWh. Como resultado, se estableció una eficiencia del sistema del 63,5%, con un índice de rendimiento promedio de 0,536.

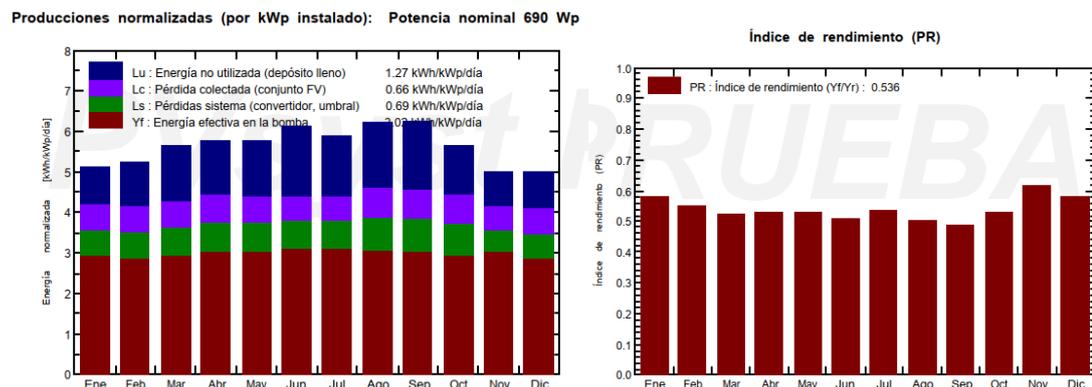


Figura 45. Producción de Energía

Nota: En la figura denotada con antelación se deja en manifiesto los resultados de la simulación concerniente a la hora solar pico y la aplicación de la bomba. Adaptado de PVSyst 6.8.1.

La radiación global horizontal se simula en 2.084 kWh/m², lo que se traduce en una irradiación efectiva en los paneles de 1.989 kWh/m². Al convertirla en energía

fotovoltaica, obtenemos un total de 1.377 kWh. Posteriormente, debido a las pérdidas asociadas al calor y a las conversiones eléctricas de potencia, voltaje y corriente, la energía utilizable se reduce a 979 kWh. Sin embargo, es importante señalar que la bomba no requiere toda esta energía, ya que el depósito de agua no siempre está vacío, lo que resulta en un excedente de energía no utilizada estimada en un 22,27%. En otras palabras, la bomba consume solo 761 kWh de la energía generada.

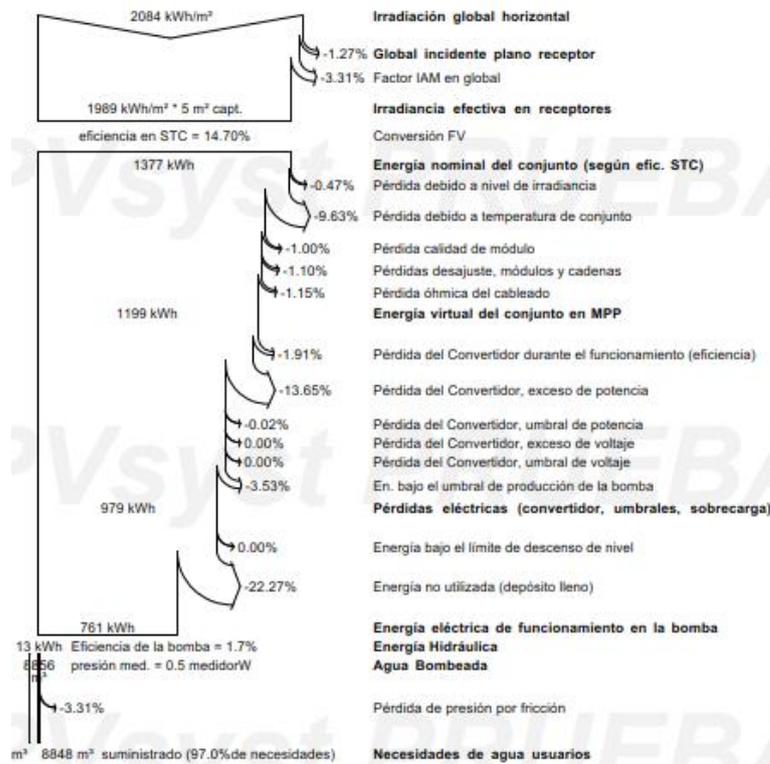


Figura 46. Diagrama de generación total de energía y pérdida

Nota: En la figura se muestra los resultados de la simulación efectuada en el desarrollo del presente trabajo de investigación a la par de servir de base para el desarrollo y estructuración del consumo. Adaptado de PVSyst 6.8.1.

4.3 Implementación de sistema fotovoltaico

Se realizara al amparo de una serie de consideraciones técnicas y cálculos matemáticos de todos los elementos que conforman el sistema fotovoltaico, para su posterior implementación y utilización de sus resultados en la práctica, como la nebulización de cultivos hidropónicos bajo invernaderos en la granja agropecuaria “La Victoria”,

objeto de la aplicación de la energía solar, considerada como un recurso infinito, limpio y renovable; de esta manera se valorará la hipótesis planteada en la Tesis.

4.3.1 Cálculo del rendimiento de los paneles

4.3.1.1 Configuración global del sistema

Para dimensionar correctamente un generador solar fotovoltaico, es preciso calcular el número de paneles en paralelo, llamados strings e inversor. Los siguientes datos sobre las características técnicas de los paneles solares policristalinos. En el estudio se utilizó un panel Powest de 345 Wp y un inversor Powest de 1 kVA, de forma respectiva en tabla 16 y tabla 17.

TABLA 162. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PANEL

PANEL FOTOVOLTAICO		
	POWEST 345 w Powest_SZYL-P345-36	
Panel Tipo	STC 1000 W/m ² , 25°C, AM1.5	NOCT 800 W/m ² , 20°C, AM1.5, 1 m/seg.
Potencia Máxima, P_{max}, W_p	345,00	256,00
Tensión a Potencia Máxima, V_{MPP}, V	38,50	36,20
Tensión de Circuito Abierto, V_{oc}, V	46,10	43,50
Intensidad a Potencia Máxima, I_{MPP}, A	8,97	7,32
Intensidad de Cortocircuito, I_{sc}, A	9,45	7,82
Coeficiente de Temperatura de V_{oc}, β	-0,25%/°C	
Coeficiente de Temperatura de I_{sc}, γ	0,05%/°C	
Coeficiente de Temperatura de P_{max}, δ	-0,395%/°C	
Temperatura Nominal de Operación, °C	45,00±2,00 °C	
Tensión Máxima en Serie, V_{DC}	1.000,00	

Nota: En la tabla expuesta con antelación se muestran los datos de las principales características técnicas del panel fotovoltaico Powest-345w de 345 Wp SZYL – P345 – 36.

TABLA 137. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL INVERSOR

INVERSOR	
Potencia Nominal AC, kW 0 °C 55 °C	1,00
Tensión Máxima de Entrada PV, V	102,00
Tensión Mínima de Entrada PV / Tensión de Entrada de Arranque, V	15,00/80,00
Rango de Tensión de Entrada de Potencia Máxima, V	15,00 – 102,00
Número de Entradas en DC	3,00
Intensidad Máxima de Entrada PV, A	40,00
Tensión Máxima en Serie, V _{DC}	102,00

Nota: En la tabla expuesta con antelación se denotan los Datos de las principales características técnicas del inversor POWEST 1,00 KVA.

4.3.1.2 Criterios Técnicos

En base a la región y de las condiciones climáticas, se dificulta manejar criterios de máxima captación factible para establecer la inclinación. En los desiertos, para evitar que se acopie la arena sobre la superficie, la inclinación requerida debe ser alrededor de 45° y en zonas tropicales lluviosas se emplea una pendiente mínima de 30°. En zonas de nevadas constantes se requiere inclinaciones perpendiculares o de 90° aproximadas, para prevenir depósitos de nieve encima del área del generador.

4.3.1.3 Ángulos de inclinación y acimut

Para establecer la orientación, se debe determinar el ángulo óptimo de inclinación del sol; el cálculo respectivo se denota a continuación:

Método de la inclinación óptima anual

Usando la formula: $\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 |\phi|$, se determina el ángulo de la inclinación anual óptimo para lograr la mayor radiación solar anual por año, sobre un panel solar fijo. En base al análisis estadístico por año de la radiación solar sobre superficies con diferentes inclinaciones en zonas con distintas latitudes, por lo tanto, suministra el ángulo de pendiente óptima según la latitud de la zona:

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 |\phi| \quad Ec. 11$$

Siendo:

β : ángulo de inclinación óptima (grados)

$|\phi|$: valor absoluto de la Latitud del lugar, sin signo (grados)

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 |\phi|$$

$$\beta_{opt} = 3,7 + 0,69 * | - 1,350|$$

$$\beta_{opt} = 4,63 \text{ grados}$$

4.3.1.4 Cálculo de pérdidas de potencia por la temperatura del panel

Se determina en base a las siguientes formulas:

$$T_{panel} = T_{amb} + (NOCT - 20) \cdot \frac{G}{800} \quad Ec. 12$$

Donde:

$T_{amb \max}$ = Temperatura ambiente máxima histórica, 15,14 °C

$NOCT$ = Temperatura de operación normal de la celda, datos del panel

G = Irradiación a la máxima temperatura histórica, 729,52 W/m²

$$T_{max \text{ panel}} = 15,14^{\circ}C + (47 - 20)^{\circ}C \cdot \frac{729,52 \text{ W/m}^2}{800 \text{ W/m}^2} = 39,761^{\circ}C$$

$$T_{max \text{ panel}} = 39,76^{\circ}C$$

$$\Delta P_{panel} = 1 - \delta(\%)*(T_{max \text{ panel}}-25)^{\circ}C \quad Ec. 13$$

Donde:

δ = Coeficiente de temperatura de P_{\max} , datos del panel

$T_{\max. \text{ panel}}$ = Temperatura ambiente máxima histórica, 15,14 °C

$$\Delta P_{\text{panel}} = 1 - \frac{0,2}{100} (39,76 - 25) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta P_{\text{panel}} = 1 - \frac{0,002}{^\circ\text{C}} (14,76) \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\Delta P_{\text{panel}} = 0,97$$

4.3.1.5 Pérdidas por efecto de suciedad

No debe superar el 2 % de pérdidas por efecto de la suciedad, según la norma NEC-11, este error se debe a las condiciones del emplazamiento de campo abierto, en el cual existe un arrastre de partículas debido a la generación de vientos.

4.3.1.6 Pérdidas por inclinación y orientación

El ángulo de inclinación β se determina en 15° para la instalación fotovoltaica en el sitio de estudio y con un ángulo de azimut γ igual a 0° debido a que la orientación de los paneles es al sur en función de la figura 47, se constata que los valores de rendimiento para la instalación están alrededor del 90% al 95%. Se establece un 95 % ya que los paneles se les ubican en un área despejada sin obstáculos ni sombras, en consecuencia, se considera un 10 % de pérdidas generalmente. Además, tales valores se toman en consideración para paneles en posición de un plano fijo manteniendo su inclinación y orientación a lo largo del año.

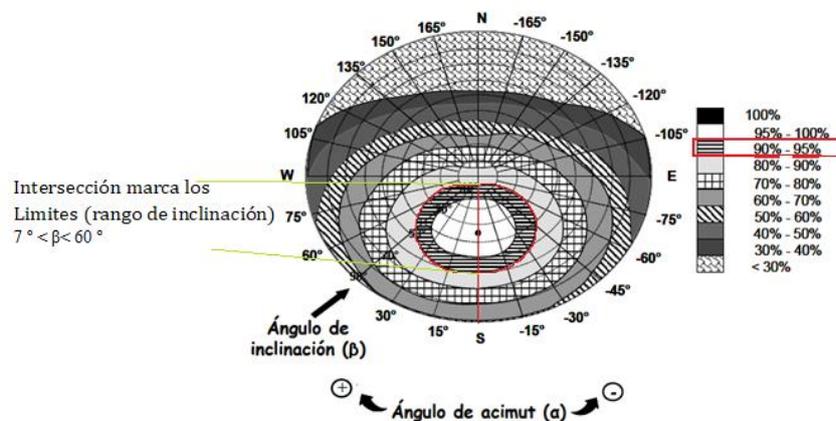


Figura 47. Análisis de la carta Solar

Nota: La figura 47 muestra el ángulo de inclinación β , en un rango de inclinación de 60° a 7°

Se procede a corregir para la latitud del lugar; $\phi = -1^\circ$

$$\text{Inclinación máxima} = 60^\circ - (41^\circ - (-1^\circ)) = 60^\circ - 42^\circ = 18^\circ$$

$$\text{Inclinación mínima} = 7^\circ - (41^\circ - (-1^\circ)) = 7^\circ - 42^\circ = -35^\circ$$

Para el presente caso el valor mínimo sería 10° siendo el valor óptimo el de 15° siendo el coeficiente k (expresado en la tabla de Anexos: coeficiente k) de latitud -1° . Se selecciona la inclinación de 15° , como óptima. Se verifica las pérdidas, según la expresión:

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 * (1,20 * 10^{-4} * (\beta - \beta \text{ opt})^2) \text{ para } \beta \leq 15^\circ$$

$$\text{Pérdidas (\%)} = 100 * (1,20 * 10^{-4} * (15 - 42)^2) = 8,70 \%$$

Es posible obtener los valores de pérdidas, los mismos que están en función de los ángulos de inclinación ($\beta = 15^\circ$) y el de azimut ($\gamma = 0^\circ$) cuando se orientan al sur. Según la figura el rendimiento está entre el 90 % al 95%, donde se elige el rendimiento del 95 % porque los paneles serán colocados en un área abierta y no existe sombras, y se destaca que los valores obtenidos se deben a que los paneles se instalan sobre una superficie fija y no cambiarán de pendiente ni de dirección durante el año.

4.3.1.7 Pérdidas por Mismatch

Esta es la pérdida que se produce al conectar módulos con potencia ligeramente diferente, determinada en $\pm 3\%$, ya que la potencia del generador fotovoltaico no es mayor, la configuramos en 1% .

4.3.1.8 Estimación del rendimiento global del sistema, PR

El rendimiento del generador fotovoltaico viene determinado por:

$$PR = (nT^\circ * n\text{suciedad} * n\text{inclinación} * n\text{Mismatch}) \quad (\text{Ec. 14})$$

Donde:

$$nT^{\circ} = 0,97$$

$$nsuciedad = 0,98$$

$$ninclinación = 0,95$$

$$nMismatch = 0,99$$

$$PR=(nT^{\circ}*nsuciedad*ninclinación*nMismatch)$$

$$PR= (0,97*0,98*0,95*0,99) *100 \%$$

$$PR= 89,40\%$$

Es importante señalar que el rendimiento del sistema tras considerar pérdidas es del 89,40% lo que demuestra un buen manejo de la instalación a la par de una funcionalidad efectiva.

4.3.2 Resultados preliminares de la implementación

Para constatar y solventar la necesidad planteada en el dimensionamiento del panel fue imprescindible efectuar pruebas de funcionamiento del sistema, tomando en cuenta que el tiempo es impredecible. Por ende, es necesario comprender que dicho análisis se efectuará para días soleados y nublados para los meses de octubre, noviembre y diciembre. Para un horario oscilante desde la 08:00 am a 17:00 pm. Se procedió a medir el Amperaje, Voltaje y la Potencia requeridos para esos días soleados y nublados indicada en la Tabla 18.

TABLA 18. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Tiempo	Soleado			Nublado		
	I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
Octubre						
8:00	2,45	119,30	292,29	2,35	119,30	280,36
9:00	2,46	119,40	293,72	2,49	119,10	296,56
10:00	2,47	119,20	294,42	2,5	119,20	298,00
11:00	2,48	119,00	295,12	2,48	119,50	296,36
12:00	2,49	119,10	296,56	2,47	119,10	294,18
13:00	2,50	119,10	297,75	2,22	119,50	265,29
14:00	2,56	119,10	304,90	2,56	119,10	304,90

Tiempo	Soleado			Nublado		
	I (A)	V (V)	P (W)	I (A)	V (V)	P (W)
Octubre						
15:00	2,57	119,10	306,09	2,54	119,20	302,77
16:00	2,35	119,20	280,12	2,28	119,20	271,78
17:00	2,36	119,20	281,31	2,22	119,20	264,62
Noviembre						
8:00	2,37	118,80	281,56	2,41	118,60	285,83
9:00	2,36	118,60	279,90	2,38	120,50	286,79
10:00	2,38	118,90	282,98	2,45	118,90	291,31
11:00	2,40	118,70	284,88	2,41	118,70	286,07
12:00	2,41	118,40	285,34	2,48	119,30	295,86
13:00	2,42	118,20	286,04	2,45	118,20	289,59
14:00	2,43	118,90	288,93	2,61	118,90	310,33
15:00	2,32	119,00	276,08	2,25	120,50	271,13
16:00	2,33	117,80	274,47	2,12	117,50	249,10
17:00	2,31	117,70	271,89	2,12	117,20	248,46
Diciembre						
8:00	2,34	117,90	275,89	2,34	117,45	274,83
9:00	2,31	118,70	274,20	2,31	118,33	273,34
10:00	2,50	117,90	294,75	2,6	117,50	305,50
11:00	2,33	119,30	277,97	2,33	119,12	277,55
12:00	2,32	117,50	272,60	2,32	118,38	274,64
13:00	2,32	117,90	273,53	2,32	117,90	273,53
14:00	2,58	117,90	304,18	2,35	117,37	275,82
15:00	2,56	117,30	300,29	2,45	117,22	287,19
16:00	2,13	117,60	250,49	2,13	117,32	249,89
17:00	2,12	117,40	248,89	2,15	117,21	252,00

Nota: La tabla muestra la energía recolectada y su aplicación al momento de emplearla en la bomba.

Las figuras 48, 49, 50 mostrada con antelación denotan en promedio la potencia generada por los dos paneles para los meses de octubre (294,23 y 287,48), noviembre (281,21 y 281,45) y por último diciembre (280,43 y 276,92) en términos soleados y nublados respectivamente.

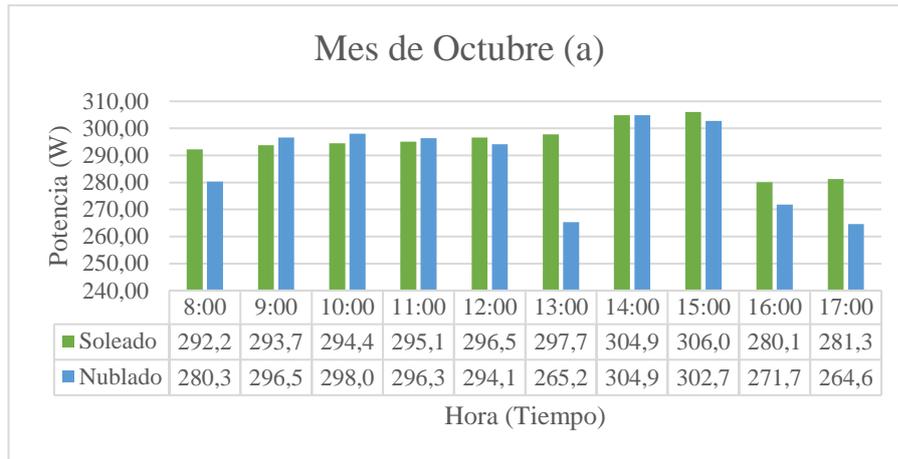


Figura 48. Configuración del sitio para determinar la irradiación – Octubre

Nota: Elaboración propia.

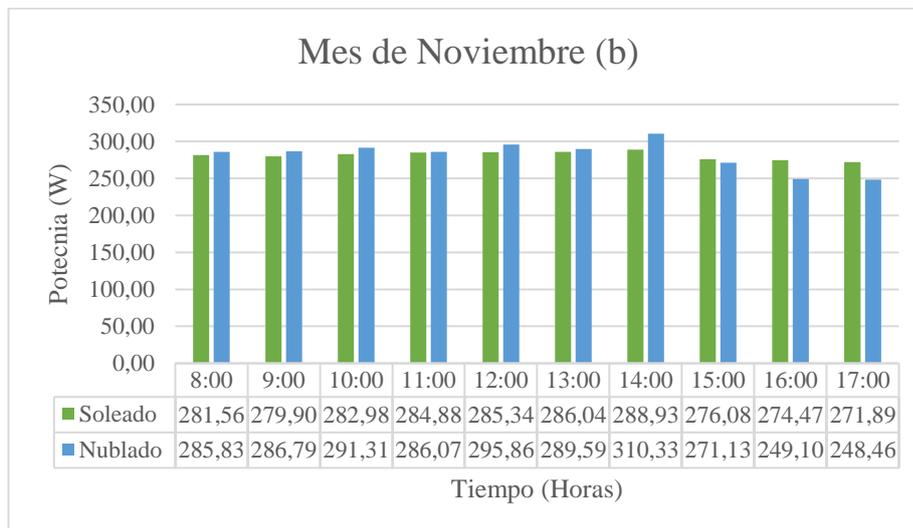


Figura 49. Configuración del sitio para determinar la irradiación – Noviembre

Nota: Elaboración propia.

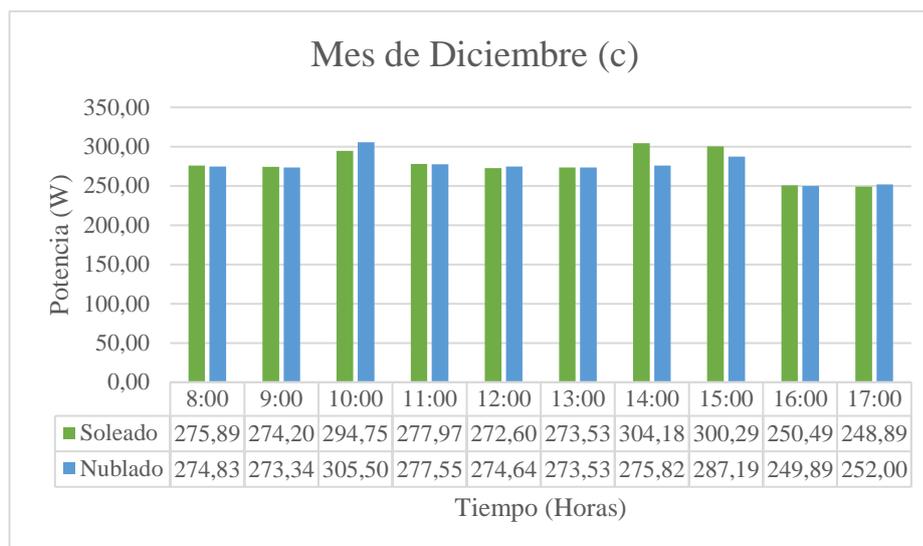


Figura 50. Configuración del sitio para determinar la irradiación – Diciembre

Nota: Elaboración propia.

Es acertado afirmar que la potencia requerida por la bomba es totalmente solventada por los paneles y desde luego su aplicación requiere impulsar un caudal para verificar su funcionalidad, en el lapso de 4 horas en condiciones desfavorables (nublado).

A continuación, se enlista la cantidad de fluido impulsado por la bomba mediante los paneles. Para verificar la disposición de energía se efectuó una serie de medidas (multímetro) con el propósito de evaluar si la energía suministrada para la bomba es la necesaria, la bomba consume 276,94 W calculada del promedio de la Tabla 19.

TABLA 19. CÁLCULO DEL CAUDAL CON BASE EN LA ENERGÍA SUMINISTRADA

Amperaje	Voltaje	Potencia	Caudal m ³ /s	Caudal Litros/min
2,34	118,00	276,50	0,000442	26,50
2,48	119,10	295,37	0,000463	27,80
2,49	119,10	296,56	0,000466	27,94
2,47	119,00	293,93	0,000463	27,78
2,46	119,20	293,23	0,000460	27,58
2,31	117,90	272,35	0,000417	25,00
2,55	119,10	303,71	0,000476	28,58
2,29	118,40	271,14	0,000475	28,49
2,30	117,90	271,17	0,000425	25,48
2,33	117,90	274,71	0,000414	24,81
2,40	118,40	284,16	0,000447	26,80

Amperaje	Voltaje	Potencia	Caudal m3/s	Caudal Litros/min
2,34	119,40	279,40	0,000442	26,50
2,44	119,30	291,09	0,000458	27,50
2,32	117,80	273,30	0,000447	26,82
2,36	119,30	281,55	0,000462	27,74
2,40	118,20	283,68	0,000455	27,30
2,37	118,80	281,56	0,000487	29,20
2,31	120,50	278,36	0,000424	25,42
2,11	117,50	247,93	0,000403	24,20
2,13	117,20	249,64	0,000388	23,29
2,33	118,80	276,80	0,000430	25,77
2,30	118,30	272,16	0,000427	25,63
2,35	118,60	278,71	0,000477	28,64
2,32	119,30	276,78	0,000442	26,50
2,31	118,40	273,46	0,000429	25,75
2,32	117,90	273,53	0,000427	25,64
2,34	117,40	274,65	0,000465	27,90
2,44	117,20	286,02	0,000449	26,92
2,12	117,40	248,89	0,000397	23,83
2,11	117,50	247,93	0,000394	23,63
Promedios				
2,34	118,43	276,94	0,000442	26,50

Nota: La tabla muestra el caudal que la bomba es capaz de impulsar siendo este igual a 26,50 litros/min en promedio con base en las condiciones del sistema fotovoltaico.

El caudal promedio de la bomba en el sistema tiene un valor de 26,50 litros/min, para medir se utilizó un instrumento denominado caudalímetro que se encarga de la medición del flujo volumétrico y que está ubicado en línea con la tubería y diversos accesorios. Considerando que la granja dispone de un reservorio de alrededor de 400 m³ (15 m x 9 m x 3 metros), es necesario calcular la eficiencia de la bomba, considerando diferentes escenarios.

4.3.3 Análisis de la Bomba

$$PB[hp] = \frac{Q\rho ghB}{746 e} \quad (Ec. 15)$$

Donde:

$PB =$ Potencia de la bomba en hp

$hB =$ Cabeza neta de la bomba (m)

$Q =$ caudal $\left[\frac{m^3}{s}\right]$

$\rho =$ densidad del agua $\left[\frac{kg}{m^3}\right]$

$g =$ gravedad $\left[\frac{m}{s^2}\right]$

$e =$ eficiencia de la bomba

Longitud de tubería:

$$L = [2,00 + 1,66 + 0,76 + 0,34 + 1,06 + 0,27 + 0,33 + 0,42 + 13,00 + 0,82]m$$

$$L = 20,66m$$

Ecuación de Bernoulli:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho} + hB = h_3 + \frac{v_3^2}{2g} + \frac{P_3}{\rho} + h_{f1} \rightarrow 3 \quad (Ec. 16)$$

$$P_1 \neq P_3$$

$$h_B = \frac{v_3^2}{2g} + \frac{1}{\rho}(P_3 - P_1) + h_{f1} \rightarrow 3 \text{ Cabeza neta de la bomba}$$

CÁLCULO DE $v_3 = ?$

$$v_3 = \frac{Q}{A} \quad (Ec. 17)$$

Donde:

$$Q = 26,50 \frac{l}{min} \rightarrow \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 26,50 \frac{l}{min} \left| \frac{1m^3}{1000l} \right| \left| \frac{1min}{60seg} \right| = 4,42 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$Q = 4,42 * 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$D = 0,03025m \leftarrow \text{diametro interno}$$

$$v_3 = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\frac{\pi D^2}{4}} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad (\text{Ec. 18})$$

$$v_3 = \frac{4[4,42 * 10^{-4}] \frac{m^3}{s}}{\pi(0,03025)^2 m^2}$$

$$v_3 = 0,615 \frac{m}{s}$$

CÁLCULO DE $(P_3 - P_1)$

$$P_3 = 37,5 \quad PSI$$

$$PSI = \frac{lib - f}{pul^2}$$

$$P_1 = 10,54 \quad PSI \text{ presión atmosférica en Catón Cevallos}$$

$$P_3 - P_1 = (37,5 - 10,54) \quad PSI$$

$$P_3 - P_1 = 26,96 \quad PSI$$

Pérdidas por fricción desde el punto 1 a punto 3:

$$h_{f1} \rightarrow 3 = ?$$

Ecuación de Darcy- Weisbach

$$h_{f1} \rightarrow 3 = F \frac{L}{D} * \frac{v_3^2}{2g} + \sum (Kc \frac{v_3^2}{2g} + Kv \frac{v_3^2}{2g}) \quad (\text{Ec. 19})$$

Factorizando

$$h_{f1} \rightarrow 3 = \frac{v_3^2}{2g} \left[F \frac{L}{D} + \sum (Kc + Kv) \right]$$

Cálculo del factor de fricción de Coolebrook para pérdidas primarias

$$F = \frac{1,325}{\left\{-\text{Ln} \left[\frac{\varepsilon}{3,7D} + \frac{5,74}{Re^{0,9}} \right] \right\}} \quad (\text{Ec. 20})$$

Donde:

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0015\text{mm}}{30,25\text{mm}}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = 4,96 * 10^{-5}$$

$$\text{Si: } Re = \frac{vD\rho}{\mu}$$

Donde:

$$v = \frac{\mu}{\rho}$$

v : viscosidad cinemática;

μ : viscosidad dinámica;

ρ : densidad

$$Re = \frac{0,615 \frac{m}{s} * 0,03025m * 998,00 \frac{k}{m^3}}{1,005 * 10^{-3} Pa.S}$$

$$Re = \frac{0,615 * 0,03025 * 998,00}{1,005 * 10^{-3}}$$

$$Re = 18.474 \text{ Flujo turbulento } [Re > 4.000 \text{ es flujo turbulento}]$$

Remplazando en la fórmula:

$$F = \frac{1,325}{\left\{-\text{Ln} \left[\frac{4,96 * 10^{-5}}{3,7} + \frac{5,74}{18474^{0,9}} \right] \right\}^2}$$

$$F = \frac{1,325}{\{-\text{Ln}[1,34 * 10^{-5} + 8,30 * 10^{-4}]\}^2}$$

$$F = \frac{1,325}{\{-\text{Ln}[8,434 * 10^{-4}]\}^2}$$

$$F = \frac{1,325}{\{-[-7,078069]\}^2}$$

$$F = \frac{1,325}{50,099}$$

$F = 0,026$ factor de fricción de Coolebrook

4.3.3.1 Cálculo del coeficiente k de accesorios

TABLA 20. VALOR K DE ACCESORIOS (RESUMIDA)

ITEM	N°	K	Valor total K
Codos 90°	7,00	0,90	6,30
Codos de 45°	3,00	0,42	1,26
Tes	3,00	1,80	5,40
Universales	2,00	0,60	1,20
Válvulas	2,00	6,50	13,00
Filtro	1,00	3,00	3,00
Uniones	8,00	0,04	0,32
Canastilla	1,00	1,60	1,60
TOTAL			32,08

Nota: La tabla muestra los accesorios empleados con base en su valor final de cálculo

$$32,08 = \sum(Kc + Kv)$$

Remplazando en la fórmula:

$$h_{f1} \rightarrow 3 = \frac{v_3^2}{2g} \left[F \frac{L}{D} + \sum (Kc + Kv) \right]$$

Donde:

$$v_3 = 0,615 \frac{m}{s}$$

$$g = 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$F = 0,026$$

$$L = 20,66m$$

$$D = 0,03025m$$

$$\sum (Kc + Kv) = 32,08$$

$$h_{f1} \rightarrow 3 = \frac{(0,615 \frac{m}{s})^2}{2(9,8 \frac{m}{s^2})} \left[0,026 \frac{20,66m}{0,03025m} + 32,08 \right]$$

$$h_{f1} \rightarrow 3 = \frac{0,378225 \frac{m^2}{s^2}}{19,6 \frac{m}{s^2}} [17,76 + 32,08]$$

$$h_{f1} \rightarrow 3 = 0,0192972 [49,84] \text{ m}$$

$$h_{f1} \rightarrow 3 = 0,96 \text{ m Cabeza de fricción del punto 1 a 3}$$

4.3.3.2 Cálculo de la carga total de la bomba

$$h_B = \frac{v_3^2}{2g} + \frac{1}{\rho} (P_3 - P_1) + h_{f1} \rightarrow 3$$

$$h_B = \frac{(0,615 \frac{m}{s})^2}{2(9,81 \frac{m}{s^2})} + \frac{1}{\rho} (26,96 \text{ PSI}) + 0,9618 \text{ m}$$

$$h_B = \frac{0,378225}{19,60} \text{ m} + \frac{1}{\rho} (26,96 \text{ PSI}) + 0,9618 \text{ m}$$

$$h_B = 0,02 \text{ m} + \frac{1}{\rho} (26,96 \text{ PSI}) + 0,9618 \text{ m}$$

$$h_B = 0,981 \text{ m} + \frac{1}{\rho} (26,96 \text{ PSI})$$

$$h_B = 0,981 \text{ m} + 19,00 \text{ m}$$

$$h_B = 19,98 \text{ m cabeza total de presión}$$

4.3.3.3 Determinación de la curva de rendimiento y eficiencia

En este punto se efectúa el cálculo de la ecuación cuadrática que ajusta a la curva de rendimiento de la bomba (fabricante)

Datos:

A (15: 26,43) B (20: 21,41) C (25: 12,50)

Modelo matemático: $H = aQ^2 + bQ + c$

Sistema de Ecuaciones:

$$A(15: 26,43): 26,43 = 15^2 a + 15b + c$$

$$B(20: 21,41): 21,41 = 20^2 a + 20b + c$$

$$C(25: 12,60): 12,60 = 25^2 a + 25b + c$$

$$1. \quad 225 a + 15 b + c = 26,43$$

$$2. \quad 400 a + 20 b + c = 21,41$$

$$3. \quad 625 a + 25 b + c = 12,60$$

Solución del sistema de ecuaciones:

$$a = -0,08 \quad b = 1,65 \quad c = 18,75$$

Ecuación cuadrática resultante: $H = f(Q)$

$$H = -0,08 Q^2 + 1,65 Q + 18,75$$

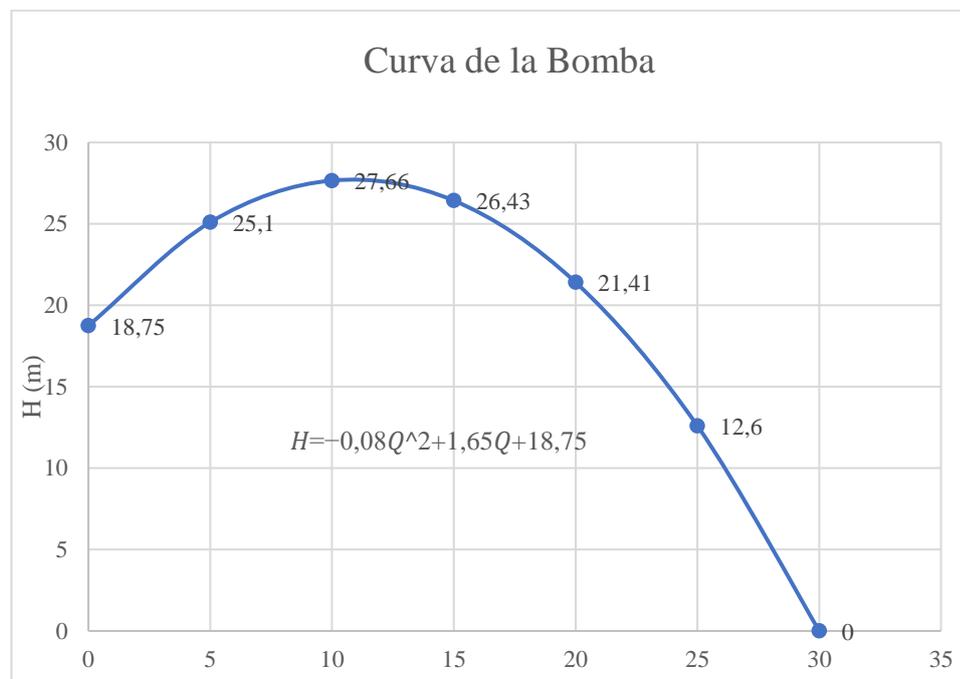


Figura 51. Modelo matemático de la curva de rendimiento de la bomba Paolo, proporcionada por el fabricante

Nota: La figura muestra la ecuación de la curva de la bomba proporcionada por el fabricante.

4.3.3.4 Curva de rendimiento de la bomba Paolo de 0,5 hp en el sitio del Proyecto

Mediciones: Caudal (Q, l/min) vs H (m)

TABLA 21. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LA BOMBA (CAUDAL VS ALTURA)

$Q \left(\frac{l}{min} \right)$	$H(m)$
30	1,40
26	2,80
24	3,30

Nota: La tabla muestra las características de la bomba (caudal vs altura)

Datos: A(30 : 1,40) B(26 : 2,80) C(24 : 3,30)

Modelo matemático: $H = \alpha Q^2 + \beta Q + \gamma$

Sistema de ecuaciones:

$$A(30 : 1,40) \Rightarrow 1,40 = \alpha(30)^2 + \beta(30) + \gamma$$

$$B(26 : 2,80) \Rightarrow 2,80 = \alpha(26)^2 + \beta(26) + \gamma$$

$$C(24 : 3,30) \Rightarrow 3,30 = \alpha(24)^2 + \beta(24) + \gamma$$

$$1. \quad 900 \alpha + 30 \beta + \gamma = 1,40$$

$$2. \quad 676 \alpha + 26 \beta + \gamma = 2,80$$

$$3. \quad 576 \alpha + 24 \beta + \gamma = 3,30$$

Solución del sistema de ecuaciones:

$$\alpha = -0,017$$

$$\beta = 0,583$$

$$\gamma = -1,10$$

Ecuación cuadrática resultante:

$$H = \alpha Q^2 + \beta Q + \gamma$$

$$H = -0,017 Q^2 + 0,583 Q - 1,10$$

Modelo matemático de la curva de rendimiento de la bomba Paolo, en base a datos obtenidos in situ.

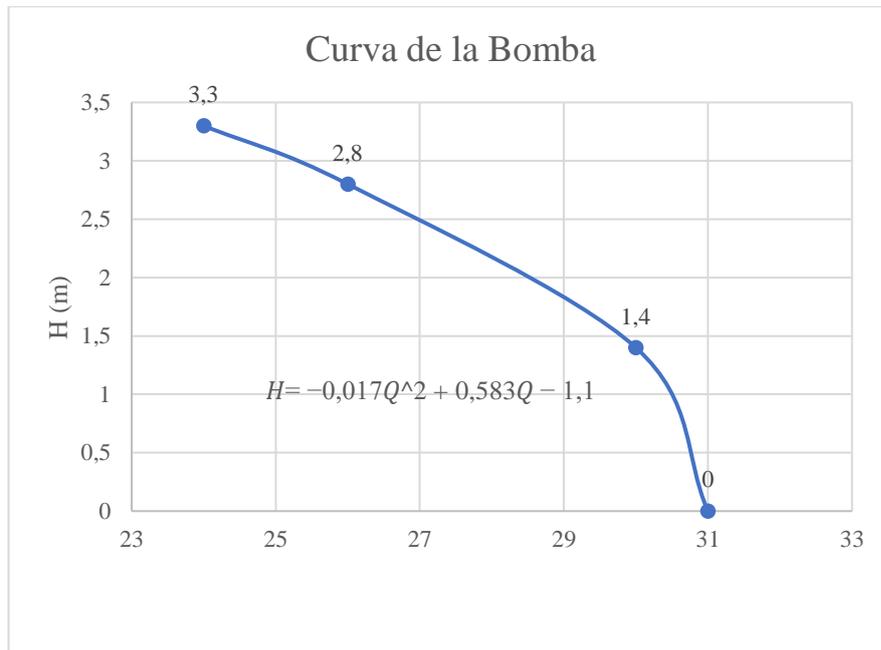


Figura 52. Modelo matemático de la curva de rendimiento de la bomba Paolo, proporcionada por el autor

Nota: La figura muestra la ecuación de la curva de la bomba de manera experimental.

Cálculo de la eficiencia de la bomba de $\frac{1}{2}$ hp, utilizando las ecuaciones de las curvas de rendimiento, tanto la del fabricante como la obtenido en sitio:

Datos:

Polinómica de la curva de rendimiento (manual de operación): $H = -0,08 Q^2 + 1,65 Q + 18,75$

Polinómica de la curva experimental (obtenida en situó):

$$H = -0,017 Q^2 + 0,585 Q - 1,10$$

$$\text{Caudal de trabajo: } Q = 26,50 \frac{l}{min}$$

$$H (m) = ?$$

Tabla de cálculos

TABLA 22. TABLA DE ECUACIONES POR FABRICANTE VS AUTOR

Curva rendimiento	Polinómica (cuadrática)	$Q = 26,5 \frac{l}{min}$	H(m)
Manual	$H = -0,08 Q^2 + 1,65 Q + 18,75$	26,50	6,30
Experimental	$H = -0,017 Q^2 + 0,585 Q - 1,10$	26,50	2,50

Nota: La tabla muestra las características del fabricante vs el sector

Eficiencia de la bomba como equipo unitario utilizado para el movimiento de agua, en general:

$$e = \frac{H_m - H_E}{H_m} * 100\% \quad (Ec. 21)$$

$$e = \frac{6,30 - 2,50}{6,30} * 100 \%$$

$$e = \frac{3,80}{6,30} * 100 \%$$

$$e = 0,60 * 100 \%$$

$$e = 60 \%$$

4.3.3.5 Cálculo de la potencia hidráulica de la bomba

$$P_B [hp] = \frac{Q \rho g h_B}{746 e} \quad (Ec. 22)$$

Donde:

P_B = potencia de la bomba en hp

Q = caudal de diseño $\frac{m^3}{s}$

ρ = densidad del agua $1.000 \frac{kg}{m^3}$

g = gravedad $9,81 \frac{m}{s^2}$

h_B = cabeza neta de la bomba en m.

e = eficiencia de la bomba = 0,60 (lugar del proyecto)

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

$$P_B = \frac{(4,42 * 10^{-4})(998)(9,81)(19,98)}{(746)(0,60)}$$

$$P_B = 0,19 \text{ hp}$$

$$P_B = 0,19 \text{ hp} \left| \frac{745,70 \text{ W}}{1 \text{ hp}} \right|$$

$$P_B = 142 \text{ W (wattios)}$$

4.3.3.6 Cálculo de la eficiencia mecánica de la bomba

Es la relación entre energía entregada al fluido y la energía entregada a la bomba (n), se expresa en porcentaje:

$$n = \frac{\text{Potencia hidraulica}}{\text{Potencia al eje de la bomba}} * \% = \frac{P_B}{P_M} * \% \quad (\text{Ec. 23})$$

$$n = \frac{142 \text{ W}}{276,94 \text{ W}} * \%$$

$$n = 0,51 * 100$$

$$n = 51 \%$$

4.4 Aplicación del sistema

Como se acotó con antelación es necesario establecer una aplicación para el arreglo de paneles y emplear la energía suministrada al sistema; sin mencionar el hecho que de esta manera se puede validar la hipótesis de manera experimental. En ese aspecto se idealiza emplear unidades de aspersión compuestas por alrededor de 24 aspersores (dos estantes), total de 48 aspersores a la par de electroválvulas para el sistema. La figura 53 mostrada a continuación presenta un bosquejo de la irrigación y desde ese punto los cálculos de superficie y número de unidades de aspersión.

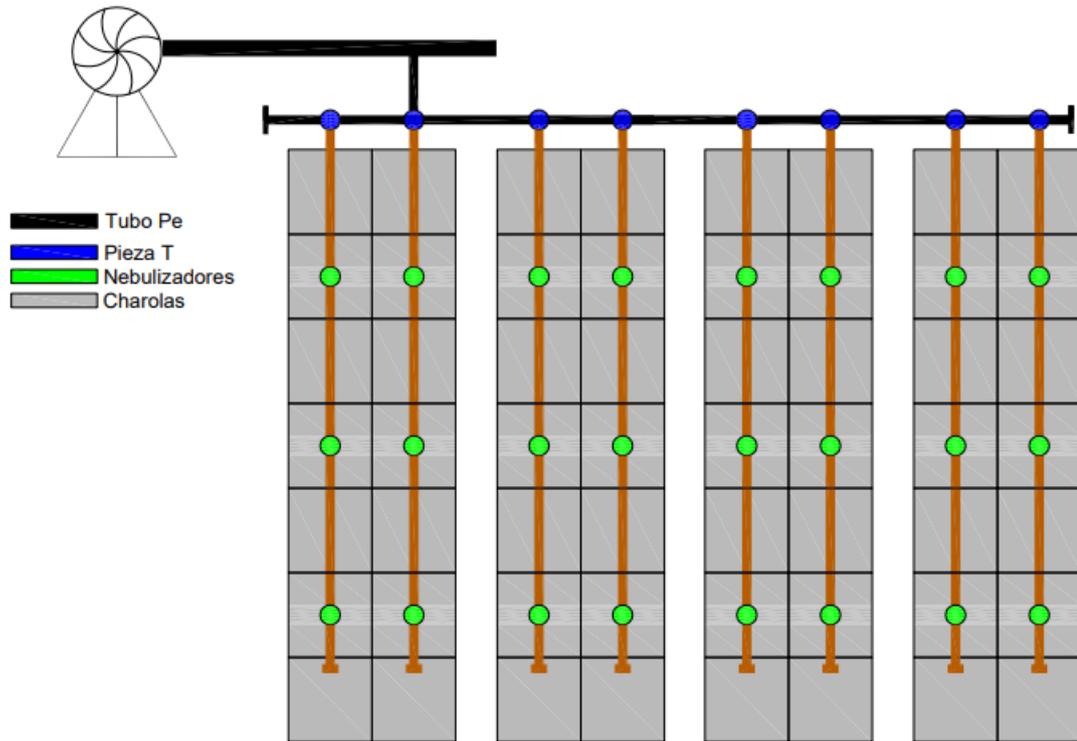


Figura 53. Sistema hidropónico

Nota: La figura muestra la instalación un bosquejo del sistema.

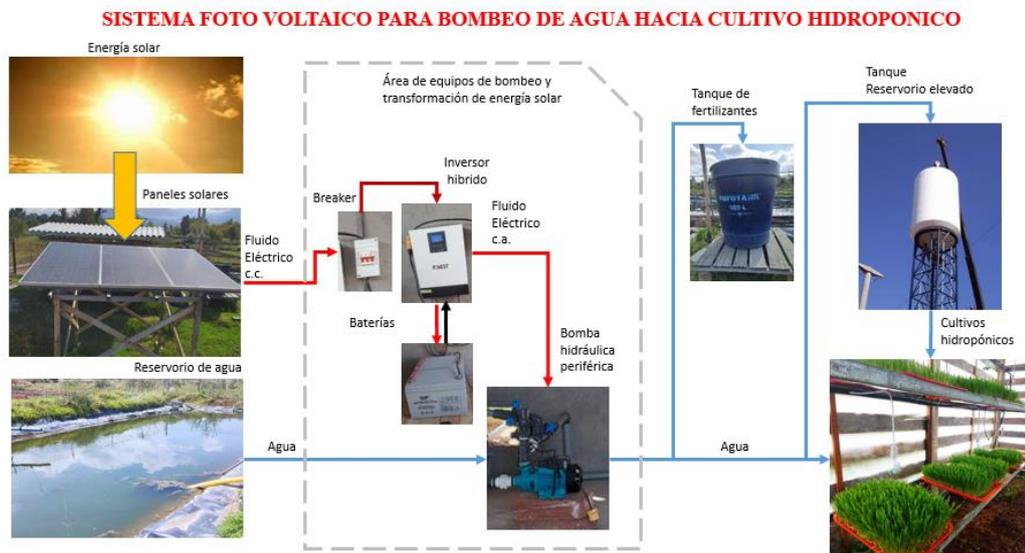


Figura 54. Sistema hidropónico (componentes del sistema)

Nota: La figura muestra la instalación para el sistema teniendo en cuenta los componentes principales.

4.4.1 Cálculo de Unidades de aspersión experimental

Datos:

Qd: caudal disponible = 26,50 lt/min

qm: caudal consumido por unidad de aspersión experimental = 6 lt/min

Am: área de aspersión (unidad) = 12 m²

Cálculos:

$$\# \text{ unidades aspersión} = \frac{Qd}{qm} \quad (\text{Ec. 24})$$

$$\# \text{ unidades de aspersión} = \frac{26,50 \text{ lt/min}}{6,00 \text{ lt/min}}$$

$$\# \text{ de unidades de aspersión} = 4,42 \text{ en un minuto}$$

$$\# \text{ de unidades de aspersión} = 4,42 * 60 = 265,20 \text{ en una hora}$$

4.4.2 Área de cultivo

Es necesario destacar que la estimación se efectúa con base en abordar la mayor cantidad de terreno.

$$Ac = 265,20 \frac{\# \text{ unidades de aspersión}}{h} * \frac{12 \text{ m}^2 * 1 \text{ Ha}}{10.000 \text{ m}^2} = 0,32 \text{ Há}$$

4.4.3 Número de electroválvulas

Es evidente que para el control de cada unidad de aspersión se requiere una electroválvula, teniendo en mente esa idea, se procede a efectuar la siguiente estimación.

$$Ac = \frac{265,20}{4,42} = 60 \text{ electroválvulas}$$

Es necesario señalar que la hidroponía es un método de cultivo de plantas sin tierra, en su lugar, se utiliza una solución de agua rica en nutrientes para alimentar a las plantas. Es desde este punto que se bombea agua cuatro veces al día por el lapso de un minuto, esto proporciona la cantidad justa de agua para que crezcan las plántulas. A continuación, se adjuntan figuras concernientes al sistema de bombeo fotovoltaico.



Figura 55. Arreglo de paneles solares

Nota: La figura muestra la instalación de paneles solares.

De igual manera se muestra los elementos que conforman el sistema una vez generado el arreglo de paneles.



Figura 56. Componentes del módulo fotovoltaico

Nota: La figura muestra la instalación para el sistema

4.4.4 Validación de Hipótesis

Cada uno de los elementos permiten claramente verificar la aplicación del sistema en campo para el acondicionamiento de la bomba hidráulica puesto que actualmente la selección del panel, inversor y baterías han permitido impulsar agua (26,50 litros/ min en promedio en día nublado) lo que desde luego permite emplear este suministro en una aplicación muy puntual como es el caso de la nebulización.

Esto se logró por medio de la instalación de 2 paneles solares en paralelo de 345 Wattios de potencia cada uno que reciben 3,9 h de irradiación. Esta energía en forma de corriente continua CC, 46,10 Voc, es transportada a un inversor híbrido de 1.000 Wattios, el mismo que en su estructura interna incorpora un controlador de carga, fundamentado en un algoritmo llamado MPPT (punto de máxima transferencia de potencia) que regula y optimiza el voltaje de CC provenientes de los paneles solares. Al interior del inversor existe un transformador (toroides) que transforma la corriente CC de 12 V en corriente alterna CA de 120 V. Finalmente, la corriente alterna de 120 V es aprovechada para el bombeo de agua de un reservorio hacia cultivos hidropónicos utilizando una bomba de ½ HP (373 W); dando por aceptado que: el sistema de bombeo será sostenible por medio energía fotovoltaica.

4.5 Gases de efecto invernadero

Antecedente: El Acuerdo de París, del cual el Ecuador es signatario, es un tratado Internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante, su objetivo es limitar el calentamiento mundial por debajo de 2°C, preferiblemente 1,50°C, en relación con los niveles preindustriales. Fue adoptado por 196 países en la COP 21, el 12 de diciembre del 2015 y entró en vigencia el 4 de noviembre del 2016. A los gases que atrapan el calor en la atmósfera se les llama gases de efecto invernadero, siendo los más importantes: Dióxido de carbono (CO_2), *metano* (CH_4), *Óxido Nitroso* (N_2O) y gases fluorados.

Cada uno de estos gases puede permanecer en la atmósfera durante diferentes períodos de tiempo, desde unos pocos hasta miles de años. Todos estos gases permanecen en la atmósfera el tiempo suficiente para mezclarse bien; esto significa que la cantidad que se mide en la atmósfera es aproximadamente igual en todo el mundo, independientemente de la fuente de las emisiones (EPA United States Environmental

Protection Agency, 2021). El Dióxido de carbono es el principal gas de efecto invernadero que se emite a raíz de actividades humanas; en el año 2017 el CO_2 representó aproximadamente el 81,60% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero, razón por la que nos referiremos y calcularemos la cantidad de CO_2 evitado por la implementación del sistema fotovoltaico.

4.5.1 Factor de Emisión

$$1.562,4 \frac{lbCO_2}{MWh} \left| \frac{(4,536 * 10^{-4}) \text{ Toneladas métricas } CO_2}{1 lbCO_2} \right| \left| \frac{0,001MWh}{1 kwh} \right|$$

$$= 7,09 * 10^{-4} \frac{\text{Toneladas metricas de } CO_2}{Kwh}$$

Factor de emisión se ha tomado según la EPA.- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos- año 2019.

Para el caso de Tesis:

$$690 \text{ wh} \left| \frac{1 \text{ kwh}}{1.000 \text{ wh}} \right| \left| \frac{7,09 * 10^{-9} \text{ Toneladas métricas } CO_2}{1 \text{ kwh}} \right| \left| \frac{1.000 \text{ kg}}{1,00 \text{ Tonelada métrica}} \right|$$

$$= 0,49 \text{ kg}CO_2$$

El proyecto de energía fotovoltaica de la “Granja La Victoria” está evitando que la atmósfera se contamine con 489 g de $\frac{CO_2}{h}$.

4.5.2 Cálculo de descontaminación diaria:

$$0,49 \frac{kgCO_2}{h} * 3,9hsolar \text{ pico} = 1,91 \text{ kg}CO_2$$

$$1,91 \text{ kg}CO_2 \left| \frac{1.000 \text{ g}}{1 \text{ kg}} \right| = 1.910 \text{ g de } \frac{CO_2}{día}$$

4.5.3 Cálculo de la descontaminación anual:

$$\begin{aligned} 1.910 \text{ g de } \frac{CO_2}{\text{día}} \left| \frac{365 \text{ días}}{1 \text{ año}} \right| &= 697.150 \text{ g de } \frac{CO_2}{\text{año}} \\ 697.150 \text{ g de } \frac{CO_2}{\text{año}} \left| \frac{1 \text{ kg}}{1.000 \text{ g}} \right| \left| \frac{1 \text{ ton métrica}}{1.000 \text{ kg}} \right| & \\ &= 0,70 \text{ Ton métricas de } \frac{CO_2}{\text{año}} \end{aligned}$$

Conclusión:

$$\approx 0,70 \frac{\text{Toneladas métricas de } CO_2}{\text{año}}$$

Este cálculo no incluye gases de efecto invernadero que no sea CO_2 .

Cálculo de m^3 de CO_2 que el sistema fotovoltaico evita como gases de efecto invernadero.

Cantidad de CO_2 : $1.908 \text{ g de } \frac{CO_2}{\text{día}}$

Cálculos:

$$\begin{aligned} 1.908 \frac{\text{g de } CO_2}{\text{día}} \left| \frac{1 \text{ mol } CO_2}{44 \text{ g de } CO_2} \right| \left| \frac{22,40 \text{ l de } CO_2}{1 \text{ mol } CO_2} \right| \left| \frac{1 \text{ m}^3 \text{ de } CO_2}{1.000 \text{ l de } CO_2} \right| & \\ = 0,97 \frac{\text{m}^3 \text{ de } CO_2}{\text{día}} & \end{aligned}$$

Considerando que un árbol adulto puede absorber hasta 150,00 kg de CO_2 al año (RSS/Web Feeds, 2021), el proyecto propicia el sustento de cinco arboles adultos en la naturaleza, generando la purificación del aire atmosférico.

4.6 Costo del proyecto

Es necesario destacar que la inversión fue totalmente financiado por la granja la Victoria. El desglose de los costos se muestra a continuación:

TABLA 23. CONSUMO Y COSTO MENSUAL DE KWh, GRANJA “LA VICTORIA”

MESES	LECTURA ANTERIOR	LECTURA ACTUAL	CONSUMO KWh	VALOR USD
ENERO	475,00	488,00	13,00	11,29
FEBRERO	488,00	500,00	12,00	9,53
MARZO	500,00	514,00	14,00	11,98
ABRIL	514,00	523,00	9,00	11,42
MAYO	523,00	535,00	12,00	11,77
JUNIO	535,00	545,00	10,00	11,54
JULIO	545,00	557,00	12,00	9,53
AGOSTO	557,00	568,00	11,00	9,42
SEPTIEMBRE	568,00	584,00	16,00	9,99
OCTUBRE	584,00	605,00	21,00	12,77
NOVIEMBRE	605,00	616,00	11,00	11,49
DICIEMBRE	616,00	626,00	10,00	11,10
TOTAL			151,00	131,83

La información mostrada con antelación denota el consumo de energía a la par del costo \$ que la granja paga en un año calendario y que se desea recuperar por medio de la energía fotovoltaica. El valor promedio es de 0,87 USD /kWh.

TABLA 244. COSTO DE EQUIPO Y MATERIALES

Equipos	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Parcial (\$)
PANELES SOLARES POLICRISTALINOS (345W)	3	190	570
BATERIA DE GEL, CICLO PROFUNDO (100A,12V)	2	355	710
INVERSOR CARGADOR HIBRIDO (1000W)	1	330	330
KIT DE CABLES, FOTOVOLTAICOS Y DE BATERIAS	1	50	50
PROTECCIONES CORRIENTE DIRECTA (DC)	1	30	30
Bomba axial de agua 1/2 HP	1	50	50
ACCESORIOS			
Tubo PVC 1 pulgada (6m c/u)	1	9,50	9,50

Tubo rectangular Gal (20mmx40mmx1,5mm)	10	14,80	148
Adaptador 32X1"H	2	0,81	1,62
Adaptador 32X1 PLGM	3	0,81	243
Adaptador Flex 1,5 pulgada H	4	0,30	1,20
Adaptador Flex 1/2M	7	0,13	0,91
Bushing1/2x1 pulgada	1	0,46	0,46
Válvula Chech canastilla1 pulgada	1	4,03	4,03
Codo 32x90°	12	0,74	8,88
Codo 32x45°	1	0,74	0,74
Codo Flex 1/2 PLG	2	0,16	0,32
Codo 1/2 PLG	1	0,46	0,46
Filtro disco1 pulgada (YRD032Y-A)	1	9,70	9,70
Llave rosca 1/2 pulgada ploma	2	1,51	3,02
Llave rosca 1 pulgada ploma	5	3,45	17,25
Manguera BD 1/2 pulgada (rollo)	1	18,35	18,35
Neplo perdido1 pulgada	11	0,87	9,57
Nudo universal 1 pulgada	2	2,94	5,88
Weld 705 1/8	1	4,40	4,40
Tapón rosca1/2 pulgada	4	0,25	1
Tubo 32x1.25 E/C	2	6,06	12,12
TEE Flex 1/2	2	0,19	0,38
TEE Flex 1/2 pulgada	1	0,67	0,67
TEE Flex 1 pulgada	3	1,56	4,68
Teflón pequeño	5	0,40	2
Nebulizadores	12	4,50	54
MATERIALES			
Tanque de agua 500 lts Plastigama	1	100	100
Bandejas plásticas (38,5cmx53cm)	28	3,80	106,40
Semillas cereales (kg)	7	1,10	7,70
Tablas de madera de monte (22cm ancho x 240cm largo)	25	2,40	60
Listones de madera (8x8cm, Longitud:3m)	6	3	18
Vigas tipo pingos (m)	20	1	20
Zinc para techo (hojas)	6	10	60
ADECUACIONES			

Adecuación piso casa de bombas (m2)	6	15	90
Adecuación paredes casa de bombas (m2)	9,30	12	111,60
MANO DE OBRA			
Maestro (diario)	10	25	250
Ayudante (diario)	10	15	150
TOTAL (DÓLARES AMERICANOS)			3.035,27

El costo total del proyecto asciende a 3.035,27 dólares mismos que representa todos y cada uno de los elementos del sistema. La aplicación de cada componente es indispensable para el correcto funcionamiento del arreglo.

4.6.1 Cálculo del periodo de recuperación

Potencia generada por el Sistema: 580 *wattios*

Horas solar pico $HSP = 3,9 \frac{h}{día}$

$$580 \text{ wattios} * 3,9 \frac{h}{día} = 2.260 \frac{Wh}{día}$$

$$2.260 \frac{Wh}{día} * 365 \frac{días}{año} = 824.900 \frac{Wh}{año}$$

$$= 825 \frac{Kwh}{año}$$

Costo Anual de energía:

$$825 \frac{Kwh}{año} \left| \frac{0,87 \text{ USD}}{1 \text{ Kwh}} \right| = 717,75 \frac{\text{USD}}{año}$$

4.6.2 El período de recuperación de la inversión (PRI)

$$PRI = \frac{3.035,27 \text{ USD}}{717,75 \frac{\text{USD}}{año}} \approx 4,23 \text{ años}$$

Es necesario destacar que pese a ser un proyecto autofinanciado el periodo de recuperación no es muy extenso, en consecuencia, su aplicación dentro de la granja es totalmente factible y puede solventar los requerimientos y/o necesidades.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS

Una vez finalizado el proyecto se pueden efectuar las siguientes aseveraciones con base en la consecución de los objetivos planteados.

5.1 Conclusiones

En base a la evaluación realizada del funcionamiento de un sistema de bombeo fotovoltaico en el contexto del sistema de riego hidropónico de la granja agropecuaria La Victoria, se ha logrado dimensionar el módulo fotovoltaico con éxito utilizando el software PVsyst 6.8.1. Los resultados obtenidos en la simulación y la implementación práctica del sistema indican que dos paneles de 345 W en configuración paralela, junto con una bomba periférica de 373 W y un inversor MPPT-CA de 1 kW, han demostrado ser adecuados para satisfacer las necesidades energéticas del proyecto (1.636 wh/día). Además, durante la simulación, se logró generar una cantidad significativa de energía fotovoltaica, alcanzando 979 kWh. Esta producción fue más que suficiente para abastecer las demandas de la bomba periférica, la cual consumió un total de 761 kWh. En términos de eficiencia, se ha establecido un rendimiento del sistema del 63,50%, con un índice de rendimiento promedio de 0,536. Estos resultados indican que el sistema de bombeo fotovoltaico se ha dimensionado de manera efectiva y está operando de manera eficiente, lo que es crucial para garantizar un suministro constante de agua para el riego hidropónico en la granja agropecuaria La Victoria.

Los requerimientos energéticos de la bomba de un ½ hp y otros accesorios que intervienen en el dimensionamiento del sistema, se ha determinado en un consumo diario de 1.636 Wh/día, por consiguiente, el dimensionamiento involucró la aplicación de 2,00 paneles de 345 W a la par de un inversor de 1 kW para transformar la energía DC a AC y permitir su almacenaje en dos baterías en paralelo de 200 Ah de DC. Así mismo, se efectuó el cálculo de la hora solar pico por medio de la verificación de tres sitios meteorológicos Meteonorm, Nasa Power, PVGIS e INAMHI; por medio de los cuales se estimó el valor de 3,90 horas de irradiación solar.

Al momento de estimar la eficiencia; el dimensionamiento FV se desarrolló bajo el supuesto de uso diario de energía, cantidad que permitió verificar la producción de suficiente energía para el trabajo de una bomba hidráulica de ½ HP. Toda la energía del sistema proviene de dos módulos 345 Wattios de potencia empleados para suministrar energía a una bomba de agua utilizada para el proceso de nebulización de una unidad experimental de 12 m² y una capacidad 28 bandejas (53,00 cm x 58,00 cm) de cultivo de hidropónicos. El inversor empleado responde a las características de un elemento Powest de 1 kva para suministrar una energía proyectada de 2.260,40 Wh/día. Dichas consideraciones permiten evidenciar un rendimiento del sistema cuya magnitud es igual al 89,40% tomando en cuenta pérdidas por potencial de temperatura del panel, pérdidas por efecto de la suciedad, pérdidas por inclinación y orientación, pérdidas por Mismatch.

La Eficiencia de la bomba marca Paolo, tipo PBP 550 de ½ hp se determinó en dos escenarios:

Se consideró a la bomba como un equipo unitario, para lo cual, a partir de la curva del rendimiento dada por el fabricante, caudal ($Q \equiv l/min$) vs altura ($H \equiv m$) en condiciones normales, es decir, 1 atm. de presión, 25 °C temperatura y a nivel del mar, se ajustó a un modelo matemático dado por una polinómica de segundo grado en la que se puede calcular la altura que alcanza el agua en función de su caudal, $H (m) = f (Q (m))$. Por otro lado, en sitio se obtuvo experimentalmente una curva de rendimiento y su polinómica para la bomba, bajo las condiciones del lugar del Proyecto, es decir, presión de 10,54 PSI, de presión atmosférica, una temperatura media de 13 ° C y 2.987 m de altura. Con esta información se determinó la altura que puede bombear el equipo considerando el mismo caudal para las dos curvas de rendimiento, lo que arrojó una eficiencia de 60 %, valor que es similar al utilizado empíricamente en las instalaciones de proyectos de regadío en el Sector.

Además, se determinó una eficiencia mecánica de la bomba antes mencionada, mediante una relación matemática entre la potencia hidráulica del equipo, calculada en base a un balance de energía utilizando la ecuación de Bernoulli y por otra parte la potencia al eje de la bomba, que corresponde a la energía suministrada por el sistema

fotovoltaico, alcanzando, este caso, un rendimiento del 51 %, valor que puede superarse a medida que la bomba realice un mayor trabajo hidráulico en el sistema de nebulización de cultivo hidropónico.

Finalmente, en lo que respecta al cuidado del ambiente el Acuerdo de París, del cual el Ecuador es signatario se permite limitar el calentamiento global por debajo de 2 °C, preferiblemente 1,5 °C, en relación con los niveles preindustriales, por lo tanto, la reducción de dióxido de carbono (CO_2), *metano* (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y gases fluorados es imperativo y por medio de la aplicación del sistema mostrado en el presente trabajo de investigación se prevé una reducción de $0,97 \frac{m^3}{día} CO_2$.

5.2 Recomendaciones

A raíz de los resultados favorables, se recomienda seguir adelante con la implementación efectiva del sistema de bombeo fotovoltaico en la granja agropecuaria La Victoria. Sin embargo, es fundamental llevar a cabo un seguimiento continuo del rendimiento del sistema y realizar un monitoreo regular para asegurarse de que se mantenga la eficiencia y se cumplan los objetivos de suministro de agua para el riego hidropónico.

Además, es aconsejable considerar la posible expansión del sistema en el futuro, con el fin de aprovechar la energía excedente, en función de las necesidades cambiantes de la granja y de su capacidad de inversión, con el objetivo de maximizar la sostenibilidad y la rentabilidad de la operación.

Por otro lado, es de suma importancia considerar que, para diseñar y operar sistemas de bombeo fotovoltaicos con paneles solares, baterías, inversores, controladores y motores eléctricos, es importante tener en cuenta el pico máximo de corriente que se manifiesta durante el arranque del sistema, ya que requieren de una potencia inicial grande para vencer todas las resistencias desde el reposo del motor hasta su velocidad final. Si la corriente supera el límite máximo del circuito, puede dañar los componentes del sistema y causar un mal funcionamiento. Por lo tanto, es crucial seleccionar el circuito eléctrico adecuado para manejar la corriente pico de consumo del motor de la bomba y optimizar el rendimiento del sistema, garantizando su seguridad y fiabilidad.

Al momento de emplear la bomba de ½ HP como base para el dimensionamiento del sistema, su información debe ser acertada y desde luego responder a las necesidades del estudio. Por ende, se recomienda analizar la cantidad de energía, volumen de transporte y accesorios de montaje antes de efectuar su compra. Y desde ese punto determinar cuáles son los requerimientos energéticos para solventar.

Por último, se debe fomentar el análisis y aplicación de estudios fotovoltaicos en otros ámbitos del sector pues la zona se caracteriza por ser un área agroindustrial (planteles avícolas, cultivo de flores, crianza de animales menores, cultivo de legumbres y cereales). Además, el gobierno debe encargarse de la importación directa de equipos y accesorios y fomentar la correspondiente tecnología para masificar y abaratar costos para la implementación de sistemas fotovoltaicos para inmiscuirse directamente en la conservación del Medio Ambiente.

5.3 Bibliografía

- Abella , M. (2019). *Energía Solar Fotovoltaica*. Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38373658/SISTEMAS_FOTOVOLAI-COS-libre.pdf?1438653204=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DSistemas_fotovoltaicos_Sistemas_Foto-volt.pdf&Expires=1676853131&Signature=So66kbhwtZWDMv8YYAgf~~PbMorjn~VLJmQavcVj
- Algarin, C., & Álvarez, O. (2018). *An overview of the renewable energy in the World, Latin America and Colombia*. Revista Espacios. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a18v39n34/a18v39n34p10.pdf>
- Aulestia , A., & Celi, M. (2017). IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE PANELES SOLARES FOTOVOLTAICOS CON CAPACIDAD DE 20 kW/mes PARA SE52 UTILIZADOS EN INSTALACIONES INDUSTRIALES. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/13636/3/UPS-KT01347.pdf>
- Ballester , M. (2018). *Estudio de Bombeo Para Instalación de Riego Mediante Instalación Solar Fotovoltaica*. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Benítez, F., & Almazán, C. (2021). CULTIVO DE BIZNAGAS EN INVERNADEROS PARA EVITAR SU EXTINCIÓN. *INNOVACIÓN EN DESARROLLO PRODUCTIVO*, 109.
- Canales, L., Martínez, G., & Olivas, N. (2020). *Sistema de bombeo solar fotovoltaico para extracción de agua de estanque y su utilización para riego*. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua .
- Castaño, M., & García, J. (2020). Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia. *Universidad EAFIT*. doi:<https://doi.org/10.17533/udea.le.n93a338727>
- Coba, G. (2022, Julio 5). Primicias. *Las nuevas inversiones en agricultura siguen siendo bajas*, pp. <https://www.primicias.ec/noticias/economia/nuevas-inversiones-agricultura-siguen-siendo-bajas-ecuador/#:~:text=Hay%20inversión%2C%20pero%20poca,tres%20primeros%20meses%20de%202021.>

- Contreras, W., Galban , M., & Sepúlveda, S. (2018). *Análisis estadístico de la radiación solar en la ciudad de Cúcuta*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-83672018000100016
- Czekaj, D. (1988). *Aplicaciones de la ingeniería: Maquinaria hidráulica en embarcaciones pesqueras pequeñas · Tomo 3*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.
- Dos Santos, E., & Barrozo, L. (2021). *Uma revisão dos princípios de funcionamento de células solares orgânicas*. Retrieved from <https://www.scielo.br/j/rbef/a/Rb98DgWy6sdGrJ9Mpq8dd5B/?format=html>
- Durán, R. (2013). *Hidráulica Aplicada: máquinas hidráulicas, tuberías y canales*. Madrid: Editorial Académica Española.
- Endesa. (12 de Agosto de 2019). *AREAN*. Obtenido de <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/como-se-produce-energia-solar>
- EPA United States Enviromental Protection Agency. (12 de Enero de 2021). Obtenido de <https://www.epa.gov/newsreleases/la-epa-publica-el-inventario-de-emisiones-toxicas-de-2019>
- Espejo, C., & Aparicio, A. (2020). La producción de electricidad con energía solar fotovoltaica en España en el siglo XXI. *Revista de Estudios Andaluces*. Retrieved from <https://idus.us.es/handle/11441/100239>
- Estupiñán, J., Ballester, A., & Pezo, M. (2022). Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.ISN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea),septiembre-octubre,2022,Volumen6Número 5p5679DOI:https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i5.3744Uso de las Energías Renovables En La Agroindus. *Ciencia Latina* , 5679-5698.
- Fernández , M. (2020). *La radiación solar en Bahía Blanca*. Universidad Nacional del Sur.
doi:https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/5454/FERNANDEZ%20M.E._TESIS.pdf?sequence=5&isAllowed=y
- Galvis, E. (2021). *Mejoramiento e instrumentación de banco de pruebas para bombas hidráulicas*. Universidad de Antioquia. Obtenido de <https://bibliotecadigital.udea.edu.co/handle/10495/25172>

- Giraldo , D., & Barahona, A. (2018). *Hidrógeno y su almacenamiento: el futuro de la energía eléctrica. In Hidrógeno y su almacenamiento: el futuro de la energía eléctrica.* Universidad de América. Obtenido de <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/27268>
- Giraldo, D., & Sotelo, A. (2018). *Estudio técnico financiero de la instalación de una planta de licuefacción de gas natural a pequeña escala para uso de éste como combustible en el sector transporte automotor en Colombia.* Colombia: Universidad de América. Obtenido de <http://repository.uamerica.edu.co/handle/20.500.11839/6816>
- Junior, L., Menezes, R., & Bagnis, D. (2020). *Células Solares Orgânicas, a Energia que Vem dos Polímeros.* Revista Vital de Química. Obtenido de <http://static.sites.s bq.org.br/rvq.s bq.org.br/pdf/RVq140520-a1.pdf>
- Morales , M. (2018). *Diseño de una instalación solar fotovoltaica para bombeo de 55 Kw para el riego de la Huerta Alicante de Muxamenl.* España : Universitat Politècnica de Valencia .
- Morales, M., & Mideros, A. (2020). Multidimensional poverty in peasant families farming in. *Revista Economía*, 1-13.
- MRWATT. (13 de Julio de 2023). Obtenido de <https://www.mrwatt.eu/es/content/come-funziona-una-cella-solare>
- Olmo, N. d. (2022). *MAPFRE reduce su huella de carbono global un 26% a través del uso de renovables y la movilidad sostenible.* Obtenido de MAPFRE reduce su huella de carbono global un 26% a través del uso de renovables y la movilidad sostenible: <https://www.mapfre.com/comunicacion/sostenibilidad-comunicacion/mapfre-reduce-su-huella-de-carbono-global-un-26-por-ciento/>
- Orozco, J. J. (2013). *Generación de energía eléctrica con bomba centrífuga.* Uniandes.
- Pedraza, A., & Rosas, R. (2011). *Evaluación para sistemas de bombeo de agua.* Washington D.C: Inter-American Development Bank.
- Pérez, C. (2021). *Aplicaciones de la energía solar al tratamiento térmico de suelos de invernadero.* Córdoba: Universidad de Córdoba.
- Pisco, J. (2021). *Diseño de un sistema híbrido aislado para abastecer a la Hacienda Quirola.* Revista Universidad y Sociedad. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202021000200311&script=sci_arttext&tlng=en

- Prada, C., & Martínez, D. (2022). *Estudio de viabilidad técnica para implementación de paneles solares en Riohacha*. Universidad de América. Retrieved from <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8884/1/5642265-2022-I-GP.pdf>
- Ramírez , C. (2019). *Estudio y diseño de un sistema fotovoltaico para satisfacer la demanda de energía de los motores para el bombeo de agua en el sector agrícola - Monsefú*. Universidad Nacional. Obtenido de <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/5091/BC-TES-%203883%20RAMIREZ%20GONZALES.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- RSS/Web Feeds. (23 de Febrero de 2021). *WWF*. Recuperado el 31 de Octubre de 2023, de <https://www.wwf.cl/?375830/Dia-Internacional-de-los-Bosques-conoce-algunos-de-los-beneficios-que-entregan-estos-ecosistemas#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20Organizaci%C3%B3n%20de%20las,de%20azufre%2C%20plomo%2C%20etc>.
- Ruiz , D. (2021). *Modelación energética de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para zonas rurales*. Universidad de la Costa. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/8176>
- Salas , Y., Gómez , H., Vanegas, M., & Valencia , G. (2018). *Diseño técnico y económico de un banco de prueba solar fotovoltaico para generación de energía eléctrica de forma aislada*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-82612018000200082
- Silva , B., & Zambrano , J. (2022). *Implementación Del Cercado Eléctrico Con Paneles Solares En La Cabaña De La Universidad Técnica De Cotopaxi Extensión La Maná*. Universidad Técnica de Cotopaxi. Retrieved from <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9541>
- Silva, M. (2020). Modelado y estudio del impacto de sombras sobre paneles solares fotovoltaicos. *Universidad Nacional de la Plata*. Retrieved from <http://rinfi.fi.mdp.edu.ar/bitstream/handle/123456789/441/MSilva-TFG-IEI-2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Silvestre, S., Castañer, L., & Guasch, D. (2018). Herramientas de Simulación para Sistemas Fotovoltaicos en Ingeniería. *Scielo*, 13-18.

- Thais, C., & Moehlecke, A. (2017). *INFLUENCE OF THE PASSIVATION IN SILICON CELLS SOLAR WITH SELECTIVE BACK SURFACE FIELD OF ALUMINIUM AND BORON*. Metalurgia, materiais e Mineracao. Retrieved from <http://www.tmm.periodikos.com.br/article/doi/10.4322/2176-1523.1229>
- Tractz, T., Dias, R., Banczek, E., & Cunha, M. (2018). *Estudo de Células Solares Híbridas de TiO2 com Corantes Naturais*. Revista virtual de Química . Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Bianca-Dias-4/publication/327482801_Study_of_TiO2_Hybrid_Solar_Cells_with_Natural_Dyes/links/5ca2bd7292851cf0aea7a806/Study-of-TiO2-Hybrid-Solar-Cells-with-Natural-Dyes.pdf
- Viejo, M. (2003). *Bombas: Teoría, diseño y aplicaciones*. México: Limusa.

5.4 Anexos

5.4.1 Manual de mantenimiento del sistema fotovoltaico paneles

Por lo general el mantenimiento debe realizarse cada seis meses o en su defecto eventualmente cuando sea necesario y se idealice la caída de la eficiencia. La persona que realiza esta actividad debe usar un casco de seguridad protección visual, ropa de trabajo confeccionado en fibras de algodón y zapatos de seguridad de tipo dieléctrico; aunque, el amperaje y voltaje no son muy altos, es necesario prever cualquier accidente. A continuación, se enlistan las actividades a desarrollar como modelo de mantenimiento preventivo.

- La superficie de los paneles solares se debe limpiar con una franela de algodón empapado en agua, retirando cuidadosamente el polvo, excrementos y plumas de aves, hojas de vegetación alledaña, etc.
- Manualmente verificar el voltaje de salida del sistema de paneles solares, para elaborar un registro y evaluar su desempeño del sistema, si hay alteraciones alarmantes proceder con la garantía de los paneles y otros componentes.
- Con una solución de 100 gr de bicarbonato de sodio en un litro de agua destilada o limpia, empapar una franela y limpiar las paredes laterales y los bornes de las baterías.
- Otra actividad que debe realizarse frecuentemente es la verificación de la correcta ventilación del inversor: ventiladores, filtros, disipadores, afín de que el sistema de refrigeración funcione adecuadamente. Cuando el inversor se calienta innecesariamente puede haber una limitación de potencia temporal lo que significa una pérdida de rendimiento.
- Comprobar si hay cables deteriorados o rotos y conexiones flojas o sucias. Es importante revisar regularmente el cableado que está expuesto a la intemperie para identificar roturas en el aislamiento (ej. por roedores), pues puede llevar a fallas del aislamiento, arco eléctrico e incendio.

5.4.1.1 Mantenimiento Bomba

El mantenimiento de bombas es esencial para asegurar su funcionamiento eficiente y prolongar su vida útil. Las actividades de mantenimiento pueden variar según el tipo de bomba (centrífuga) y su aplicación específica (transporte de agua), teniendo en cuenta las actividades descritas a continuación:

- Inspección visual: Examinar la bomba para detectar signos de desgaste, corrosión, fugas o daños en componentes como carcasas, impulsores, sellos, y acoplamientos.
- Lubricación: Asegurar que los componentes móviles estén adecuadamente lubricados para reducir la fricción y el desgaste.
- Alineación de acoplamientos: Verificar la alineación de los acoplamientos entre el motor y la bomba para prevenir vibraciones y desgaste prematuro.
- Reemplazo de sellos: Reemplazar los sellos mecánicos o sellos de empaque cuando presenten fugas.
- Limpieza de impulsores: Limpiar los impulsores de la bomba para eliminar cualquier obstrucción o acumulación de sedimentos que pueda reducir la eficiencia.
- Comprobación de la potencia del motor: Asegurarse de que el motor que impulsa la bomba esté funcionando correctamente y tenga la potencia adecuada.
- Prueba de fugas: Realizar pruebas de fugas para identificar y solucionar problemas de estanqueidad.
- Reemplazo de piezas desgastadas: Sustituir piezas o componentes desgastados o dañados, como rodamientos, sellos, juntas, etc.
- Pruebas de funcionamiento: Realizar pruebas de funcionamiento para asegurarse de que la bomba opere correctamente y cumpla con las especificaciones de diseño.
- Monitoreo de vibraciones y temperatura: Utilizar instrumentos de medición para controlar las vibraciones y la temperatura de la bomba y sus componentes. Las variaciones inusuales pueden indicar problemas.

- Limpieza y mantenimiento del sistema de succión: Mantener limpio el sistema de succión de la bomba para evitar obstrucciones que puedan reducir el flujo.
- Programación de mantenimiento preventivo: Establecer un programa de mantenimiento preventivo que incluya inspecciones regulares, lubricación, y reemplazo de componentes según un calendario predefinido (trimestralmente).

Finalmente, es importante destacar que el mantenimiento de bombas puede variar según la aplicación y las condiciones de operación. Es recomendable seguir las pautas y recomendaciones del fabricante de la bomba, ya que estos suelen proporcionar instrucciones específicas para el mantenimiento adecuado de sus productos.

5.4.2 Manual de funcionamiento del sistema fotovoltaico aislado

El funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos se fundamenta en los principios de radiación electromagnética que emite el Sol y que son direccionados hacia la Tierra, en particular, los fotones que son partículas sin masa y altamente energizadas son los encargados de transportar dicha energía. Los fotones inciden sobre láminas de celdas de un material semi conductor, silicio, excitando al flujo de electrones libres, originando de esta manera una corriente continua (CC), que luego de ser transformada en corriente alterna (CA) puede ser utilizado en las actividades y usos diarios de la humanidad.

5.4.2.1 Funcionamiento del sistema fotovoltaico

El trabajo de esta Tesis de Grado de Maestría se fundamenta en el aprovechamiento de la energía solar, un recurso natural limpio, renovable e inagotable. En el sitio del Proyecto, ubicado en Santo Domingo de Cevallos, se han instalado dos paneles solares en configuración paralela, cada uno con una potencia eléctrica de 345 W. Estos paneles, desempeñan la función de capturar la irradiancia y que en el sitio de estudio se ha estimado en un promedio de 689,50 W/m² con 3,90 horas de sol pico (HSP). La energía generada se transforma en corriente continua (CC) a un voltaje de 46,10 Vdc antes de ser dirigida hacia un inversor híbrido de 1,00 kW. Posteriormente, esta energía

se almacena en dos baterías 12 Vdc conectadas en paralelo para su posterior utilización.

El inversor híbrido está equipado con un controlador de carga MPPT (punto de máxima transferencia de potencia), que eficazmente ajusta y optimiza el voltaje de corriente continua procedente de los paneles solares. Este controlador gestiona eficazmente la energía del sistema, permitiendo que los paneles operen en su punto de máxima de potencia y en este modo de trabajo, no es necesario que los paneles tengan la misma tensión que las baterías, lo que contribuye a una eficiente operación del sistema fotovoltaico. En resumen, el regulador MPPT, realiza las siguientes funciones en un SFV: controlar el trabajo de los paneles, la intensidad de cargas y trabajo de las baterías.

En el interior del inversor, se halla un transformador monofásico encargado de convertir la corriente continua (CC) de 12 Vdc en corriente alterna (CA) de 120 Vac. Esta corriente alterna de 120 Vac se utiliza para impulsar una bomba de agua de 1/2 HP (equivalente a 373 W), que a su vez bombea agua desde un depósito hacia los sistemas de cultivos hidropónicos.

Sin embargo, para que este funcionamiento sea acertado es necesario abordar ciertos pasos para el funcionamiento y uso del sistema fotovoltaico Aislado y autónomo. Estos se muestran a continuación.

1. Revisar los paneles solares, equipos y más accesorios.

La energía solar es recolectada en dos paneles cuya capacidad de 345 w cada uno y conectados en paralelo, dicha energía es transportada por cables multipolar THHN /THWN 2,00 x 10,00 AWC (5,26mm), hacia la caseta de equipos y otros accesorios.

2. Chequear las conexiones y funcionamiento correcto de los equipos como: Inversor, baterías, breaker y bomba.

La energía proveniente de los paneles solares, en forma de corriente continua, una parte es almacenada en dos baterías de Gel de 12 voltios y 100 Ah; una potencia de 1.200 W por cada batería; otra parte de energía Continua es transformada por el convertidor en energía alterna que es utilizada, en este caso, para el proceso de cultivos hidropónicos mediante el aprovisionamiento de agua a cultivos hidropónicos. Cabe recalcar que la energía almacenada en las baterías y una vez transformada en corriente alterna por el convertidor, es de uso simultáneo o emergente para el Sistema.

3. Encendido de la bomba de ½ Hp.

Con la energía de corriente Alterna proveniente del proceso anterior, funciona una bomba de ½ Hp de 373 w de potencia para movilizar el agua de un reservorio de 400 metros cúbicos ubicado a un metro de la caseta de máquinas y distante 15 metros en dirección a los cultivos hidropónicos. Cabe destacar que la eficiencia calculada en el sitio para una bomba marca Paolo de ½ Hp es de 60 porciento.

4. Con cronometro automático tomar el tiempo de nebulización en las unidades de aspersión experimental, que no debe exceder un minuto por cuatro veces al día.

El área de cultivos hidropónicos para el presente caso es de 96 m² en el que se ubicaran 48 nebulizadores distribuidos simétricamente y que funcionan con un caudal de ingreso al sistema de nebulización de 26,50 litros /min y una presión de 37,50 PSI (libra / pulg²). Este proceso se realiza durante un minuto desde las 7:00 am con intervalo de dos horas hasta las 17:00 horas es decir cuatro veces al día.

5. Verificar el apagado automático de la bomba de agua.

Para el sistema de nebulización se ubica un temporizador que se encarga del encendido y apagado automático de la bomba.

5.5 Data Sheet – Panel Solar Policristalino 345 W

POWEST®

POWEST

Paneles Solares Policristalinos 345W

Los paneles fotovoltaicos POWEST policristalinos son ideales para su uso en plantas de energía a gran escala, comerciales e instalaciones residenciales. Nuestros paneles fotovoltaicos están en línea con las normas de la Comisión Electro-técnica Internacional (IEC 61215, IEC 61730), e incluyen:

- Pruebas de exposición a exteriores
- Pruebas de aislamiento
- Pruebas de resistencia a puntos calientes
- Pruebas de pre acondicionamiento ultravioleta (UV)
- Pruebas de clima (como humedad-calor, ciclo térmico y humedad - congelación)
- Pruebas de carga mecánica
- Pruebas de fuga de corriente con humedad
- Pruebas de empuje
- Pruebas de impacto de granizo
- Pruebas de continuidad de conexión a tierra

Las principales características de nuestros paneles son:

- Diodo de derivación que reduce al mínimo la pérdida de potencia por la sombra
- Alta eficiencia de conversión del módulo (hasta 15,88%), gracias a una innovadora tecnología de fabricación
- Células solares de alta eficiencia con transmisión y cristal texturizado
- Vidrio templado con encapsulado EVA y película de protección frente al medio ambiente, con marco de aluminio anodizado, para una protección eficiente bajo condiciones ambientales extremas
- A prueba de agua (UL94, VO)



ESPECIFICACIONES TÉCNICAS PANELES SOLARES	
Tipo de módulo	Poli - Cristalino
Potencia máxima	345W
Tolerancia salida de potencia	0/+5 %
Voltaje de circuito abierto	46.4VDC
Corriente de cortocircuito	9.49A
Voltaje en potencia máxima	38.0VDC
Corriente en potencia máxima	9.07A
Eficiencia	17.8 %
Max. serie de fusible	15A
Caja de conexiones (grado de protección)	≥ IP65
Máxima tensión del sistema	1000V DC
Rango de temperatura de funcionamiento	-40°C to 85°C
Peso	22.5kg
Celda (cantidad / material / número de barras colectoras)	72 / silicio multicristalino / 4 o 5
Dimensiones (Altura x Ancho x Profundidad)	1956mm / 992mm / 40mm
Clase de aplicación	A
Distancia Cable	1,2m
Conector	MC4 / IP67
Calificaciones y certificado	IEC 61215, IEC 61730, CE, ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, BS OHSAS 18001:2007, SA 8000:2015
<small>STC: Irradiación de 1000 W / m2, temperatura del módulo de 25 ° C, espectro AM1.5g según EN 60904-3. Reducción de eficiencia relativa promedio de 3.3% a 200W / m.2 según EN 60904-1.</small>	

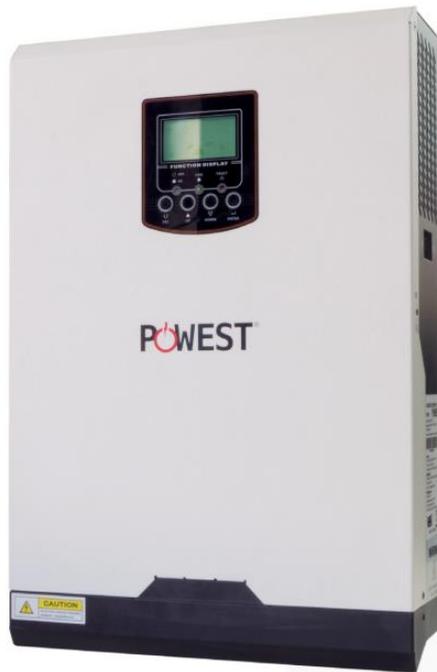
* Sujeto a modificaciones sin previo aviso, según requerimiento del cliente, según disponibilidad de inventario y/o bajo pedido del cliente. * Fotos de referencia, accesorios se venden por separado.

5.6 Data Sheet – Inversor Powest Híbrido 1 kVA

POWEST®

POWEST

UPS Híbrida 1 - 3 Kva



Los sistemas inteligentes de gestión de energía POWEST están equipados con un controlador MPPT que gestiona de manera eficiente la energía de sistemas de baterías, paneles solares, generadores eólicos y red eléctrica; logrando un sistema aislado sin cortes de luz, capaz de trabajar en 19 modos diferentes según la necesidad y la prioridad, equipado con un cargador inteligente que detecta el tipo de batería que se esté implementando.

- Señal de salida onda senoidal pura
- Capacidad de carga solar MPPT controlador
- Rango de tensión de entrada seleccionable para los electrodomésticos y ordenadores personales
- Selección de corriente para carga basado en aplicaciones
- Configurable AC / prioridad de entrada solar a través de ajuste de LCD
- Compatible con la tensión de red o de un generador
- Auto reinicio mientras que el AC se está recuperando
- Protección de sobrecarga y cortocircuito
- Diseño del cargador de batería inteligente, para un rendimiento optimizado de la batería
- Función de arranque en frío
- Funcionamiento en paralelo hasta con 6 unidades

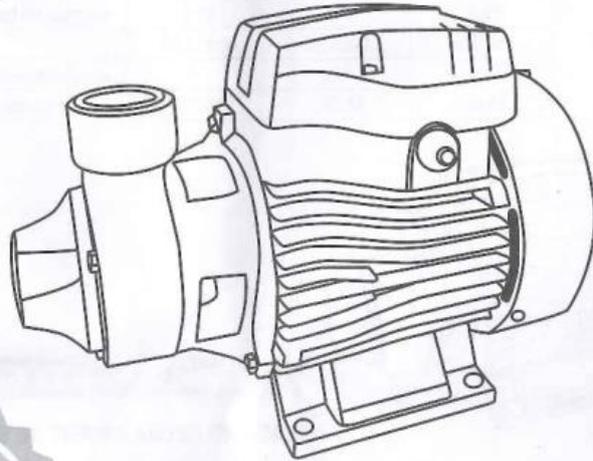
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS UPS HÍBRIDA		
Capacidad	1KVA 12V	3KVA 24V
Especificaciones de Entrada		
Topología de entrada	Monofásica	
Voltaje nominal de entrada	120VAC	
Cantidad de hilos	3 (Fase +Neutro +GND)	
Voltaje permitido por el rectificador	95 -140 vac	
Rango de frecuencia de entrada	50Hz o 60Hz (Detección Automática)	
Limitación de corriente de entrada	150% sistema inversor y bypass	
Conexión	Bornera	
Especificaciones de Salida		
Topología de salida	Monofásica	
Voltaje nominal de salida	120VAC	
Factor de potencia de Salida	0,8	
Potencia W	1000VA/800W	3000VA/2400 W
Tipo de onda de salida	Senoidal pura	
Otros voltajes de salida configurables	110/120VAC	
Tiempo de transferencia	10 / 20 ms	
Cantidad de hilos	3(Fase +Neutro+GND)	
Regulación de voltaje	<+-5%	
Sobre tensión de energía	2 * Potencia Nominal por 5 Segundos	
Frecuencia nominal de salida	50Hz/60Hz	
Capacidad de sobrecarga	5s@≥150% de carga; 10s@110%~150% de carga.	
Protecciones corto circuito	Modo línea: Fusible Modo Batería: Circuito electrónico	
Conexión	Bornera	
Eficiencia	Modo Línea 90%	
Especificaciones de las Baterías		
Tipo de baterías	VRLA / GS / FT / OPz / GEL	
Voltaje DC	12VDC	24VDC
Especificaciones de Cargador Red		
Corriente	10/20 A	20/30 A
Voltaje de carga flotación	13,5VDC	27VDC
Protección de sobre voltaje	15,5VDC	31VDC
Especificaciones de Cargador Solar		
PotenciaW	500W	1500W
Eficiencia	98%	
Max PV VOC	102VDC	145VDC
Rango de Operación PV MPPT	15~80VDC	30~115VDC
Min Voltaje de Batería para PV caragdor	8,5VDC	17VDC
Especificaciones Cargador Red y Solar		
Max Corriente de carga	80A	90A
Configuración por defecto	40A	60A
Especificaciones Físicas		
Dimensiones (Altura x Ancho x Profundo)	316 x 240 x 95 mm	479 x 295 x 140 mm
Peso Neto Kg (Sin Baterías)	5,2	11,5
Display LCD	Display LCD todos los parámetros Condiciones de la carga, capacidad de la Batería, alarmas visuales y auditivas. Estado de operación del UPS (bypass, Línea, Baterías, Falla)	
Conexión de Baterías Externo	Conector bornera	
Interface	La UPS puede ser monitoreada por un PC vía USB	La UPS puede ser monitoreada por un PC vía RS232-USB
Tarjeta de red	NA	Para monitoreo y gestión a través de SNMP (Opcional solo 3KVA)
Conexión Paralelo	NA	hasta 6 unidades
Software	software Windows XP, Windows , Linux	
Gabinete	Tipo pared(indoor) NEMA Tipo 1	
Especificaciones Ambientales		
Humedad	5% ~ 95% sin condensación	
Temperatura de Operación	0°C ~ 55°C	
Temperatura de almacenamieto	0°C ~ 55°C	

* Sujeto a modificaciones sin previo aviso, según requerimiento del cliente, según disponibilidad de inventario y/o bajo pedido del cliente. * Fotos de referencia, accesorios se venden por separado.

5.7 Data Sheet – Bomba de Agua ½ HP

 Paolo

MANUAL DE OPERACIÓN
BOMBA DE AGUA LIMPIA



**GARANTÍA
1 AÑO**

**Bombas periféricas
PBP50 PBP65 PBP80**



IMPORTANTE

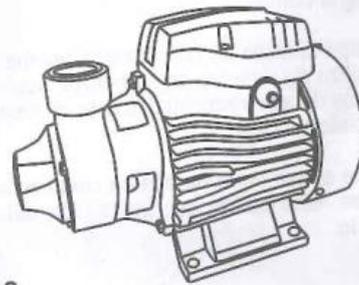
Lea este manual de operación antes de la primera operación de su bomba para el uso de su eficiencia óptima

IMPORTADO Y DISTRIBUIDO POR:

 Promesa

Características técnicas

Modelo	PBP50	PBP65	PBP80
Velocidad de bomba	3450 RPM	3450 RPM	3450 RPM
Potencia	1/2 HP	3/4 HP	1 HP
Tensión	110V	110V	110V
Frecuencia	60 HZ	60 HZ	60 HZ
Máxima profundidad de succión	8 M	8 M	8 M
Flujo máximo	33 L/min	55 L/min	55 L/min
Diámetro de succión y descarga	1"	1"	1"
Altura máxima de bombeo	32 M	45 M	58 M



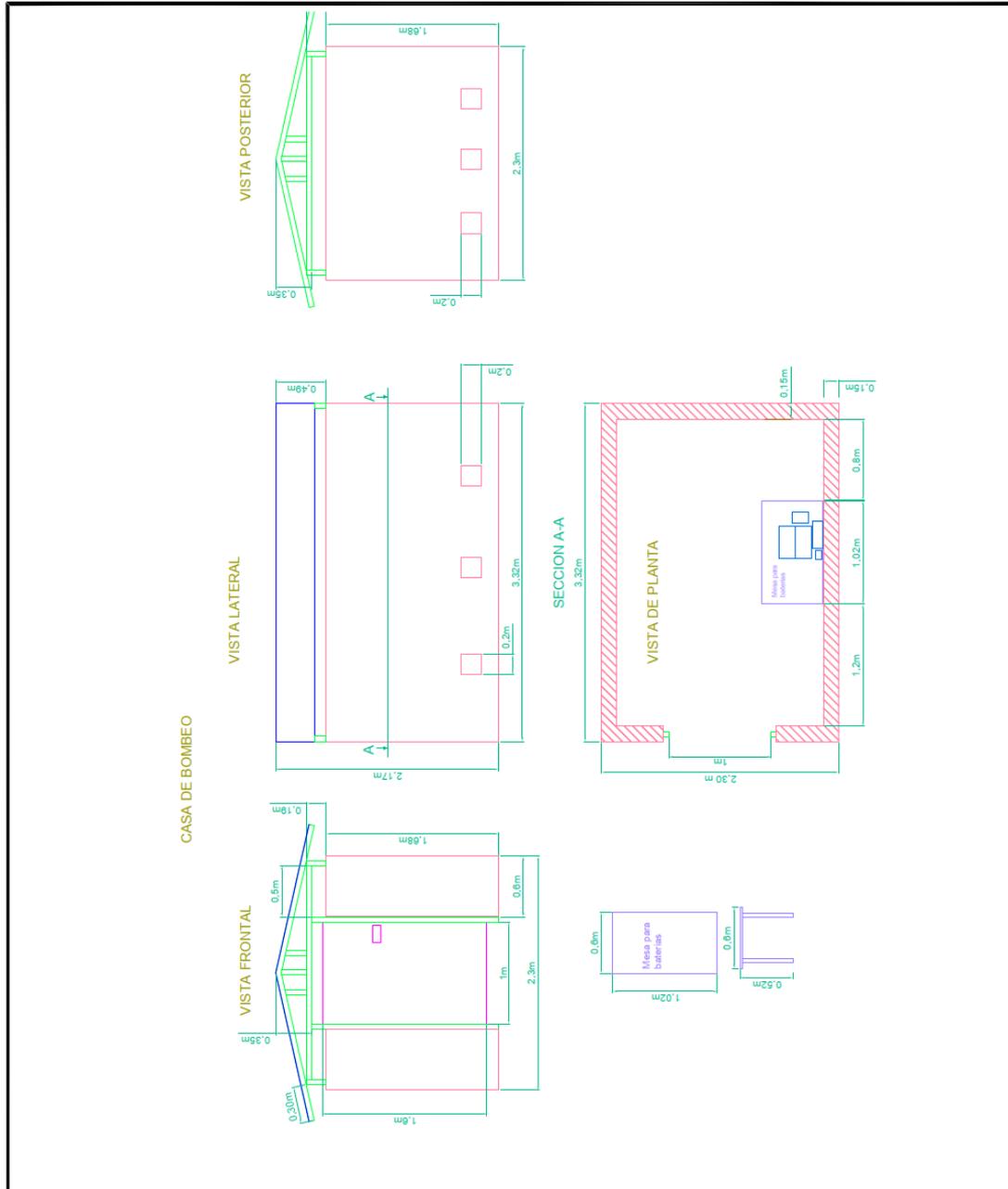
Precaución antes de usar la bomba

CONECTE EL CABLE DE TIERRA ANTES DE USARLO.

- Esto le permite evitar un accidente causado por una descarga eléctrica cuando el aislamiento eléctrico no está en orden.
- Para su seguridad del peligro de descarga eléctrica, tenga cuidado de no obtener el enchufe mojado con agua.

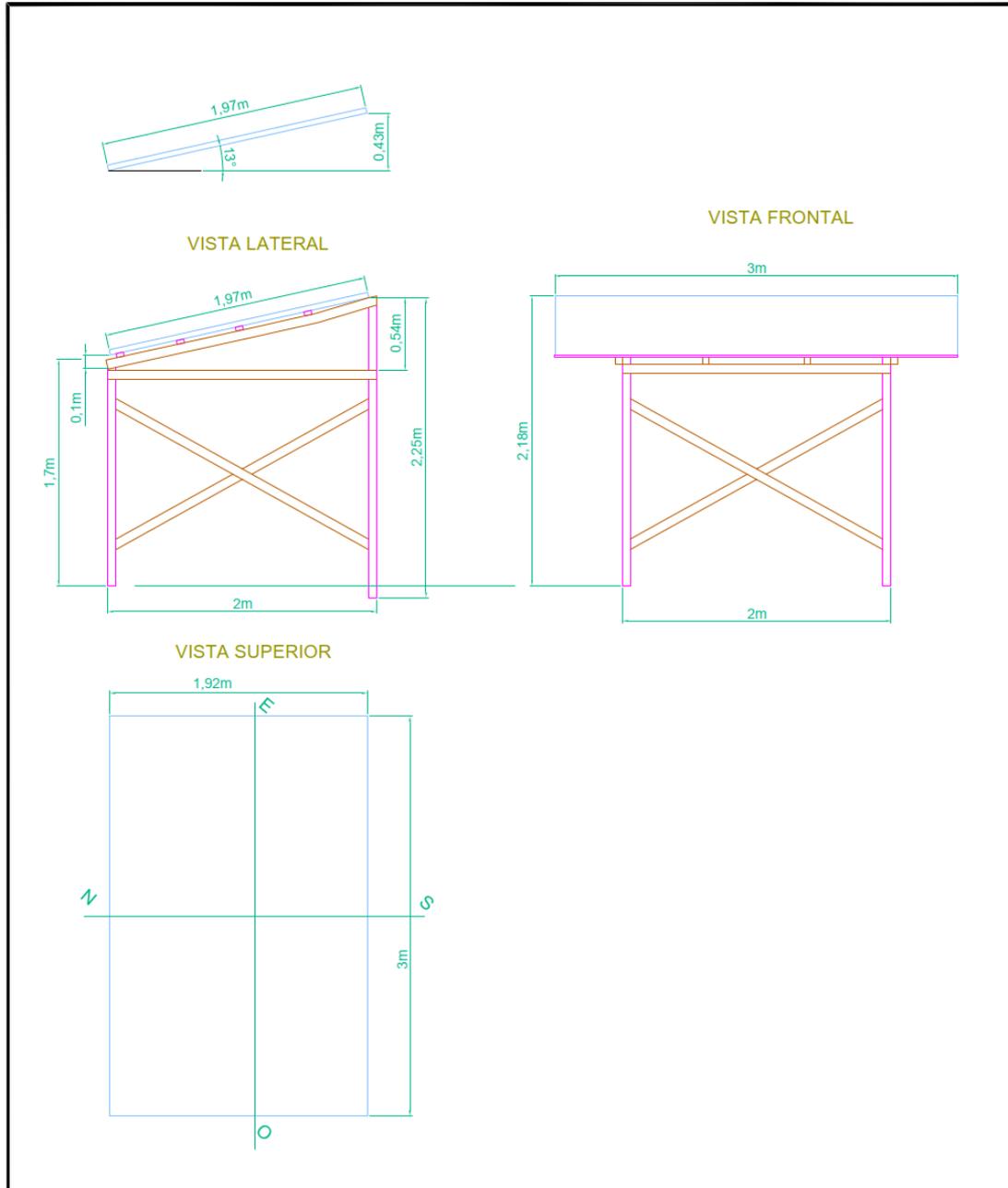
5.8 Planos

5.8.1 Casa de Bombeo



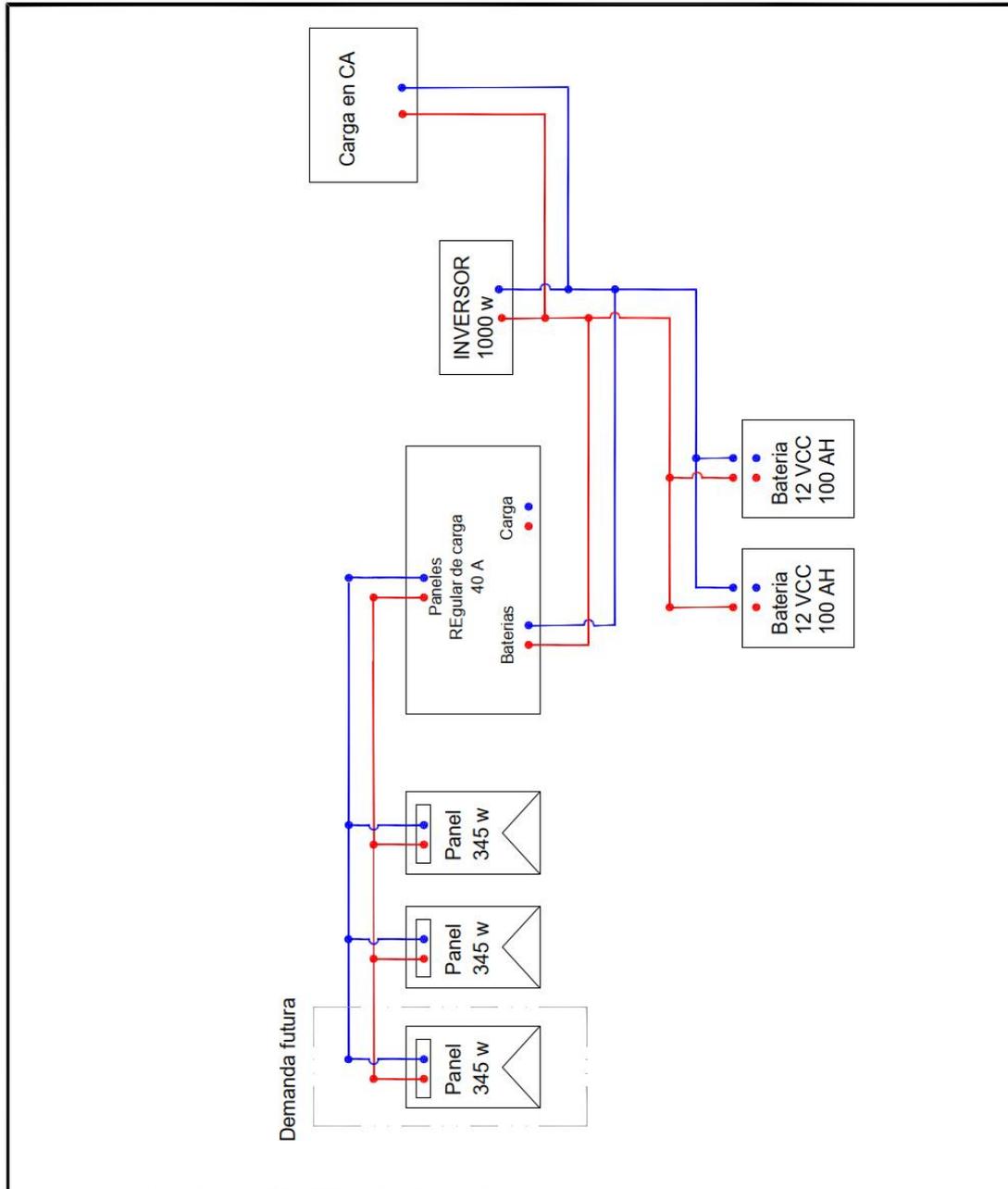
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				± 15 mm	n.d	Perfiles de Acero, tablon, ladrillo, hormigon	
				Fecha	Nombre	Denominacion	Escala
			Dib.	6/6/23	F. Aguirre		
			Rev.				
			Apro.			CASA DE BOMBEO	1:50
			Empresa				
Edi cion	Modifi cacion	Fecha	Nom bre	PARTICULAR		Numero de dibujo	Marca Registro
						1 de 13	

5.8.2 Plano – Soporte Paneles Solares



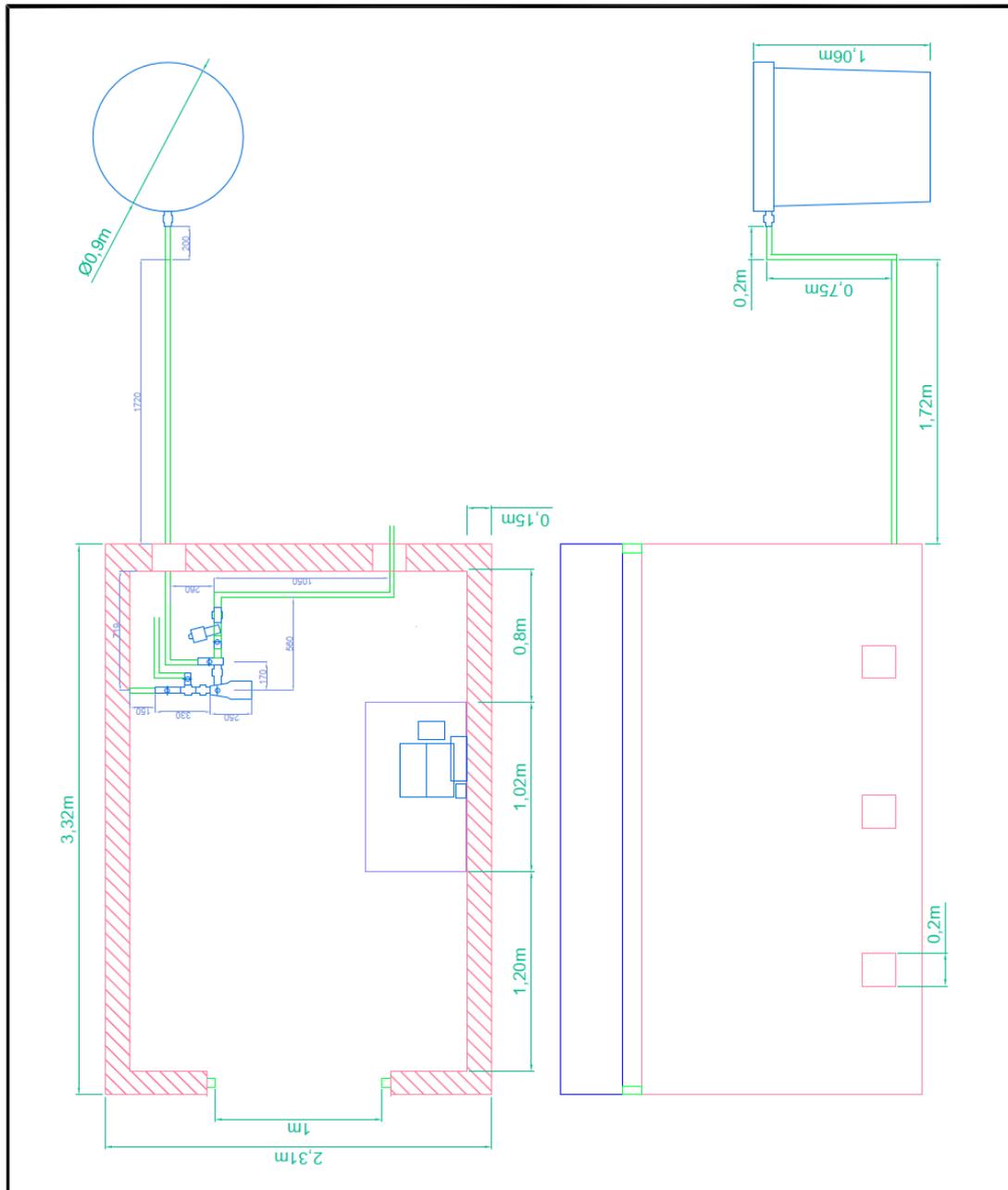
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				± 15 mm	n.d	Perfiles de Aluminio, tablon, paneles.	
					Fecha	Nombre	Denominacion
				Dib.	6/6/23	F. Aguirre	ESCALA
				Rev.			1:40
				Apro.			SOPORTE DE PANELES SOLARES
				Empresa		Numero de dibujo	Marca
				PARTICULAR		2 de 13	Registro
Edi	Modifi	Fecha	Nom				
cion	cacion		bre				

5.8.3 Plano – Diagrama Eléctrico



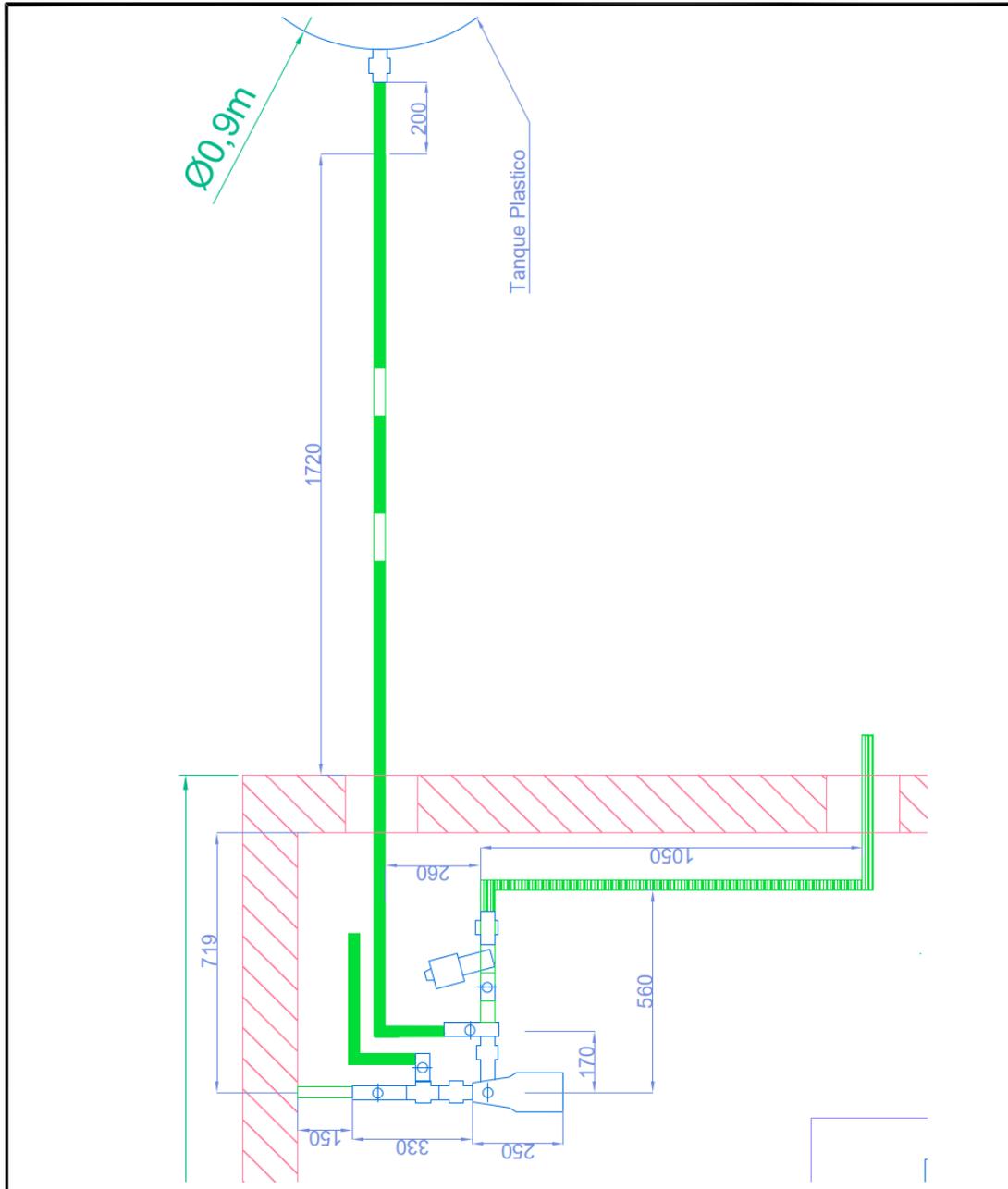
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				N.A.	N.D.	Cable electrico	
				Fecha	Nombre	DIAGRAMA ELECTRICO	Denominacion
			Dib.	6/6/23	F. Aguirre		Escala
			Rev.				N.A
				Apro.			
				Empresa		Numero de dibujo	Marca
Edi	Modifi	Fecha	Nom	PARTICULAR		3 de 13	Registro
cion	cacion		bre				

5.8.4 Plano – Instalación de Bomba



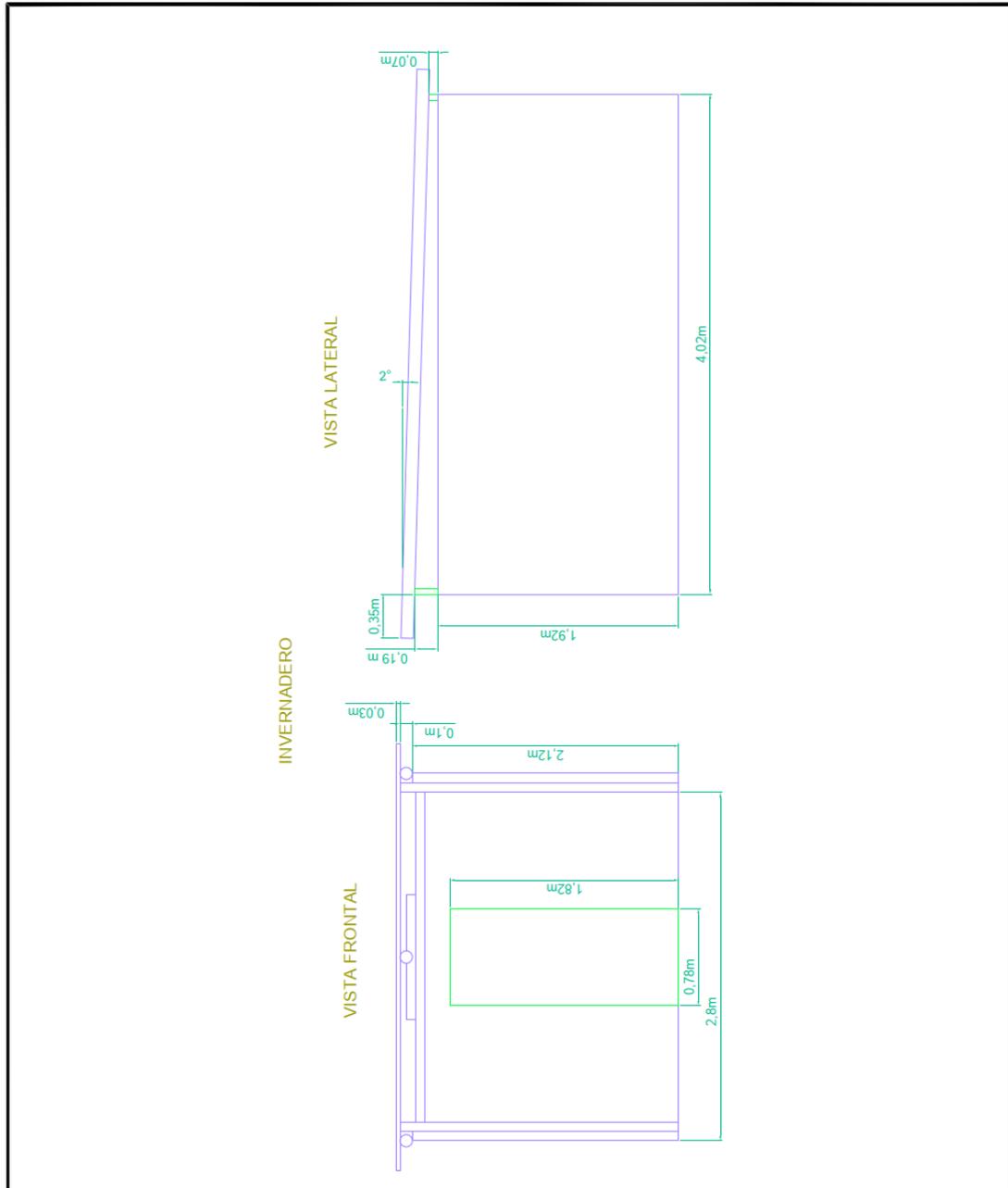
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				± 15 mm	n.d	Perfiles de Acero, tablon, ladrillo, hormigon	
					Fecha	Nombre	Denominacion
				Dib.	6/6/23	F. Aguirre	INSTALACION DE BOMBA
				Rev.			
				Apro.			Escala
				Empresa		Numero de dibujo	
				PARTICULAR		4 de 13	
Edi cion	Modifi cacion	Fecha	Nom bre			Marca Registro	

5.8.5 Plano – Equipo de Bombeo



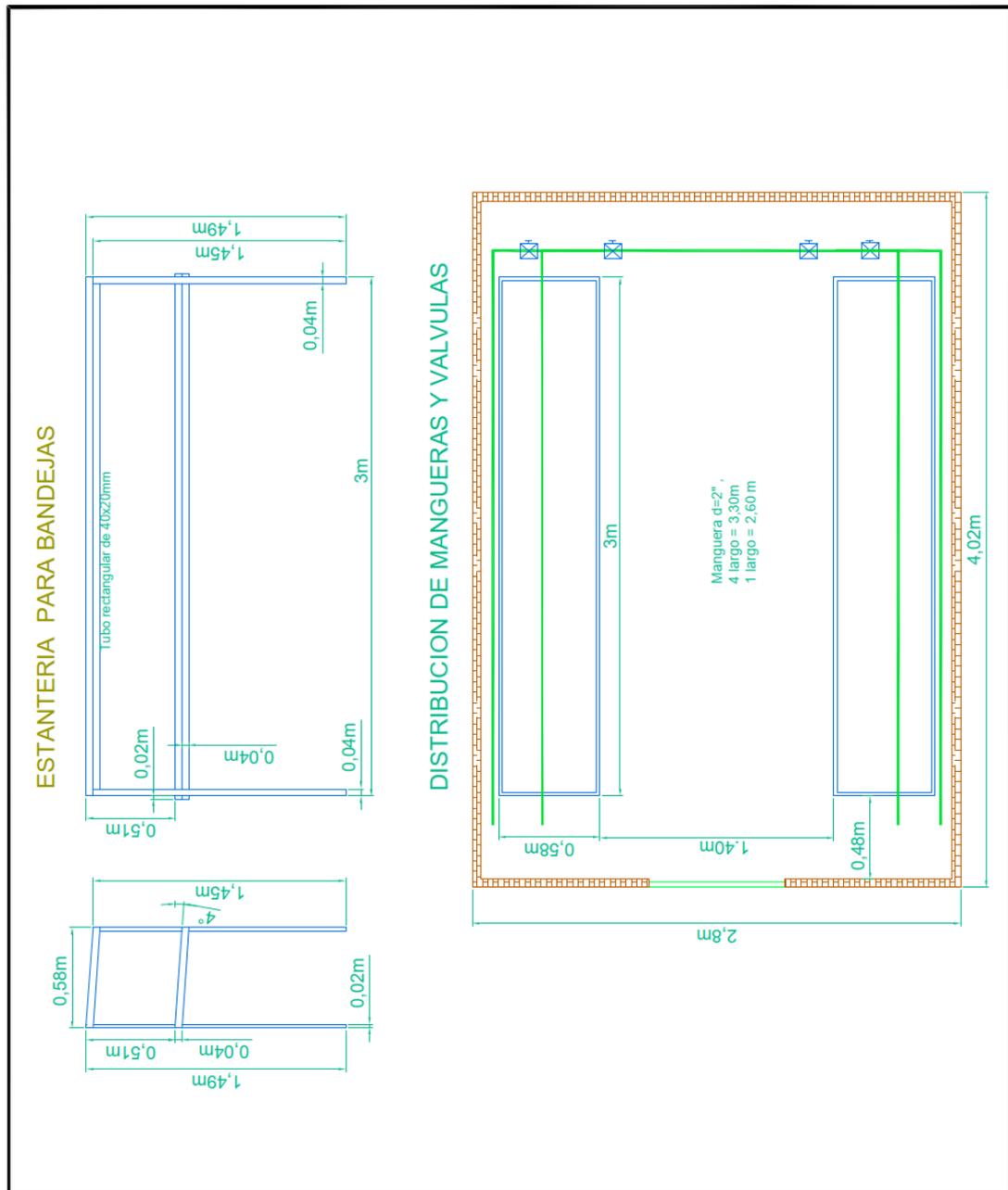
				Tolerancia $\pm 10 \text{ mm}$	Peso n.d	Materiales Bomba, manguera, codos, neplos Pernos de anclaje	
						Denominacion EQUIPO DE BOMBEO	Escala 1:12
				Dib.	Fecha 6/6/23	Nombre F. Aguirre	
				Rev.			
				Apro.			
				Empresa PARTICULAR		Numero de dibujo 5 de 13	Marca Registro
Edi cion	Modifi cacion	Fecha	Nom bre				

5.8.6 Plano – Invernadero



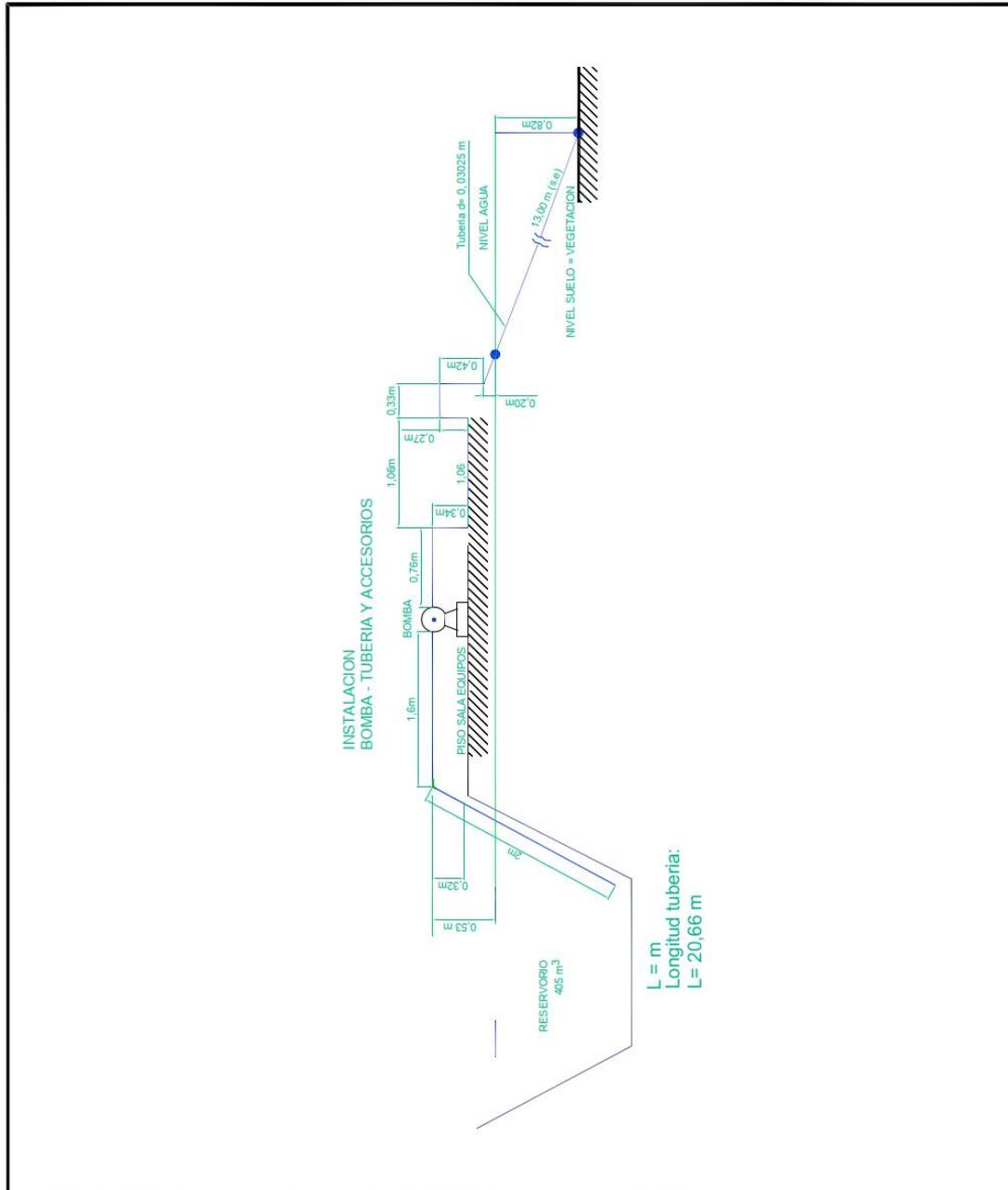
				Tolerancia	Peso	Materiales		
				± 15 mm	n.d	Perfiles de Acero, tablon, ladrillo, hormigon		
					Fecha	Nombre	Denominacion	
				Dib.	6/6/23	F. Aguirre	INVERNADERO	
				Rev.			1:40	
				Apro.				
				Empresa		Numero de dibujo	Marca	
				PARTICULAR		6 de 13	Registro	
Edi cion	Modifi cacion	Fecha	Nom bre					

5.8.7 Plano – Estanterías del Invernadero



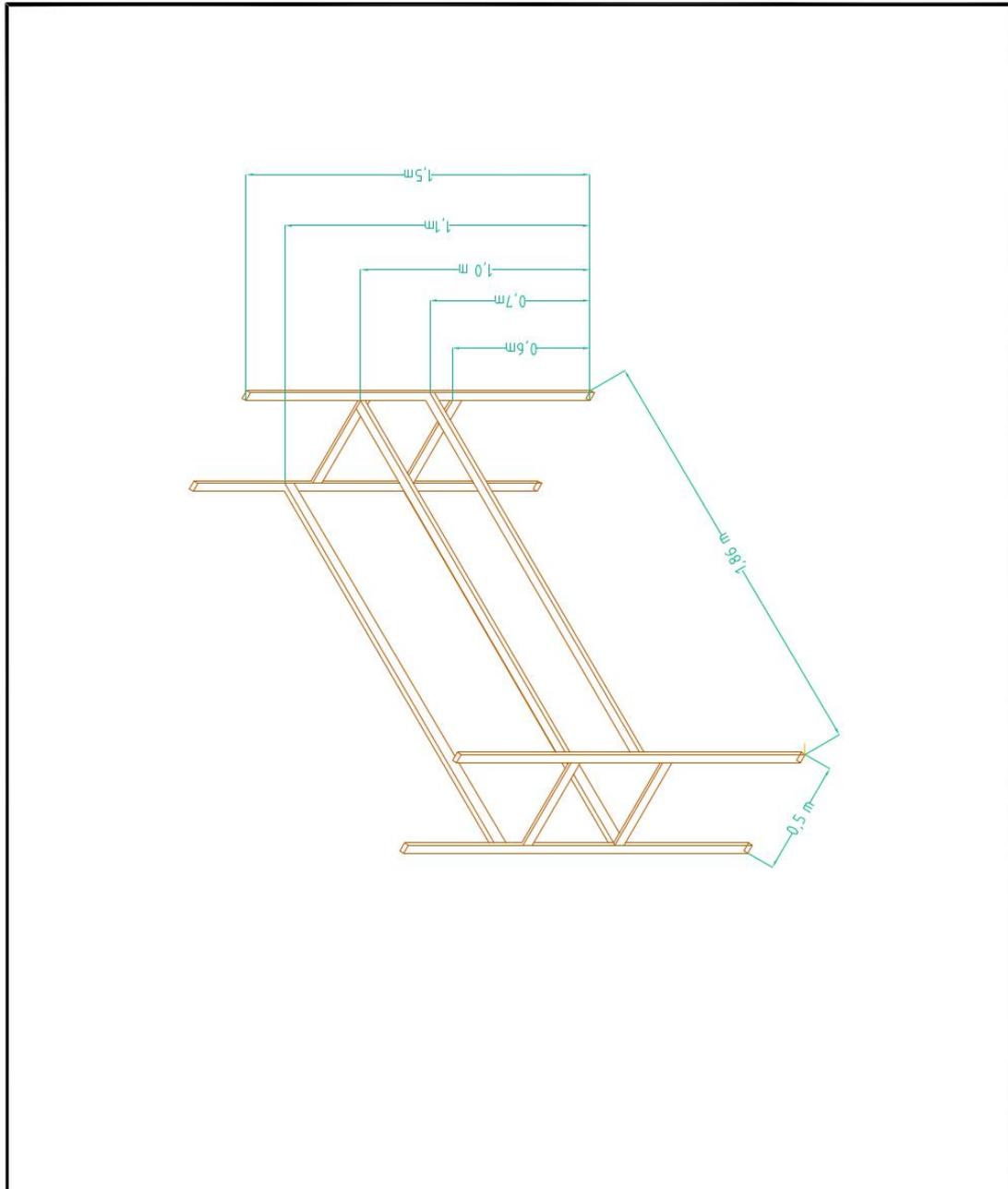
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				± 10 mm	n.d	Perfiles de Acero, manguera plastica, uniones	
				Fecha	Nombre	ESTANTERIAS DEL INVERNADERO	Denominacion
			Dib.	6/6/23	F. Aguirre		Escala
			Rev.				1:30
			Apro.			Numero de dibujo	Marca
				Empresa		7 de 13	Registro
Edi cion	Modifi cacion	Fecha	Nom bre	PARTICULAR			

5.8.8 Plano – Perfil del sistema de Bombeo



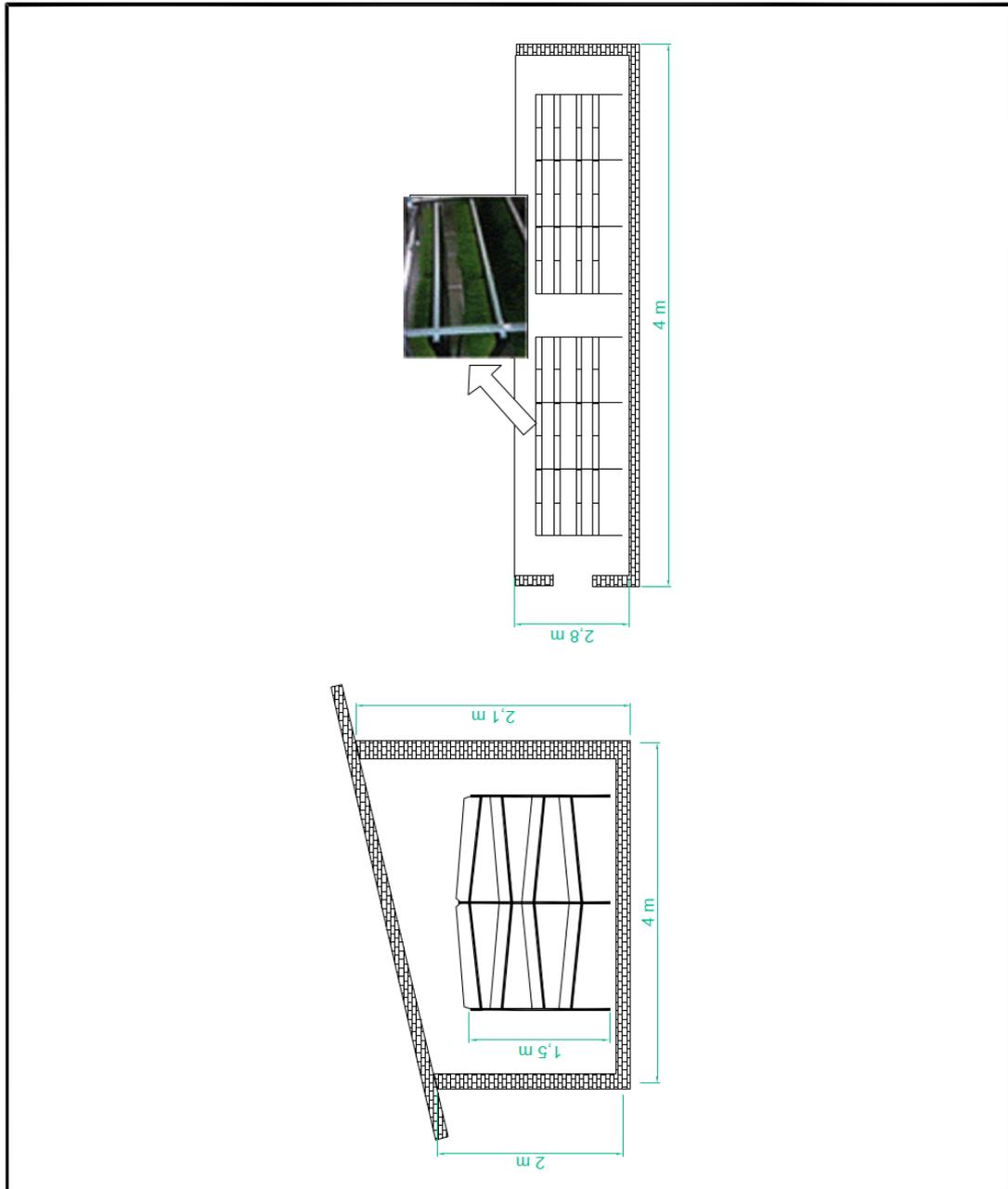
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				± 20 mm	n.d	Tanque de suministro, bomba , tuberías	
				Fecha	Nombre	Denominacion	Escala
				Dib. 1/10/23	F. Aguirre	PERFIL DEL SISTEMA DE BOMBEO	1:50
				Rev.			
				Apro.			
				Empresa		Numero de dibujo	Marca Registro
Edi cion	Modifi cacion	Fecha	Nom bre	PARTICULAR		8 de 13	

5.8.9 Plano – Estantería por bandejas



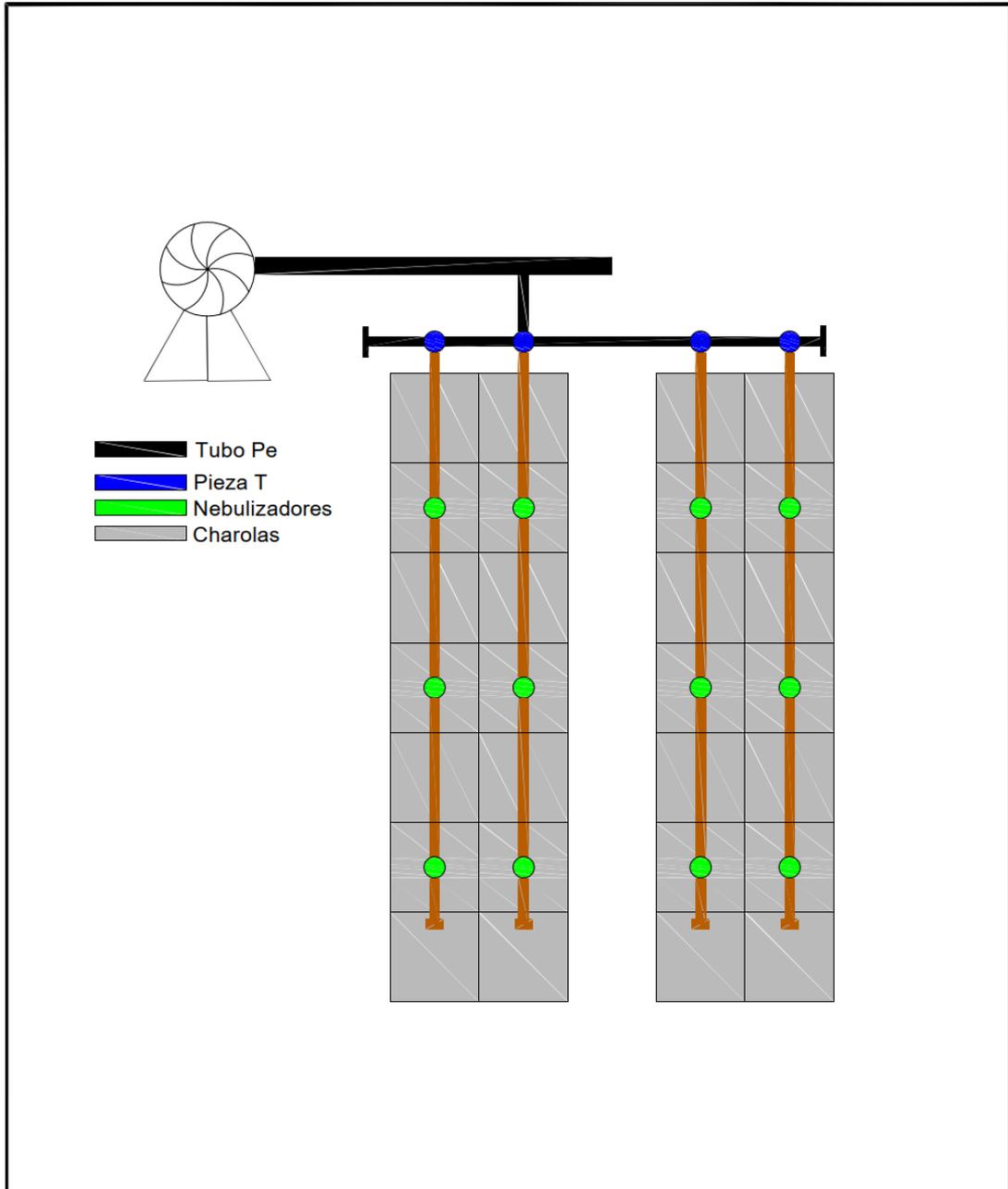
				Tolerancia	Peso	Materiales	
				± 5 mm	n.d	Tubo galvanizado 40x20	
					Fecha	Nombre	Denominacion
				Dib.	1/10/23	F. Aguirre	Ejemplo de estanteria porta bandejas
				Rev.			1:25
				Apro.			
				Empresa		Numero de dibujo	Marca
				PARTICULAR		9 de 13	Registro
Edi cion	Modifi cacion	Fecha	Nom bre				

5.8.10 Plano – Invernadero

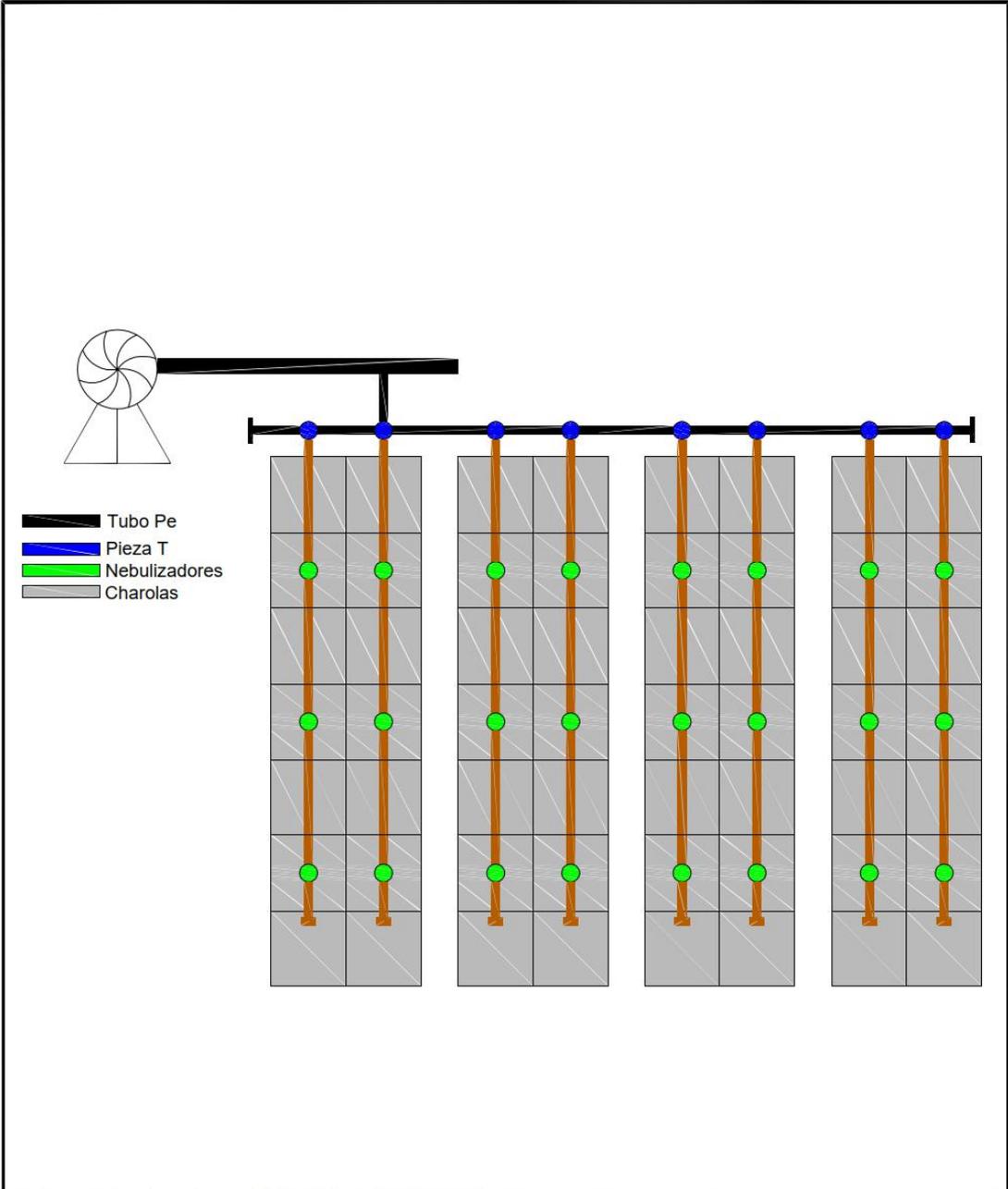


				Tolerancia	Peso	Materiales	
				± 20 mm	n.d	Tablon, perfiles acero, hormigon.	
						Denominacion	Escala
				Dib.	Fecha	Ejemplo del invernadero	1:40
				Rev.	Nombre		
				Apro.	F. Aguirre		
				Empresa		Numero de dibujo	Marca Registro
Edi cion	Modifi cacion	Fecha	Nom bre	PARTICULAR		10 de 13	

5.8.11 Plano – Vaporizadores

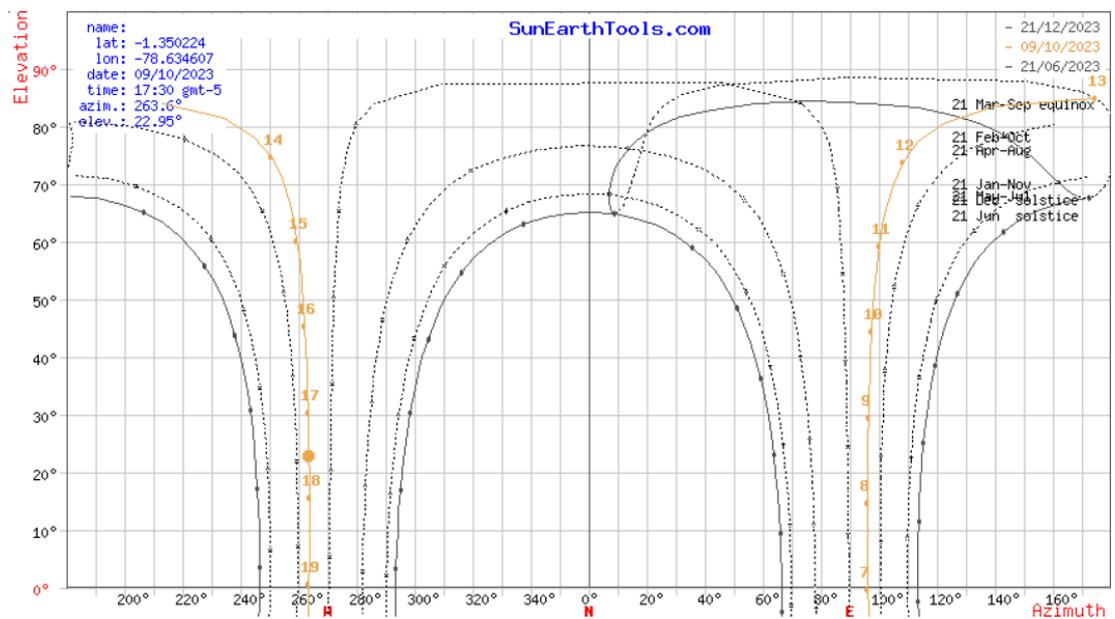
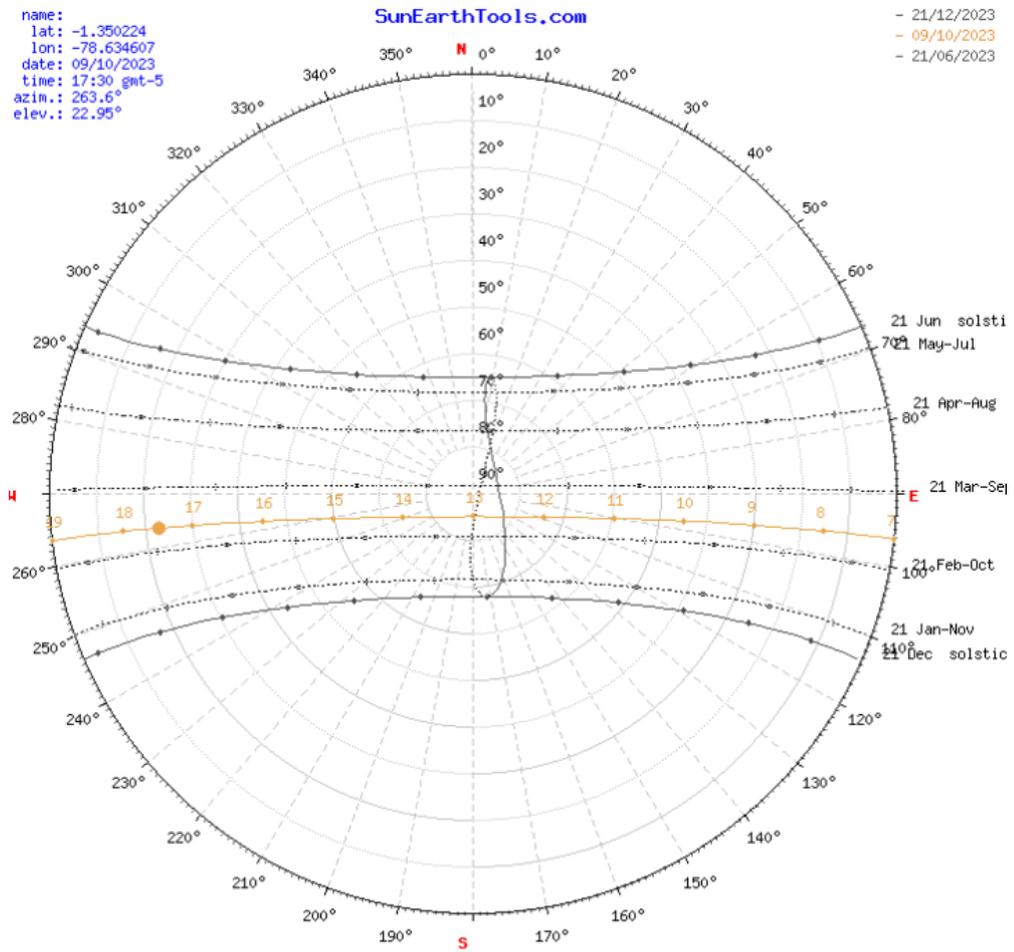


				Tolerancia	Peso	Materiales	
					n.d		
				Dib.	Fecha	Nombre	Denominacion
				Rev.	1/10/23	F. Aguirre	COLOCACION DE VAPORIZADORES
				Apro.			Escala
							X:XX
				Empresa		Numero de dibujo	Marca
				PARTICULAR		11 de 13	Registro
Edi cion	Modifi cacion	Fecha	Nom bre				



				Tolerancia	Peso	Materiales	
					n.d		
				Fecha	Nombre	Denominacion	Escala
				Dib. 1/10/23	F. Aguirre	COLOCACION DE VAPORIZADORES	X:XX
				Rev.			
				Apro.			
				Empresa		Numero de dibujo	Marca Registro
				PARTICULAR		12 de 13	
Edi cion	Modifi cacion	Fecha	Nom bre				

5.9 Carta Solar del Cantón Cevallos

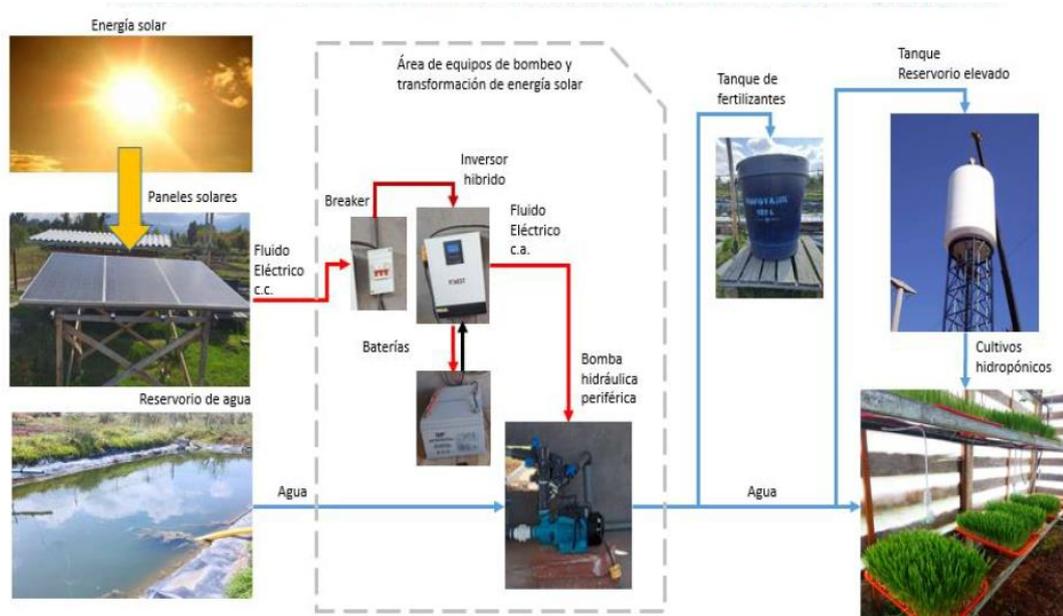


5.10 Coeficiente k de latitud -1°

Latitud: -1°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.97	0.98	1	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1	0.98	0.97	0.96
10	0.93	0.96	0.99	1.02	1.04	1.04	1.03	1.02	0.99	0.96	0.93	0.92
15	0.88	0.92	0.97	1.02	1.05	1.06	1.04	1.01	0.97	0.93	0.89	0.87
20	0.83	0.88	0.95	1.01	1.05	1.06	1.04	1.01	0.95	0.89	0.84	0.81
25	0.77	0.84	0.92	1	1.05	1.06	1.04	0.99	0.92	0.85	0.78	0.75
30	0.71	0.79	0.89	0.98	1.04	1.05	1.03	0.97	0.89	0.8	0.72	0.69
35	0.65	0.73	0.84	0.95	1.02	1.04	1.01	0.95	0.85	0.74	0.65	0.62
40	0.57	0.67	0.8	0.92	1	1.02	0.98	0.91	0.81	0.67	0.58	0.54
45	0.5	0.61	0.74	0.88	0.97	0.99	0.95	0.87	0.76	0.62	0.51	0.46
50	0.42	0.54	0.69	0.83	0.93	0.96	0.92	0.83	0.7	0.56	0.43	0.38
55	0.34	0.46	0.63	0.78	0.89	0.92	0.88	0.78	0.64	0.49	0.35	0.3
60	0.26	0.39	0.56	0.73	0.84	0.87	0.83	0.73	0.58	0.41	0.27	0.21
65	0.17	0.31	0.49	0.66	0.79	0.82	0.78	0.67	0.51	0.34	0.19	0.13
70	0.11	0.23	0.42	0.6	0.73	0.77	0.72	0.61	0.45	0.26	0.13	0.12
75	0.11	0.15	0.34	0.53	0.67	0.71	0.66	0.55	0.37	0.18	0.12	0.11
80	0.1	0.1	0.26	0.46	0.6	0.64	0.6	0.48	0.3	0.13	0.11	0.1
85	0.09	0.09	0.19	0.39	0.53	0.58	0.53	0.41	0.23	0.12	0.11	0.1
90	0.08	0.08	0.11	0.31	0.46	0.51	0.46	0.34	0.15	0.11	0.1	0.09

5.11 Sistema Fotovoltaico para Bombeo de Agua Cultivo Hidropónico



5.12 Simulación PVSyst 6.8.1

PVSYST V6.88		06/11/23	Página 1/5
Sistema de Bombeo FV: Parámetros de simulación básica			
Proyecto : FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO			
Sitio geográfico: GRANJA AGROPECUARIA LA VICTORIA		Pais: Ecuador	
Ubicación		Latitud: -1.35° S	Longitud: -78.63° W
Tiempo definido como		Hora Legal: Huso horario UT-5	Altitud: 2988 m
		Albedo: 0.20	
Datos meteorológicos: GRANJA AGROPECUARIA LA VICTORIA		Meteonorm: 7.2, Sat=100% - Sintético	
Variante de simulación : Nueva variante de simulación			
		Fecha de simulación: 06/11/23 08h46	
Parámetros de la simulación			
Parámetros Sistema de bombeo		Tipo de sistema: Lago o Río hacia Depósito	
Lago o Río hacia Depósito		Profundidad nivel: 0.5 m	
		Profundidad de la bomba: 25 m	Profundidad máx bombeo: 24 m
Depósito de almacenamiento		Volumen: 16.0 m³	Diámetro: 3.0 m
Alimentación por arriba		Altitud de alimentación: 3.0 m	Altura (nivel lleno): 2.3 m
Circuito hidráulico		Largo tubería: 10 m	Tubos DN65: Dint = 69 mm
		Núm. de codos: 7	Otras pérdidas por fricción: 0.950
Necesidades de agua		Constante anual: 6.36 m³/día	
Bomba		Modelo: PBP50	
		Fabricante: Bomba Periférica	
Tecnología de bombas		Paletas rotativas: Bomba de superficie	Motor: Motor CA, monofásico
Cond. de funcionamiento		presión mín.: 0.5	presión nom.: 14.0
			presión máx.: 21.0 mWater
Caudal máximo correspondiente		4.32	5.81
Potencia requerida		373	373 W
Orientación plano captador		Inclinación: 15°	Acimut: 0°
Características del conjunto FV			
Módulo FV		Si-poly: Modelo	TS-M345
Base de datos PVSyst original		Fabricante: Topsun	
Número de módulos FV		En serie: 1 módulos	En paralelo: 2 cadenas
Núm. total de módulos FV		Núm. módulos: 2	Pnom unitaria: 345 Wp
Potencia global del conjunto		Nominal (STC): 690 Wp	En cond. de funciona.: 600 Wp (50°C)
Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)		U mpp: 39 V	I mpp: 16 A
Superficie total		Superficie módulos: 4.7 m²	Superficie célula: 4.2 m²
Dispositivo de control		Modelo: Dispositivo genérico (optimizado para el sistema)	
		Configuración del sistema: Inversor MPPT-CA	

Sistema de Bombeo FV: Parámetros de simulación detallada

Proyecto : FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Lago o Río hacia Depósito	
Requisitos del sistema	presión básica	0.7 PSI	Necesidades de agua 6.4 m³/día
Bomba	Modelo/Fabricante	PBP50 / Bomba Periferica	
Conjunto FV	Modelo/Fabricante	TS-M345 / Topsun	
	Núm. de módulos	1 S x 2 P	Potencia del conjunto 690 Wp
Configuración del sistema	Estrategia de Control	Inversor MPPT-CA	

Control de Funcionamiento del Sistema (Dispositivo genérico, parámetros ajustados según el sistema)
Unidad acondicionamiento de potencia Inversor MPPT-CA

Cond. de funcionamiento	Voltaje MPP mínimo	29 V	potencia nominal	373 W
	Voltaje MPP máximo	52 V	Umbral de la potencia	4 W
	Voltaje máximo del conjunto	67 V	Eficiencia máx.	97.0 %
	Corriente de entrada máxima	18.4 A	Eficiencia EURO	95.0 %

Notas y Características técnicas
 Generic regulator for pumping systems.
 For pumping systems with MPPT inverter.
 The parameters are pre-setted according to the system (pumps and Array), at the beginning of the simulation.
 Unlike exceptions, they are not modifiable by the user.

Factores de pérdida del conjunto FV

Factor de pérdidas térmicas	Uc (const)	20.0 W/m²K	Uv (viento)	0.0 W/m²K / m/s
Pérdida óhmica en el Cableado	Res. global conjunto	43 mOhm	Fracción de pérdidas	1.5 % en STC
Pérdida Calidad Módulo			Fracción de pérdidas	1.0 %
Pérdidas de "desajuste" Módulos			Fracción de pérdidas	1.0 % en MPP
Pérdidas de "desajuste" cadenas			Fracción de pérdidas	0.10 %
Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE	IAM =	1 - bo (1/cos i - 1)	Parám. bo	0.05

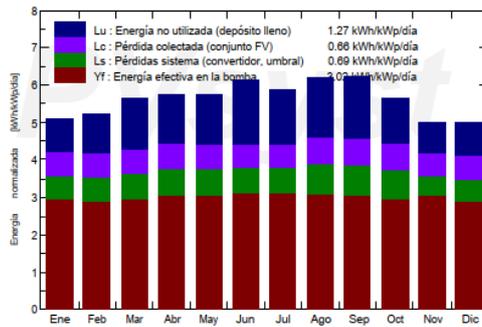
Sistema de Bombeo FV: Resultados principales

Proyecto : **FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO**
Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

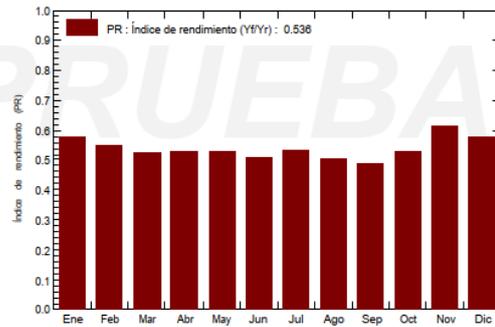
Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Lago o Río hacia Depósito	
Requisitos del sistema	presión básica	0.7 PSI	Necesidades de agua 6.4 m³/día
Bomba	Modelo/Fabricante	PBP50 / Bomba Periferica	
Conjunto FV	Modelo/Fabricante	TS-M345 / Topsun	
Configuración del sistema	Núm. de módulos	1 S x 2 P	Potencia del conjunto 690 Wp
	Estrategia de Control	Inversor MPPT-CA	

Resultados principales de la simulación			
Producción del sistema	Agua Bombeada	2328 m³	Especifico 67371 m³/kWp/bar
	Necesidades de agua	2321 m³	Agua faltante -0.3%
	Energía En la Bomba	218 kWh	Especifico 0.09 kWh/m³
	Energía FV no utilizada (depósito lleno)	761 kWh	Fracción no Utilizada 63.5 %
	Eficiencia del sistema	18.2 %	Eficiencia de la bomba 1.5 %

Producciones normalizadas (por kWp instalado): Potencia nominal 690 Wp



Índice de rendimiento (PR)



Nueva variante de simulación Balances y resultados principales

	GlobEff	EArrMPP	E_PmpOp	ETkFull	H_Pump	WPumped	W_Used	W_Miss
	kWh/m²	kWh	kWh	kWh	medidorW	m³	m³	m³
Enero	151.8	92.8	63.18	13.56	0.517	750.4	742.7	32.26
Febrero	141.3	85.7	55.74	14.55	0.516	645.2	647.0	52.95
Marzo	169.4	102.1	63.47	19.97	0.516	730.0	727.7	47.34
Abril	166.9	100.4	62.88	19.32	0.517	735.9	737.4	12.62
Mayo	173.4	104.2	65.38	19.50	0.517	765.2	775.0	0.00
Junio	179.0	108.1	64.53	23.74	0.518	760.8	750.0	0.00
Julio	177.1	107.3	67.14	20.94	0.516	770.8	770.2	4.79
Agosto	186.7	110.4	66.32	20.55	0.516	750.3	750.8	24.24
Septiembre	182.0	108.5	63.39	23.47	0.518	746.2	747.4	2.58
Octubre	169.4	100.7	63.68	17.35	0.517	740.0	739.5	35.55
Noviembre	143.5	88.1	63.46	11.83	0.516	745.7	746.7	3.33
Diciembre	148.8	90.3	61.95	13.31	0.516	715.1	713.6	61.40
Año	1989.2	1198.5	761.12	218.09	0.517	8855.6	8847.9	277.06

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

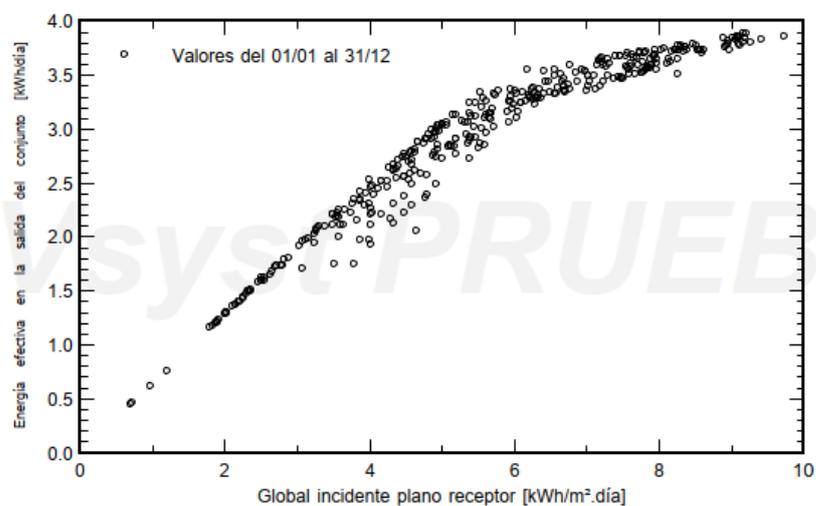
Sistema de Bombeo FV: Gráficos especiales

Proyecto : FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO

Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Lago o Río hacia Depósito
Requisitos del sistema	presión básica	0.5 medidorW Necesidades de agua 6.4 m³/día
Bomba	Modelo/Fabricante	PBP50 / Bomba Periferica
Conjunto FV	Modelo/Fabricante	TS-M345 / Topsun
	Núm. de módulos	1 S x 2 P Potencia del conjunto 690 Wp
Configuración del sistema	Estrategia de Control	Inversor MPPT-CA

Diagrama entrada/salida diaria



Sistema de Bombeo FV: Diagrama de pérdidas

Proyecto : FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA DE BOMBEO FOTOVOLTAICO
Variante de simulación : Nueva variante de simulación

Parámetros principales del sistema	Tipo de sistema	Lago o Río hacia Depósito
Requisitos del sistema	presión básica	0.5 medidorW Necesidades de agua 6.4 m³/día
Bomba	Modelo/Fabricante	PBP50 / Bomba Periferica
Conjunto FV	Modelo/Fabricante	TS-M345 / Topsun
Configuración del sistema	Núm. de módulos	1 S x 2 P Potencia del conjunto 690 Wp
	Estrategia de Control	Inversor MPPT-CA

Diagrama de pérdida durante todo el año

