

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**



**"DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
BOMBEO SOLAR PARA EL SUMINISTRO HÍDRICO A UNA ALTURA
DE 120 METROS EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE SELQUE"**

**Cristian Molleapaza Huanca
Nadia Ghaby Condori Tacca**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

**Asesor:
Dr. Henry Pizarro Viveros**



Juliaca, 2024



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**



**"DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
BOMBEO SOLAR PARA EL SUMINISTRO HÍDRICO A UNA ALTURA
DE 120 METROS EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE SELQUE"**

**Cristian Molleapaza Huanca
Nadia Ghaby Condori Tacca**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES**

Asesor: Dr. Henry Pizarro Viveros



Juliaca, 2024

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**



**“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
BOMBEO SOLAR PARA EL SUMINISTRO HÍDRICO A UNA ALTURA
DE 120 METROS EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE SELQUE”**

Cristian Molleapaza Huanca

Nadia Ghaby Condori Tacca

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Asesor:

Dr. Henry Pizarro Viveros

Juliaca, 2024

Ficha catalográfica

Molleapaza, C. & Condori, N. (2024). *Dimensionamiento e implementación de un sistema de bombeo solar para el suministro hídrico a una altura de 120 metros en la comunidad campesina de Selque*. (Tesis de ingeniería). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Cristian Molleapaza Huanca, Nadia Ghaby Condori Tacca

TÍTULO: Dimensionamiento e implementación de un sistema de bombeo solar para el suministro hídrico a una altura de 120 metros en la comunidad campesina de Selque

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024

DESCRIPCIÓN: Cantidad de páginas (127 pp)

CÓDIGO: 02-000039-02/M82

NOTA: Incluye bibliografía

ASESOR: Dr Henry Pizarro Viveros

PALABRAS CLAVE: Abastecimiento de agua, Bombeo solar, Bomba sumergible en DC, Radiación solar, Sistema de almacenamiento.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA EN ENERGÍAS
RENOVABLES**

**“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE
BOMBEO SOLAR PARA EL SUMINISTRO HÍDRICO A UNA ALTURA DE 120
METROS EN LA COMUNIDAD CAMPESINA DE SELQUE”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN ENERGÍAS RENOVABLES

Presentado por:

Cristian Molleapaza Huanca

Nadia Ghaby Condori Tacca

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Ubaldo Yancachajlla Tito
PRESIDENTE DE JURADO



M. Sc. Cesar Enrique Yupanqui Bendita
JURADO (secretario)

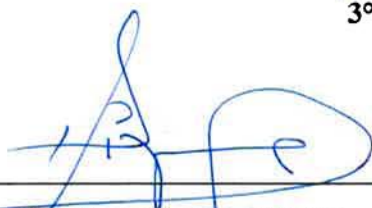


2° MIEMBRO

M. Sc. Armando Antonio Salinas del Carpio
JURADO (vocal)



3° MIEMBRO



Dr. Henry Pizarro Viveros
ASESOR DE TESIS

Cristian Molleapaza Huanca // Nadia Ghaby Condo...

DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR PARA EL SUMINISTRO HÍDRICO A UNA A...

 Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:455902790

Fecha de entrega

5 may 2025, 12:56 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

5 may 2025, 1:00 p.m. GMT-5

Nombre de archivo

DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE BOMBEO SOLAR PARA EL SUMINIS....pdf

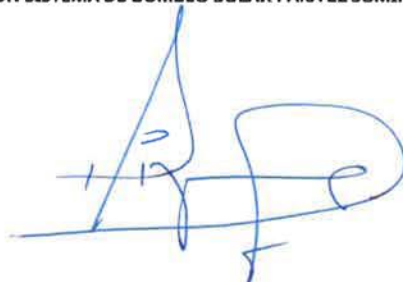
Tamaño de archivo

6.6 MB

127 Páginas

21.538 Palabras

115.185 Caracteres






9% Overall Similarity

The combined total of all matches, including overlapping sources, for each database.

Filtered from the Report

- ▶ Bibliography
- ▶ Quoted Text
- ▶ Cited Text
- ▶ Small Matches (less than 9 words)

Top Sources

- 8%  Internet sources
- 1%  Publications
- 6%  Submitted works (Student Papers)

Integrity Flags

0 Integrity Flags for Review

No suspicious text manipulations found.

Our system's algorithms look deeply at a document for any inconsistencies that would set it apart from a normal submission. If we notice something strange, we flag it for you to review.

A Flag is not necessarily an indicator of a problem. However, we'd recommend you focus your attention there for further review.



DEDICATORIA

Con infinita gratitud a mis padres Cesar Molleapaza Chaiña y Rosa Huanca Mamani quienes fueron ejemplos de dignidad sacrificio y humildad, que supieron guiarme por la senda del bien y con su apoyo incondicional me motivaron para hoy cumplir un sueño más.

A mis queridos hermanos: María Lizbeth y Ander Elvis por reflejar alegrías y motivaciones para no rendirme a lograr cumplir mis metas tan anheladas.

Finalmente quiero dedicar este trabajo a mi novia y compañeros por el apoyo incondicional durante mi carrera universitaria.

Cristian Molleapaza Huanca

Con muchísimo cariño y amor a mi padre Eulogio Condori Atamari, que no llego a ver este día, pero cuyo amor y enseñanzas siguen vivos en cada página y aunque nos faltó vivir juntos este momento sé que desde el cielo estas feliz por mí.

A mi mamita querida Antonia Tacca Huaylla por su amor infinito, sacrificio y respaldo sin condiciones en todos estos años, porque siempre me motivaste a alcanzar mis sueños y las cosas que he logrado es gracias a ti.

A mi increíble hermana Rocio Nelly Condori Tacca por enseñarme que la vida es más divertida cuando hay compañía, palabras de aliento y motivación de cada día.

Finalmente, a mi novio y amigos quienes coincidieron conmigo en los momentos correctos, por las risas compartidas e inolvidables anécdotas vividas.

Nadia Ghaby Condori Tacca

AGRADECIMIENTOS

Infinitamente a Dios, por brindarme paciencia y fuerzas para seguir adelante con mi carrera universitaria, y así lograr este objetivo propuesto.

A mis queridos padres y hermanos por representar mi mayor motivo. A mi compañera de este presente proyecto por la confianza brindada para dar una solución frente a una problemática latente de la zona.

A mis docentes por haberme impartido sus valiosos conocimientos durante mi carrera universitaria. Finalmente agradecer al Dr. Henry Pizarro Viveros asesor de la presente tesis por su tiempo y el apoyo brindado durante la elaboración de este presente proyecto.

Cristian Molleapaza Huanca

Agradezco principalmente a Dios por permitirme vivir este momento, por bendecirme con una bonita familia y hacerme coincidir con personas maravillosas.

A mis padres y hermana por tener confianza en mí, por apoyarme y ser el motivo principal de todos mis logros.

A mi compañero de la presente investigación, por la paciencia, el compromiso, el trabajo en equipo y apoyo que nos brindamos mutuamente durante toda la investigación.

Mi más sincera gratitud al Dr. Henry Pizarro Viveros asesor de nuestro proyecto, por el tiempo de dedicación, la paciencia y el apoyo constante. Ha sido un honor y privilegio estar bajo su asesoría.

Por ultimo y no por ello menos importante, agradezco a la Universidad nacional de Juliaca, la Escuela Profesional de Ingeniería en energías Renovables y a los distinguidos docentes por compartir conmigo sus valiosos conocimientos y formarme como profesional.

Nadia Ghaby Condori Tacca

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	iv
Agradecimientos	v
Índice de figuras	x
Índice de tablas	xii
Índice de anexos	xiii
Resumen	xv
Abstract	xvi
Introducción	13
CAPÍTULO I - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.1 Formulación del problema	20
1.1.1 Problema general.....	20
1.1.2 Problemas específicos	20
1.2 Objetivos de la investigación	20
1.2.1 Objetivo general	20
1.2.2 Objetivos específicos	20
1.3 Justificación de la investigación	21
1.3.1 Justificación técnica	21
1.3.2 Justificación social	21
1.3.3 Justificación económica	21
1.3.4 Justificación ambiental.....	21
CAPÍTULO II - REVISIÓN DE LA LITERATURA	22
2.1 Antecedentes	22
2.1.1 Antecedentes internacionales	22
2.1.2 Antecedentes nacionales	23
2.1.3 Antecedentes regionales.....	23
2.2 Marco teórico	24
2.2.1 Energía proveniente del sol.....	24
2.2.3 Hora solar pico	25
2.2.4 Sistema solar fotovoltaico	26
2.2.5 Plataforma software SOLARGIS	27
2.2.6 Sistema de bombeo solar.....	28
2.2.7 Módulos fotovoltaicos.....	29
2.2.8 Bombas solares fotovoltaicas.....	30
2.2.9 Bombas sumergibles con rotor helicoidal	32
2.2.10 Condiciones hidráulicas	33
2.2.11 Sistema de almacenamiento	35
2.2.12 Operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos	35
2.2.13 Operación y mantenimientos de bombas sumergibles	35

2.2.14 Evaluación económica	36
2.3 Marco conceptual.....	37
CAPÍTULO III - MATERIALES Y METODOS	39
3.1 Formulación de hipótesis	39
3.1.1 Hipótesis general.....	39
3.1.2 Hipótesis específico	39
3.2 Ubicación del proyecto	39
3.3 Materiales.....	40
3.3.1 Recursos	40
3.3.2 Recursos tecnológicos.....	40
3.3.3 Recursos materiales.....	40
3.4 Metodología	45
3.4.1 Dimensionamiento del sistema de bombeo solar	46
3.4.2 Cálculo de la demanda del caudal	46
3.4.3 Cálculo de la altura estática total de bombeo.....	47
3.4.4 Determinar el potencial energético solar de la zona	48
3.4.5 Dimensionamiento y selección de la bomba sumergible	49
3.4.6 Cálculo de generación fotovoltaica.....	51
3.4.7 Cálculo para el diseño eléctrico	51
3.4.8 Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión.....	54
3.4.9 Cálculo de pérdidas en las tuberías y accesorios	55
3.4.10 Cálculo del punto de operación de la bomba sumergible	57
3.4.11 Implementación del sistema de bombeo solar	61
3.4.12 Construcción y cálculo del sistema de almacenamiento para recurso hídrico (agua).....	64
3.4.13 Cálculo de la relación de caudal bombeado respecto a la radiación solar disponible.....	67
3.4.14 Análisis económico del bombeo solar respecto al funcionamiento con la red eléctrica	68
CAPÍTULO IV - RESULTADOS Y DISCUSIONES	77
4.1 Resultados del dimensionamiento e implementación del sistema de bombeo solar	77
4.2 Resultados del dimensionamiento del sistema de bombeo solar	79
4.3 Resultados del almacenamiento del sistema de bombeo solar.....	81
4.4 Relación de caudal bombeado y la radiación solar disponible del lugar a 120 metros de altura	84
4.5 Resultados del análisis económico.....	88
CAPÍTULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	90
5.1 Conclusiones	90
5.2 Recomendaciones	91
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
ANEXOS	97

Índice de figuras

Figura 1. Proyecto Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (ANA, 2023).	17
Figura 2. (a) Irradiación global horizontal (SOLARGIS, 2021), (b) Mapa de recurso hídrico (SNIRH, 2022).....	19
Figura 3. Sistema de bombeo solar (Elaboración propia).	19
Figura 4. Tipos de radiación solar (IDAE, 2009).....	25
Figura 5. Concepto de horas sol pico (Valdiviezo, 2014).	26
Figura 6. Ángulo de inclinación (Elaboración propia).....	27
Figura 7. Orientación del módulo fotovoltaico (Mejía, 2018).	27
Figura 8. Software profesional SOLARGIS (SOLARGIS, 2013)	28
Figura 9. Esquema de una estación de bombeo alimentado con módulos fotovoltaicos (Alata, 2015).	28
Figura 10. Efecto fotovoltaico en una celda solar (Cabrera & Fermín, 2003).	29
Figura 11. Bombas centrifugas de succión superficial (Paredes, 2001).....	31
Figura 12. Esquema de ensamblaje de una bomba sumergible (Morales, 2017).	31
Figura 13. Bomba de diafragma sumergible (Paredes, 2001).	32
Figura 14. a) Bomba Nastec 4HS MP que pueden ser alimentadas por corriente alterna y corriente directa b) Rotor helicoidal de la bomba sumergible.....	32
Figura 15. Altura dinámica total (Gonzales & Lanuza, 2017)	33
Figura 16. Curva de operación de la bomba (Galvez & Torres, 2020).	34
Figura 17. Curva característica del sistema de bombeo (Galvez & Torres, 2020).....	34
Figura 18. Curva de operación del sistema (Galvez & Torres, 2020).....	35
Figura 19. Ubicación de del proyecto (Google maps, 2024).....	40
Figura 20. Modulo solar monocristalino JKM470N-7RL3 (Jinko, 2023).	41
Figura 21. Protección del sistema eléctrico (Autosolar, 2024).	43

Figura 22. Protección del sistema eléctrico (Autosolar, 2024).	43
Figura 23. Interruptor DC.....	44
Figura 24. Mangueras de polietileno HDPE para el trayecto.....	44
Figura 25. Unión mecánica de HDPE	45
Figura 26. Cables solares (Autosolar,2024)	45
Figura 27. Información acerca de la atura estática total en el aplicativo Google Earth (elaboración propia).....	47
Figura 28. Dispositivo de mano GPS Garming.....	47
Figura 29. Curva característica de la bomba sumergible NASTEC 4HS 01/03H MP.....	50
Figura 30. Diagrama esquemático General de conexiones (Elaboración propia).....	52
Figura 31. Diagrama unifilar de conexionado eléctrico del sistema de bombeo solar (Elaboración propia).....	53
Figura 32. Curva que caracteriza a la bomba sumergible.....	59
Figura 33. Curva del sistema (Elaboración propia).....	60
Figura 34. Montaje y armado de la estructura de los paneles.....	61
Figura 35. Montaje de los módulos fotovoltaicos.....	62
Figura 36. Armado de la bomba sumergible de rotor helicoidal.....	62
Figura 37. Encapsulado de la bomba sumergible NASTEC 4HS 01/03H MP.....	63
Figura 38. Instalación de la bomba sumergible NASTEC 4HS 01/03H MP.....	64
Figura 39. Tendido de la manguera polietileno HDPE 1” PN 16.....	64
Figura 40. Taludes referenciales en zonas de relleno (Manual de carreteras DG-2013)	65
Figura 41. Dimensiones del área del sistema de almacenamiento de recurso hídrico.....	65
Figura 42. Construcción del sistema de almacenamiento de agua.....	66
Figura 43. Acondicionamiento del sistema de almacenamiento	66
Figura 44. Medición del caudal de salida a 120 metros.....	67
Figura 45. Medición del consumo de potencia de la bomba sumergible.....	67

Figura 46. Perfil longitudinal del sistema.....	78
Figura 47. Punto de operación de la bomba sumergible (Elaboración propia).	80
Figura 48. Bomba sumergible Nastec Multipower implementado en la comunidad campesina de Selque.	80
Figura 49. Sistema de generación fotovoltaica de 1,41 kw implementado en la comunidad campesina de Selque.	81
Figura 50. Resultado del sistema de almacenamiento de agua del sistema de bombeo solar.	82
Figura 51. Perfil transversal del sistema de almacenamiento (Elaboración propia)	83
Figura 52. Perfil longitudinal del sistema de almacenamiento (Elaboración propia).	83
Figura 53. Curva de radiación solar disponible y caudal bombeado en un día con insolación constante del mes de agosto.	84
Figura 54. Curva de caudal bombeado vs la potencia absorbida por la bomba sumergible en un día con insolación constante del mes de agosto.	85
Figura 55. Curva de caudal bombeado en un día nublado del mes de febrero.	86
Figura 56. Curva de caudal bombeado vs la potencia absorbida por la bomba sumergible en un día nublado del mes de febrero.	87

Índice de tablas

Tabla 1 Componentes de la radiación solar.....	25
Tabla 2 Resumen de la tecnología fotovoltaica.	29
Tabla 3 Características técnicas del módulo fotovoltaico.	41
Tabla 4 Características eléctricas del generador eléctrico.	42
Tabla 5 Características de la bomba sumergible.	42
Tabla 6 Parámetros necesarios para el cálculo del caudal.	46
Tabla 7 Irradiación mensual en un plano inclinado a 20° y plano horizontal.	48
Tabla 8 Tabla de rugosidad absoluta.	56
Tabla 9 Accesorios utilizados en el sistema hidráulico y coeficiente de pérdidas.	57
Tabla 10 Datos numéricos de la curva que caracteriza a la bomba sumergible Nastec 4HS01/03HMP.....	58
Tabla 11 Datos de pérdidas por fricción para diferentes caudales.	60
Tabla 12 Inversión en la adquisición de materiales del sistema de bombeo solar.	68
Tabla 13 Inversión en la instalación del sistema de bombeo solar.	69
Tabla 14 Inversión total del sistema (Elaboración propia).....	69
Tabla 15 Valores para determinar los indicadores económicos (elaboración propia).	70
Tabla 16 Determinación de ingreso y egresos del sistema de bombeo solar.	72
Tabla 17 Necesidad de recurso hídrico requerido para el abastecimiento de agua de los animales	77
Tabla 18 Información del potencial energético solar de la comunidad campesina de Selque 2024 (elaboración propia).	78
Tabla 19 Características de la bomba sumergible Nastec Multipower modelo 4HS 01/03H MP.....	79
Tabla 20 Resultado de las dimensiones del sistema de almacenamiento.	82
Tabla 21 Resultado de los índices económicos.....	88

Tabla 22 *Comparación de costos de la energía eléctrica del sistema de bombeo solar y la red eléctrica.89*

Índice de Anexos

Anexo 1. Especificaciones técnicas del módulo solar fotovoltaico Jinko Solar.	97
Anexo 2. Ficha técnica del fusible.	99
Anexo 3. Ficha técnica del portafusible.	100
Anexo 4. Especificaciones técnicas de la bomba sumergible.	102
Anexo 5. Evaluación del recurso solar de la comunidad campesina de Selque, software Solargis.	104
Anexo 6. Coeficiente para perdidas en accesorios (ficha del fabricante).	117
Anexo 7. Resumen de datos promedios de irradiancia, potencia de la bomba sumergible y caudal del mes de febrero.	118
Anexo 8. Resumen de datos promedios de irradiancia, potencia de la bomba sumergible y caudal del mes de agosto.....	119
Anexo 9. Diagrama del sistema hidráulico de la instalación del sistema de bombeo solar. ...	120
Anexo 10. Diagrama unifilar del sistema de bombeos solar.....	121
Anexo 11. Recibo de energía eléctrica (costo de la energía kw.h).	122
Anexo 12. Armado de la bomba sumergible.....	123
Anexo 13. Parte del motor de la bomba sumergible Nastec Multipower.....	123
Anexo 14. Parte hidráulica de la bomba sumergible Nastec Multipower.....	124
Anexo 15. Suministro de recurso hídrico al reservorio.....	124
Anexo 16. Revestimiento del sistema de almacenamiento con recursos de la zona (paja y barro).....	125
Anexo 17. Tendido del plástico geomembrana.	125
Anexo 18. Protección externa para evitar corrosión en el plástico geomembrana.....	126
Anexo 19. Abastecimiento de recurso hídrico para consumo ganadero a una altura de 120 metros.....	126
Anexo 20. Irradiación promedio KWh/m ² del distrito de Macari.	127

RESUMEN

Hoy en día, el uso de energías renovables es una tendencia que se está implementando a nivel mundial a través de diferentes tecnologías, principalmente la energía solar fotovoltaica. Por otro lado, las tasas de calentamiento global también están aumentando, lo que entre otras cosas afecta al recurso vital que es el agua. A pesar de esto, la región Puno cuenta con un gran recurso solar e hídrico, pero los proyectos fotovoltaicos aplicados en el área rural que puedan aprovechar estos recursos son limitados. En este contexto, se dimensionó e implementó un sistema de bombeo solar para el suministro de agua a una altura de 120 metros. El dimensionamiento se realizó en base a la altura dinámica total y el caudal necesario, para ello este sistema consta de 03 módulos fotovoltaicos monocristalinos de 470 W cada uno haciendo un total de 1410 Wp de potencia del generador fotovoltaico, con una bomba sumergible de 1.5HP y también se realizó la implementación de estos componentes principales. Se realizó un análisis de la demanda diaria de agua en relación al número de animales (vacas) y la proyección de un incremento doble de animales, por lo que se determinó construir un sistema de almacenamiento de agua de 7m³/día (reservorio subterráneo), dado que el sitio del proyecto cuenta con un gran recurso hídrico disponible (río), que sirve como fuente para el abastecimiento de agua en grandes altitudes. Así mismo, se determinó la relación entre la radiación solar disponible y el caudal bombeado durante un día de febrero (lluvia y nubosidad), donde el caudal diario fue 4.47 m³/día inferior al caudal requerido al día mientras que el caudal de salida durante los días de agosto (irradiación constante) fue 8.01m³/día superior al caudal requerido al día. Finalmente, se realizó el análisis económico del sistema de bombeo solar, el cual da como resultado una TIR de 13% con un periodo de recuperación de 9.54 años y una B/C de 1.30, donde se concluye que el sistema de bombeo solar es viable.

Palabras clave: Abastecimiento de agua, Bombeo solar, Bomba sumergible en DC, Radiación solar, Sistema de almacenamiento.

ABSTRACT

Nowadays, the use of renewable energies is a trend that is being implemented worldwide through different technologies, mainly photovoltaic solar energy. On the other hand, global warming rates are also increasing, which among other things affects the vital resource that is water. Despite this, the Puno region has a large solar and water resource, but the photovoltaic projects applied in the rural area that can take advantage of these resources are limited. In this context, a solar pumping system was sized and implemented for water supply at a height of 120 meters. The sizing was done based on the total dynamic height and the necessary flow rate, for this this system consists of 03 monocrystalline photovoltaic modules of 470 W each making a total of 1410 Wp of power of the photovoltaic generator, with a 1.5HP submersible pump and the implementation of these main components was also carried out. An analysis of the daily water demand in relation to the number of animals (cows) and the projection of a double increase in animals was carried out, therefore, it was determined to build a 7m³/day water storage system (underground reservoir), given that the project site has a large water resource available (river), which serves as a source for water supply at high altitudes. Likewise, the relationship between available solar radiation and pumped flow during a day in February (rain and cloudiness) was determined, where the daily flow was 4.47 m³/day lower than the flow required per day while the output flow during the days of August (constant irradiation) was 8.01m³/day higher than the flow required per day. Finally, the economic analysis of the solar pumping system was carried out, which results in an IRR of 13% with a payback period of 9.54 years and a B/C of 1.30, where it is concluded that the solar pumping system is viable.

Keywords: Water supply, Solar pumping, DC submersible pump, Solar radiation, Storage system.

INTRODUCCION

En la actualidad, gran parte de la realización de las actividades están sujetos a la energía eléctrica, donde consumo incrementa con el pasar de los años; muchas de ellas representan el sustento económico en la población. La energía eléctrica generada mediante de la utilización de energías no renovables (energías fósiles) indudablemente causan una contaminación ambiental mayor en nuestro planeta, sin embargo, la energía eléctrica producida por medio de las fuentes renovables es más ecológicas y respetuosas con nuestro entorno, para este caso particular, hacemos referencia a la energía fotovoltaica, el cual es una manera de sostenibilidad más avanzadas en el ámbito mundial en últimos años, dado que representa una energía sin costo, inagotable y accesible en todas las zonas de la superficie terrestre.

En nuestro Perú la energía eléctrica producida por medio de la energía solar fotovoltaica se ha ido desarrollando muy rápidamente; el sur del Perú cuenta con un buen recurso solar, según datos meteorológicos de la fuente PVGIS en el departamento de Puno en el periodo del 2005 al 2015, la radiación solar global incidente oscila con una irradiación mínima de 5.27 kWh/m^2 y un valor máximo de 7.47 kWh/m^2 , por lo que, surge el interés de aprovechar la energía solar aplicado a sistemas de bombeo solar, especialmente para las áreas de acceso restringido a la red eléctrica, lo que promueve un desarrollo más eficaz de las actividades diarias, aportando ventajas económicas, tecnológicas y medioambientales.

Asimismo, el sistema de bombeo solar busca aprovechar la energía del sol para la generación de energía eléctrica y esta poder accionar a una bomba de agua donde la aplicación de estos puede ser para riegos de cultivos, suministro de agua en alturas, abastecimiento de agua para animales, etc.



Figura 1. Proyecto Modernización de la Gestión de los Recursos Hídricos (ANA, 2023).

En el año 2023 el estado peruano por medio de la entidad ANA (Autoridad Nacional del Agua) con el objetivo de enfrentar el déficit hídrico en la región de Puno, desarrolló la implementación de bombeo de agua accionado por medio de sistemas de módulos fotovoltaicos donde los beneficiarios tomaron el interés frente a estos sistemas (Figura 1). Por lo expuesto es preciso mencionar que estos proyectos son cruciales para incrementar el nivel de vida en los habitantes rurales en los aspectos de agricultura y la ganadería, favoreciendo de esta manera el crecimiento sostenible del sector rural de nuestra zona.

En tal sentido surge la idea de implementar un sistema de bombeo solar abasteciendo de recurso hídrico a una altura de 120m en la comunicad campesina de Selque del distrito Macarí, provincia de Melgar departamento de Puno.

CAPÍTULO I - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La fuente de agua (recurso hídrico) es el principal recurso de vida para la existencia, no solo de los humanos sino también de los animales. Sin embargo, este recurso se va perdiendo poco a poco debido a los índices de calentamiento global que cada día van en aumento. El problema del agua es una dificultad latente en el mundo. El Perú no es diferente a esta realidad y si adicionamos el problema común en nuestra región que es la falta de suministro eléctrico en zonas rurales donde muchas de ellas son agrícolas y ganaderas.

En diversas zonas de la región Puno existen un desabastecimiento de agua ya sea para usos agrícolas, ganaderos o consumo de agua potable. Otro ejemplo lo vemos en la provincia de San Román- Juliaca donde las zonas alejadas de la ciudad no cuentan con agua potable ya que son tomadas directamente de pozo subterráneo a través de bombas de succión. De la misma forma en el lugar del proyecto, la comunidad de Selque ubicada en la región de Puno provincia Melgar a 3840 msnm, típicamente ganadera existe la problemática latente de abastecer de agua en lugares altos donde no se tiene la accesibilidad al recurso hídrico sobre todo en épocas de sequía.

Una alternativa para abastecer agua y cubrir la producción agrícola para alimentación de ganado a grandes alturas, que al no contar con el recurso hídrico obliga a bajar las grandes alturas y esto produce la fatiga de los animales no permitiendo así el desarrollo ganadero, que es la principal fuente de sustento para las familias. Según la ubicación de la comunidad, de acuerdo a los datos meteorológicos brindados por SOLARGIS se cuenta con un amplio recurso solar (Figura 2. (a)). De la misma manera de acuerdo a los datos brindados por el Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos (SNIRH) se cuenta con un recurso hídrico (Figura 2. (b)) cuencas de ríos que normalmente es aprovechada en lugares bajos mas no en alturas.

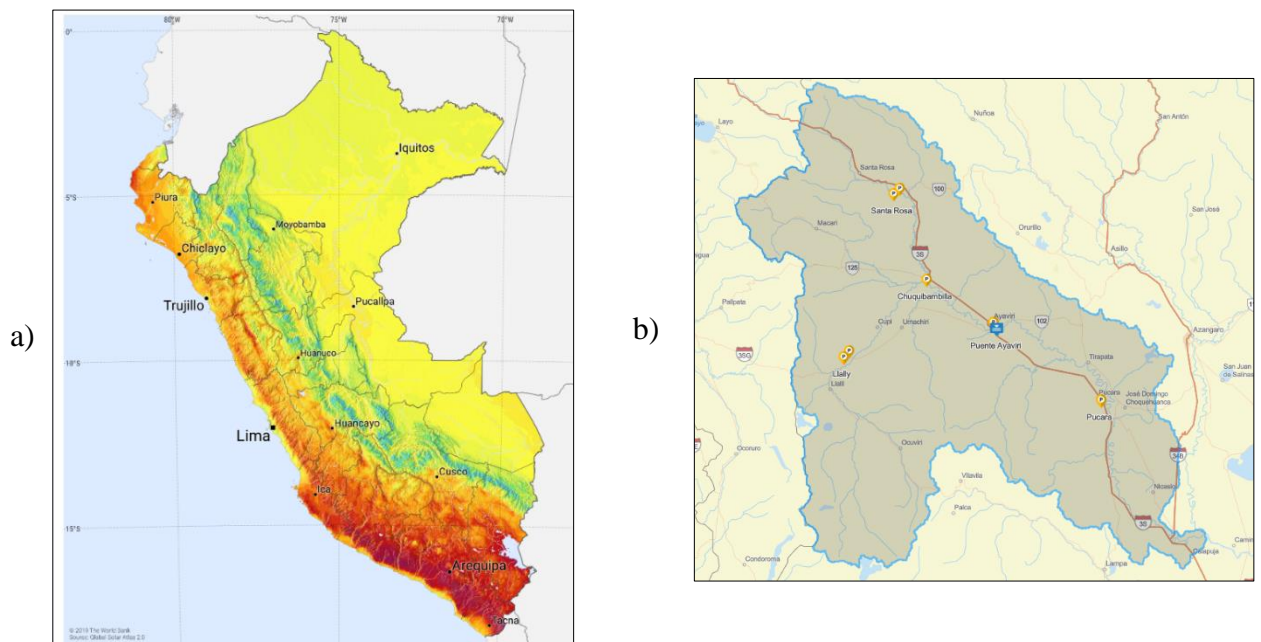


Figura 2. (a) Irradiación global horizontal (SOLARGIS, 2021), (b) Mapa de recurso hídrico (SNIRH, 2022).

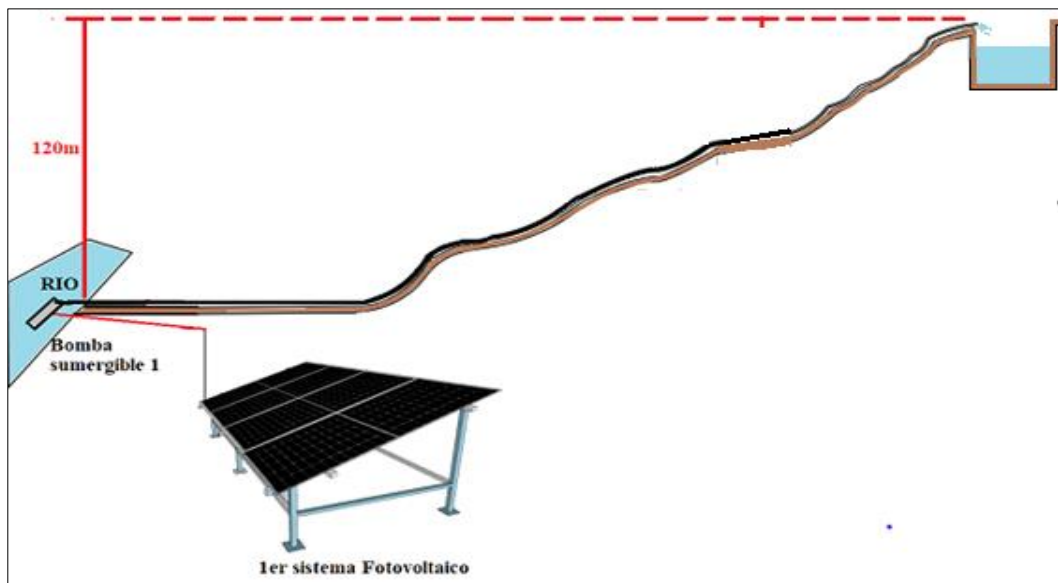


Figura 3. Sistema de bombeo solar (Elaboración propia).

En la actualidad, en las zonas rurales típicamente ganaderas tal sea el caso de la comunidad de Selque, existe la problemática de que muchas familias aun no apuestan por las energías renovables (bombeo solar) debido a que manejan conceptos de los altos costos por el sistema, mantenimiento y lo complicado de bombear agua a esas alturas. En ese contexto es que se implementa un sistema de bombeo solar, para que pueda elevarse a una altura final de 120 metros (Figura 3) y así contribuir al desarrollo ganadero (producción de leche) y principalmente mejorar el acondicionamiento del ganado en esa zona.

1.1 Formulación del problema

Con base al contexto presentado, es posible formular las siguientes preguntas:

1.1.1 Problema general

¿Será viable dimensionar e implementar un sistema de bombeo solar capaz de cubrir las necesidades hídricas de la comunidad de Selque a una altura de 120 metros destinado consumo animal?

1.1.2 Problemas específicos

- ¿Cuál será la capacidad de almacenamiento de agua necesaria para garantizar el suministro continuo del recurso hídrico en la comunidad de Selque, considerando las variaciones diarias de caudal?
- ¿Cómo influye la variación de la radiación solar disponible en el caudal bombeado del sistema de bombeo solar a 120 metros de altura en la comunidad de Selque?
- ¿Será viable económicamente la implementación del sistema de bombeo solar para el suministro de recurso hídrico a una altura de 120 metros en la comunidad de Selque?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Dimensionar e implementar un sistema de bombeo solar para el suministro del recurso hídrico a una altura de 120 metros en la comunidad de Selque destinado al consumo animal.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar la capacidad del almacenamiento de agua necesario para el sistema de bombeo solar en la comunidad de Selque.
- Determinar la relación entre el caudal bombeado y la radiación solar disponible del sistema de bombeo solar a 120 metros de altura.
- Evaluar la viabilidad económica de la implementación del sistema de bombeo solar para el suministro de recurso hídrico a una altura de 120 metros en la comunidad de Selque.

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación técnica

Esta tesis contribuye técnicamente a la utilización de la energía solar como fuente de energía aplicado al bombeo solar de agua a grandes alturas a través de sistema de bajo costo. De esta manera se contribuirá con el desarrollo ganadero del lugar y se podrá replicar la propuesta en lugares similares de la región.

1.3.2 Justificación social

La intención de esta tesis es abastecer de recurso hídrico a los animales del lugar, más aún cuando sea época de sequía, lo cual contribuirá con el desarrollo sostenible del lugar, ya que el aprovechamiento de la energía renovable es libre y gratuita.

1.3.3 Justificación económica

Como justificación económica del proyecto podemos mencionar que esta opción busca obtener costos accesibles de la instalación, por ello el sistema consta de una bomba sumergible con rotor tipo helicoidal que suministra de recurso hídrico sin problema (presión constante) para una altura de 120m incluso en condiciones de poca radiación, esto con el fin de que sea accesible y a la vez confiable para la población.

1.3.4 Justificación ambiental

Esta tesis busca promover el uso de energías limpias ya estas son inagotables y no contaminan en medio ambiente como otras tecnologías convencionales que emiten CO₂ en cantidades considerables y producen mayor inversión a largo plazo.

CAPÍTULO II - REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes internacionales

En el ámbito internacional podemos mencionar a **Martinez (2020)** quién propuso el dimensionamiento de un sistema de bombeo solar y el análisis de la bomba DC, para el dimensionamiento se tomaron datos de la NASA y teorías de bombeo solar de cual se obtuvo, una potencia de bombeo de 0.610 kW y 3 módulos fotovoltaicos de 250W y respecto al análisis de la bomba sumergible se simularon a tres alturas diferentes (10m, 15m y 20m). Finalmente, la implementación del sistema de bombeo solar, es viable económicamente. En la misma línea podemos mencionar al proyecto desarrollado por **Chavarría (2018)**, quien planteó un sistema de bombeo para pozo con detección automática de calidad de agua, para el desarrollo de la investigación se obtuvo datos de la Estación Meteorológica ubicada en Puerto Viejo, a partir de ello se determinó el caudal necesario de la instalación. Para solventar la demanda eléctrica del sistema de automatización y bombeo se utilizó 14 módulos fotovoltaicos de 325W cada uno, 3 bombas sumergibles, 3 reguladores y 5 baterías con una capacidad de 120Ah cada una, donde el sistema fue dimensionado para una autonomía de un día. Otro trabajo similar realizado por **Lamana (2018)** plantea, la implementación de un sistema de bombeo solar para poder regar por goteo de un cultivo de avellanas y nueces, España. Para realizar el estudio, se necesitó de datos meteorológicos utilizando el programa PVGIS y cálculo del caudal necesario. Del cual se obtuvo que el sistema de bombeo está compuesto por 2 módulos fotovoltaicos REC 260PE, 1 bomba PS600 C-SJ5-8 de LORENT, un regulador-PS2-600. Además, otro trabajo relevante realizado por **Gonzales & Rebolledo (2020)**, quien realizó el diseño de un sistema de bombeo desde un lago a un reservorio, este consta de 2 paneles solares uno que alimenta directamente a la carga y otro a un banco de baterías, y una bomba DC, cabe resaltar que el sistema funciona las 24 horas del día, en el sistema de control se usa contactores que son accionados por un PLC s7-1200. Finalmente, los costos e ingresos correspondientes al año 2021, donde egreso asociado al mantenimiento se estima en el 17,51% del beneficio mientras que para el año 2030 se estima un 19,24%.

2.1.2 Antecedentes nacionales

La literatura nacional referida al tema presenta diversos resultados. Así se encuentra a **Ocampo (2021)** quien realizó la evaluación técnica y financiera de un sistema de bombeo solar en el Fundo manto de Cristo – Lambayeque. El estudio está en base al recurso solar y la demanda de agua necesaria los cuales se obtuvieron a través de las páginas de la NASA y SENAMHI. El equipamiento del sistema cuenta con 32 módulos solares, una bomba sumergible, 64 baterías y 4 controladores MPPT. Finalmente, el presupuesto del proyecto fue de S/ 328 469,04. Así también, podemos mencionar otro trabajo similar según **Dávalos (2019)**, el cual nos muestra el diseño de un sistema de bombeo solar que reemplaza a un sistema de bombeo convencional, la caracterización del recurso solar y ángulos de inclinación se realiza con datos obtenidos del aplicativo de la NASA, teniendo como resultado una motobomba solar de corriente continua modelo PS1800 CSJ8-7. Se definieron 16 módulos fotovoltaicos de clase LC100-M36 y los indicadores financieros resultaron en un VAN de \$ 15 976,67 y una tasa interna de retorno de 9%. En la misma línea podemos mencionar al trabajo desarrollado por **Jimenez (2020)**, en el cual se utilizó registros e información estadística del “Atlas Solar del Perú” y el “Reglamento Nacional de Edificaciones” para de acuerdo a eso determinar la cantidad de agua necesaria para la institución. Finalmente, se obtuvo en el dimensionado que está compuesto por una bomba superficial 1,5 HP, 4 baterías de 155 A.h cada uno, un regulador 60 A, un inversor 2000 W y 6 módulos fotovoltaicos con potencia de 300 W por unidad.

2.1.3 Antecedentes regionales

En la literatura regional tenemos a **Vilca (2021)**, quién realizó el estudio de bombeo solar fotovoltaico aplicado al riego en el sector ganadero de Rosaspata-Llallimayo, este fue realizado en base a la altura dinámica total y el caudal necesario, también, se determinó la radiación global de la página SENAMHI; en base a ello, se obtuvo que se requieren un total de 18 módulos fotovoltaicos cada una de 320W, un inversor de corriente 7,5kW y una bomba sumergible de 7HP. Finalmente, el análisis económico del proyecto, VAN y TIR fueron positivos. En la misma línea podemos mencionar al trabajo realizado por **Medina (2019)**; quién realizó estudio comparativo de un sistema de bombeo utilizando energía fotovoltaica en comparación con energía convencional en la localidad de Chaupi Sahuacasi., donde, se desarrolló un sistema de bombeo fotovoltaico que incluye 14 paneles de 320 W cada uno, de los cuales 7 están en paralelo y 2 están en serie. Además de 5 baterías de 48v y 600ah

estacionarias, se incluyen un inversor con regulador de voltaje de 1500 watts, que tiene la capacidad de resistir hasta 6690 watts y 80 amperios. Además, al final, el precio total del sistema fotovoltaico y de la red es de S/. 341,281.61 y S/.123,442.96 respectivamente; el cual equivale a 2.8 veces más costoso. Así, también podemos mencionar otro trabajo relevante de **Sosa(2017)** , quien realizó el diseño de un sistema de bomba solar para el abastecimiento de un caudal de 6.156 m³/y una altura de 36.61 m, en este trabajo se utilizó 1 bomba sumergible de 2 HP, el cual está alimentado por 8 módulos fotovoltaicos de una potencia de 250 Wp, además en este sistema se realiza la implementación de PLC y electro niveles para el automatizado del encendido y apagado de la bomba, finalmente realiza el análisis económico de la automatización es que de S/. 28174.60 donde realiza una comparación y como resultado en mano de obra se ahorra (S/. 6 000.00) anualmente lo que demuestra que el proyecto es rentable.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Energía proveniente del sol

Esta energía llamada así debido a que es producida directamente por el sol. Hoy en día este tipo de energía es aprovechada de distintas maneras, una de ellas para calentar agua por medio de calentadores solares, donde esta energía solar se transforma en energía térmica, así también, otra aplicación es empleando módulos fotovoltaicos donde la energía adquirida por sol lo transforma en energía eléctrica. Ambas tecnologías aprovechan la energía de sol de una manera particular y distinta (Diaz & Palli, 2021).

Así también Vilca (2021) menciona que la energía solar en el Perú, es un recurso ampliamente disponible, generalmente este recurso energético es uniforme durante todo el año, lo que hace de un país con un recurso solar muy enriquecedor. En promedio se estima una energía de 4 a 5 kWh/m²/día en zonas costeras y forestales, y una energía de 5 a 6 kWh/m²/día, incrementando en zonas de sur a norte (p.29).

2.2.2 Definiciones generales de radiación

a) Irradiación solar

Según Fotovoltaica (2011) es la energía incidente que recibe una superficie durante un lapso de tiempo determinado. Esta energía tiene por unidad de medida el kWh/m², o también el J/m².

b) Radiación solar

Con radiación solar nos referimos a la energía que circula durante la unión de átomos de helio (hidrógeno) en el sol. Esta energía que incide en la superficie, en la atmósfera, al año solo un tercio de la energía total es captada por la superficie terrestre fuera de la atmósfera y el 70% llega al océano, la energía que sobra es de $1,52 \times 10^{17}$ kW. En 365 días, cae a la Tierra, el cual es una gran cantidad de veces el consumo total de energía global actual (Mamani, 2022). En la tabla 1 se observa las clases de radiación que inciden con la superficie terrestre.

Tabla 1

Componentes de la radiación solar.

Clases	Definición
Directa	Es aquella en donde una superficie recibe radiación directa de los rayos del Sol sin interferencias de nubes.
Difusa	Es aquella que varía en distintas direcciones, principalmente debido a nubes en la atmósfera.
Reflejada	También llamada albedo es aquella que refleja de la superficie de la tierra, ello dependerá del coeficiente de reflexión de la superficie.

Nota. Extraído (Ocampo, 2021).

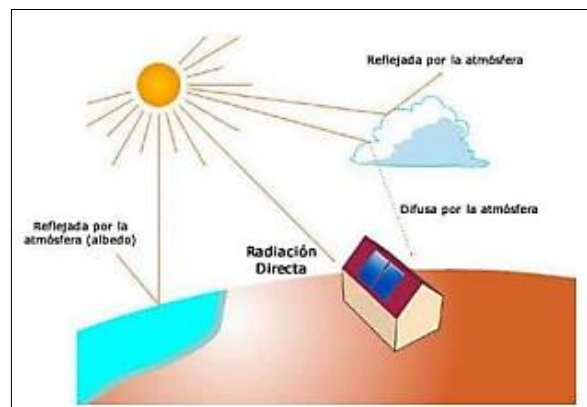


Figura 4. Tipos de radiación solar (IDAE, 2009).

2.2.3 Hora solar pico

El máximo de horas solares pico para un lugar determinado es el número de horas del día en las que hay radiación en condiciones estándar ($1000\text{W}/\text{m}^2$), y de la misma forma, la radiación total del día es igual al tiempo máximo de HSP. La determinación de este parámetro es fundamental porque es posible estimar la potencia que el módulo

fotovoltaico puede producir durante el día, teniendo en cuenta el valor de las horas pico solares en constante cambio (Mamani, 2022).

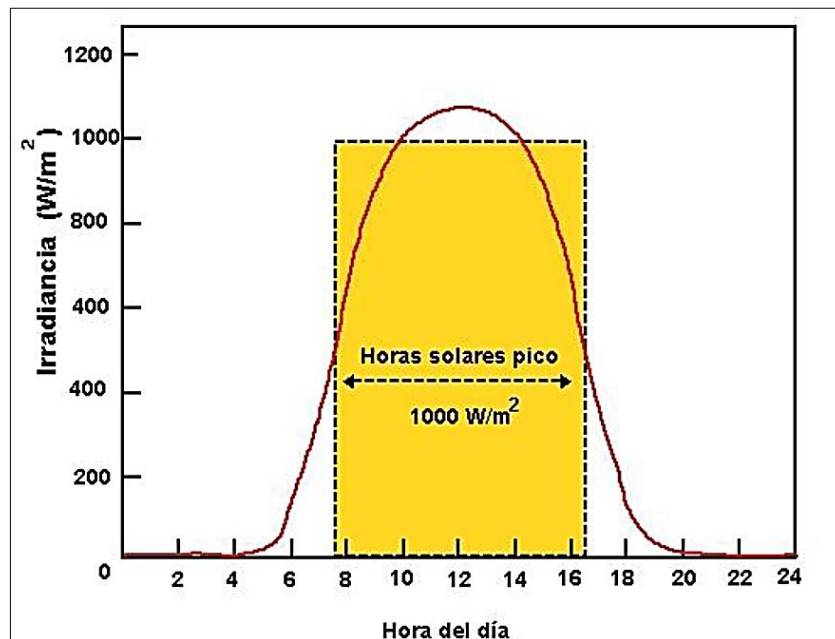


Figura 5. Concepto de horas sol pico (Valdiviezo, 2014).

2.2.4 Sistema solar fotovoltaico

a) Angulo de inclinación

Para un sistema fotovoltaico ya sea de pequeña, mediana o gran escala (sin seguimiento solar) es de vital importancia establecer una inclinación correcta en el sistema de módulos fotovoltaicos para su funcionamiento durante el año, esto con el fin de utilizar al máximo el recurso solar e incrementar la irradiancia en el sistema fotovoltaico durante un día específico. Bajo ese contexto este ángulo de inclinación dependerá exclusivamente de la ubicación donde se instale un sistema solar fotovoltaico (Díaz & Carmona, 2018).

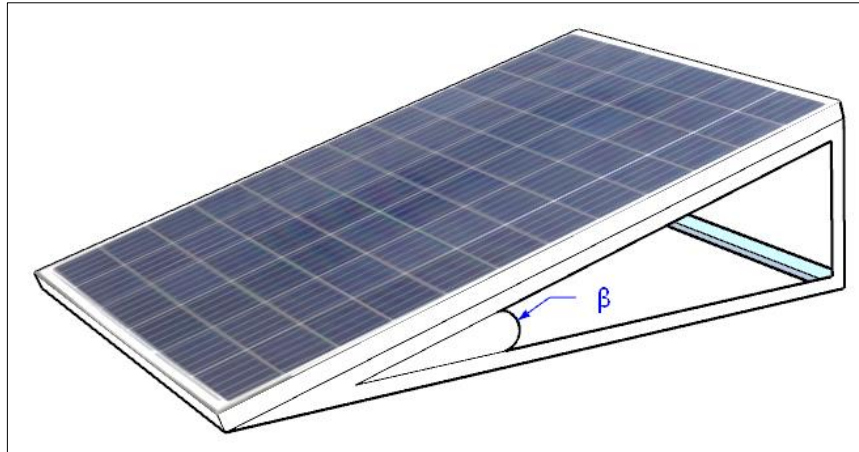


Figura 6. Ángulo de inclinación (Elaboración propia).

b) Orientación

Al momento de diseñar un sistema solar fotovoltaico sin seguimiento (estático), es importante dar una correcta orientación (0° al norte), esto debido a que en lo posible se busca aprovechar la máxima radiación solar. Esta orientación dependerá de la ubicación del lugar de instalación de los módulos fotovoltaicos, como, por ejemplo, los techos ya direccionados que poco o nada se podrá darle una buena orientación a 0° al norte, a diferencia que cuando se tiene un emplazamiento o terreno plano (Plasencia, 2018, p.58).

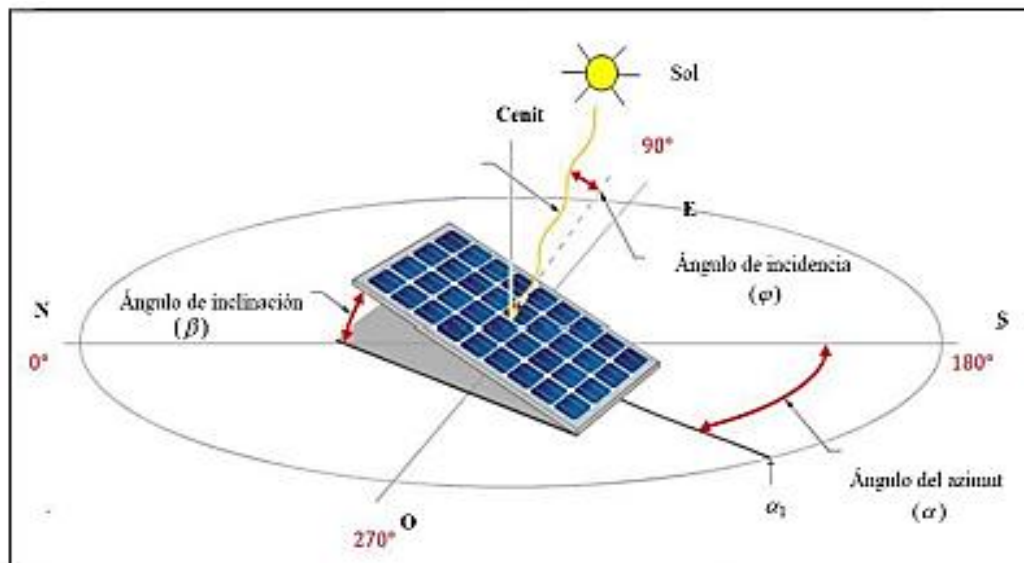


Figura 7. Orientación del módulo fotovoltaico (Mejía, 2018).

2.2.5 Plataforma software SOLARGIS

Es un software profesional que proporciona a los expertos en el sector solar una fuente fiable de radiación solar, indicadores climáticos y ambientales.

La fuente contiene un registro minucioso de datos históricos de alta resolución, cuidadosamente validados. Los servicios de datos de operaciones en tiempo real se pueden personalizar completamente para satisfacer las demandas de su proyecto. (SOLARGIS, 2013) .

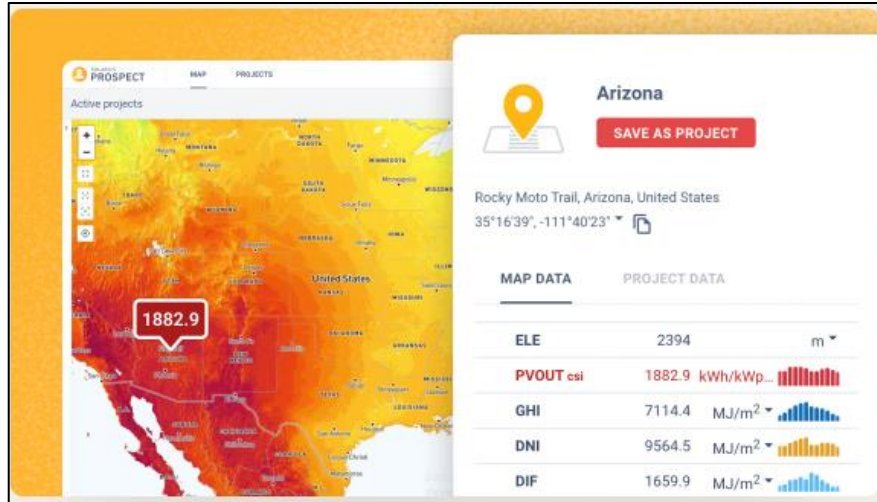


Figura 8. Software profesional SOLARGIS (SOLARGIS, 2013)

2.2.6 Sistema de bombeo solar

Un sistema de bombeo solar fotovoltaico actualmente suple muchas necesidades ya sea tales como riegos agrícolas en épocas de sequía, abastecimiento de agua para alturas, abrevaderos de ganados, entre otros. Este sistema se caracteriza por que no depende del suministro de la red eléctrica y no hace uso de combustible, así también este sistema requiere de poco mantenimiento, los principales componentes para su funcionamiento básicamente son: un módulo fotovoltaico, una bomba, y un controlador (Ochicua, 2019, p.21).



Figura 9. Esquema de una estación de bombeo alimentado con módulos fotovoltaicos (Alata, 2015).

2.2.7 Módulos fotovoltaicos

Un módulo fotovoltaico es aquella que transforma la energía fotónica del sol en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico. El módulo fotovoltaico está formado por conexiones de células solares ubicados en serie o en paralelo, al ser en serie aumenta la corriente que deseamos y al ubicarse en paralelo esta incrementa el voltaje (Mesones 2019).

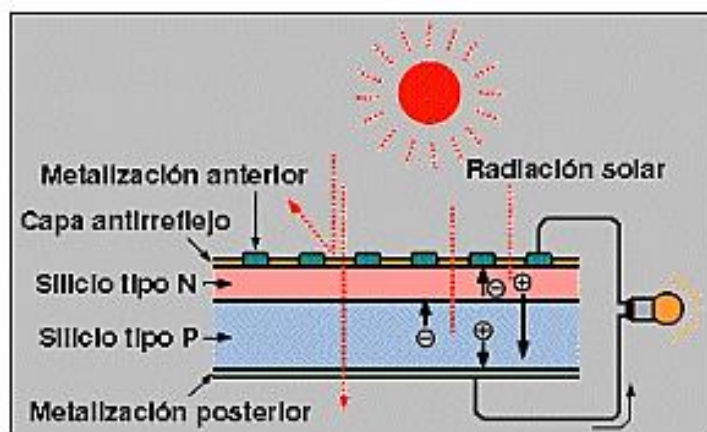


Figura 10. Efecto fotovoltaico en una celda solar (Cabrera & Fermín, 2003).

Además, un módulo fotovoltaico puede llegar a tener una durabilidad de 25 años, el cual es de gran beneficio para cualquier tipo de instalación, incluso es de gran eficiencia según el tipo de tecnología.

Tabla 2

Resumen de la tecnología fotovoltaica.

Tipo de celda	Eficiencia (%)	Beneficios	Desventajas
Silicio monocristalino	18 al 20	Tiene buena tecnología	Utiliza material caro
		Es duradera	Mucho derroche (casi la mitad)
		Mayor eficiencia	Mayor costo
Silicio policristalino	11 al 15	Tiene celdas cuadrículadas	Material caro
		Tecnología completamente desarrollada y verificada	Mayor desperdicio
		Estable	Manufactura cara
		Buena eficiencia	

		Menor costo que en el monocristalino	Menor eficiencia comparado al monocristalino
		Utiliza muy poco material	
		Alta potencia y generación rápida	Se degrada con facilidad
Silicio amorfo o película delgada	4 al 8	Menor costo 50% de silicio cristalino	Baja eficiencia
		Menor efecto por grados de radiación.	Bajo tiempo de durabilidad

Nota. Extraído (Vilca, 2021).

2.2.8 Bombas solares fotovoltaicas

Consiste en un equipo que consta de partes y mecanismos que cuando sean alimentadas con energía eléctrica estas inician su proceso de energía mecánica, que básicamente consiste en transportar un líquido desde un punto más bajo para luego elevarlas hasta otro punto (Alata, 2015).

En su mayoría para una aplicación de uso domiciliario estas bombas se usan para llevar agua de un sitio a otro o simplemente para elevar este líquido a una cierta altura. Existen varios tipos de bombas solares:

a) Bombas solares centrífugas

Según Paredes (2001) este tipo de bomba viene conformado por un impulsor, que gracias a la fuerza centrífuga succiona un líquido y la expulsa de manera radial. Este tipo de bombas son superficiales, pero también pueden ser bombas sumergibles de pozo profundo; estas bombas se caracterizan por impulsar agua a una altura considerable, pero con bajo caudal.

Este sistema de bomba se caracteriza por funcionar en corriente directa cabe decir que está conectado directamente a un módulo solar fotovoltaico.

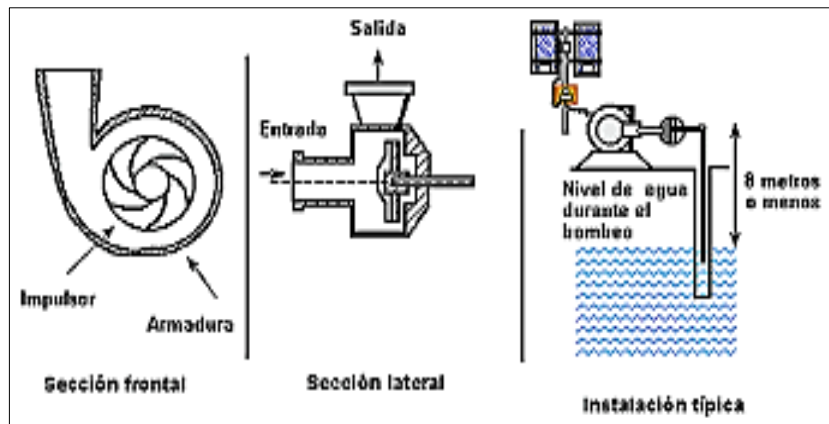


Figura 11. Bombas centrífugas de succión superficial (Paredes, 2001).

b) Bombas solar sumergibles

Una bomba solar sumergible consiste en una bomba sumergible alimentada por módulos fotovoltaicos directamente, esta bomba puede ser alimentada por corriente directa o por corriente alterna, siendo necesario un inversor de corriente para tal caso (Morales, 2017).

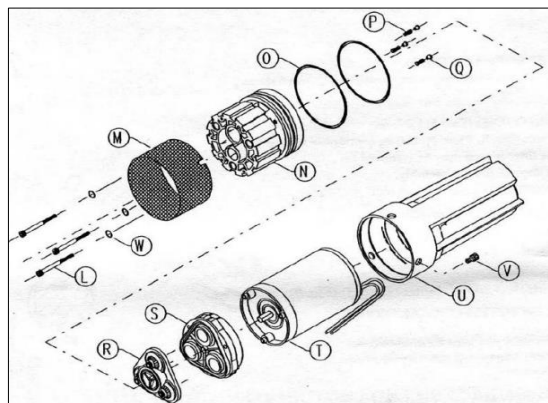


Figura 12. Esquema de ensamblaje de una bomba sumergible (Morales, 2017).

c) Bombas de diafragma

Las bombas con diafragma relativamente tienen un costo económico. Al momento de instalar este tipo de bomba de succión se debe considerar los costos por mantenimiento tales sean como el reemplazo de diafragmas, para este caso una vez cada dos o tres años; de la misma manera como estas bombas en su mayoría son de corriente continua con escobillas, el reemplazo de las escobillas debe ser consecuentes; así como los dos componentes ya mencionados también se realizan cambios en las empaquetaduras y los sellos de la bomba (Paredes, 2001).

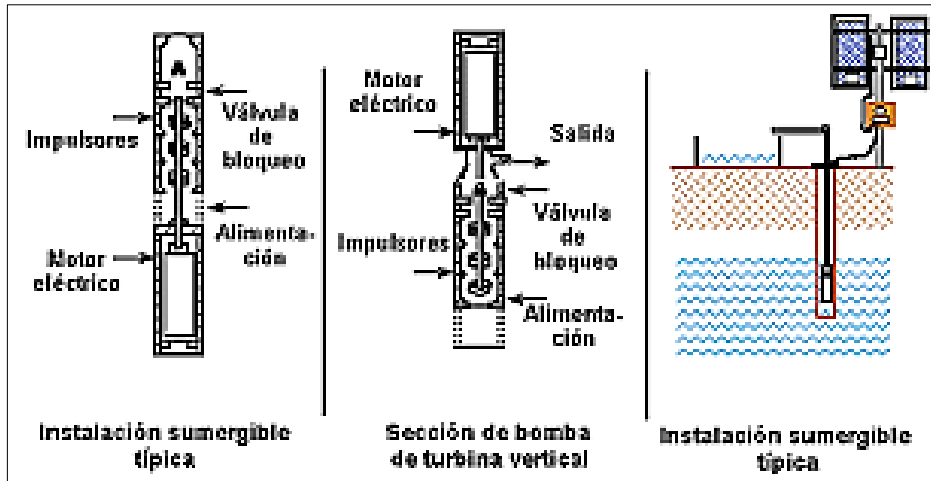


Figura 13. Bomba de diafragma sumergible (Paredes, 2001).

2.2.9 Bombas sumergibles con rotor helicoidal

También conocidas como bombas de tornillo, funcionan mediante un rotor helicoidal que gira dentro de una carcasa del estator y que tiene cavidad progresiva. El rotor crea un sello hermético con el estator y al girar desplaza el líquido a lo largo de la cavidad progresiva generando un flujo suave y uniforme.

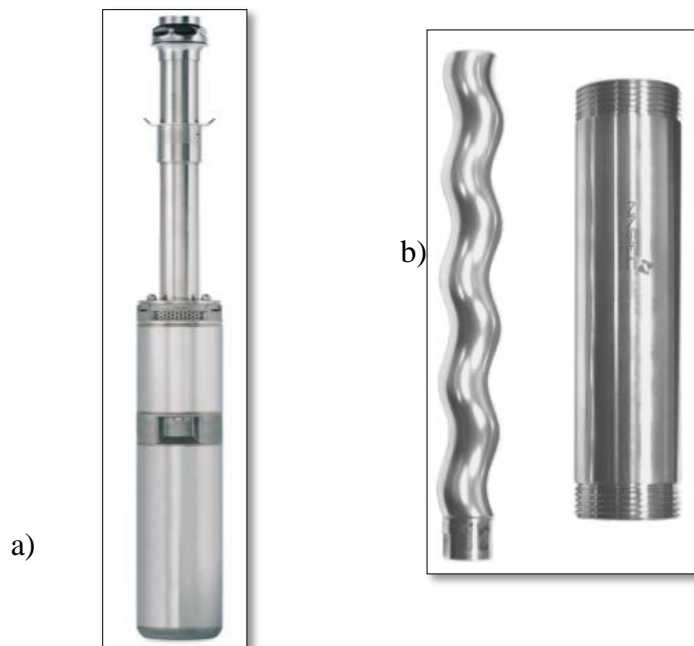


Figura 14. a) Bomba Nastec 4HS MP que pueden ser alimentadas por corriente alterna y corriente directa b) Rotor helicoidal de la bomba sumergible.

2.2.10 Condiciones hidráulicas

Caudal de un sistema de bombeo

El caudal de bombeo se refiere a la cantidad de fluido que una bomba puede mover a través de un sistema por unidad de tiempo, un parámetro crucial para garantizar la eficiencia y el rendimiento adecuado del sistema (Perez, 2021)

Altura dinámica total

La altura dinámica total se define como la combinación de la altura estática y las pérdidas de carga en un sistema de bombeo, lo que permite calcular la energía necesaria para mover el fluido (Lopez, 2019)

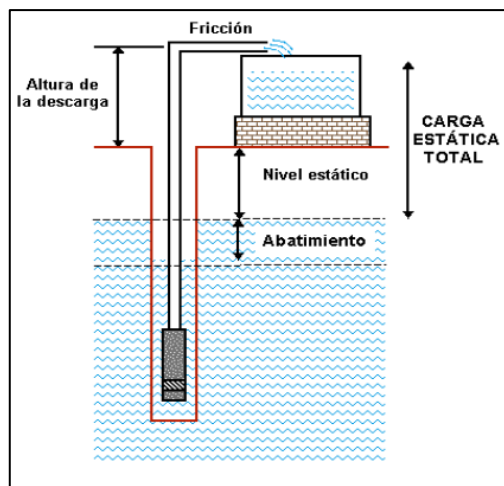


Figura 15. Altura dinámica total (Gonzales & Lanuza, 2017)

Altura estática

La altura estática se refiere a la diferencia de nivel entre el punto de origen del fluido y el destino final dentro de un sistema de bombeo, y es un parámetro clave para dimensionar adecuadamente las bombas (Rodríguez, 2021).

Pérdidas de carga

Las pérdidas de carga son la disminución de energía del fluido debido a la fricción y otros factores dentro de las tuberías, lo que afecta la eficiencia de un sistema de bombeo (Gomez, 2020)

Curva de operación de la bomba

Según Mott (2015), la curva de operación de una bomba ilustra gráficamente la relación entre parámetros como el flujo, la altura alcanzada, la eficiencia y la potencia requerida, lo que permite evaluar su desempeño en diversas condiciones.

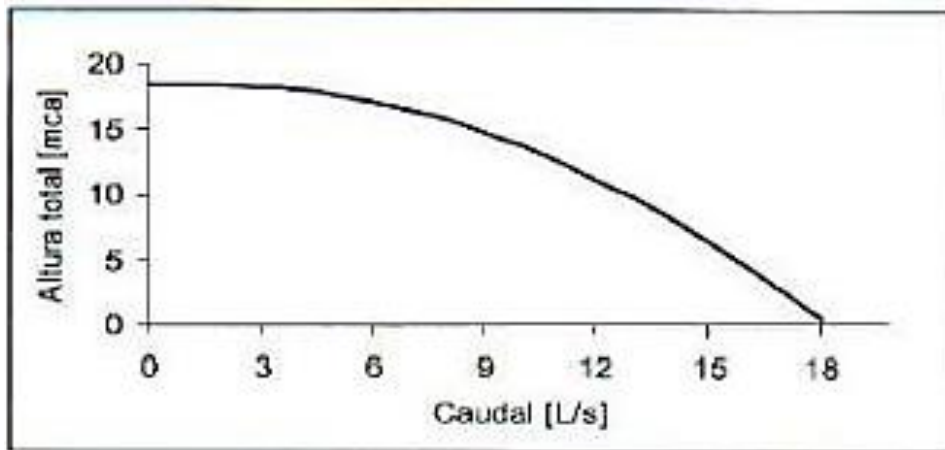


Figura 16. Curva de operación de la bomba (Galvez & Torres, 2020).

Curva característica del sistema

Así como las bombas poseen su curva característica, los sistemas de tuberías también cuentan con una gráfica que representa la altura de bombeo necesaria en función del caudal, manteniendo constante la velocidad de giro. Esta curva puede determinarse tanto mediante métodos experimentales como analíticos (Galvez & Torres, 2020).

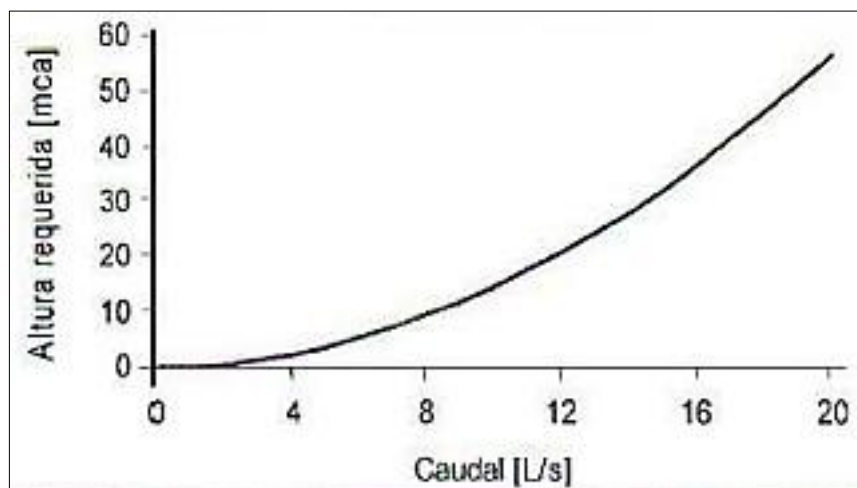


Figura 17. Curva característica del sistema de bombeo (Galvez & Torres, 2020).

Curva de operación del sistema

Este se determina donde la curva de desempeño de la bomba (altura total en función del caudal) interseca con la curva característica del sistema (altura del sistema en función del caudal). Idealmente, este punto debe estar lo más próximo posible al de máxima eficiencia. Si el punto de operación se encuentra lejos del rango de mayor rendimiento, significa que la bomba seleccionada no es adecuada para las condiciones y requerimientos del sistema (Galvez & Torres, 2020).

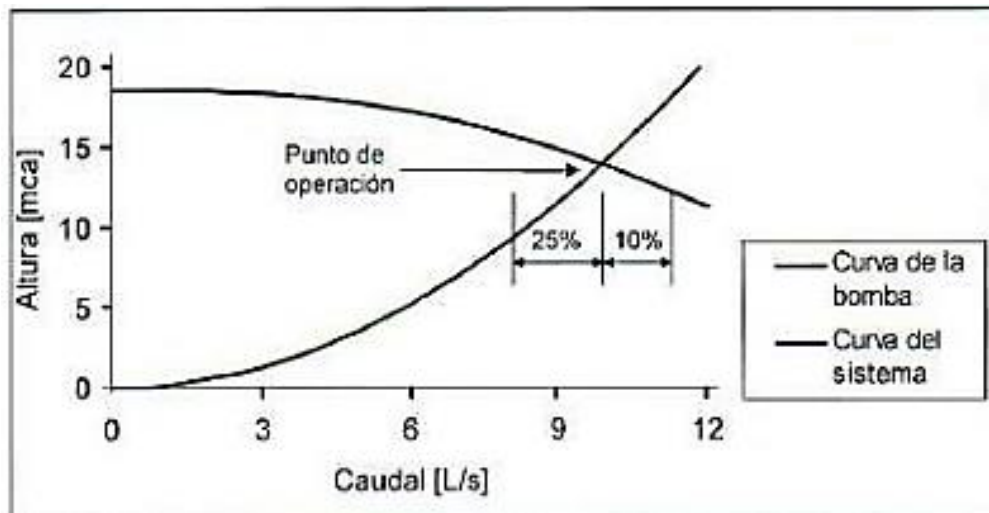


Figura 18. Curva de operación del sistema (Galvez & Torres, 2020).

2.2.11 Sistema de almacenamiento

Según Sandia National Laboratories (2001), el sistema de almacenamiento para bombeo solar fotovoltaico se puede entender que es más conveniente y económico el almacenamiento de agua en reservorios que el almacenamiento de energía en baterías; en ese sentido este sistema de bombeo solar se caracteriza por no usar baterías como un sistema de almacenamiento ya que ello reduciría la confiabilidad e incrementaría los gastos de mantenimiento (p.34).

2.2.12 Operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos

Los sistemas fotovoltaicos operan sin ninguna necesidad de que alguna persona intervenga, al menos que no esté trabajando adecuadamente. Además, acerca de su mantenimiento estas pueden ser preventivas y correctivas, de las cuales las preventivas son muy fáciles de cumplir ya que constan en la revisión frecuente, limpieza constante e inspección visual de los módulos fotovoltaicos y las correctivas se caracterizan por realizar el cambio de algún material que no funciona correctamente, el cual debe ser realizado por un personal capacitado (Párraga, 2020).

2.2.13 Operación y mantenimientos de bombas sumergibles

Las bombas sumergibles funcionan en su mayoría sin un mantenimiento constante, aunque debe tomarse en cuenta algunas recomendaciones para usarlas y conservarlas correctamente, por ejemplo si la bomba sumergible está durante un largo tiempo en reposo, se recomienda encenderlo al menos cada 2 o 3 meses durante 10 minutos de esta manera se

detectara a tiempo las fallas y además es importante que el equipo este completamente sumergido en el agua y evitar que este trabaje en vacío o con agua sucia (Oyarzabal, 2019).

2.2.14 Evaluación económica

Según Espinoza & Zanoni (2021) el estudio económico es un procedimiento sistemático y ordenado, que analiza las variables vinculadas con el flujo de dinero, lo que resulta significativo, para cualquier proyecto de inversión. El objetivo principal de este análisis es calcular la habilidad para retornar el costo invertido inicialmente en el proyecto, también establecer la viabilidad económica.

Valor actual neto (VAN)

Se utiliza para evaluar la viabilidad de un proyecto. Este procedimiento consiste en estimar el flujo de dinero de un proyecto y posteriormente descontar al inicio del mismo. Si el monto inicial excede al flujo de dinero descontado, el proyecto no debe realizarse. En caso contrario, se considera que el proyecto es viable y debe ejecutarse. (Pacheco, 2020).

Tasa interna de retorno (TIR)

Representa las tasas de descuento que establezca el valor descontado de los flujos de caja futuro con el costo inicial, o sea, equivalente al VAN cero. Indica la rentabilidad, en términos financieros, producidos por un plan de inversión que se basa en la cantidad y el tiempo. Si el TIR es superior a la tasa de descuento determinado, el proyecto es considerado aceptado. Si de lo contrario el TIR es menor se descarta la inversión. Para abordar estas dificultades, es posible recurrir a estimaciones, calculadoras financieras o software especializado (Jara, 2021).

Costo - beneficio (C/B)

Según Aguilera (2017) el estudio de la relación entre costo y beneficio es un procedimiento que se lleva a cabo para evaluar la correlación que existe entre la relación que se establece entre el costo de un proyecto y el beneficio. Su meta es establecer si es posible determinar si una inversión futura es rentable o no para una empresa, donde:

$B/C > 1 \rightarrow$ Quiere decir que el VAN de los beneficios es mayor que el VAN de los costos por lo que es aconsejable que se realice el proyecto.

$B/C = 1 \rightarrow$ esto indica que VAN de los beneficios es igual al VAN de los costos, por lo que, el proyecto es indiferente.

$B/C < 1 \rightarrow$ El proyecto NO es recomendable, debido a que el VAN de los costos es mayor al de los beneficios.

El enfoque del costo-beneficio no se limita al ámbito empresarial; también es aplicable a proyectos sociales, colectivos o individuales. En estos casos, es crucial evaluar las implicaciones económicas y sociales, para identificar la alternativa que proporcione el mayor valor o rentabilidad dentro de las opciones disponibles.

Periodo de recuperación de la inversión (PRS)

Es el tiempo de recuperación que indica el periodo necesario para que una empresa superar la inversión inicial mediante los flujos de efectivo generados por un proyecto. Esta métrica, popular en empresas pequeñas, se emplea con frecuencia debido a la simplicidad de sus cálculos. Sirve como criterio para determinar la viabilidad de un proyecto: si el período de recuperación es inferior al máximo permitido, el proyecto se aprueba; de lo contrario, se rechaza (Gitman & Zutter, 2016).

2.3 Marco conceptual

Arreglo solar: conjunto de paneles solares conectados entre sí.

Corriente continua: Se refiere al movimiento de flujo constante de electrones (cargas negativas) continuamente en un solo sentido (Rabos, 2013).

Generador o módulo fotovoltaico: Compuesto por varias celdas fotovoltaicas conectadas en paralelo y serie.

Kilowatt: Unidad de medida de la potencia (1 kilovatio = 1 000 W) (Alfaro, 2016).

Punto de máxima potencia: es el punto máximo de la curva característica IV en donde esta varía constantemente dependiendo del recurso solar durante un día específico.

NOCT (Nominal Operation Cell Temperature): Es la temperatura que alcanza la celda cuando se trabaja a condiciones de 800 W/m² de radiación en un ambiente de aire a 20°C de temperatura y circulando a una velocidad de viento de 1 m/s (López, García, & Bedoya, 2013).

Potencia instalada fotovoltaica o potencia nominal: Suma de potencia nominal de los inversores (la especificada por el fabricante) que intervienen en las etapas de la instalación en condiciones nominales de desempeño (López, García, & Bedoya, 2013).

Voltaje de máxima potencia: Voltaje que corresponde al punto de máxima potencia (García, Bedoya, & López, 2013).

Voltaje de circuito abierto: Diferencia de potencia o tensión máxima que se mide en los bornes de un módulo fotovoltaico

Watt pico: Potencia máxima a la salida de un sistema de módulos fotovoltaicos bajo condiciones estándares de medida (1000 w/m², 25°C y 1,5 de masa de aire) (López, García, & Bedoya, 2013).

CAPÍTULO III - MATERIALES Y METODOS

3.1 Formulación de hipótesis

3.1.1 Hipótesis general

El dimensionamiento y la implementación de un sistema de bombeo solar es viable y cubre de manera eficiente el recurso hídrico necesario a una altura de 120 metros en la comunidad de Selque satisfaciendo las necesidades de consumo animal.

3.1.2 Hipótesis específico

- La capacidad de almacenamiento de agua es adecuada para garantizar un suministro continuo del recurso hídrico a la comunidad de Selque.

- **La variación de la radiación solar influye directamente al caudal bombeado del sistema de bombeo solar a una altura de 120 metros en la comunidad de Selque**
- **El sistema de bombeo solar es viable económicamente y brindará un suministro de recurso hídrico necesario a una altura de 120 metros en la comunidad de Selque.**

3.2 Ubicación del proyecto

El presente proyecto se desarrolló en la comunidad campesina de Selque que se encuentra en el distrito de Macari, provincia de Melgar y región de Puno, está ubicado a una altura de 3970 msnm, situado a una latitud -14.720328 longitud -70.87821. En la Figura 19, se observa el recurso hídrico (rio) donde se instala la bomba sumergible, además, el recorrido de la maguera HDPE y la ubicación final del sistema de bombeo de agua.



Figura 19. Ubicación de del proyecto (Google maps, 2024).

3.3 Materiales

3.3.1 Recursos

- **Tesistas**
- **Personal de mano de obra**
- **Transporte**

3.3.2 Recursos tecnológicos

- **Excel**
- **Solargis**
- **Google earth**

3.3.3 Recursos materiales

Módulo fotovoltaico

El panel fotovoltaico usado en el proyecto es Jinko Solar modelo JKM470N-7RL3 como así lo muestra la figura 20, de 156 celdas monocristalinas con eficiencia nominal de 20.93% y 470Wp como se observa en la ficha del fabricante en la Tabla 3.

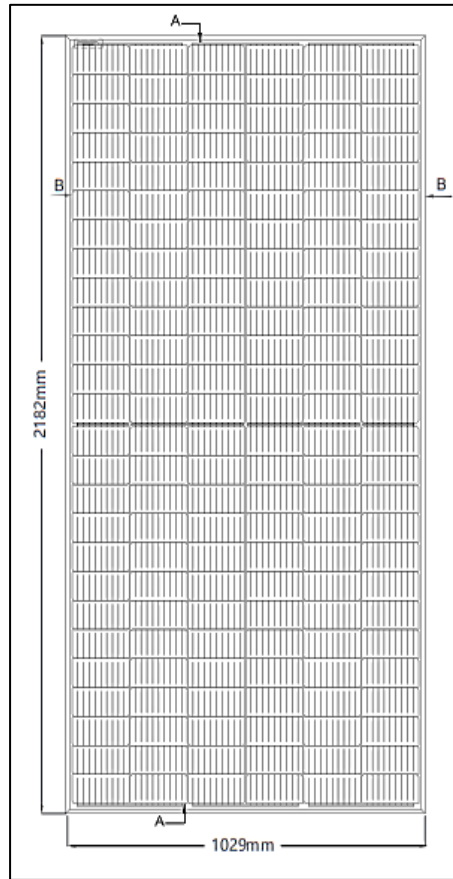


Figura 20. Módulo solar monocristalino JKM470N-7RL3 (Jinko, 2023).

Tabla 3

Características técnicas del módulo fotovoltaico.

Módulo JKM470M-7RL3	
Características de electricidad (STC)	
Máxima potencia ($P_{\text{máx}}$)	470Wp
Máxima potencia de corriente (I_{mp})	10.86 A
Voltaje de máxima potencia (V_{mp})	43.28 V
Corto circuito de la corriente (I_{sc})	11.68 ^a
Voltaje de circuito abierto (V_{oc})	52.14V
Características Térmicas	
Temperatura de Operación de la Célula (TNOC).	45±2°C
Coef. de Temperatura de I_{sc}	0.048%/°C
Coef de Temperatura de V_{oc}	-0.28%/°C
Coef. de Temperatura de P_{mp}	-0.35%/°C

Nota. Extraído de la ficha técnica del fabricante.

En la tabla 4 observamos la potencia de generación fotovoltaica total de sistema, los cuales constan de 3 módulos fotovoltaicos conectados en serie. Ver anexo (10), entonces se obtiene los siguientes parámetros de salida.

Tabla 4

Características eléctricas del generador eléctrico.

Generación Fotovoltaica Total 1410 Wp	
Parámetros eléctricos del generador	
Potencia Nom. (0 PFV)	1410 Wp
Máxima potencia de la corriente (Imp)	10.86 A
Voltaje de máxima potencia (Vmp)	129.84
Corto circuito de la corriente (Isc)	11.68 A
Voltaje de circuito abierto (Voc)	156.42 V

Nota. Extraído de la ficha técnica del fabricante.

Bomba sumergible

La electrobomba sumergible usada en el proyecto es de modelo 4HS 01/03H MP, la cual está puede ser alimentada por corriente alterna y corriente directa también cuenta con una amplia gama de voltajes. Además, pueden conectarse directamente a los módulos fotovoltaicos, baterías como también a la red eléctrica.

Tabla 5

Características de la bomba sumergible.

Modelo 4HS 01/03H MP	
Rango de tensión admisible	90-400 VDC
	90-265 VAC
Corriente máxima absorbida	13 (100 VDC)
	13 (100 VAC)
Factor de potencia	1
Potencia máxima absorbida	1300 W

Nota. Extraído de la ficha técnica del fabricante.

Fusible

Son dispositivos pequeños de seguridad, que se encarga de la protección de los circuitos eléctricos de sobrecargas o riegos de incendio.



Figura 21. Protección del sistema eléctrico (Autosolar, 2024).

Porta fusible

Es el dispositivo encargado de proteger el fusible en su interior, este forma parte de las instalaciones eléctricas.

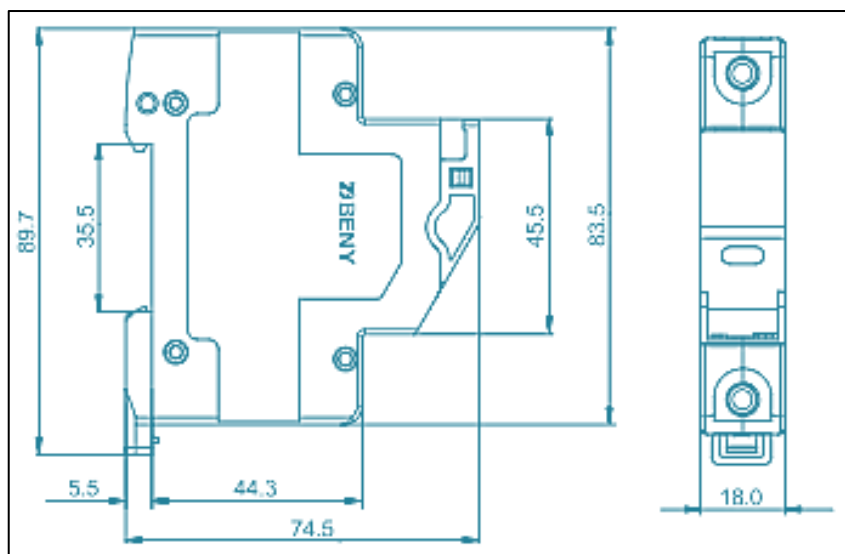


Figura 22. Protección del sistema eléctrico (Autosolar, 2024).

Interruptor DC

Es un dispositivo que protege a las instalaciones eléctricas contra las sobrecargas y cortocircuitos de corriente continua.



Figura 23. Interruptor DC.

Manguera de polietileno HDPE 1”

Las mangueras de polietileno HDPE, están diseñados para soportar la intemperie y también las altas temperaturas de radiación solar e incluso los cambios bruscos del clima.



Figura 24. Mangueras de polietileno HDPE para el trayecto.

Unión mecánica de HDPE

La unión mecánica es un accesorio muy importante para la unión de dos mangueras de polietileno HDPE, el cual ejerce la unión por presión, además son accesorios no corrosibles, y son duraderos bajo la superficie terrestre.

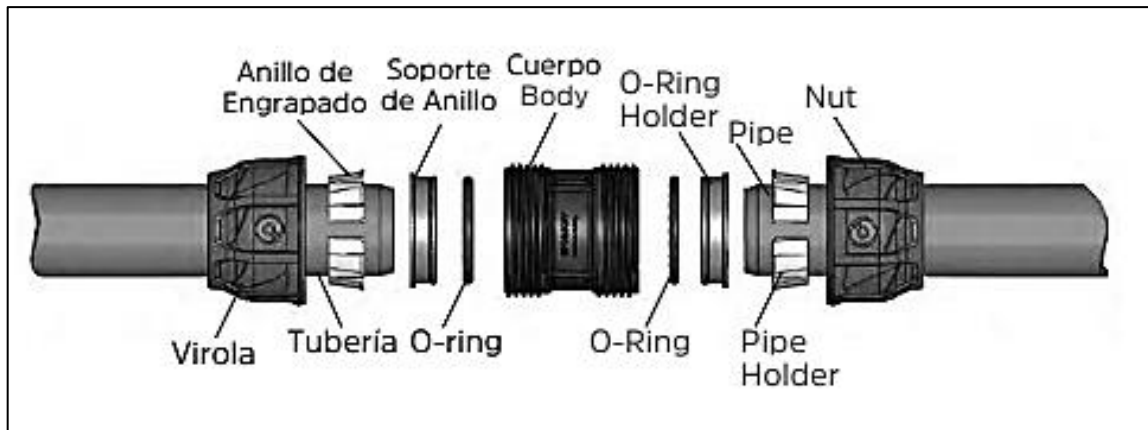


Figura 25. Unión mecánica de HDPE

Cable solar

Son cables resistentes para instalaciones eléctricas, específicamente para conexiones de paneles fotovoltaicos y conexión a bombas.



Figura 26. Cables solares (Autosolar,2024)

3.4 Metodología

En este apartado primeramente se realizó el dimensionamiento del sistema de bombeo solar que comprende el cálculo de la demanda de caudal, cálculo de la altura estática total de bombeo, la determinación del potencial energético solar, por consiguiente, se realizará el dimensionamiento y selección de la bomba sumergible y el cálculo del generador fotovoltaico. En segundo lugar, se hace la implementación del sistema de bombeo solar que consta del montaje de la estructura de soporte de los módulos fotovoltaicos, montaje de módulos fotovoltaicos, implementación de la bomba sumergible, y las conexiones eléctricas (cableado), asimismo, se realizó el cálculo y construcción del sistema de almacenamiento

del recurso hídrico, se determinó el cálculo de la relación del caudal bombeado respecto a la radiación solar disponible dos escenarios (día nublado y un día con constante radiación solar). Finalmente, se calculó la viabilidad económica a través de la determinación de VAN, TIR y B/C, lo que permite establecer si el proyecto es viable o no.

3.4.1 Dimensionamiento del sistema de bombeo solar

Para el dimensionamiento del sistema previamente se empezó determinando la altura total de bombeo y la demanda de caudal por día

3.4.2 Cálculo de la demanda del caudal

Para el cálculo de la demanda de agua a la altura de 120 metros, se realizó el análisis del número de animales (vacas), considerando según (Gonzales, 2014) menciona que una vaca en todo el día llega a consumir 22 kilos de materia seca lo cual provoca que este consuma por lo menos un total de 88 y 110 litros de agua al día, además las vacas en producción consumen más agua en relación a su peso. Entonces se considera que aproximadamente una vaca llega a consumir 150 litros al día, teniendo en cuenta que la hacienda cuenta ya con 15 animales y una proyección a futuro de incrementar este número al doble, además el uso de recurso hídrico es usado en la limpieza de materiales de ordeño.

$$Q = (N_v * C_v) + M_o + (P_v * C_v) \quad (1)$$

Donde, Q es el caudal necesario del todo el sistema, N_v es el número de vacas a abastecer, C_v es consumo de agua por vaca, M_o la cantidad de litros de uso en limpieza de materiales de ordeño y P_v la proyección de vacas a futuro.

Tabla 6

Parámetros necesarios para el cálculo del caudal.

Parámetros	Unidad	Valor
Necesidad de agua por vaca	Lt/día/vaca	150
Cantidad de vacas	Und	15
Agua por materiales de ordeño	Lt	165
Cantidad de vacas en proyección	Und	15

Nota. Autoría propia.

3.4.3 Cálculo de la altura estática total de bombeo

Para la determinación altura estática total se obtuvo a través del aplicativo Google Earth, el cual nos brindó información acerca de la altura.



Figura 27. Información acerca de la altura estática total en el aplicativo Google Earth (elaboración propia).

Por lo tanto, ya teniendo información de cotas de la parte inferior y superior, se realizó una diferencia de cotas para poder hallar la altura estática total, también se realizó el análisis del recorrido de la tubería desde el río, hacia el lugar de almacenamiento de agua. Además, para mayor seguridad estas fueron corroboradas con un GPS.



Figura 28. Dispositivo de mano GPS Garming.

3.4.4 Determinar el potencial energético solar de la zona

En este apartado ya disponiendo de las coordenadas geográficas (latitud -14.720328 longitud -70.87821) de la parcela de la comunidad de Selque, se obtuvo información referente al potencial energético solar, cabe mencionar que, existen diversas fuentes de datos para la obtención de la irradiación, por lo que, en este caso se obtuvo la data ofrecida por SOLARGIS, el cual brinda información de datos históricos desde el año 1999 -2024, cabe resaltar, que la plataforma de SOLARGIS nos da información referente a la irradiación global horizontal, irradiación global inclinada, temperatura, velocidad del viento, etc, así mismo esta plataforma determina la inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos en estructuras fijas. Además, se trata de una plataforma necesaria para analizar de datos solares y meteorológicos.

Tabla 7

Irradiación mensual en un plano inclinado a 20° y plano horizontal.

Irradiación promedio en (KWh/m²)			
Meses	En el plano inclinado (20°)	En el plano horizontal	HSP (20°)
Enero	162.9	181.6	5.26
Febrero	150.5	159.7	5.02
Marzo	182.9	180.5	5.90
Abril	193.9	175.6	6.46
Mayo	216.7	179.7	6.99
Junio	213.8	169.7	7.13
Julio	223.6	181.1	7.21
Agosto	229.9	199.7	7.42
Setiembre	208.8	198.6	6.96
Octubre	202.9	210.5	6.55
Noviembre	194.0	215.5	6.47
Diciembre	167.9	190.7	5.42

Es así como SOLARGIS, tabla 7 nos brinda valores promedios de irradiación solar en un plano horizontal, además, valores de irradiación global inclinada con el ángulo óptimo (20°)

3.4.5 Dimensionamiento y selección de la bomba sumergible

Cálculo de la potencia eléctrica de la bomba sumergible

Para calcular la potencia eléctrica que necesita la bomba sumergible, según la ecuación (2), se consideró el caudal de diseño que debe soportar la bomba, este caudal es de $1.3 \text{ m}^3/\text{h} = 0.000361 \text{ m}^3/\text{s}$, se obtuvo a partir del cociente del caudal requerido por día y las horas de sol pico mínimo de la ubicación del lugar, por lo que la fórmula empleada es:

$$P_M = \frac{\gamma * Q * H_{TE}}{\eta * 746} \quad (2)$$

Donde: γ es el peso específico del agua (N/m^3), η la eficiencia en la bomba por lo que, según la ficha técnica se consideró un valor de 0.55, Q el caudal que debe vencer la bomba (m^3/s) y H_{TE} la altura total equivalente de bombeo (m). Así se obtiene:

$$P_M = \frac{9810 * 0.000361 * 120}{0.55 * 746}$$
$$P_M = 1.16 \text{ HP}$$
$$P_M = 0.87 \text{ Kw}$$

Cálculo de la energía hidráulica

Determinando los parámetros de altura de bombeo y caudal requerido por día, se podrá calcular la energía hidráulica. Según (Pareja, 2016) la energía hidráulica debe ser calculada con la siguiente ecuación:

$$E_h = \frac{\rho * g * Q * H_{TE}}{3600} \quad (3)$$

Donde: E_h energía hidráulica (Wh/día), ρ densidad del agua (kg/m^3), g gravedad (m/s^2), Q Caudal diario de agua ($\text{m}^3/\text{día}$) y H_{TE} la altura total equivalente de bombeo (m).

$$E_h = \frac{1000 * 9.81 * 7 * 120}{3600}$$
$$E_h = 2289 \text{ Wh/día}$$
$$E_h = 2.289 \text{ Kwh/día}$$

Cálculo de la energía eléctrica requerida por la bomba sumergible

Determinando el rendimiento de la bomba sumergible para corriente alterna, se obtuvo la energía eléctrica necesaria por la bomba sumergible, IDAE (2009) menciona que, generalmente el fabricante proporciona herramientas gráficas para calcular este parámetro por lo que, al seleccionar una bomba 4HS Multipower de rotor helicoidal y al tener las características y las ventajas a diferencia de otras bombas, el rendimiento medio se consideró en 55% así que, la energía eléctrica necesaria por la bomba sumergible debe ser calculada con la siguiente ecuación:

$$E_{MB} = \frac{E_h}{\eta_{MB}} \quad (4)$$

Donde: E_{MB} energía eléctrica requerida por la bomba sumergible (Kwh/dia), E_h energía hidráulica diaria (Kwh/dia) y η_{MB} rendimiento medio del sistema de bomba sumergible.

$$E_{MB} = \frac{2.289}{0.55}$$

$$E_{MB} = 4.162 \text{ Kwh/dia}$$

Metodología en la selección de la bomba sumergible

Según los valores obtenidos de potencia eléctrica de la bomba sumergible, altura total de bombeo (120m) y el caudal máximo que debe soportar la bomba sumergible, se verifico las distintas fichas técnicas de bombas sumergibles, así se seleccionó la bomba sumergible centrifuga con rotor helicoidal marca NASTEC 4HS Multipower modelo 4HS 01/03H MP de (1.5 HP) puede ser alimentada por corriente alterna y corriente directa con una variedad de tensiones de trabajo (90-265 Vac / 90-400 Vdc).

En la figura 29, se observa la curva característica de funcionamiento de la bomba sumergible a diferentes alturas, donde según los requerimientos a 120m de altura la bomba sumergible suministra un caudal pico de 1.33 m³/h siendo este el caudal muy próximo a lo requerido, además, la potencia absorbida por la bomba sumergible a esa altura es de 0.8Kw.

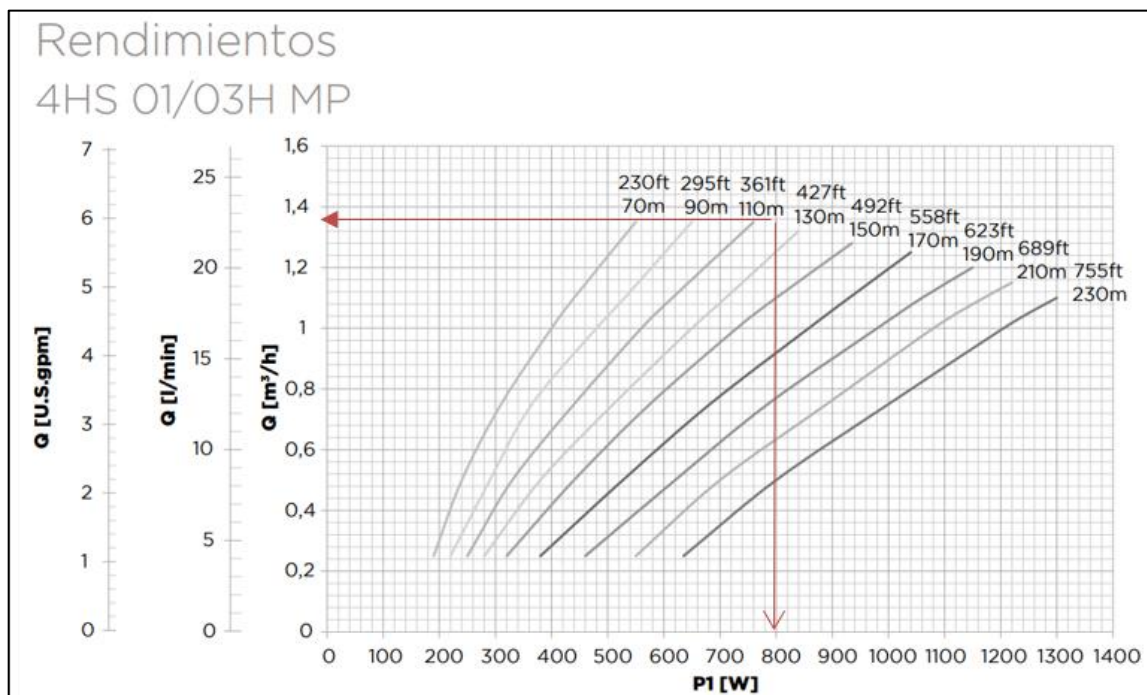


Figura 29. Curva característica de la bomba sumergible NASTEC 4HS 01/03H MP.

3.4.6 Cálculo de generación fotovoltaica

Para determinar la potencia del generador fotovoltaico, independientemente de la capacidad del módulo fotovoltaico a utilizar, se realizó utilizando la ecuación 5. En esta ecuación se consideró un factor de seguridad igual a 1, un HSP promedio de 6.40 considerando a una inclinación óptima de 20°.

$$P_{g-FV} = FS * \frac{E_{MB}}{0.9 * HSP * K_T} \quad (5)$$

Donde: P_g potencia del generador (Kw), FS factor de sobredimensionamiento de la instalación, E_{MB} energía requerida de la bomba sumergible (Kwh/día), K_T factor de pérdidas en la instalación y HSP horas de sol pico.

Asimismo, IDAE (2009) recomienda que para sistemas con inversor/controlador debe considerarse un valor de 0.7 mientras que, para sistemas con almacenamiento de energía en baterías, se considera un valor de 0.6. Entonces reemplazando estos datos en la ecuación 5, se obtuvo la potencia de generación fotovoltaica.

$$P_{g-FV} = 1 * \frac{4.162}{0.9 * 6.40 * 0.7}$$
$$P_{g-FV} = 1.03 \text{ Kw}$$

Cálculo de la cantidad de módulos fotovoltaicos

Para determinar la cantidad de módulos fotovoltaicos se necesita tener la información de la capacidad del módulo fotovoltaico a emplear, en este caso se dispone de módulos fotovoltaicos monocristalinos de Jinko Solar modelo JKM470N-7RL3 de 470W. según Pareja (2016), para el cálculo de número de módulos fotovoltaicos se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$N_{m-FV} = \frac{P_{g-FV}}{P_{m-FV}} \quad (6)$$

Donde, P_{g-FV} es la potencia de generación fotovoltaica y P_{m-FV} potencia del módulo fotovoltaico a utilizar.

$$N_{m-FV} = \frac{1.03}{0.47}$$

$$N_{m-FV} = 2.19 \approx 3 \text{ módulos fotovoltaicos}$$

3.4.7 Cálculo para el diseño eléctrico

En cuanto al diseño eléctrico del proyecto de bombeo solar, se hizo un esquema general de conexionado así mismo en el software Autocad se diseñó el esquema unifilar del

sistema, por lo que estos, facilitarían visualizar el tipo de conexión eléctrica desde los equipos que conforma el sistema de bombeo solar, así como los dispositivos de protección utilizados.

Normas utilizadas

Código Nacional de Electricidad “CNE-Utilización 2006”

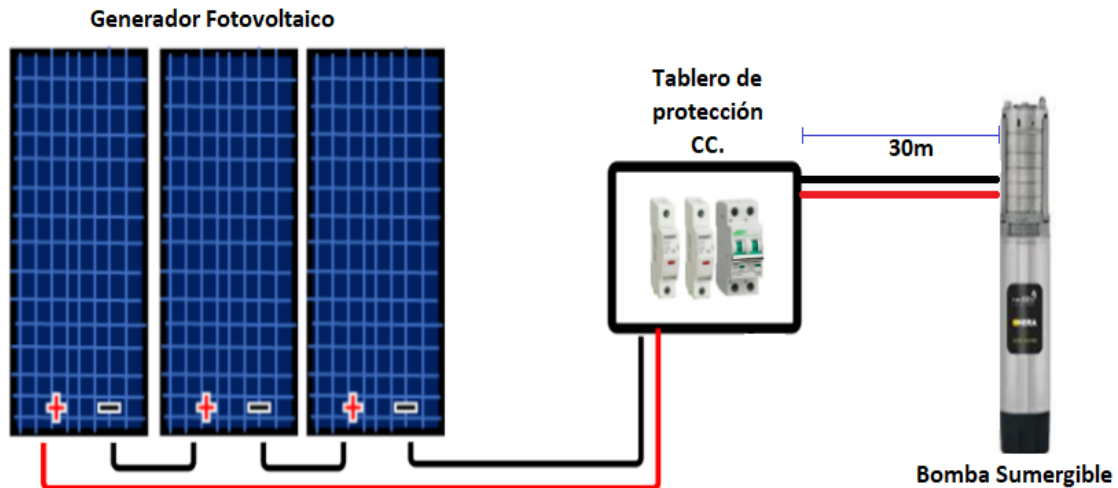


Figura 30. Diagrama esquemático General de conexiones (Elaboración propia).

En la figura 30 se muestra un diagrama esquemático general del conexionado de los módulos fotovoltaicos, para luego conectarse a un tablero de protección en CC y finalmente se conecta en paralelo a la bomba sumergible. Asimismo, el generador fotovoltaico cuenta con 3 módulos fotovoltaicos las cuales están conectados en serie por lo que esta conexión según condiciones estándares resulta los siguientes parámetros eléctricos en la salida: $V_{mp} = 129.84 \text{ V}$, $I_{mp} = 10.86 \text{ A}$, $V_{oc} = 156.42 \text{ V}$ y $I_{sc} = 11.68 \text{ A}$, conforme a los datos proporcionados en la ficha del fabricante del módulo fotovoltaico.

Asimismo, usando el software de AutoCAD se realizó el diseño del esquema unifilar en el cual indica los componentes principales y el conexionado de los dispositivos de protección como los fusibles más porta fusibles, termomagnético CC, etc.

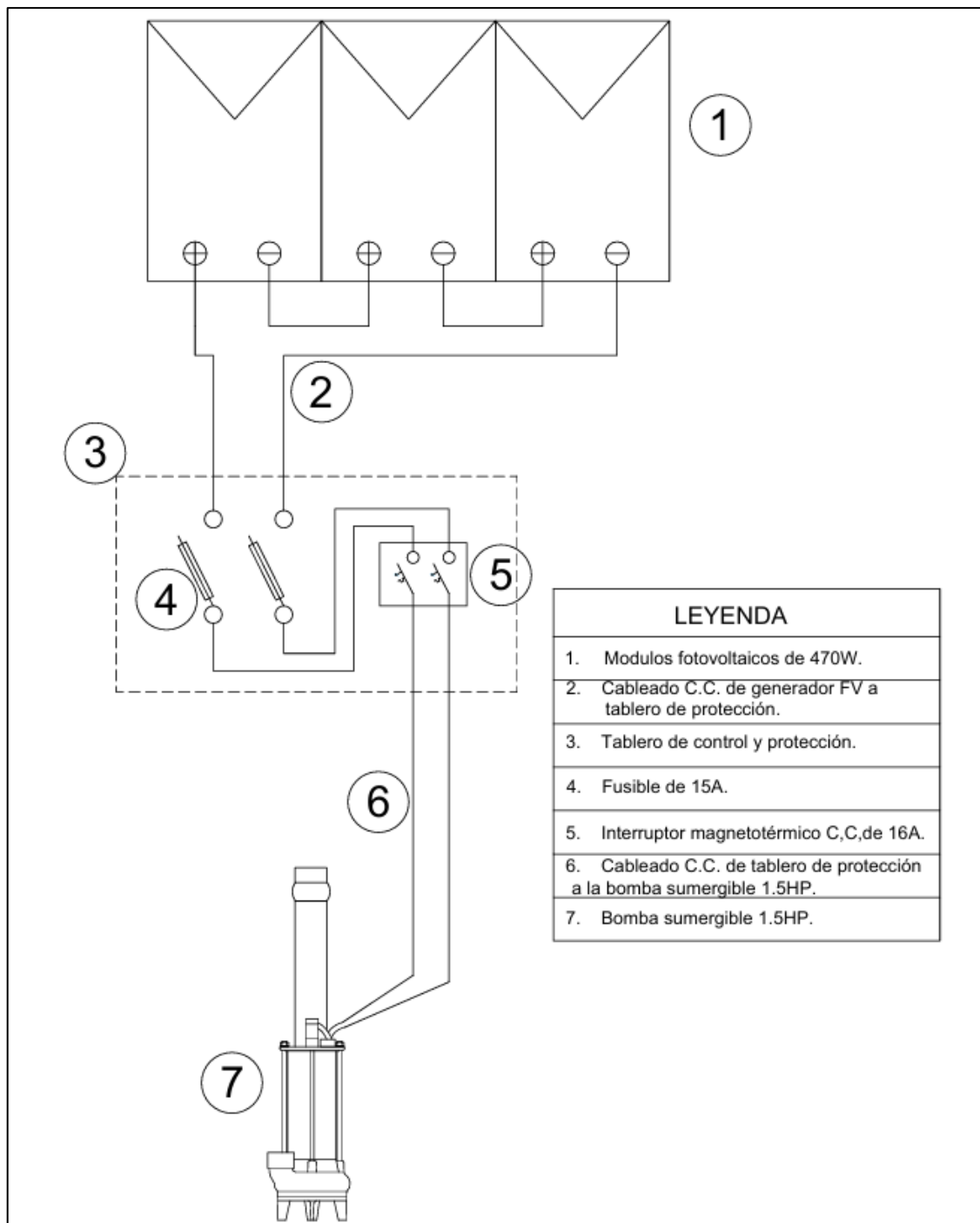


Figura 31. Diagrama unifilar de conexionado eléctrico del sistema de bombeo solar (Elaboración propia).

Selección de sección del conductor y dispositivos de protección

Disyuntor

El interruptor magnetotérmico también llamado disyuntor protege los equipos y el conductor eléctrico sea de cortocircuitos o sobrecargas, por lo que para el dimensionamiento de este dispositivo de protección se determinó teniendo en cuenta la corriente a la salida del generador fotovoltaico donde equivale a 10.86 A considerando un factor seguridad de 1.2 y

un factor de pérdidas de 0.85 lo que resulta en 15.25 A, este valor al no ser comercial se opta por el inmediato superior y comercial por lo cual se seleccionó un disyuntor de 16 A en CC.

Portafusibles para fusibles

Dispositivo de protección que mantiene un fusible así garantizando un circuito eléctrico seguro contra sobre corrientes.

Fusibles

Para el cálculo del fusible, se dimensionó considerando el código nacional de electricidad – utilización, sabiendo que la capacidad del disyuntor CC es de 16A y además el valor del fusible debe ser menor a este de determino que los fusibles tendrán una capacidad de 15 A.

Selección del conductor eléctrico

Para determinar la sección del cableado en corriente continua utilizaremos la ecuación 7. Cabe mencionar que, la distancia más crítica del sistema de bombeo corresponde al tramo del tablero de protección CC hasta la bomba sumergible donde, la distancia equivale a 30 metros. Así mismo Pinho & Galdino (2014) menciona que, la caída de tensión oscila de 1% a 2.5%.

$$S = \frac{2 * L * I}{\delta * \Delta V} \quad (7)$$

Donde: L longitud (m), I máxima corriente (A), ΔV caída de tensión y δ conductividad corresponde a un valor de $58 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$, S es la sección del conductor (mm^2).

3.4.8 Cálculo del diámetro de la tubería de impulsión

Para determinar la medida de la tubería a utilizar para el sistema de bombeo solar se obtuvo a partir de la ecuación de continuidad:

$$Q = A * V \quad (8)$$

$$A = \frac{\pi * D^2}{4} \quad (9)$$

Despejando el valor de diámetro de la ecuación 9 se obtiene:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}} \quad (10)$$

Donde: V velocidad del agua (m/s), Q caudal (m^3/s) y D diámetro de la tubería (m),

Por lo que, para una velocidad estable en la tubería se debe considerar un valor promedio de 1m/s entonces, el diámetro de la tubería a utilizar corresponde a un valor de:

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.000361}{\pi * 1}}$$

$$D = 0.0214 \text{ m}$$

$$D = 0.84 \text{ pulgadas} \approx 1 \text{ pulgada}$$

3.4.9 Cálculo de pérdidas en las tuberías y accesorios

Cálculo de pérdidas en la tubería de impulsión

Para calcular la pérdida fricción en la tubería, para fines de cálculos usaremos la metodología de Darcy – Weisbach donde la ecuación esta expresada de la siguiente manera:

$$H_f = \frac{0.08263 * f * L}{D^5} * Q^2 \quad (11)$$

Donde: Q caudal (m³/s), f coeficiente de fricción, L longitud total de la tubería (m), D diámetro de la tubería (m) y H_f es la perdida por fricción (m),

Según la fórmula de Darcy – Weisbach, para hallar el coeficiente de fricción (f) primeramente se deberá obtener el valor del número de Reynolds donde nos permite saber la clase de flujo que existe en la tubería de impulsión, donde el número de Reynolds debe ser calculado con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{V * D}{\nu} \quad (12)$$

Donde: D diámetro de la tubería (m), V velocidad del flujo (m/s), la viscosidad cinemática del agua es 1.01*10⁻⁶ m²/s. (m²/s) y Re numero de Reynolds.

Entonces, la velocidad del flujo puede ser hallado mediante la ecuación de continuidad (ecuación 13), el diámetro interno es 0.0224 m.

$$V = \frac{4 * Q}{\pi * D^2} \quad (13)$$

$$V = \frac{4 * 0.000361}{\pi * 0.0224^2} = 0.9161 \text{ m/s}$$

Retornando a la ecuación 12 obtenemos el valor del número de Reynolds:

$$Re = \frac{0.9161 * 0.0224}{1.01 * 10^{-6}}$$

$$Re = 20317.47$$

Una vez determinado el número de Reynolds se puede afirmar que, el fluido transportado en la manguera de polietileno HDPE corresponde a un flujo turbulento. Lo que indica que para determinar el coeficiente de fricción (f) se deberá utilizar la siguiente ecuación.

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{\varepsilon}{3.71 * D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}\right)\right)^2} \quad (14)$$

Donde: ε rugosidad absoluta (m), D diámetro de la tubería (m) y f coeficiente de fricción.

Tabla 8

Tabla de rugosidad absoluta.

Materiales	Rugosidad absoluta
	ε (mm)
Vidrios	0,0003
PVC, CPVC, HDPE	0,0015
Aceros	0,046
Hierros Forjados	0,06
Hierros Dúctiles	0,25
Concretos	0,3 a 3,0

Nota. Extraído de la ficha técnica del fabricante.

Para determinar el valor de la rugosidad absoluta esta depende del material de la tubería de impulsión (Polietileno HDPE) por lo que según la ficha técnica del fabricante este valor es de 0.0015 mm (tabla 8), por lo tanto:

$$f = \frac{0.25}{\left(\log\left(\frac{0.0000015}{3.71 * 0.0224} + \frac{5.74}{20317.47^{0.9}}\right)\right)^2}$$

$$f = 0.0259$$

Finalmente, retornando a la ecuación 11, determinamos el valor de la pérdida de energía por fricción del agua en toda la tubería.

$$H_f = \frac{0.08263 * f * L}{D^5} * Q^2$$

$$H_f = \frac{0.08263 * 0.0259 * 720}{0.0224^5} * 0.000361^2$$

$$H_f = 37.95 \text{ metros}$$

Cálculo de pérdidas en los accesorios

Para cálculo de las pérdidas singulares causados por los materiales hidráulicos en la tubería se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$H_m = k_m * \frac{V^2}{2g} \quad (15)$$

Donde; Km coeficiente de pérdidas de carga de accesorios hidráulicos, g aceleración de gravedad (m^2/s), V velocidad media del flujo en la tubería (m/s), y Hm perdida de carga debida a los accesorios (m).

Por lo tanto, primeramente, se deberá tener en cuenta todos los accesorios utilizados en la instalación hidráulica de bombeo solar (ver anexo 6).

Tabla 9

Accesorios utilizados en el sistema hidráulico y coeficiente de perdidas.

Accesorios	Cantidad	Coeficiente de pérdidas (km)
Uniones copla PN 16	7	0.3
Codo 90° HDPE	1	0.9

Nota. Extraído de la ficha técnica del fabricante.

Ya teniendo en cuenta la ecuación 15 determinamos las pérdidas de carga en las 7 uniones (copla PN 16) donde el coeficiente de pérdida (Km) según tabla 9, pertenece a un valor de 0.3.

$$H_m = \left(0.3 * \frac{0.9161^2}{2 * 9.81} \right) * 7$$

$$H_m = 0.013 \text{ metros}$$

Finalmente, utilizando la misma ecuación 15 determinamos las pérdidas de carga en el codo 90° PN 16. Asimismo, el coeficiente de perdida (Km), según tabla 9 corresponde a un valor de 0.9.

$$H_m = \left(0.9 * \frac{0.9161^2}{2 * 9.81} \right)$$

$$H_m = 0.039 \text{ metros}$$

3.4.10 Cálculo del punto de operación de la bomba sumergible

El punto de operación de la bomba sumergible es representado por la intersección de la curva característica de la bomba y la curva característica del sistema.

Curva característica de la bomba sumergible

De acuerdo a la curva de trabajo de la bomba sumergible según la ficha técnica del fabricante (Figura 29) se realizó lecturas de puntos de trabajo de caudales para diferentes alturas donde se obtuvo los siguientes datos:

Tabla 10

Datos numéricos de la curva que caracteriza a la bomba sumergible Nastec 4HS01/03HMP

Caudal(m3/h)	Altura (metros)
0	240
1.1	230
1.15	210
1.2	190
1.25	170
1.28	150
1.32	130
1.35	110
1.35	90
1.35	70

Nota. Extraído de la ficha técnica del fabricante.

Con los valores de la tabla 10 y la ejecución en el software Microsoft Excel se realizó la gráfica de la curva que caracteriza a la bomba sumergible y la regresión polinómica de segundo orden, donde la ecuación de la curva característica de la bomba sumergible es la siguiente:

$$H_m = -341.880342Q^2 + 369.2307692Q + 237.5213675 \quad (16)$$

Donde: H_m altura manométrica (m) y Q caudal (m³/h)

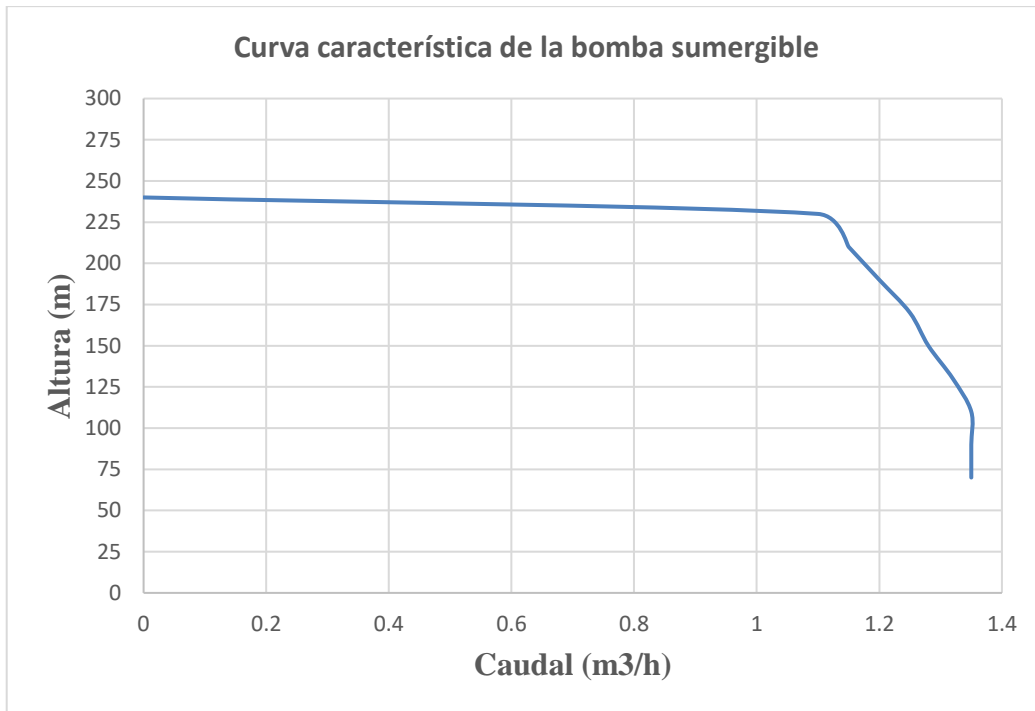


Figura 32. Curva que caracteriza a la bomba sumergible.

Curva del sistema

Para determinar la gráfica de la curva del sistema se considerarán los datos sobre las pérdidas de carga por fricción que se hallaron anteriormente, por lo que se tiene la siguiente expresión:

$$H_d = H_e + H_f \quad (17)$$

Donde: H_e altura estática (120 m), H_f pérdidas de carga por fricción y H_d altura dinámica

Para hallar las pérdidas de fricción usamos la fórmula de Darcy-Weisbach:

$$H_f = \frac{0.08263 * f * L}{D^5} * Q^2$$

Donde: H_f es la pérdida por fricción (m), Q caudal de diseño ($0.000361 \text{ m}^3/\text{s}$), f coeficiente de fricción (0.0259), D diámetro de la tubería (0.0224 m) y L longitud total de la tubería (720 m).

Entonces, utilizando la fórmula de Darcy – Weisbach para diferentes valores de caudal, se calcularon los datos de pérdida de carga por fricción mostradas en la siguiente tabla.

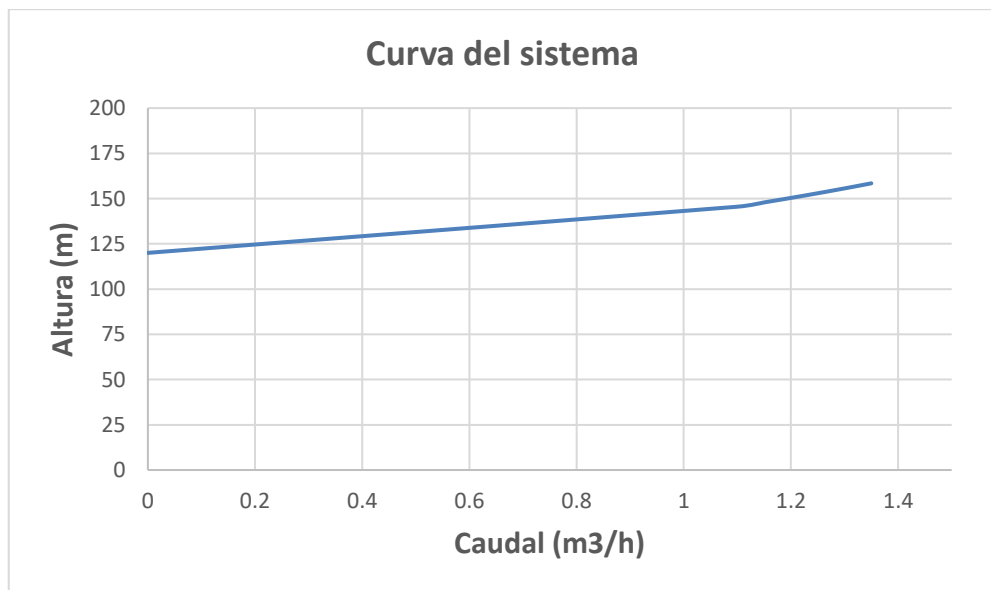
Tabla 11*Datos de pérdidas por fricción para diferentes caudales.*

Caudal (m3/h)	Caudal m3/s	H fricción (m)	H estática (m)	H dinámica (m)
0	0.00000	0.000	120	120.00
1.1	0.00031	25.510	120	145.51
1.15	0.00032	27.882	120	147.88
1.2	0.00033	30.359	120	150.36
1.25	0.00035	32.942	120	152.94
1.28	0.00036	34.542	120	154.54
1.32	0.00037	36.734	120	156.73
1.35	0.00038	38.423	120	158.42
1.4	0.00039	41.322	120	161.32

Nota. Autoría propia.

Con los valores de la tabla 11 obtenidos según la ecuación de Darcy - Weisbach y la ejecución del software Microsoft Excel se realizó la gráfica de los valores del caudal y las pérdidas para obtener la curva del sistema, asimismo, se realizó la regresión polinómica de segundo orden para obtener la ecuación de la curva de sistema:

$$H_m = 21.0826365Q^2 + 5.45697 \times 10^{-12} - 12Q + 120 \quad (18)$$

**Figura 33.** Curva del sistema (Elaboración propia).

Punto de operación

El objetivo para encontrar el punto de operación de funcionamiento es determinar en donde las ecuaciones 16 y 18 sean iguales.

$$F(Q)_{\text{Curva característica}} = f(q)_{\text{curva sistema}}$$

si estas ecuaciones lo igualamos a cero, el problema se convierte en hallar el cero o la raíz de esta nueva función.

$$F(Q)_{\text{Curva característica}} - f(q)_{\text{curva sistema}} = 0$$

Por lo que el punto de operación se puede hallar gráficamente.

3.4.11 Implementación del sistema de bombeo solar

La implementación del sistema de bombeo solar consta del generador fotovoltaico, la estructura de soporte, y la bomba sumergible. El sistema de generación solar este encargado de producción de energía eléctrica en CC esta será conectada directamente a la bomba sumergible el cual el variador de frecuencia está integrado en el motor.

Montaje de la estructura de soporte

El montaje de la estructura de soporte es de fierro galvanizado, donde se hizo el armado y el empotrado de los 4 tubos de soporte, posteriormente se coloca los largueros de soporte de manera vertical; debido a que se trata de una estructura fija, el montaje de la estructura fue orientado al norte a una inclinación óptima de 20° (Figura 34).



Figura 34. Montaje y armado de la estructura de los paneles.

Montaje de módulos fotovoltaicos

Una vez fijada la estructura de soporte se realiza el montaje de los tres módulos fotovoltaicos, fijándolos con un tornillo autopercutor en cada agujero que por defecto viene en los módulos solares.



Figura 35. Montaje de los módulos fotovoltaicos.

Implementación de la bomba sumergible

En esta etapa se realizó el armado de la bomba sumergible de rotor helicoidal, la bomba sumergible tiene un diámetro de 99mm y una dimensión 1385mm de largo.



Figura 36. Armado de la bomba sumergible de rotor helicoidal.

Teniendo en cuenta las medidas de la bomba se ha encapsulado en una tubería de PVC de 6" esto con la finalidad de protección a la bomba y así evitar daños con residuos metálicos y peligrosos que pueda transportar el río (Figura 37).



Figura 37. Encapsulado de la bomba sumergible NASTEC 4HS 01/03H MP.

Así mismo, cabe mencionar que esta bomba sumergible internamente está compuesta por un variador de velocidad que transforma la energía en corriente continua a corriente directa y así mismo regula la frecuencia de la bomba sumergible está en relación a radiación solar disponible, las protecciones contra sobrecargas, temperatura excesiva y funcionamiento en seco también están integradas. Además, se trata de una bomba sumergible compuesto por rotor helicoidal lo que lo hace aún más interesante debido a que, a diferencia de las bombas centrifugas, la bomba sumergible de rotor helicoidal, ofrece una presión casi constante incluso aun si trabaja a bajas revoluciones proporcionando así recurso hídrico en la superficie final, aunque hubiera baja radiación solar.

Considerando estos aspectos, procedió con el armado de la bomba sumergible de rotor helicoidal, la instalación se realizó en la parte más profunda del río, la bomba sumergible fue instalado de manera horizontal en donde tiene un soporte de madera para la fijación de esta (Figura 38). en la salida de agua de la bomba sumergible se adaptó con tubería de polietileno HDPE de 1".



Figura 38. Instalación de la bomba sumergible NASTEC 4HS 01/03H MP.

Se realiza el tendido de la manguera polietileno HDPE en todo el recorrido desde el río hasta el lugar del almacenamiento.



Figura 39. Tendido de la manguera polietileno HDPE 1" PN 16.

3.4.12 Construcción y cálculo del sistema de almacenamiento para recurso hídrico (agua)

Para el cálculo de las dimensiones del almacenamiento de agua, se tomó en cuenta el volumen de agua requerido por día (4665 l/día) considerando un día y medio de autonomía, esto debido a que, si los días de autonomía se incrementan, ello implica aumentar los costos del proyecto. Por lo tanto, para los cálculos se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_a = Q * D_A \quad (19)$$

Donde: Q caudal ($\text{m}^3/\text{día}$), D_A días de autonomía y V_a volumen del almacenamiento (m^3).

$$V_a = 4.665\text{m}^3 * 1.5$$

$$V_a = 6.997\text{m}^3 \approx 7 \text{ m}^3$$

Para el diseño del reservorio consideramos que debe tener una capacidad para almacenar como mínimo 7 m^3 . El reservorio fue cubierto por geomembrana y tiene forma de prisma trapezoidal, además para el cálculo se considera una pendiente (talud) según la siguiente tabla:

Materiales	Talud (V:H)		
	Altura (m)		
	<5	5-10	>10
Gravas, limo arenoso y arcilla	1:1.5	1:1.75	1:2
Arena	1:2	1:2.25	1:2.5
Enrocado	1:1	1:1.25	1:1.5

Figura 40. Taludes referenciales en zonas de relleno (Manual de carreteras DG-2013)

Según la figura 40, para una altura menor de 5m y para un lugar con tipo de material enrocado el talud se considera 1:1, por lo que las dimensiones del reservorio se calculan a partir del volumen del prisma trapezoidal el cual tiene las siguientes medidas:

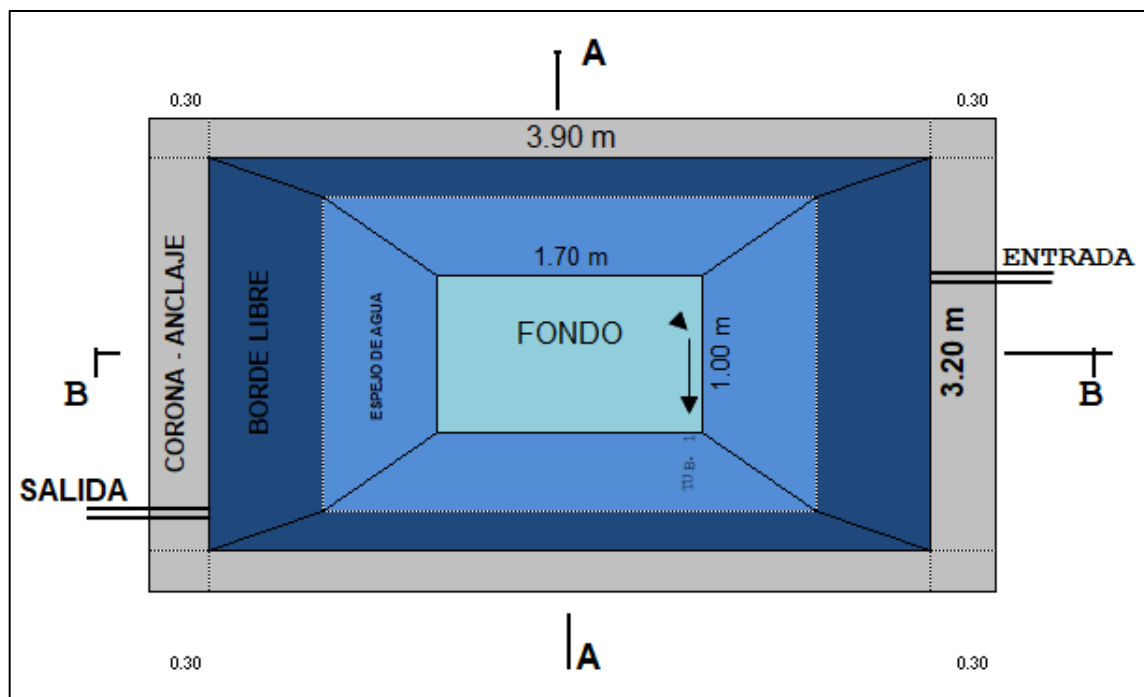


Figura 41. Dimensiones del área del sistema de almacenamiento de recurso hídrico.

Cabe mencionar que, durante las épocas con mayor irradiación (épocas de sequía) la bomba sumergible proporciona un caudal de agua superior a las dimensiones del reservorio

por lo que este cuenta con un rebose de agua el cual aprovecha el volumen de agua excedente en áreas de pastizales. Entonces, ya teniendo las dimensiones del volumen del reservorio, se construyó el sistema de almacenamiento de agua (reservorio bajo tierra) figura 42.



Figura 42. Construcción del sistema de almacenamiento de agua.

Luego de la construcción se realizó el acondicionamiento del sistema de almacenamiento, para evitar algún tipo de daño en la geomembrana, este acondicionamiento se realiza con recursos del lugar (paja y barro), y luego se realizó el tendido de la geomembrana.



Figura 43. Acondicionamiento del sistema de almacenamiento

3.4.13 Cálculo de la relación de caudal bombeado respecto a la radiación solar disponible

El caudal bombeado se determinó realizando las mediciones con un caudalímetro el cual está instalado en la parte final de la manguera polietileno HDPE (120m) y los datos de irradiación que se adquirieron de la data Solargis, las pruebas se realizaron en dos escenarios mes de febrero y mes de agosto (día nublado y un día soleado).



Figura 44. Medición del caudal de salida a 120 metros.

Asimismo, se realizó las mediciones de tensión y corriente del consumo de potencia de la bomba sumergible.



Figura 45. Medición del consumo de potencia de la bomba sumergible.

3.4.14 Análisis económico del bombeo solar respecto al funcionamiento con la red eléctrica

Para este análisis la bomba sumergible seleccionada (4HS 01/03H MP) tiene la particularidad de también conectarse a la energía eléctrica monofásica o la utilización de un grupo electrógeno por lo que, la evaluación económica se realizó con respecto a la utilización de la red eléctrica por un tiempo de 6.4 horas diarias que es equivalente al HSP promedio de la zona.

Para el análisis económico fue necesario hallar la inversión total del proyecto, el cual nos ayudó a calcular si el sistema es viable, en la tabla 12 observamos inversión en la adquisición de materiales utilizados en la instalación del sistema de bombeo solar.

Tabla 12

Inversión en la adquisición de materiales del sistema de bombeo solar.

Inversión en la adquisición de materiales				
Descripción	Cantidad	Unidades	Precio Unitario S/.	Total, S/.
Panel Fotovoltaico	3	Unid.	950.00	2,850.00
Electrobomba Sumergible	1	Unid.	3200.00	3,200.00
Cables	80	Metros	150.00	150.00
Filtro de protección a la bomba	1	Unid.	24.00	24.00
Manguera de polietileno HDPE 1" PN 16	720	Metros	200.00	1,400.00
Unión de manguera de polietileno 1"	10	Unid.	8.00	80.00
Geomembrana	8	Metros	200.00	200.00
Tubería PVC de 6"	1	Unid.	90.00	90.00
Tubería HDPE 1/2"	100	Metros	55.00	55.00
Bushing PVC de 1" A 1 1/4"	1	Unid.	3.00	3.00
Interruptor magnetotérmico DC	1	Unid.	34.00	34.00
Porta fusible	2	Unid.	7.00	14.00
Fusible	2	Unid.	6.50	6.50
Total, de inversión en equipos			8,306.50	

Nota. Autoría propia.

Además de la inversión en la adquisición de materiales, fue necesario realizar el análisis de la inversión en la implementación del sistema mostradas en la tabla 13.

Tabla 13

Inversión en la instalación del sistema de bombeo solar.

Inversión en la implementación del sistema	
Descripción	Precio total S/.
Soporte de los paneles	500.00
Instalación y montaje de los módulos fotovoltaicos	100.00
Armado e instalación de la bomba	100.00
Tendido de tuberías y accesorios	100.00
Elaboración de sistema de almacenamiento	300.00
Total	1,100.00

Nota. Autoría propia.

Entonces para realizar el análisis económico, la inversión total del sistema de bombeo solar asciende a S/. 9,406.50 como muestra la tabla 14.

Tabla 14

Inversión total del sistema (Elaboración propia).

Inversión total de sistema de bombeos solar	
Costos de inversión del proyecto en materiales	S/. 8,306.50
Costos de instalación del proyecto	S/. 1,100.00
Total	S/. 9,406.5 0

Nota. Autoría propia.

Para determinar los indicadores económicos previamente se deberá tener algunos valores como podemos observar en la tabla 15, potencia absorbida de la bomba sumergible a 120m, la

inversión inicial (S/), el ahorro de energía si se utiliza la red eléctrica (1985.6 Kwh/año) funcionando 6.4 horas diarias, el costo de la energía eléctrica según la empresa electro Puno (S/. Kwh), tasa de descuento ofrecidos en las entidades bancarias (%) y periodo de vida útil del sistema de bombeo solar (años).

Tabla 15

Valores para determinar los indicadores económicos (elaboración propia).

Parámetros de entrada	Unidades	Valor
Potencia absorbida por la bomba sumergible	Kw	0.85
Potencia del generador	Kwp	1.41
Inversión inicial	S/	9.406.50
Energía absorbida por la bomba sumergible	Kwh/año	1985.6
Tasa de descuento	%	10
Costo de la energía eléctrica	S/. Kwh	0.8076
Tiempo de vida (módulos fotovoltaicos)	Años	25

Nota. Autoría propia.

Flujos de caja

Para determinar la viabilidad del proyecto, se deben emplear varios criterios que faciliten la identificación de los beneficios e inconvenientes que surgirán de llevar a cabo la evaluación. Estos criterios son los indicadores o índices de rentabilidad, que permiten establecer la viabilidad de un proyecto basándose en el flujo de caja proyectado (Corilla, 2014).

Obtención de los ingresos mediante el ahorro del sistema accionado por la red eléctrica

Para obtener el valor de los ingresos del sistema de bombeo solar respecto al sistema accionado por la red eléctrica se realizó el producto del ahorro de energía eléctrica de 1985.6 Kwh/año y la tarifa del costo de la energía eléctrica según la concesionaria electro Puno 0.8076 S/.Kwh. Por lo tanto:

$$1er\ año = 1985.6\ Kwh/año * 0.8076 = 1603.57\ soles$$

La obtención del ingreso de S/. 1,603.57 es el ahorro representativo que se tiene durante el primer año. Entonces, para completar el flujo para los años posteriores se obtendrán por un incremento de 2% anual, este incremento corresponde según el estudio llevado a cabo por Creus (2014).

Mientras tanto los egresos considerados se harán por el cargo de operación y mantenimiento en donde el costo inicial de operación y mantenimiento por año se consideró el 0.6% de la inversión inicial que se realizó en el sistema de bombeo solar, mientras que para los años posteriores se tendrá un incremento de gastos en operación y mantenimiento del 4% anual, estos incrementos corresponden según el estudio llevado a cabo por Creus (2014).

$$1er\ año_{O\&M} = 0.006 * 9406.50 = 56.44\ soles$$

$$2do\ año_{O\&M} = 56.44 * 0.04 * 56.44 = 58.70\ soles$$

Cabe mencionar que, el mantenimiento será realizado por el usuario al no haber complejidad en ello, ya que este trabajo consta de la limpieza de los módulos fotovoltaicos en esencia por la acumulación de polvo y suciedad en ellos, además una inspección visual y limpieza de residuos acumulados en el filtro de protección de la bomba sumergible, asimismo es necesario mencionar que se consideró un costo de reinversión (año 14) de S/ 3,200.00 para el reemplazo de la bomba sumergible esto debido a que el tiempo de vida útil de la bomba sumergible es de 10 a 13 años. Asimismo, en los egresos se consideró una depreciación lineal de los componentes más importantes (Modulo Fotovoltaico y Bomba sumergible) con un costo de S/ 114.00 y S/ 246.00 anual respectivamente durante los 25 años, con estos valores se logró obtener el flujo de caja mediante ingresos menos los egresos para luego calcular los indicadores económicos comprobar si el proyecto de sistema de bombeo solar es viable o no.

Tabla 16*Determinación de ingreso y egresos del sistema de bombeo solar.*

AÑO	INGRESOS		EGRESOS			FLUJO DE CAJA (S/)
	Ahorro de energía esperado (S/)	Valor Residual (Bomba Solar) (S/)	Operación y Mant. (S/)	Depreciación Modulo FV (S/)	Depreciación Bomba Solar (S/)	
0						-9,406.50
1	1,603.57	0.00	56.44	114.00	246.15	1,186.98
2	1,635.64	0.00	58.70	114.00	246.15	1,216.80
3	1,668.35	0.00	61.04	114.00	246.15	1,247.16
4	1,701.72	0.00	63.49	114.00	246.15	1,278.09
5	1,735.76	0.00	66.03	114.00	246.15	1,309.58
6	1,770.47	0.00	68.67	114.00	246.15	1,341.65
7	1,805.88	0.00	71.41	114.00	246.15	1,374.32
8	1,842.00	0.00	74.27	114.00	246.15	1,407.58
9	1,878.84	0.00	77.24	114.00	246.15	1,441.45
10	1,916.42	0.00	80.33	114.00	246.15	1,475.93
11	1,954.74	0.00	83.54	114.00	246.15	1,511.05
12	1,993.84	0.00	86.89	114.00	246.15	1,546.80
13	2,033.72	0.00	90.36	114.00	246.15	1,583.20
14	2,074.39	0.00	3293.98	114.00	246.15	1,620.26
15	2,115.88	0.00	97.73	114.00	246.15	1,657.99
16	2,158.19	0.00	101.64	114.00	246.15	1,696.40
17	2,201.36	0.00	105.71	114.00	246.15	1,735.50
18	2,245.39	0.00	109.94	114.00	246.15	1,775.30
19	2,290.29	0.00	114.34	114.00	246.15	1,815.81
20	2,336.10	0.00	118.91	114.00	246.15	1,857.04
21	2,382.82	0.00	123.66	114.00	246.15	1,899.01
22	2,430.48	0.00	128.61	114.00	246.15	1,941.72
23	2,479.09	0.00	133.76	114.00	246.15	1,985.18
24	2,528.67	0.00	139.11	114.00	246.15	2,029.41
25	2,579.24	246.15	144.67	114.00	246.15	2,320.57
Σ total	-	-	5,550.45	-	-	-

Nota. Autoría propia.

Evaluación económica del proyecto

Una vez realizado el flujo de caja hasta el año 25 se desarrolló el análisis de viabilidad económica del proyecto.

Valor Actual Neto (VAN)

Llamado también Valor Presente Neto es quien permite dar a conocer la rentabilidad del sistema, considerando una tasa de descuento determinada a lo largo del tiempo de vida útil del sistema de bombeo solar, donde:

Si VAN excede 0 la inversión generaría beneficios que superarían la rentabilidad requerida.

Si VAN es inferior a 0, sucedería lo contrario y, finalmente,

Si VAN = 0, no sería posible discutir ni sobre beneficios ni sobre pérdidas.

El cálculo del valor actual neto se realiza con la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=0}^n \frac{Q_n}{(1+r)^n} - I_0 \quad (20)$$

Donde: n número de periodos considerados, I_0 valor de la inversión, r es la tasa de descuento y Q_n son los flujos de caja.

Tasa interna de retorno

Representa a la tasa de descuento el cual establece el valor descontado de los flujos de caja futuros con el costo de inversión inicial, o sea, equivalente al VAN cero. Indica la rentabilidad, en términos financieros, producidos por un plan de inversión que se basa en la cantidad y el tiempo.

Si la tasa de descuento es menor al TIR, el proyecto es considerado aceptado. Si de lo contrario el TIR es menor se descarta la inversión.

Beneficio / costo

El estudio de la relación entre costo y beneficio es un procedimiento que se lleva a cabo para evaluar la correlación que existe entre la relación que se establece entre el costo de un proyecto y el beneficio. Su meta es establecer si es posible determinar si una inversión futura es rentable o no para una empresa, donde:

$B/C > 1 \rightarrow$ Quiere decir que el VAN de los beneficios es mayor que el VAN de los costos por lo que es aconsejable que se realice el proyecto.

$B/C = 1 \rightarrow$ esto indica que VAN de los beneficios es igual al VAN de los costos, por lo que, el proyecto es indiferente.

$B/C < 1 \rightarrow$ No se recomienda el proyecto, debido a que el VAN de los costos es mayor al de los beneficios.

Periodo de recuperación inversión (PRI)

Es un indicador que calcula el tiempo que tarda un proyecto en recuperar la inversión inicial a través de los flujos de efectivo netos descontados. Su propósito principal es determinar el período en el que el proyecto logra recuperar la inversión inicial (Benito & Ruiz, 2018). Este indicador se puede calcular con la formula siguiente:

$$PRI = a + \frac{(b-c)}{d} \quad (21)$$

Donde, **a** periodo anterior al que se recupera la inversión, **b** es la inversión inicial, **c** es el Flujo de dinero acumulado del año previo en el que se recupera la inversión, **d** es el Flujo de dinero del año en el que recuperas la inversión.

Cálculo del costo de la energía del sistema de bombeo solar

Para calcular el costo de la energía del sistema de bombeo solar es necesario considerar los siguientes factores: la inversión inicial, costos operativos anuales (O&M), la generación de energía anual, vida útil del proyecto y la tasa de descuento. Entonces, la fórmula para calcular el costo de la energía (LCOE) es el siguiente:

$$LCOE = \frac{C_{i,t} + \sum_{t=0}^T \frac{C_{o,t}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^T \frac{E_t}{(1+r)^t}} = \frac{\text{Costo Total Descontado}}{\text{Energía Total Descontada}} \quad (22)$$

Donde: $C_{i,t}$ Costo total de la inversión inicial del sistema de bombeo solar. (S/), $C_{o,t}$ costo operación y mantenimiento anual en el año t (S/ 56.44) lo cuales será extraídos de las tablas 14 y 16 respectivamente, r es la tasa de descuento (10%) y E_t Energía total generada en el año t durante la vida útil del sistema de bombeo solar (KWh), el cual, se determinó de la siguiente manera:

Para el calcular anualmente la energía producida, IDAE (2009) indica que, podemos utilizar la siguiente formula:

$$E_{FV} = P_g * HSP * \eta * 365 \quad (23)$$

Donde: E_{FV} energía fotovoltaica generada (KWh), P_g potencia de generación del sistema (1.41Kwp), HSP hora de sol pico promedio (hrs) y η rendimiento global del sistema (80%).

Para determinar los cálculos de la energía fotovoltaica generada, asimismo, para determinar los indicadores económicos de viabilidad del proyecto se tomó en cuenta un periodo de 25 años que coincide con el tiempo de funcionamiento del sistema de bombeo solar. Por lo tanto, aplicando la ecuación 23 se obtiene:

$$E_{FV/anual} = 1.41 * 6.4 * 0.8 * 365$$

$$E_{FV/anual} = 2635.008 \text{ Kwh/año}$$

Costo total descontado

De acuerdo a la ecuación 22 se determinó los costos totales descontados del sistema de bombeo solar hasta el año 25 con una tasa de descuento del 10% de la siguiente manera:

- **Para el año 1:**

$$C_{o,1} = \frac{56.44}{(1 + 0.10)^1} = 51.31$$

- **Para el año 2:**

$$C_{o,2} = \frac{56.44}{(1 + 0.10)^2} = 46.65$$

Y así sucesivamente el cálculo se debe realizar hasta el año 25.

Energía total descontada

De acuerdo a la ecuación 22 se determinó la Energía total descontada del sistema de bombeo solar hasta el año 25 con una tasa de descuento del 10% de la siguiente manera:

- **Para el año 1:**

$$C_{o,1} = \frac{2,635.008}{(1 + 0.10)^1} = 2,395.46 \text{ KWh}$$

- **Para el año 2:**

$$C_{o,2} = \frac{2,635.008}{(1 + 0.10)^2} = 2,177.69 \text{ kWh}$$

Y así sucesivamente el cálculo se debe realizar hasta el año 25.

Finalmente, retornando a la ecuación 22 se determinó el costo de la energía eléctrica del sistema de bombeo solar.

$$LCOE = \frac{9,406.50 + \sum_{t=1}^{25} \frac{56.44}{(1 + 10\%)^t}}{\sum_{t=1}^{25} \frac{2635.008}{(1 + 10\%)^t}}$$

$$LCOE = \frac{9,406.50 + 512.31}{23,918.07}$$

$$LCOE = 0.41 \text{ S/ .kWh}$$

CAPÍTULO IV - RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 Resultados del dimensionamiento e implementación del sistema de bombeo solar

Teniendo en cuenta todos los factores que determinan el cálculo del caudal, se obtiene como resultado una cantidad de 4665 l/día.

Tabla 17

Necesidad de recurso hídrico requerido para el abastecimiento de agua de los animales

Parámetros	Unidad	Valor
Necesidad de agua por vaca (Cv)	Lt/día/vaca	150
Cantidad de vacas (Nv)	Und	15
Agua por materiales de ordeño (Mo)	Lt	165
Cantidad de vacas en proyección (Pv)	Und	15
Caudal necesario del sistema (Q)	4665 l/día	

Nota. Autoría propia.

Considerando los días de autonomía del sistema se obtiene un total de 7 m^3

$$V_a = 4.665\text{m}^3 * 1.5$$

$$V_a = 6.997\text{m}^3 \approx 7 \text{ m}^3$$

Según el perfil longitudinal en el aplicativo Google Earth, la diferencia de cotas 4088(lugar del almacenamiento del sistema) y 3968 (Ubicación del sistema de bombeo) nos da como resultado la altura estática total del sistema que es de 120 metros, además una distancia de recorrido de la tubería de 720 metros el cual esta dividido en 7 tramos de 100 metros c/u y un tramo de 20 metros (Ver anexo 9).

Como muestra la figura 46, la altura dinámica es de 158 metros, y las pérdidas de fricción es un total de 38 metros.

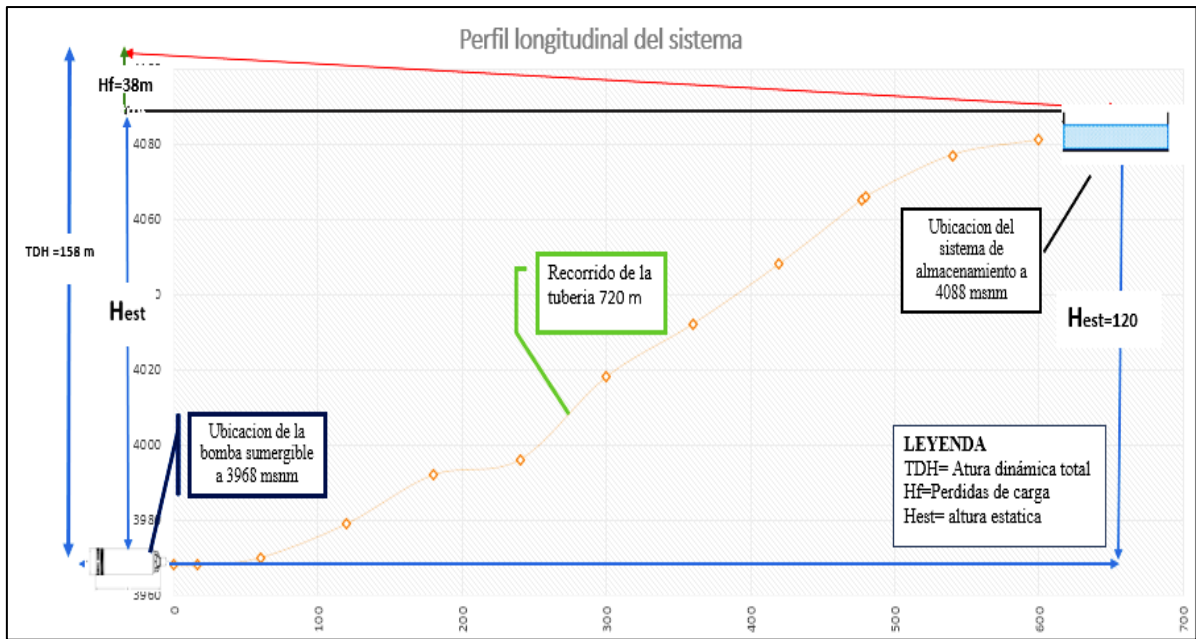


Figura 46. Perfil longitudinal del sistema.

La tabla 18, nos muestra como resultado los valores promedio de irradiación por meses donde, el software SOLARGIS maneja data con antecedentes (1999-2024) por consiguiente, para presentar este estudio se realizó el análisis de la irradiación global en el plano inclinado, según el software considera un ángulo de inclinación de 20°.

Tabla 18

Información del potencial energético solar de la comunidad campesina de Selque 2024 (elaboración propia).

Meses	Irradiación promedio en (KWh/m ² -día)		HSP
	En el plano inclinado (20°)	En el plano horizontal	
Enero	5.26	5.86	5.26
Febrero	5.02	5.32	5.02
Marzo	5.90	5.82	5.90
Abril	6.46	5.85	6.46
Mayo	6.99	5.80	6.99
Junio	7.13	5.66	7.13
Julio	7.21	5.84	7.21

Agosto	7.42	6.44	7.42
Setiembre	6.96	6.62	6.96
Octubre	6.55	6.79	6.55
Noviembre	6.47	7.18	6.47
Diciembre	5.42	6.15	5.42
Promedio Anual	6.40	6.11	6.40

Nota. Autoría propia.

4.2 Resultados del dimensionamiento del sistema de bombeo solar

Según los cálculos teóricos la potencia eléctrica que requiere la bomba sumergible dio como resultado de 0.87 kw y la energía hidráulica es de 2.289 kwh

La bomba sumergible escogida posee una potencia máxima de 1.3 Kw, con un flujo de caudal de máximo de 1.35m³/h y una capacidad de bombeo de 230 metros de altura.

Tabla 19

Características de la bomba sumergible Nastec Multipower modelo 4HS 01/03H MP.

MODELO 4HS 01/03H MP	
Rango de tensión de trabajo (V)	90-400 VDC- 90-265 VAC
Corriente máxima absorbida (A)	13 (100 VDC)- 13 (100 VAC)
Factor de potencia	1
Potencia máxima absorbida (W)	1300

Nota. Autoría propia.

Asimismo, debido a que se seleccionó la bomba sumergible Nastec 4HS 01/03H MP, se realizó el análisis del punto de operación de la bomba sumergible donde, gráficamente resulto los siguientes valores: 154.10 metros de altura y 1.3108 m³/h.

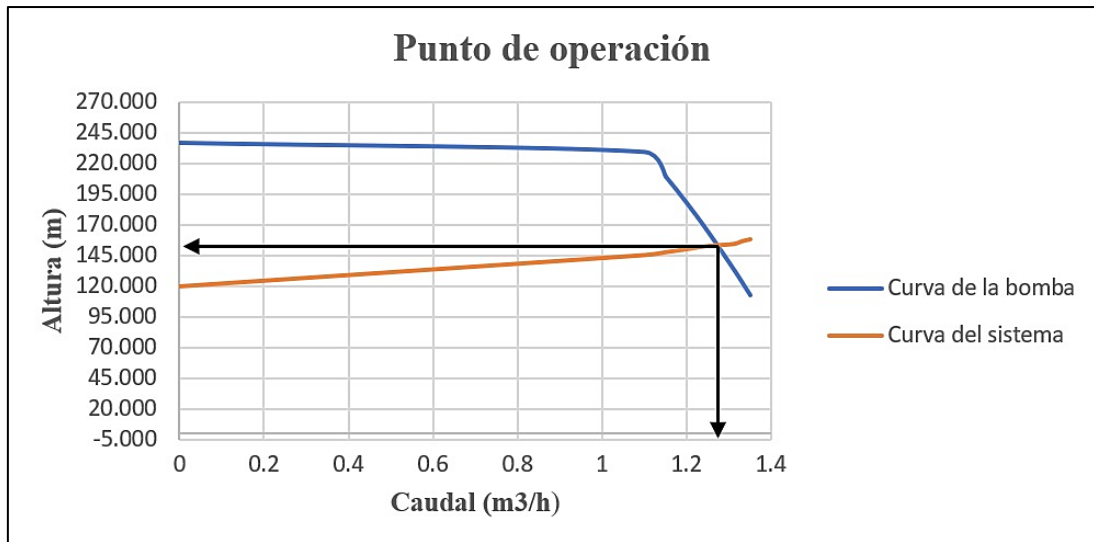


Figura 47. Punto de operación de la bomba sumergible (Elaboración propia).



Figura 48. Bomba sumergible Nastec Multipower implementado en la comunidad campesina de Selque.

El generador fotovoltaico del sistema, para la bomba sumergible seleccionada es de 3 módulos fotovoltaicos monocristalinos Jinko Solar modelo JKM470N-7RL3 con una potencia de generación de 470 W cada uno que fueron conectados en serie, el cual hace una potencia total de 1410 Wp.

Asimismo, para el máximo aprovechamiento de recurso solar durante todo el año, el montaje de los módulos se realizó con una inclinación de 20°, según recomendación de la plataforma Solargis, y tomando en cuenta la posición del sol en diferentes épocas del año.



Figura 49. Sistema de generación fotovoltaica de 1,41 kw implementado en la comunidad campesina de Selque.

Resultados de la sección del conductor eléctrico CC.

La sección del conductor eléctrico se determinó a través de la ecuación 7 tomando en cuenta una caída de tensión de 1.5%, una distancia de 30 metros del tablero hasta la bomba sumergible, parámetros eléctricos de generación $I_{mpp} = 10.86$ Amp y $V_{mpp} = 129.84$ V, por lo tanto:

$$S = \frac{2 * 30 * 10.86}{58 * 1.9476}$$

$$S = 5.77 \text{ mm}^2$$

Seleccionando un conductor comercial, usaremos un conductor inmediato superior de 6mm^2 .

4.3 Resultados del almacenamiento del sistema de bombeo solar

Debido a que el caudal diario corresponde a $7\text{m}^3/\text{día}$, entonces, se determinó realizar el reservorio de las siguientes dimensiones:

Tabla 20

Resultado de las dimensiones del sistema de almacenamiento.

Dato	Medida	Unidades
Altura del reservorio (h)	1.10	Metros
Borde libre	0.30	Metros
Talud	1:1	
Caudal de entrada	1.3	m ³ h
Largo del borde libre (H)	3.90	Metros
Ancho del borde libre (B)	3.20	Metros
Tubería de ingreso	1"	Pulgada
Largo del fondo	1.70	Metros
Ancho del fondo (b)	1.00	Metros

Nota. Autoría propia.

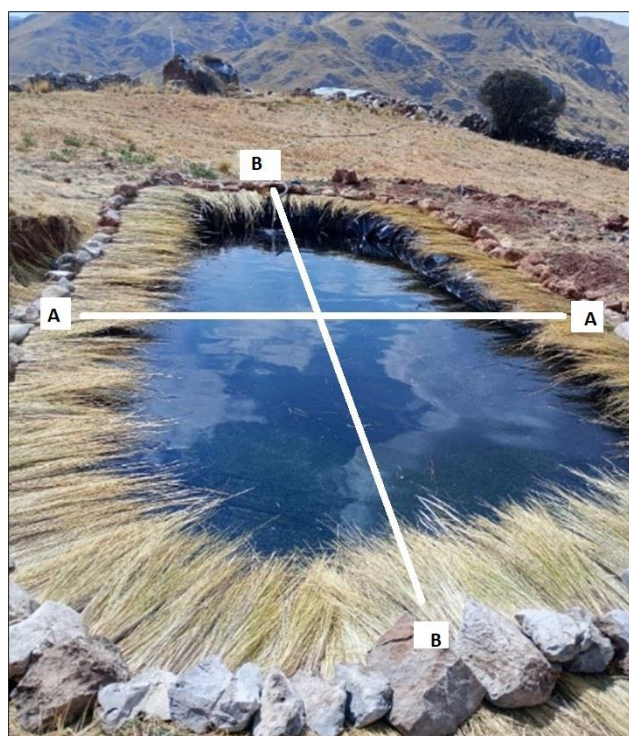


Figura 50. Resultado del sistema de almacenamiento de agua del sistema de bombeo solar.

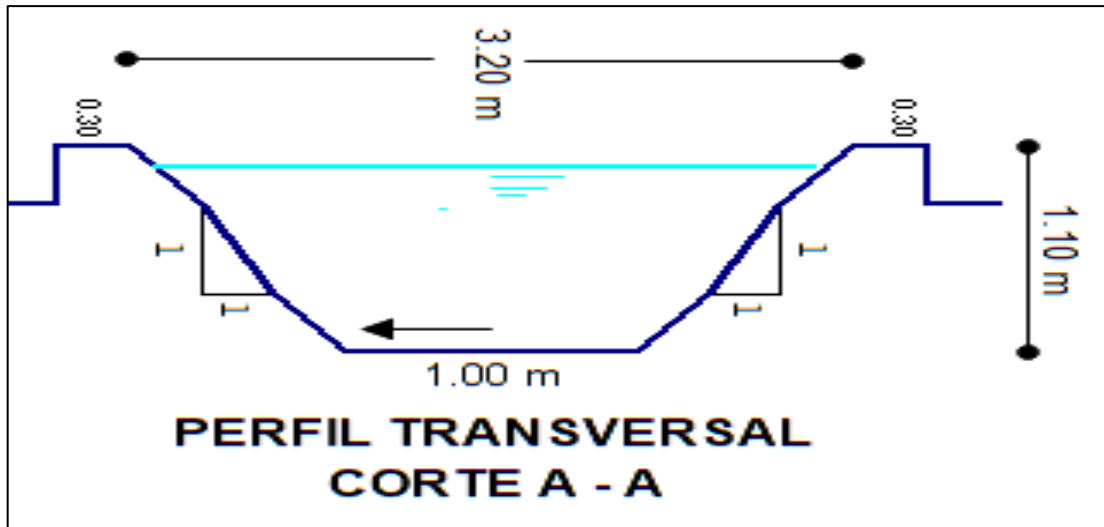


Figura 51. Perfil transversal del sistema de almacenamiento (Elaboración propia)

A partir del perfil transversal hallamos la medida de la pendiente el cual es de 1.83m y además la medida del ancho de la geomembrana de 5.36 metros.

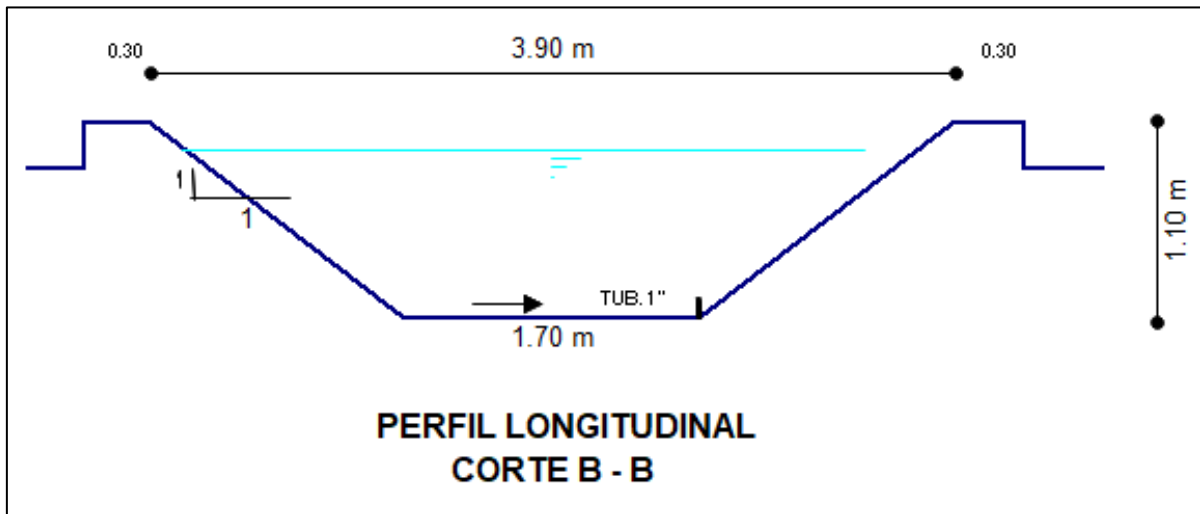


Figura 52. Perfil longitudinal del sistema de almacenamiento (Elaboración propia).

A partir del perfil longitudinal obtenemos la medida del largo de la geomembrana, el cual es de 6,16 metros.

Teniendo las respectivas longitudes del sistema de almacenamiento de la tabla 20, y aplicando la formula del volumen de un prisma trapezoidal se determina que el volumen total del reservorio tiene una capacidad de 9m^3 .

4.4 Relación de caudal bombeado y la radiación solar disponible del lugar a 120 metros de altura

Para el análisis de la relación de caudal bombeado y radiación solar disponible se realizó para dos escenarios, el primero en un día despejado libre de sombras promedio del mes de agosto (mes favorable con radiación solar) y el segundo para un día nublado promedio del mes de febrero (mes más desfavorable en radiación solar).

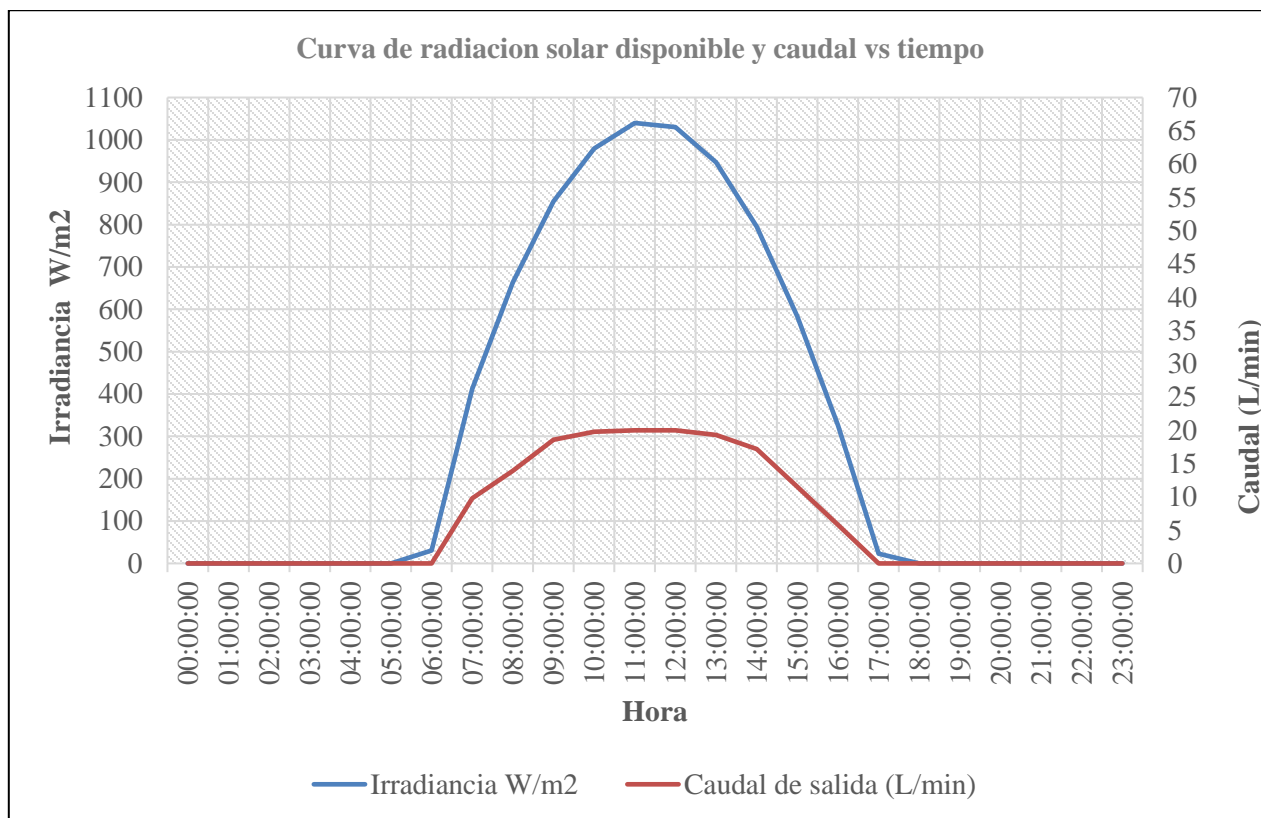


Figura 53. Curva de radiación solar disponible y caudal bombeado en un día con insolación constante del mes de agosto.

Para el análisis del caudal de bombeado se evaluó en promedio el 25 de agosto como un día con insolación constante. Por lo cual en la figura 53 observamos que el caudal es directamente proporcional a la irradiación, el caudal empieza a suministrar a partir de las 07:00am con una irradiación mínima de 326 W/m², mientras que, si la irradiación es superior a los 800 W/m² el caudal de salida se mantiene constante con una capacidad de 19-20 L/min, finalmente, a partir de las 16:00pm la bomba sumergible no suministra de caudal a esta altura

esto debido a que la generación fotovoltaica ya no suministra la potencia necesaria absorbida por la bomba sumergible.

Donde el volumen de agua almacenado durante este día, fue de 8.01m^3 /día superior al caudal de demanda que se requiere, por lo tanto, el tiempo de funcionamiento de bombeo fue de 6.68 horas.

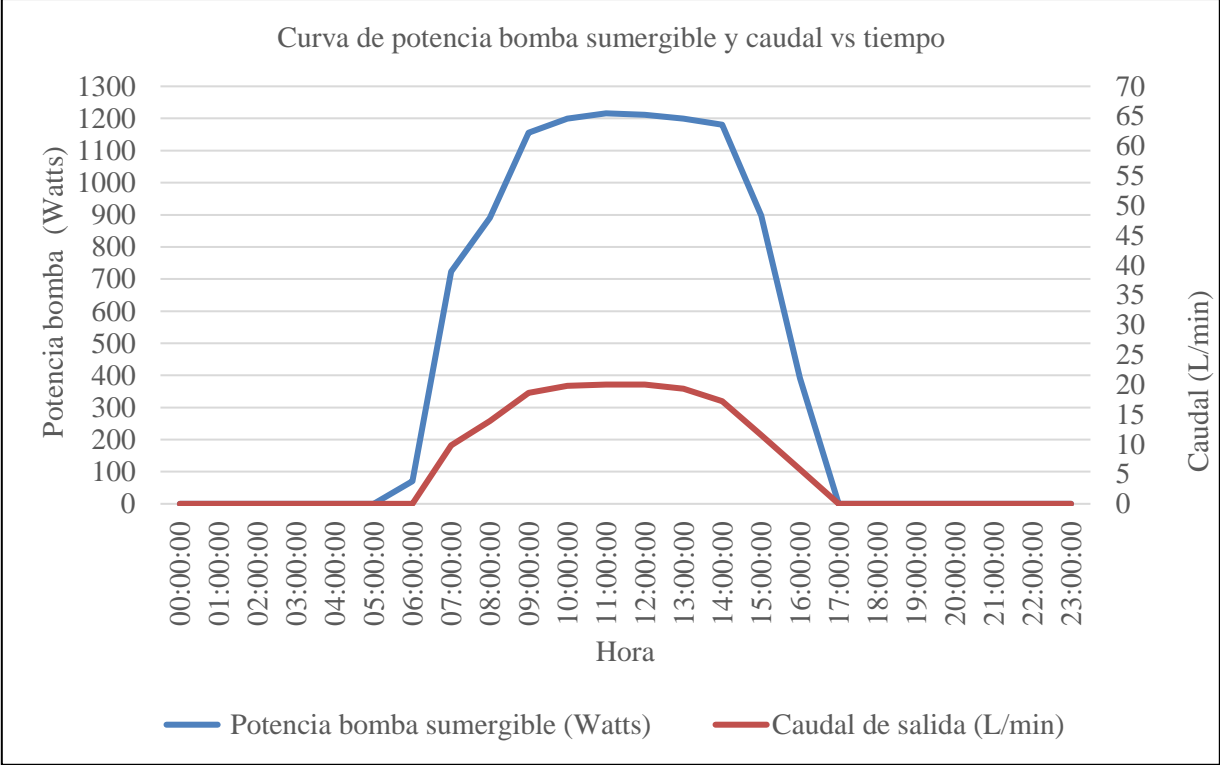


Figura 54. Curva de caudal bombeado vs la potencia absorbida por la bomba sumergible en un día con insolación constante del mes de agosto.

Asimismo, considerando en promedio el 25 de agosto como un día con insolación constante, en la figura 54 se observa que alrededor de las 11:00:00 am, el caudal alcanza su máximo caudal de 20 L/min cuando la bomba sumergible llega a los 1200 Watts de potencia de consumo y comienza a disminuir a partir de las 13:00:00 pm y en consecuencia disminuir gradualmente hasta llegar a los 0 L/min a las 16:00:00 pm con una potencia de la bomba sumergible de 391 Watts. Además, el gráfico muestra que la potencia absorbida por la bomba sumergible es directamente proporcional al caudal de bombeo, finalmente, es claro mencionar que este gráfico muestra el típico comportamiento del caudal de salida con un día despejado libre de sombras.

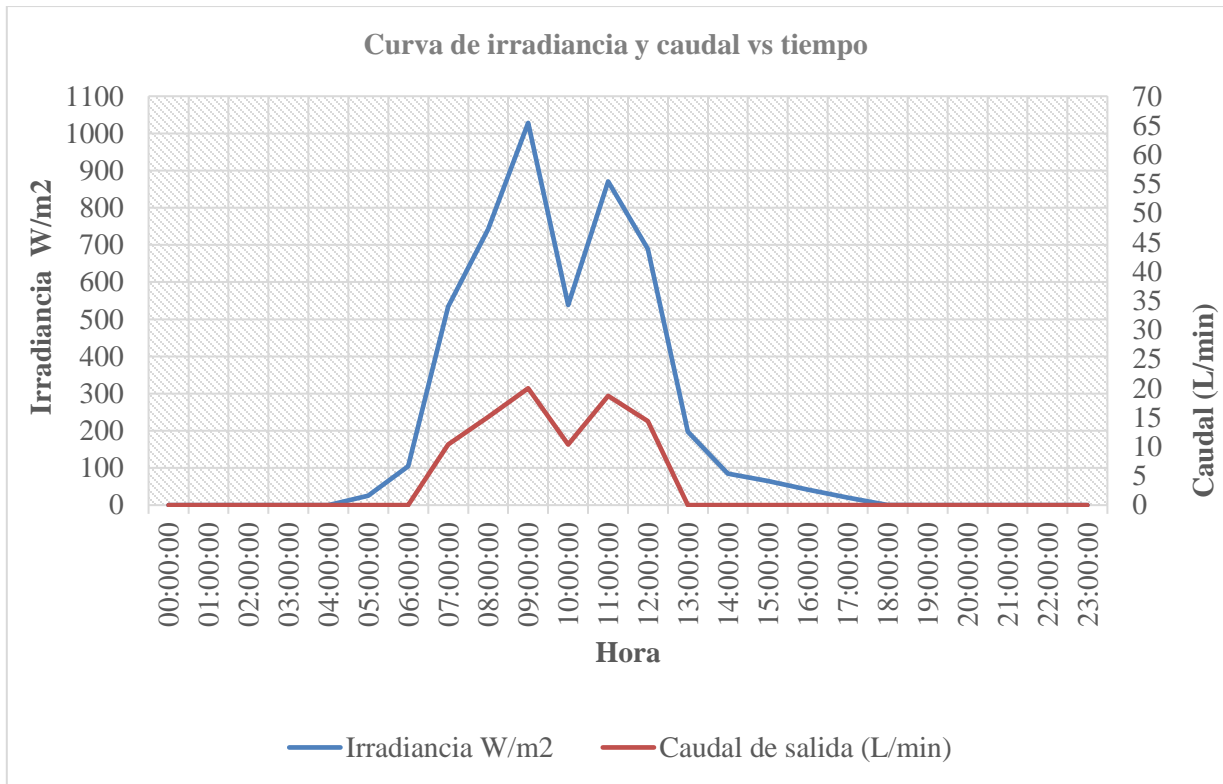


Figura 55. Curva de caudal bombeado en un día nublado del mes de febrero.

Para el análisis del caudal bombeado se determinó en promedio el 23 de febrero como un día con nubosidad. Por lo cual en la figura 55 observamos que el caudal es directamente proporcional a la irradiación, el caudal empieza a suministrar a partir de las 07:00am con un caudal mínimo; debido a que, el factor climático durante estos meses es constantemente interrumpido por lluvias y constantes nubosidades el caudal de salida es intermitente y variable en el tiempo por lo que, si se tiene irradiancia superiores a los 800 W/m² el caudal se mantiene constante con una capacidad de 20 L/min mientras que, cuando la nubosidad es considerable la bomba sumergible no suministra de caudal a esta altura esto debido a que la generación fotovoltaica no suministra la suficiente potencia absorbida por la bomba sumergible.

Donde el volumen de agua almacenado en este día fue de 4.47 m³/día inferior al caudal de demanda que se requiere, por lo tanto, el tiempo de funcionamiento de bombeo fue de 3.73 horas, debido a que este mes el factor climático es desfavorable, ya que presenta nubosidades y lluvias constantes.

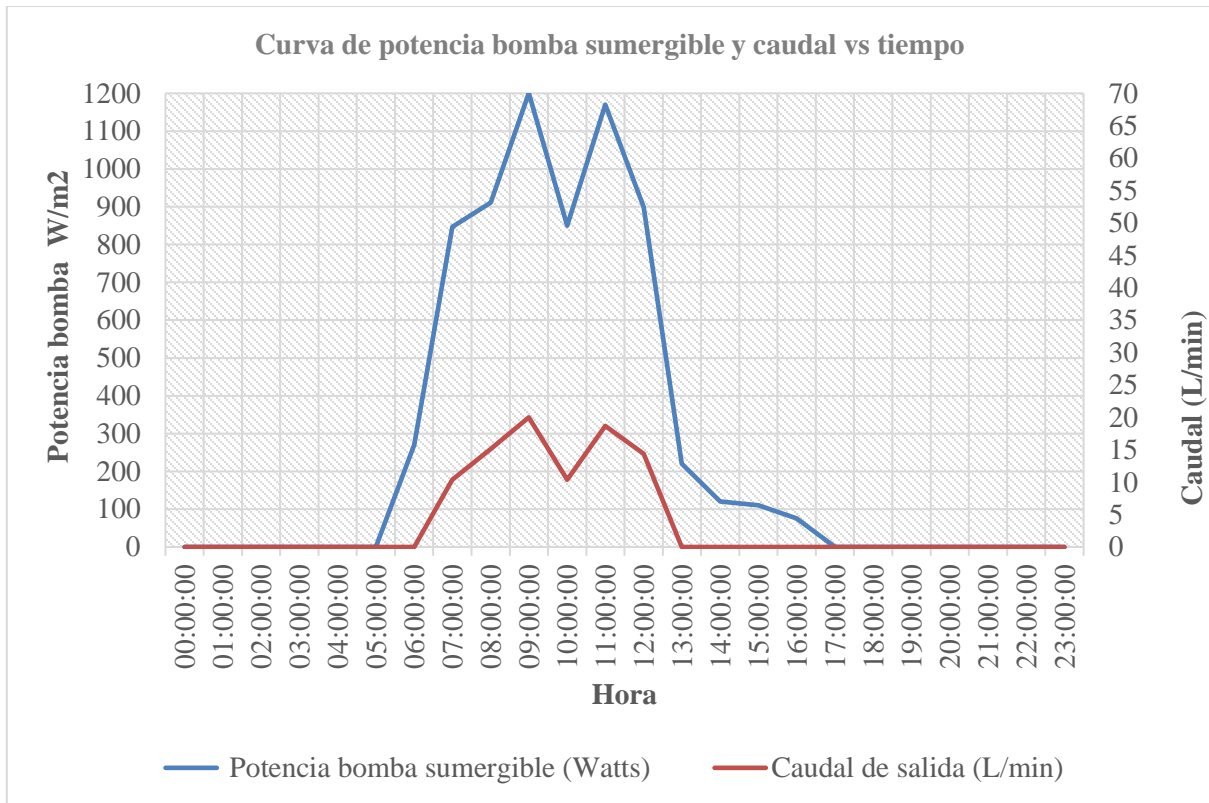


Figura 56. Curva de caudal bombeado vs la potencia absorbida por la bomba sumergible en un día nublado del mes de febrero.

Asimismo, considerando en promedio el 23 de febrero como un día con nubosidad, en la figura 56 se observa que alrededor de las 09:00:00 am, el caudal alcanza su máximo caudal de 18 L/min cuando la bomba sumergible llega a los 1205 Watts de potencia de consumo, al ser un día con nubosidad en consecuencia se tiene bastante intermitencia en el caudal de salida lo que hace que durante estas épocas de lluvias el sistema de bombeo solar no sea constante con el suministro hídrico y es así que, según la figura a partir de las 13:00:00 pm el caudal es de 0 L/min con una potencia en la bomba inferior a los 360 Watts. Además, el grafico muestra claramente que la potencia absorbida por la bomba sumergible es directamente proporcional al caudal de bombeo, finalmente, es claro mencionar que este grafico muestra el típico comportamiento del caudal de bombeado con un día con nubosidad (intermitencia con el recurso solar).

4.5 Resultados del análisis económico

En la tabla 21 observamos los valores de los índices económicos para el sistema de bombeo solar, donde aplicamos las ecuaciones 20 y 21 para obtener los índices económicos, estos resultados se obtuvieron utilizando el software Microsoft Excel para ello se tomó en cuenta un periodo de 25 años, tiempo correspondiente a la operación del sistema de bombeo solar

Tabla 21

Resultado de los índices económicos.

Indicadores económicos	Unidades	Valores
VAN-Valor Actual Neto	S/.	2,804.67
TIR- Tasa Interna de retorno	%	13%
B/C Beneficio – Costo	B/C	1.30
Recuperación de la inversión	Años	9.54

Nota. Autoría propia.

Asimismo, en la tabla 21 refleja un VAN en S/ 2,804.67 soles en el presente. a una tasa de descuento del 10%. es decir, es la ganancia que se obtendrá respecto a la inversión realizada, entonces al obtener la tasa de descuento menor a la tasa interna de retorno, indicamos, que conviene ejecutar el proyecto. Así mismo, el periodo de recuperación muestra que, 9.54 años es lo que demora el proyecto en recuperar la inversión inicial incluyendo la reinversión que se realiza en el año 14. Finalmente, la relación beneficio-costos es de 1.30 lo cual indica que, por cada 1 sol que se invierte genera un beneficio de 0.30 centavos., asimismo, explica que el valor presente de los costos es menor que el valor presente de los beneficios, es decir que el proyecto brinda mayor rentabilidad y por lo tanto es viable financieramente.

Tabla 22*Comparación de costos de la energía eléctrica del sistema de bombeo solar y la red eléctrica.*

	Sistema de bombeo solar	Red eléctrica (Electro Puno)
Precio de la energía (S/. Kwh)	0.41	0.8076
Generación de energía a 25 años (Kwh).	65,875.2	65,875.2
Costo total a 25 años (S/.)	27,008.832	53,200.812
Ahorro durante 25 años (S/.)		26,191.98

Nota. Autoría propia.

En la tabla 22 se observamos el análisis comparativo de la tecnología de bombeo solar y la energía convencional a 25 años donde el precio de la energía de bombeo solar (LCOE) es de 0.41 S/.Kwh , mientras que el costo de la red eléctrica es de. 0,8076 S/.Kwh entonces, considerando la producción de energía eléctrica a 25 años se determinó el costo total a facturar, y al realizar una diferencia de estas, muestra un ahorro significativo de S/. 26,191.98

CAPÍTULO V - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

La presente investigación se dimensionó los componentes para el sistema de bombeo solar, el cual se calculó una potencia producción fotovoltaica de 1.41Kwp, una bomba sumergible de 1.5HP, para una irradiación promedio anual de 6.40 Kwh/m²-día (inclinación de 20°). Asimismo, se realizó la implementación de estos componentes principales, donde este sistema de bombeo solar suministra de recurso hídrico a una altura total de 120 metros.

Se logro realizar el cálculo de las dimensiones del almacenamiento de recurso hídrico (reservorio bajo tierra), en el cual se consideró el análisis de número de animales (vacas), la proyección de incrementar animales al doble, y el uso del recurso hídrico para limpieza de materiales de ordeño, donde se obtuvo una demanda de agua de 7m³/día. Por lo tanto, las dimensiones para la construcción del reservorio en forma de prisma trapezoidal, bajo tierra el largo de fondo mide de 1.70 metros y un ancho de 1.0 metros, así también la medida de la superficie del borde de largo tiene una medida de 3.90 m y un ancho de 3.20 m, reduciendo el borde libre a 0.30 metros, dando así un volumen del reservorio 9m³ el cual es superior a nuestra demanda de agua.

Se determinó el caudal bombeado a 120m en dos escenarios, un día (lluvia y nubosidad constante) durante el mes de febrero donde, el caudal y la potencia absorbida por la bomba sumergible es proporcional a la irradiación solar, por lo que el volumen de agua almacenado durante el día es de 4.47 m³/día inferior a lo requerido, mientras que el caudal de salida en un día durante el mes agosto (radiación solar constante) el caudal bombeado es constante por lo que el volumen de agua es de 8.01m³/día, así se concluye que el caudal bombeado es directamente proporcional al comportamiento de la irradiación solar.

Los resultados de la evaluación económica demuestran que la implementación de bombeo solar en la zona es viable económicamente, así también los resultados de los valores económicos son: VAN= S/2,804; TIR= 13%; PRS=9.54 años; B/C=1.30. Además, al realizar la comparación de costos de un sistema fotovoltaico y la red eléctrica, claramente existe un ahorro económico de S/. 26,191.98, esto debido a que el precio de la energía del sistema de bombeo solar es de 0,41 S/. Kwh inferior al precio de la energía de la concesionaria de Electro Puno.

5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar la implementación de la tubería de 1” mínimamente de clase PN16 ya que el fluido trasportado está ejerciendo presión para una altura considerable, esto ayudara a evitar rupturas en la manguera y en consecuencia gastos insulsos económicamente.

Para todo el tendido de la manguera del fluido, se recomienda soterrarlo, debido a que este puede sufrir daños físicos, rupturas, degradación, etc.

Para la implementación de la bomba sumergible independientemente donde se instale ya sea en pozos subterráneos o ríos, se recomienda construir un filtro de protección para evitar daños mecánicos en la bomba sumergible y así alargar la vida útil de estos.

Para el sistema de bombeo solar se recomienda hacer periódicamente la limpieza del sistema de generación fotovoltaica, así mismo la limpieza del filtro construido de la bomba sumergible.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilera, A. (2017). El costo-beneficio como herramienta de decisión en la inversión en actividades científicas. *Cofin vol.11 no.2 La Habana jul.-dic. 2017, 11*.
- Alata, J. E. (2015). Dimensionamiento de un sistema de bombeo con paneles solares - caso UNALM. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Alfaro, J. L. (2016). Diseño De Un Sistema De Bombeo Fotovoltaico Para Suministrar De Agua Al Caserío Plan Manzanas, Provincia Y Departamento Cajamarca. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Cesar Vallejo, Trujillo.
- Autoridad Nacional del Agua. (28 de Agosto de 2023). Obtenido de Autoridad Nacional del Agua: <https://www.gob.pe/institucion/ana/noticias/825198-puno-ana-del-midagri-pone-en-funcionamiento-primer-pozo-con-panel-solar-y-electrobomba-en-distrito-capachica-para-enfrentar-deficit-hidrico>
- Benito, G., & Ruiz, K. (2018). Análisis beneficio-costos de la implementación de un sistema de energía solar fotovoltaica en el campus aguasclaras de la Universidad Santo Tomás. *Tesis de Maestría*. Universidad Santo Tomás, Colombia.
- Cabrera, I., & Fermín, R. (2003). Celdas Fotovoltaicas para Energizar un Sistema. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa, México.
- Chavarría, A. (2018). Sistema de bombeo solar en un pozo con detección automática de la calidad del agua para la comunidad de Los Ángeles, La Cureña. (*Tesis de Pregrado*). Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Corilla, D. R. (2014). Diseño de una planta solar fotovoltaica de 200Kw conectado a la red de media tensión en el departamento de Ica. (*Tesis de pregrado*). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima - Perú.
- Creus, A. (2014). *Energías Renovables*. (Segunda edición).
- Dávalos, J. (2019). Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para riego agrícola en el caserío de guayaba, distrito de Bellavista, Jaen-Cajamarca. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional de Jaen, Jaen, Perú.

- Díaz , T., & Carmona, G. (2018). Instalaciones solares fotovoltaicas.
- Diaz, E. A., & Palli, S. H. (2021). Diseño e implementación de un controlador automático para un sistema de bombeo fotovoltaico en la región Puno. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Espinoza, J. A., & Zanoni, F. (2021). Diseño de sistema fotovoltaico OFF-GRID, red secundaria y conexiones domiciliarias para suministro eléctrico al caserío Tallapampa, distrito de Salas, provincia de Lambayeque. *Tesis de pregrado*. Universidad señor de Sipan, Pimentel, Peru.
- Galvez, J. J., & Torres, W. D. (2020). Influencia de la rugosidad y material del impulsor sobre la altura, potencia y rendimiento de una bomba centrífuga PKM60 Pedrollo. *tesis de pregrado*. Universidad Cesar Vallejo, Trujillo, Peru.
- Gitman, L., & Zutter, C. (2016). *Principios de administración financiera*. (1. Edición, Ed.) Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com>
- Gonzales, J. A., & Rebolledo, M. A. (2020). Diseño de un sistema fotovoltaico para alimentar bombas para el suministro de agua de pozos en el área rural, utilizando un sistema inteligente basado en un PLC (S7-1200). *Tesis de Pregrado*. Escuela Superior Politecnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador.
- Gonzales, L. E., & Lanuza, A. R. (2017). Propuesta de un sistema de bombeo solar fotovoltaico para riego por goteo en la finca Concepción comarca Ato viejo San Nicolás – Estelí, durante el periodo de julio a noviembre del 2017. *Tesis de pregrado*. Universidad Autonoma de Nicaragua Unan - Managua, Nicaragua.
- Gomez, A. (2020). Estudio sobre la eficiencia energética en sistemas de bombeo industriales. *Tesis de Maestria*. Universidad de Barcelona, Barcelona.
- Gonzales, J. V. (2014). *¿Cuanta agua necesitan mis vacas?* Frisona Española, España.
- Fotovoltaica , E. S. (2011). *Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red*. Madrid: (IDAE).
- gob.pe. (2023). *Sistema de bombeo solar*. Puno.
- IDAE. (2009). *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica Pliego. Pliego de Condiciones*. España, Retrieved from www.idae.es.

- Jara, H. (2021). Diseño de un sistema de bombeo solar directo para riego por goteo en el distrito de Guadalupito – La Libertad. *Tesis de Pregrado*. Universidad Señor de Sipan, Pimentel, Peru.
- Jara, J., & Ramos, J. S. (2018). Diseño y construcción de un prototipo automatizado de un sistema de bombeo de agua para riego, pecuario y consumo humano utilizando energía fotovoltaica. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Jimenez, M. (2020). Sistema de bombeo solar fotovoltaico para abastecimiento de agua en la I.E.P. Apostol San Pedro del distrito Tres de Diciembre. (*tesis de pregrado*). Universidad Nacional de centro del Peru, Huancayo, Peru.
- Lamana, M. (2018). Instalación de sistema de bombeo fotovoltaico para riego en terreno cultivable. (*Tesis de Pregrado*). Escuela Politécnica Superior, Sevilla.
- López, G., García, F., & Bedoya, J. (2013). Modelo a escala de un sistema de riego automatizado, alimentado con energía solar fotovoltaica: nueva perspectiva para el desarrollo agroindustrial colombiano. *Tecnura*, Vol. 17.
- Lopez, J. (2019). Estudio sobre la optimización de sistemas de bombeo en redes hidráulicas. *Tesis de maestría*. Universidad de Salamanca, Salamanca.
- Mamani, H. U. (2022). Sistema de bombeo de agua para consumo humano utilizando energía solar fotovoltaica, con una perspectiva de viabilidad para uso doméstico, para el poblado de Mororcco, distrito de Muñani, provincia de Azángaro. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Martinez, C. (2020). Diseño de sistema de bombeo a base de energía solar para suministro de agua. (*Tesis de maestría en Ingeniería Aplicada*). Universidad Veracruzana Maestría en Ingeniería Aplicada, Boca del Río, Veracruz, Veracruz.
- Medina, A. F. (2019). Análisis comparativo de un sistema de bombeo de agua potable con energía solar fotovoltaica y con energía eléctrica convencional para la localidad de Chaupi Sahuacasi, provincia de Azangaro-Puno. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Mott, R. (2015). *Mecánica de fluidos*. Pearson
- Morales, J. M. (2017). Evaluación Experimental de bombas sumergibles alimentadas por energía solar. (*Proyecto de Grado*). Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia.

- NASTEC. (2024). *bombas 4HSMultiPower alimentadas por fuentes de energias renovables*. NASTEC, 36048 Barbarano Mossano Vicenza -Italy.
- Ocampo, R. (2021). Viabilidad técnica y económica de un sistema de bombeo de agua utilizando energía solar en el fundo Manto de Cristo perteneciente al sector Chaparri distrito de Chongoyape provincia de Chiclayo - Lambayeque. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Lambayeque.
- Oyarzabal, M. A. (2019). Montaje de equipo de bombeo sumergible y aforo del pozo Corporación Sol EST zona 5, ciudad Guatemala. *Tesis de Pregrado*. Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Pacheco, F. A. (2020). Análisis de la valoración de proyectos a través del método de opciones reales: aplicación a un proyecto real del sector minero – metalúrgico en el Perú. *Tesis de pregrado*. Universidad Católica del Perú, Lima, Peru.
- Paredes, A. (2001). *Guía para el desarrollo de proyectos de bombeo de agua con energía fotovoltaica*. México.
- Párraga, A. P. (2020). Análisis de la viabilidad de la implementación de un sistema fotovoltaico en una vivienda rural en Cusco. *Tesis de Pregrado*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Perez, J. (2021). Estudio sobre la optimización de sistemas de bombeo Estudio sobre la optimización de sistemas de bombeo en la industria química. *Tesis de Maestría*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Pinho, J., & Galdino, M. A. (2014). *Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos*. (CEPEL CRES), Rio de Janeiro.
- Rodríguez, A. (2021). Optimización de sistemas de bombeo en aplicaciones industriales. *Tesis de Maestría*. Universidad Tecnológica de Chile, Chile.
- SNIRH. (2022). *Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos*. Obtenido de Sistema Nacional de Información de Recursos Hídricos.
- SOLARGIS. (2013). (M. Suri, Productor) Recuperado el 19 de Septiembre de 2024, de SOLARGIS: <https://solargis.com/services/solar-resource-assessment>
- Sosa, E. D. (2017). Diseño del sistema de bomba solar utilizando bomba sumergible híbrido con variador de velocidad para la comunidad Quenafajja del distrito de Acora provincia de Puno. *Tesis de Pregrado*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno.

- Valdiviezo, P. D. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP. (*Tesis de Pregrado*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Vilca, J. R. (2021). Estudio para el bombeo de agua mediante la energía solar fotovoltaica aplicado al riego en el sector ganadero de Rosaspata ubicado en la Cuenca Llallimayo. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.

ANEXOS

Anexo 1. Especificaciones técnicas del módulo solar fotovoltaico Jinko Solar.

www.jinkosolar.com


Tiger Mono-facial

455-475 Watt

Tiling Ribbon (TR) Technology

Positive power tolerance of 0→+3%

ISO9001:2015, ISO14001:2015, ISO45001:2018 certified factory

IEC61215, IEC61730 certified product





KEY FEATURES

- 
TR technology + Half Cell
 TR technology with Half cell aims to eliminate the cell gap to increase module efficiency (mono-facial up to 21.16%)
- 
9BB instead of 5BB
 9BB technology decreases the distance between bus bars and finger grid line which is benefit to power increase.
- 
Higher lifetime Power Yield
 2% first year degradation,
 0.55% linear degradation
- 
Best Warranty
 12 year product warranty,
 25 year linear power warranty
- 
Avoid debris, cracks and broken gate risk effectively
 9BB technology using circular ribbon that could avoid debris, cracks and broken gate risk effectively
- 
Severe Weather Resilience
 Certified to withstand: wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).







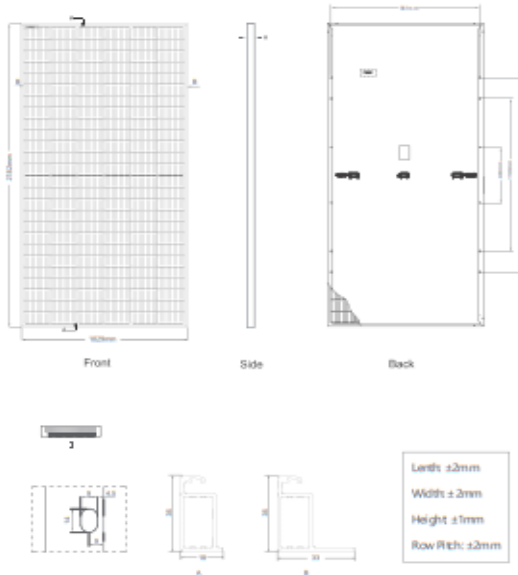

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

12 Year Product Warranty • 25 Year Linear Power Warranty
0.55% Annual Degradation Over 25 years

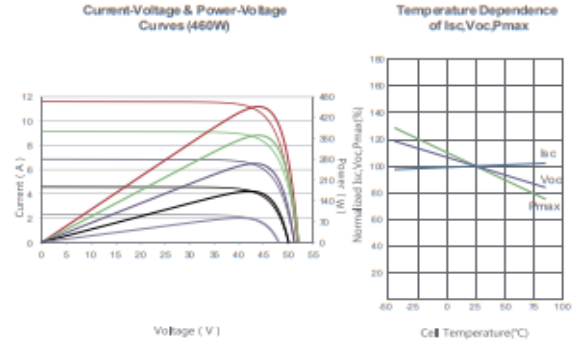


Year	Standard Performance (%)	Jinko Solar Linear Performance (%)	Total Performance (%)
1	91.95	0	91.95
5	91.95 - (0.55 * 4) = 89.73	0	89.73
12	89.73 - (0.55 * 7) = 86.31	0	86.31
25	84.85	0	84.85

Engineering Drawings



Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	P type Mono-crystalline
No. of cells	156 (2x78)
Dimensions	2182x1029x35mm (85.91 x 40.51 x 1.38 inch)
Weight	25.0 kg (55.12 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1x4.0mm ² (+): 290mm, (-): 145 mm or Customized Length

Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)
31 pcs/pallets, 62 pcs/stack, 620 pcs/ 40'HQ Container

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM455M-7RL3		JKM460M-7RL3		JKM465M-7RL3		JKM470M-7RL3		JKM475M-7RL3	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	455Wp	339Wp	460Wp	342Wp	465Wp	346Wp	470Wp	350Wp	475Wp	353Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	42.97V	39.32V	43.08V	39.43V	43.18V	39.58V	43.28V	39.69V	43.38V	39.75V
Maximum Power Current (Imp)	10.59A	8.61A	10.68A	8.68A	10.77A	8.74A	10.86A	8.81A	10.95A	8.89A
Open-circuit Voltage (Voc)	51.60V	48.70V	51.70V	48.80V	51.92V	49.01V	52.14V	49.21V	52.24V	49.31V
Short-circuit Current (Isc)	11.41A	9.22A	11.50A	9.29A	11.59A	9.36A	11.68A	9.43A	11.77A	9.51A
Module Efficiency STC (%)	20.26%		20.49%		20.71%		20.93%		21.16%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C									
Maximum system voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum series fuse rating	20A									
Power tolerance	0~+3%									
Temperature coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature coefficients of Voc	-0.28%/°C									
Temperature coefficients of Isc	0.048%/°C									
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C									

*STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 📦 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5
 NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 📦 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌀 Wind Speed 1m/s
 • Power measurement tolerance: ± 3%


The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. TR JKM455-475M-7RL3-(V)-A2-EN

Anexo 2. Ficha técnica del fusible.




CILINDRICOS

FUSIBLES & BASES PORTAFUSIBLES

In IN	REFERENCIA		EMBALAJE UN/CAJA
	SIN INDICADOR	CON INDICADOR	
 U 690V PODER DE CORTE 80kA	1	421001	10/50
	2	421002	10/50
	4	421004	10/50
	6	421006	10/50
	8	421008	10/50
	10	421010	10/50
	12	421012	10/50
	16	421016	10/50
	20	421020	10/50
	25	421025	10/50
U 500V PODER DE CORTE 120kA	32	421032	10/50
	40	421040	10/50
U 400V PODER DE CORTE 120kA	50	421050	10/50
NEUTRO	432000		10/50



 U 690V PODER DE CORTE 80kA	2	422002	422102	10/50
	4	422004	422104	10/50
	6	422006	422106	10/50
	8	422008	422108	10/50
	10	422010	422110	10/50
	12	422012	422112	10/50
	16	422016	422116	10/50
	20	422020	422120	10/50
	25	422025	422125	10/50
	32	422032	422132	10/50
	40	422040	422140	10/50
	50	422050	422150	10/50
	63	422063	422163	10/50
	U 500V PODER DE CORTE 120kA	80	422080	422180
100		422000	422100	10/50
FUSIBLES ESPECIALIZADOS U 400V PODER DE CORTE 120kA	125	422015	422115	10/50
NEUTRO	433000		10/50	



NORMAS

IEC 60269-1
IEC 60269-2
EN 60269-1
EN 60269-2

DIMENSIONES POTENCIAS DISIPADAS

PAG 17

CARACTERÍSTICAS t-I | LIMITACION | P_g

PAG 18

APLICACIONES DC PARA FUSIBLES CILINDRICOS

PAG 33

COMPATIBLE PMX

PAG 10

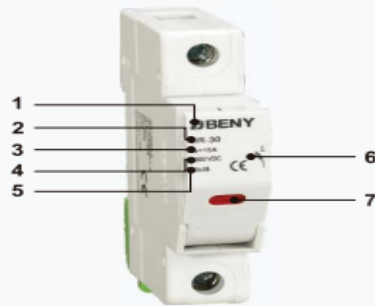
Anexo 3. Ficha técnica del portafusible.



Application

ZBENY PV DC BR-30 Fuse Holder was designed and manufactured , complying with the standard IEC60947-3. The Rated Current up to 30A, rated voltage up to 1000V DC. It applied for PV DC combiner box, inverter etc, with the main function of over-current protection and effective disconnection.

Appearance Introduction



Type Instruction



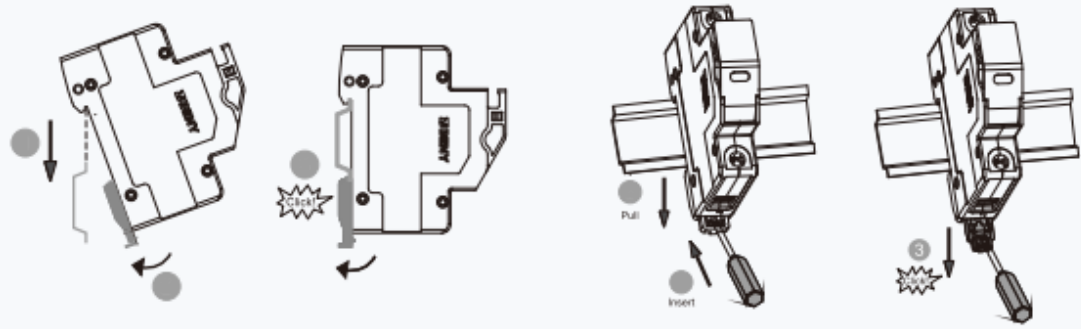
Parameter

PV DC BR-30 Fuse Holder

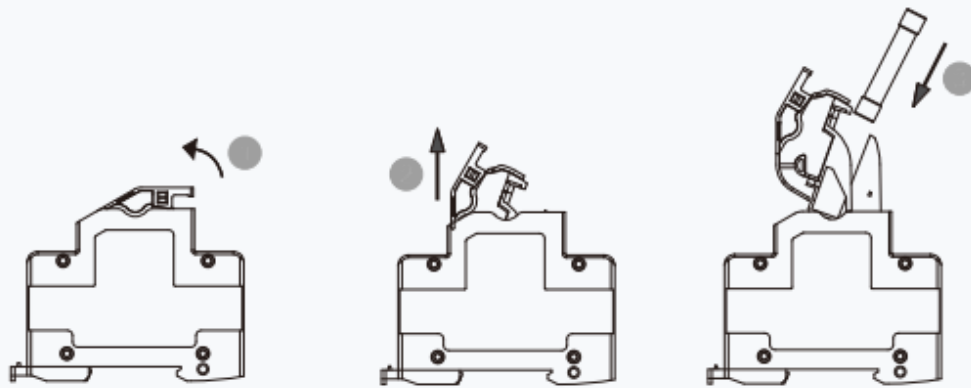
Pole		1P
According to		IEC 60947-3
Electrical Characteristics		
Rated Working Voltage	Ue	1000V DC
Rated Current	In	1 A,2A, 3A, 4A, 5A, 6A, 8A, 10A, 12A, 15A, 20A, 25A, 30A
Breaking Capacity		20KA
Max Power Dissipation		3W
Control and Indication		
Operating State/Fault Indication		Indicator Light OFF/Indicator Light ON
Connection and Installation		
Wire		2.5mm ² ~25mm ²
Terminal Screws		M5
Torque	Nm	2.5
Degree of Protection		IP20
Installation Environment		
Fuse Size		10x38 mm
Operating Temperature Range	TU	-40°C ~ +85°C
For Mounting On		TH35-7.5/DIN35
Pollution Degree		3
Relative Humidity		+20°C≤95%, +40°C≤50%
Weight		0.07kg Per pole
Installation Class		III

BR-30 PV DC Fuse Holder

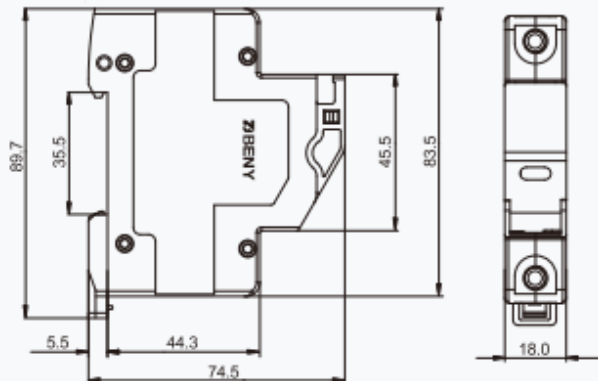
Installation



Replacement Fuse



Dimensions(mm)



4HS MultiPower

**Bombas sumergibles
de 4" alimentadas
por fuentes de
energía renovable**



nastec.eu

NASTEC[®]
> we move it faster >

Selección de la bomba

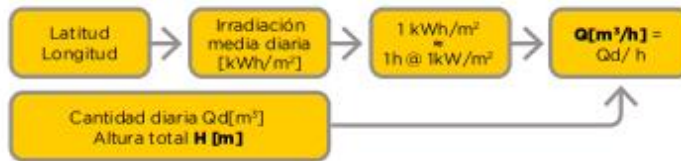
Para la correcta selección de la bomba 4HS MultiPower a utilizar en un sistema fotovoltaico (PV) es necesario conocer los siguiente aspectos:

- Cantidad de agua diaria deseada.
- Altura total.
- Ubicación de la instalación.

En base a la ubicación, es posible conocer la irradiación promedio diaria durante el año [kWh/m²/dia].

A partir de la radiación diaria podría ser considerado como el número de horas con 1kW/m² como valor estándar con el cual se refieren los rendimientos de los paneles PV.

Dividiendo la cantidad de agua requerida por las horas de bombeo y conociendo la altura necesaria, se puede calcular y seleccionar la bomba adecuada.

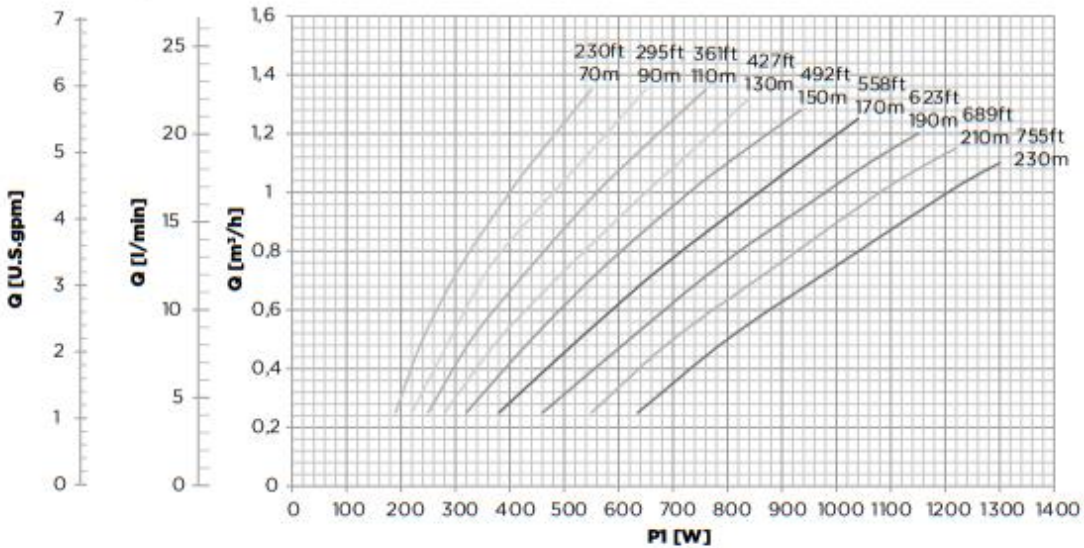


Para un dimensionamiento completo del sistema de bombeo, se recomienda utilizar el Nastec Solar Calculator (NSC) conectándose a:

solar.nastec.eu



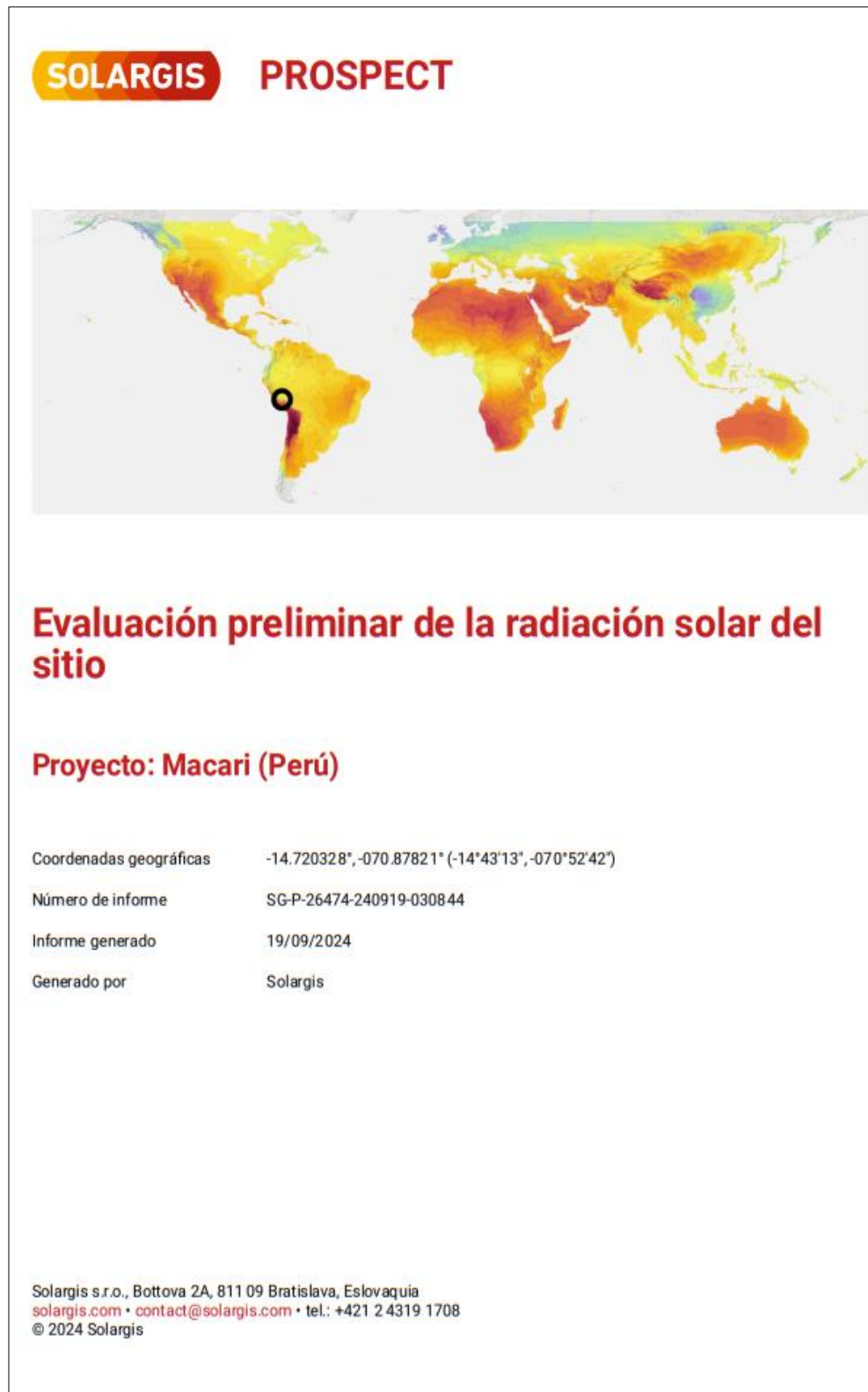
Rendimientos 4HS 01/03H MP



Modelo	Voltaje	Max. corriente absorbida	Factor de potencia	Max. potencia absorbida	Dimensiones	Descarga	Peso	Diametro Max.	Embalaje	Peso total
4HS		[A]		PI [W]	[mm]		[Kg]	[mm]	[cm]	[Kg]
01/03H MP	90-400 VDC 90-265 VAC	13 (100 VDC) 13 (100 VAC)	1	1300	1385	1 1/4"	21	99 *	120x20x29	22

* Dimensiones máximas incluyendo el cubrecable.

Anexo 5. Evaluación del recurso solar de la comunidad campesina de Selque, software Solargis.



Contenidos

1	Resumen	1
2	Información del proyecto	2
3	Solar y meteo: Estadísticas mensuales	4
4	Solar y meteo: Estadísticas diarias	7
5	Acrónimos y glosario	10
6	Metadatos	11
7	Descargo de responsabilidad e información legal	12

1 Resumen

Tabla 1.1: Promedio anual

Irradiación global horizontal	GHI	2242.9 kWh/m ²
Irradiación directa normal	DNI	2373.8 kWh/m ²
Irradiación difusa horizontal	DIF	688.0 kWh/m ²
Temperatura del aire	TEMP	7.0 °C

2 Información del proyecto

Nombre del proyecto	Macari
Dirección	unnamed road, Macari, Puno, Perú
Coordenadas geográficas	-14.720328°, -070.87821° (-14°43'13", -070°52'42")
Zona horaria	UTC-05, America/Lima [PET]
Elevación	4012 m
Cobertura del terreno	Hierba
Densidad de población	12 hab./km ²
Azimut del terreno	14°
Pendiente del terreno	15°
Localización en el mapa	https://apps.solargis.com/prospect/map? c=-14.720328,-70.87821,10&s=-14.720328,-70.87821

Figura 2.1: Localización del proyecto



Figura 2.2: Vista de mapa en detalle

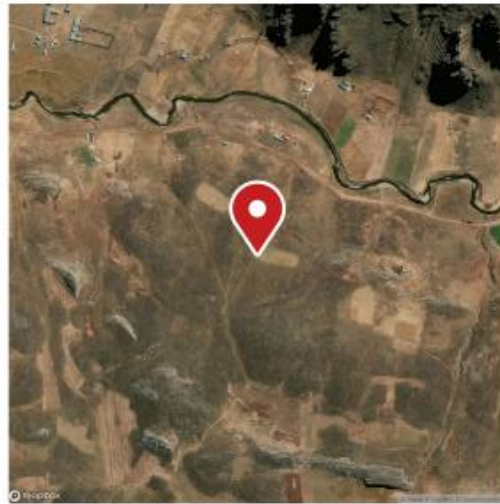


Figura 2.3: Horizonte y trayectoria solar en el sitio

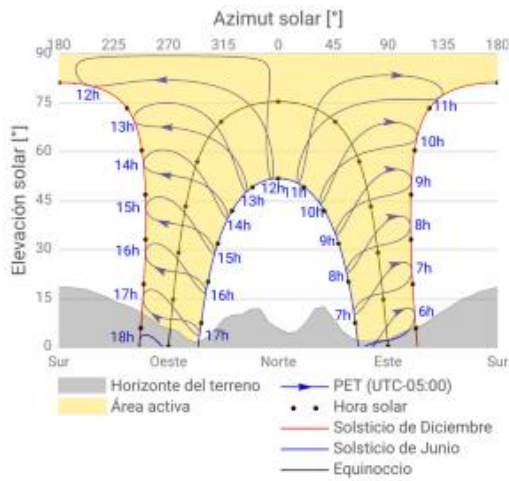
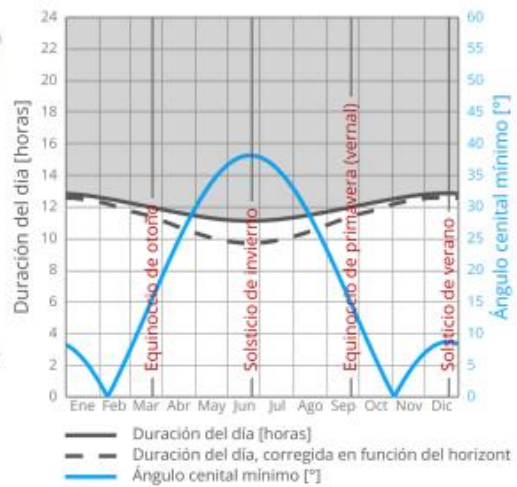


Figura 2.4: Duración del día y ángulo cenital solar



3 Solar y meteo: Estadísticas mensuales

El parámetro meteorológico local más importante que determina la producción eléctrica es la radiación solar, la cual alimenta la instalación fotovoltaica. La producción eléctrica también está influenciada por la temperatura del aire. Otros parámetros meteorológicos también afectan al rendimiento, disponibilidad y envejecimiento de la instalación.

Tabla 3.1: Radiación solar y parámetros meteorológicos

Mes	CDD Grados día	D2G	DIF kWh/m ²	DNI kWh/m ²	GHI kWh/m ²	GTL _{opta} kWh/m ²	HDD Grados día	TEMP °C	WS m/s
Ene	0	0.446	81.0	136.4	181.6	162.9	327	7.5	1.5
Feb	0	0.445	71.1	121.8	159.7	150.5	300	7.4	1.3
Mar	0	0.397	71.6	154.3	180.5	182.9	332	7.3	1.3
Abr	0	0.302	53.0	189.9	175.6	193.9	334	6.9	1.3
May	0	0.209	37.6	243.0	179.7	216.7	372	6.0	1.6
Jun	0	0.175	29.7	251.3	169.7	213.8	375	5.5	1.9
Jul	0	0.183	33.1	258.2	181.1	223.6	385	5.6	1.9
Ago	0	0.202	40.4	255.7	199.7	229.9	353	6.6	1.7
Sep	0	0.280	55.7	210.3	198.6	208.8	313	7.6	2.1
Oct	0	0.318	66.9	200.3	210.5	202.9	311	8.0	1.9
Nov	0	0.316	68.2	202.4	215.5	194.0	287	8.4	1.6
Dic	0	0.418	79.7	150.2	190.7	167.9	313	7.9	1.6
Anual	0	0.307	688.0	2373.8	2242.9	2347.8	4001	7.0	1.6

Inclinación/azimut óptimo para GTL_{opta} 20° / 0°

Figura 3.1: Irradiación + irradiación difusa horizontal

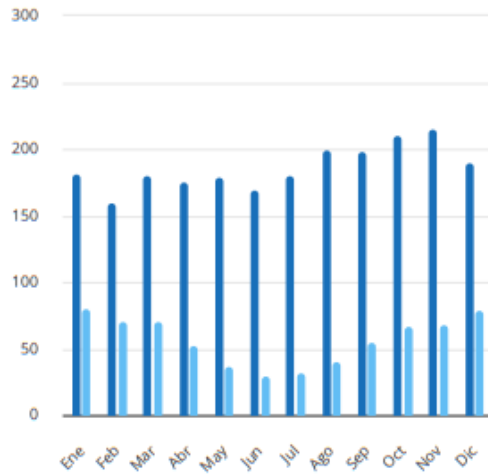


Figura 3.2: Irradiación directa normal

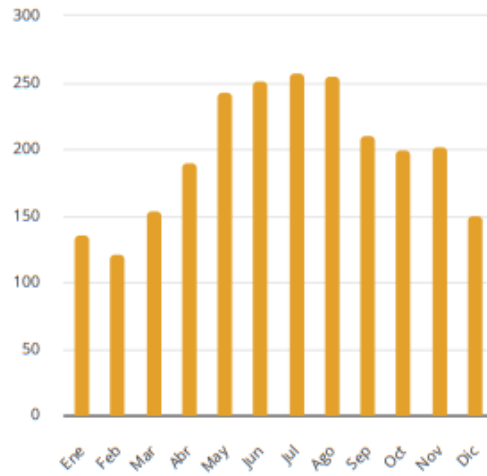


Figura 3.3: Ratio entre irradiación difusa y global

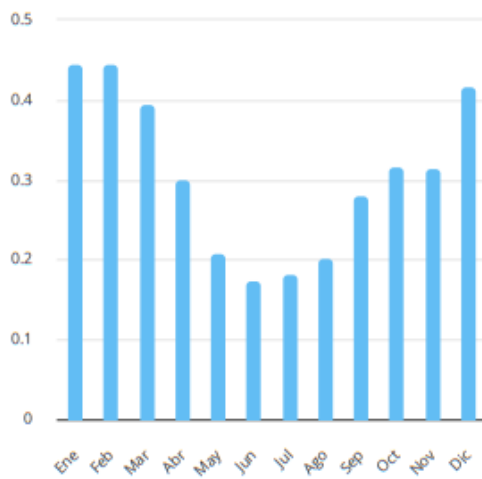


Figura 3.4: Irradiación global inclinada para el ángulo óptimo

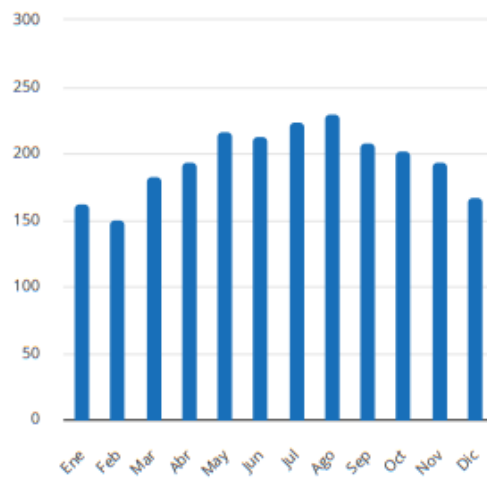


Figura 3.5: Temperatura del aire

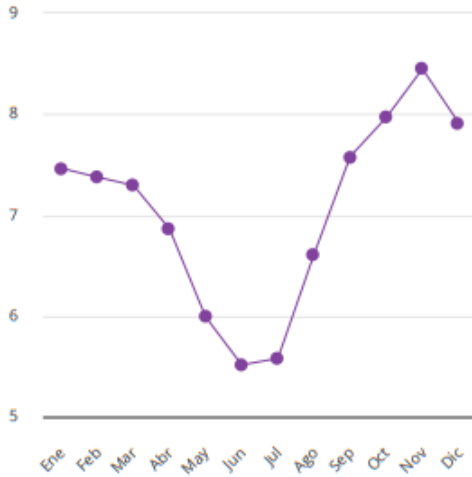


Figura 3.6: Velocidad del viento

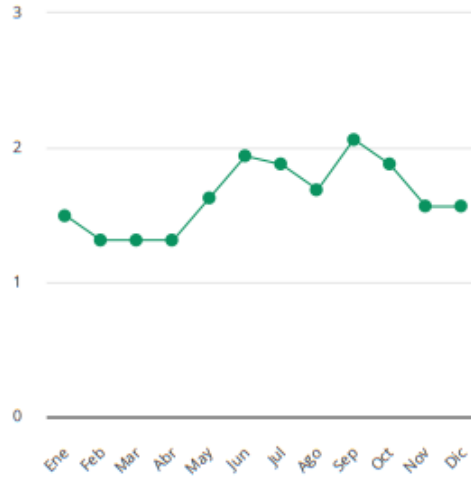


Figura 3.7: Grados día de refrigeración

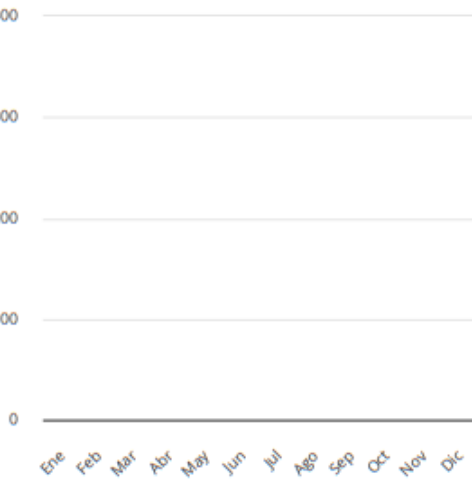
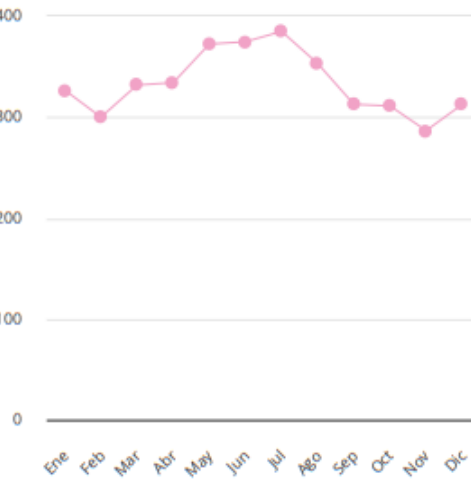


Figura 3.8: Grados día de calefacción



4 Solar y meteo: Estadísticas diarias

Los perfiles de radiación solar de abajo se calculan como un promedio de todas las horas para cada mes. Los perfiles dan una indicación de los patrones de GHI por día, de forma separada para cada mes. Estos patrones dependen de la geografía, astronomía y clima locales del sitio.

Figura 4.1: GHI, DNI, DIF - promedios diarios

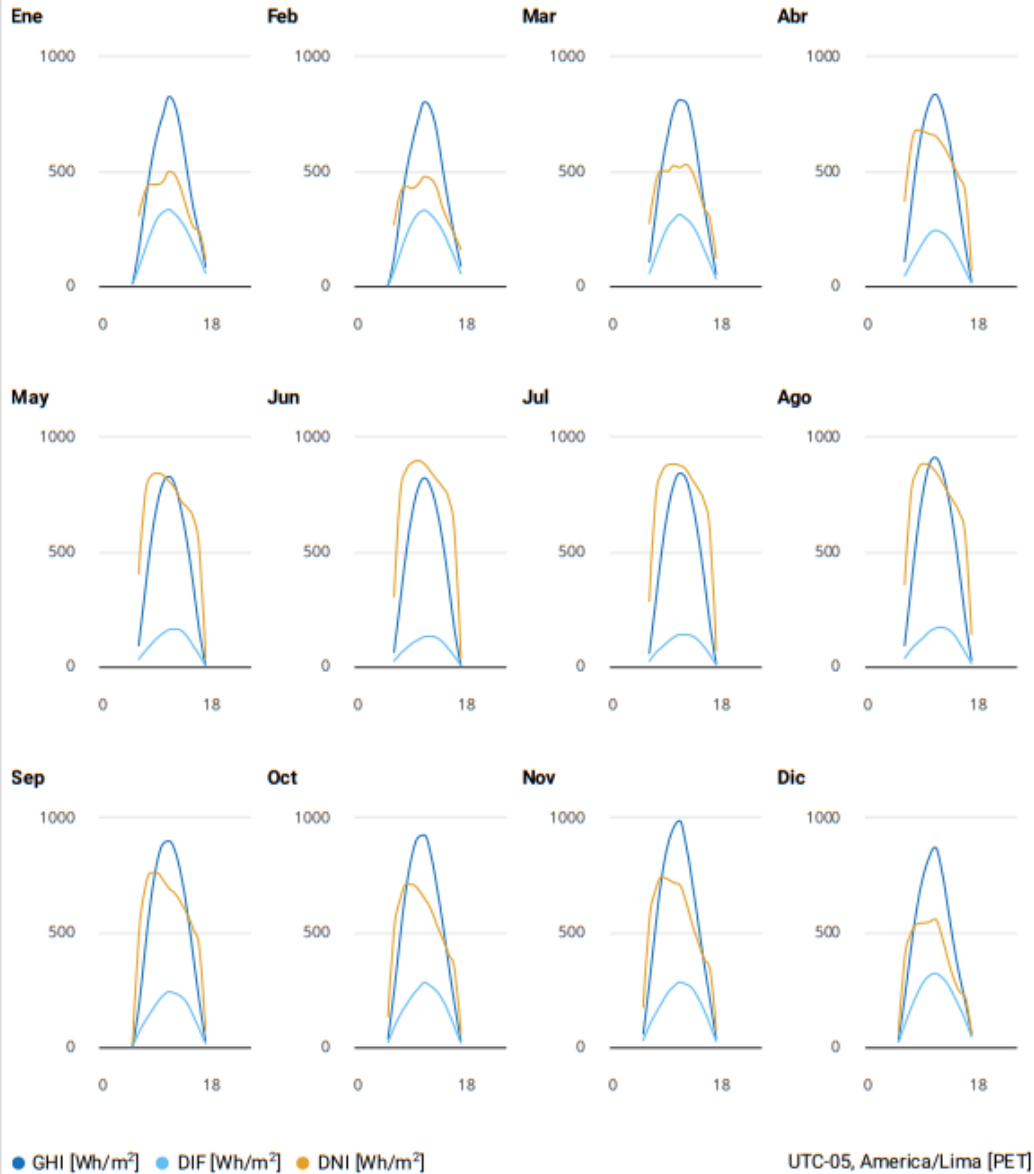


Tabla 4.1: Irradiación global horizontal - promedios horarios [Wh/m²]

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0 - 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 - 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 - 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 - 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 - 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 - 6	10	2	-	-	-	-	-	-	3	35	57	32
6 - 7	155	118	105	107	91	62	57	91	168	239	276	213
7 - 8	347	315	308	328	317	279	273	332	415	478	518	421
8 - 9	523	495	509	544	538	498	495	569	642	694	733	605
9 - 10	656	622	652	696	702	670	674	756	803	840	878	739
10 - 11	748	729	768	795	802	781	793	876	887	916	958	826
11 - 12	826	803	812	836	829	823	844	913	899	925	988	872
12 - 13	785	776	803	791	789	786	821	872	854	849	888	787
13 - 14	664	679	712	686	680	692	724	765	747	707	730	629
14 - 15	498	513	549	528	537	548	579	614	591	542	551	459
15 - 16	340	355	355	350	354	361	391	421	392	358	368	316
16 - 17	222	211	200	173	150	152	179	205	195	179	202	195
17 - 18	84	86	52	20	7	6	12	26	24	26	37	57
18 - 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19 - 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 - 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21 - 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 - 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 - 24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suma	5859	5704	5822	5853	5797	5657	5843	6441	6620	6789	7184	6151

Tabla 4.2: Irradiación directa normal - promedios horarios [Wh/m²]

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0 - 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 - 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2 - 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3 - 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4 - 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5 - 6	-	-	-	-	-	-	-	-	11	131	173	67
6 - 7	306	267	272	370	404	305	285	358	481	511	554	389
7 - 8	411	403	445	603	739	748	727	744	687	644	684	494
8 - 9	443	434	505	681	831	857	844	850	761	711	741	536
9 - 10	443	427	500	677	844	890	880	885	761	710	733	542
10 - 11	456	445	526	663	836	899	884	880	730	688	718	545
11 - 12	500	477	517	656	808	884	878	853	693	649	708	559
12 - 13	482	469	530	626	776	852	862	813	670	607	637	497
13 - 14	419	430	501	583	722	817	818	765	628	536	542	396
14 - 15	329	341	431	527	693	783	778	722	578	473	462	305
15 - 16	257	277	340	473	649	733	722	672	514	405	385	244
16 - 17	237	220	290	404	502	572	581	564	426	335	337	217
17 - 18	115	160	121	67	36	38	70	141	71	62	70	54
18 - 19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19 - 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20 - 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21 - 22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22 - 23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23 - 24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Suma	4399	4349	4978	6332	7840	8378	8329	8247	7011	6461	6746	4845

5 Acrónimos y glosario

Tabla 5.1: Acrónimos y glosario

Acrónimo	Nombre completo	Unidad	Aclaración
GHI	Irradiación global horizontal	kWh/m ²	Valor promedio de la suma anual, mensual o diaria de la irradiación global horizontal
DNI	Irradiación directa normal	kWh/m ²	Valor promedio de la suma anual, mensual o diaria de la irradiación directa normal
DIF	Irradiación difusa horizontal	kWh/m ²	Valor promedio de la suma anual, mensual o diaria de la irradiación difusa horizontal
D2G	Ratio entre irradiación difusa y global		Ratio entre la irradiación difusa horizontal e irradiación global horizontal (DIF/GHI)
GTI opta	Irradiación global inclinada para el ángulo óptimo	kWh/m ²	Valor promedio de la suma anual, mensual o diaria de la irradiación global inclinada para módulos fotovoltaicos instalados en estructura fija para el ángulo óptimo
OPTA	Inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos *		Inclinación óptima de módulos fotovoltaicos instalados en estructura fija orientada hacia el ecuador geográfico, calculada para maximizar la GTI recibida
GHI season	Estacionalidad de la irradiación global horizontal		Ratio entre el máximo y el mínimo valor promedio mensual de irradiación global horizontal (GHI_month_max/GHI_month_min)
DNI season	Estacionalidad de la irradiación directa normal		Ratio entre el máximo y el mínimo valor promedio mensual de irradiación directa normal (DNI_month_max/DNI_month_min)
GTI theoretical	Irradiación global inclinada (teórica)	kWh/m ²	Valor promedio de la suma anual, mensual o diaria de la irradiación global inclinada sin considerar sombras del terreno
TEMP	Temperatura del aire	°C	Valores anuales, mensuales y diarios promedio de la temperatura del aire a 2 metros sobre el suelo
WS	Velocidad del viento	m/s	Valores anuales, mensuales y diarios promedio de la velocidad del viento a 10 metros sobre el suelo
CDD	Grados día de refrigeración	Grados día	Cuantifica la demanda de energía necesaria para refrigerar un edificio. Los "grados día de refrigeración" son una medida de cuánto (en grados), y por cuánto tiempo (en días), la temperatura del aire exterior fue más alta que una temperatura media diaria específica de referencia (18°C). Los valores anuales y mensuales se agregan a partir de los valores diarios
HDD	Grados día de calefacción	Grados día	Cuantifica la demanda de energía necesaria para calefactar un edificio. Los "grados día de calefacción" son una medida de cuánto (en grados), y por cuánto tiempo (en días), la temperatura del aire exterior fue más baja que una temperatura media diaria específica de referencia (18°C). Los valores anuales y mensuales se agregan a partir de los valores diarios

6 Metadatos

Este informe está basado en bases de datos solares y meteorológicas desarrolladas y operadas por Solargis. Los parámetros de datos presentados en este informe están computados por modelos y algoritmos de Solargis. Los datos usados como entrada a los modelos vienen de diferentes fuentes. Las características de los datos están explicadas abajo.

Intervalo de tiempo: estadísticas mensuales y anuales a largo plazo
 Las estimaciones asumen que un año tiene 365 días
 Versión 1.5 de la base de datos Solargis Prospect

Parámetro	Fuente de entradas de datos (Organización)	Representación temporal	Método Solargis	Última modificación
AZI	ELE (Solargis)		Data processing	2019-02-01
CDD	TEMP (Solargis)	1994 - 2023	Data processing	2024-02-20
D2G	GHI, DNI (Solargis)	1999 - 2023	Solar model	2024-03-01
DIF	GHI DNI (Solargis)	1999 - 2023	Solar model	2024-03-01
DNI	Solargis solar model (Solargis)	1999 - 2023	Solar model	2024-03-01
DNI_season	DNI (Solargis)	1999 - 2023	Data processing	2024-03-01
ELE	SRTM v4.1 (CGIAR CSI),Viewfinder Panoramas (Jonathan de Ferranti BA),GEBCO_2014 Grid (GEBCO)		Data merging, cleaning, processing	2019-02-01
GHI	Solargis solar model (Solargis)	1999 - 2023	Solar model	2024-03-01
GHI_season	GHI (Solargis)	1999 - 2023	Data processing	2024-03-01
GTLopta	GHI DNI ALB HORIZON (Solargis)	1999 - 2023	Solar model	2024-03-01
HDD	TEMP (Solargis)	1994 - 2023	Data processing	2024-02-20
LANDC	C3S global land cover (LC) maps at 300m, v2.1.1 (ESA CCI)		Post-processing	2022-02-09
OPTA	GHI, DNI, ALBEDO (Solargis)	1999 - 2023	PV simulation model	2024-03-01
POPUL	GPW v4, UN WPP-Adjusted Population Density, v4.11, year 2020 (CIESIN)		Data processing	2022-02-09
PVOUT_csi	GHI, DNI, TEMP, OPTA, ALBEDO, ELE (Solargis)	1999 - 2023	PV simulation model	2024-03-01
SLO	ELE (Solargis)		Data processing	2019-02-01
TEMP	ERA5-Land, ERA5 (ECMWF)	1994 - 2023	Data processing	2024-02-20
WS	ERA5 (ECMWF)	1994 - 2023	Data processing	2024-02-20

Documentación

Incertidumbre de datos <https://solargis.com/docs/accuracy-and-comparisons/combined-uncertainty/>
 Metodología <https://solargis.com/docs/methodology/solar-radiation-modeling/>
 Simulación de producción fotovoltaica <https://solargis.com/docs/methodology/pv-energy-modeling/>

7 Descargo de responsabilidad e información legal

Considerando la incertidumbre de los datos y los cálculos, Solargis s.r.o. no garantiza la exactitud de las estimaciones. Se ha hecho lo máximo posible para la evaluación de los parámetros meteorológicos y la evaluación preliminar de la producción eléctrica fotovoltaica basada en los mejores datos, software y conocimiento disponibles. Solargis s.r.o. no es responsable de ningún daño directo, incidental, consecuente, indirecto o punitivo relacionado o que se alegue como relacionado del uso del informe proporcionado.

Este informe muestra la estimación de la producción eléctrica solar de una instalación fotovoltaica en su fase inicial, así como durante toda su vida útil. Las estimaciones tienen la exactitud suficiente para una evaluación preliminar de proyectos fotovoltaicos. Para la planificación y financiación de grandes proyectos, es necesaria más información: 1. Distribución estadística e incertidumbre de la radiación solar 2. Especificaciones detalladas de la instalación fotovoltaica 3. Variabilidad interanual e incertidumbre P90 de la producción fotovoltaica 4. Producción de energía durante la vida útil considerando la degradación de los componentes de la instalación fotovoltaica.

Puede encontrarse más información sobre la evaluación completa de la producción fotovoltaica en:
<https://solargis.com/products/pv-yield-assessment-study/overview/>

El copyright de este informe es de © 2024 Solargis s.r.o., todos los derechos reservados.
Solargis® es una marca comercial de Solargis s.r.o.

Vea el texto completo de los TÉRMINOS GENERALES DEL CONTRATO PARA SERVICIOS DE PAGO en:
<https://solargis.com/legal/general-contractual-terms/>

Validación de autenticidad

Este informe PDF está firmado electrónicamente por Solargis s.r.o..

Proveedor de servicios

Solargis s.r.o., Bottova 2A, 811 09 Bratislava, Eslovaquia
ID de registro: 45 354 766
Número IVA: SK2022962766
Teléfono: +421 2 4319 1708
Correo electrónico: contact@solargis.com
URL: solargis.com

Anexo 6. Coeficiente para perdidas en accesorios (ficha del fabricante).

Accesorio	Km
Válvula de globo, completamente abierta	10
Válvula de ángulo, completamente abierta	5
Válvula de registro, completamente abierta	2,5
Válvula de compuerta, completamente abierta	0,2
Válvula de compuerta, con 3/4 de apertura	1,0 - 1,15
Válvula de compuerta, con 1/2 de apertura	5,6
Válvula de compuerta, con 1/4 de apertura	24
Codo de radio corto ($r/d=1$)	0,9
Codo de radio mediano	0,75 - 0,8
Codo de gran radio ($r/d=1.5$)	0,6
Codo de 45°	0,4 - 0,42
Retorno (curva en U)	2,2
Tee en sentido recto	0,3
Tee a través de a salida vertical	1,8
Unión	0,3
Vee de 45° en sentido recto	0,3
Vee de 45° en salida lateral	0,8
Entrada recta a tope	0,5
Entrada con boca acampanada	0,1
Entrada con tubo reentrando	0,9
Salida	1

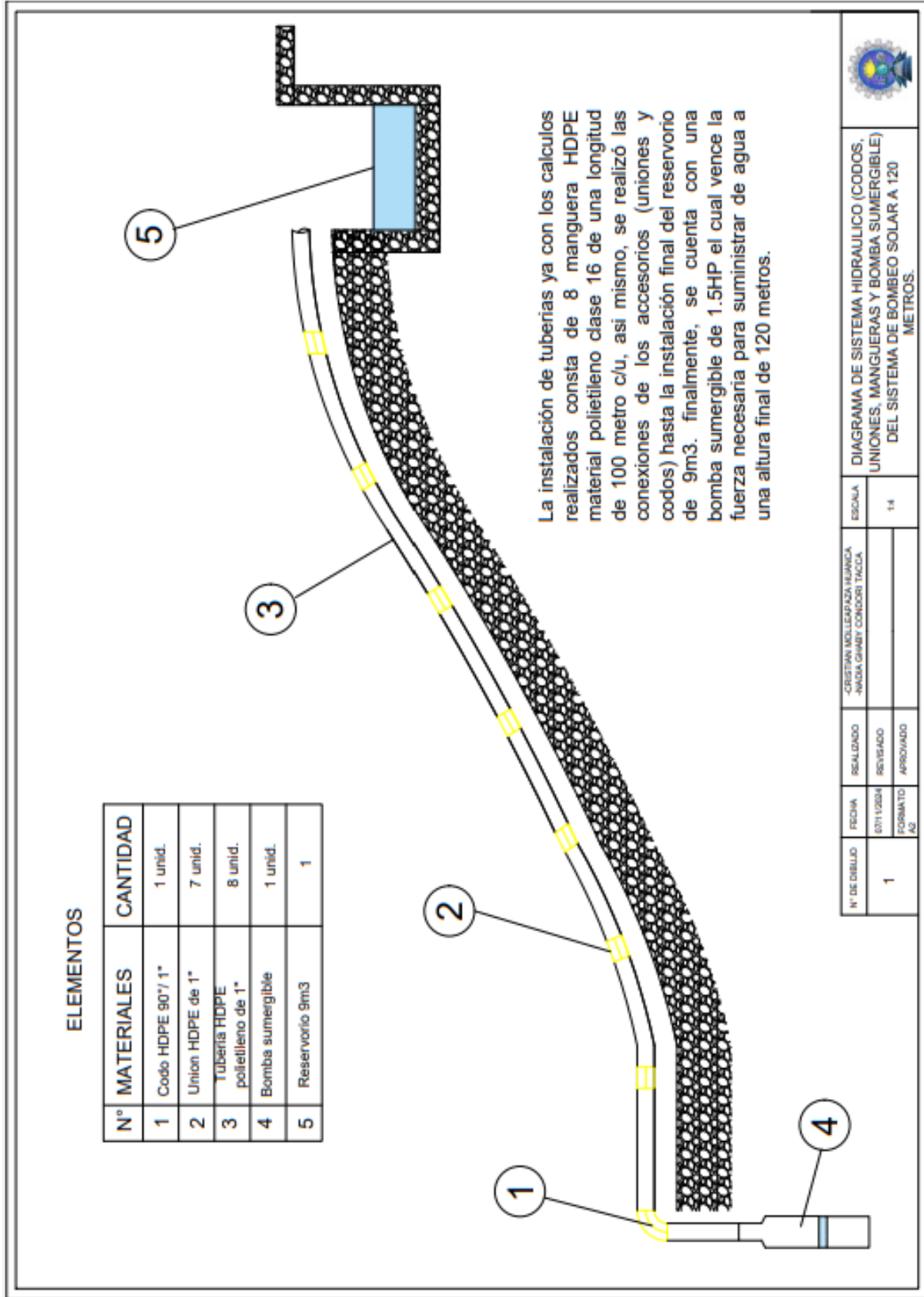
Anexo 7. Resumen de datos promedios de irradiancia, potencia de la bomba sumergible y caudal del mes de febrero.

Hora	Irradiancia W/m2	Potencia bomba sumergible (Watts)	Caudal de salida (L/min)
00:00:00	0	0	0
01:00:00	0	0	0
02:00:00	0	0	0
03:00:00	0	0	0
04:00:00	0	0	0
05:00:00	25	0	0
06:00:00	104.6	270	0
07:00:00	534.5	846.53	10.4
08:00:00	742.1	910.87	15.1
09:00:00	1028.2	1200.5	20
10:00:00	538.1	850.22	10.4
11:00:00	870.9	1170	18.7
12:00:00	689.3	899.5	14.4
13:00:00	197.5	220.47	0
14:00:00	84.4	120.56	0
15:00:00	65.3	110.21	0
16:00:00	41.9	75.39	0
17:00:00	20.3	0	0
18:00:00	0.4	0	0
19:00:00	0	0	0
20:00:00	0	0	0
21:00:00	0	0	0
22:00:00	0	0	0
23:00:00	0	0	0

Anexo 8. Resumen de datos promedios de irradiancia, potencia de la bomba sumergible y caudal del mes de agosto.

Hora	Irradiancia W/m ²	Potencia bomba sumergible (Watts)	Caudal de salida (L/min)
00:00:00	0	0	0
01:00:00	0	0	0
02:00:00	0	0	0
03:00:00	0	0	0
04:00:00	0	0	0
05:00:00	0	0	0
06:00:00	30.4	70.28	0
07:00:00	412.1	722.66	9.8
08:00:00	663.6	890.19	13.9
09:00:00	854.5	1155.84	18.6
10:00:00	979.6	1199.72	19.8
11:00:00	1039.9	1215.9	20
12:00:00	1030.5	1210.9	20
13:00:00	947	1199.7	19.3
14:00:00	795	1180.65	17.2
15:00:00	582.7	897.91	11.5
16:00:00	326	391.31	5.8
17:00:00	22.75	0	0
18:00:00	0	0	0
19:00:00	0	0	0
20:00:00	0	0	0
21:00:00	0	0	0
22:00:00	0	0	0
23:00:00	0	0	0

Anexo 9. Diagrama del sistema hidráulico de la instalación del sistema de bombeo solar.



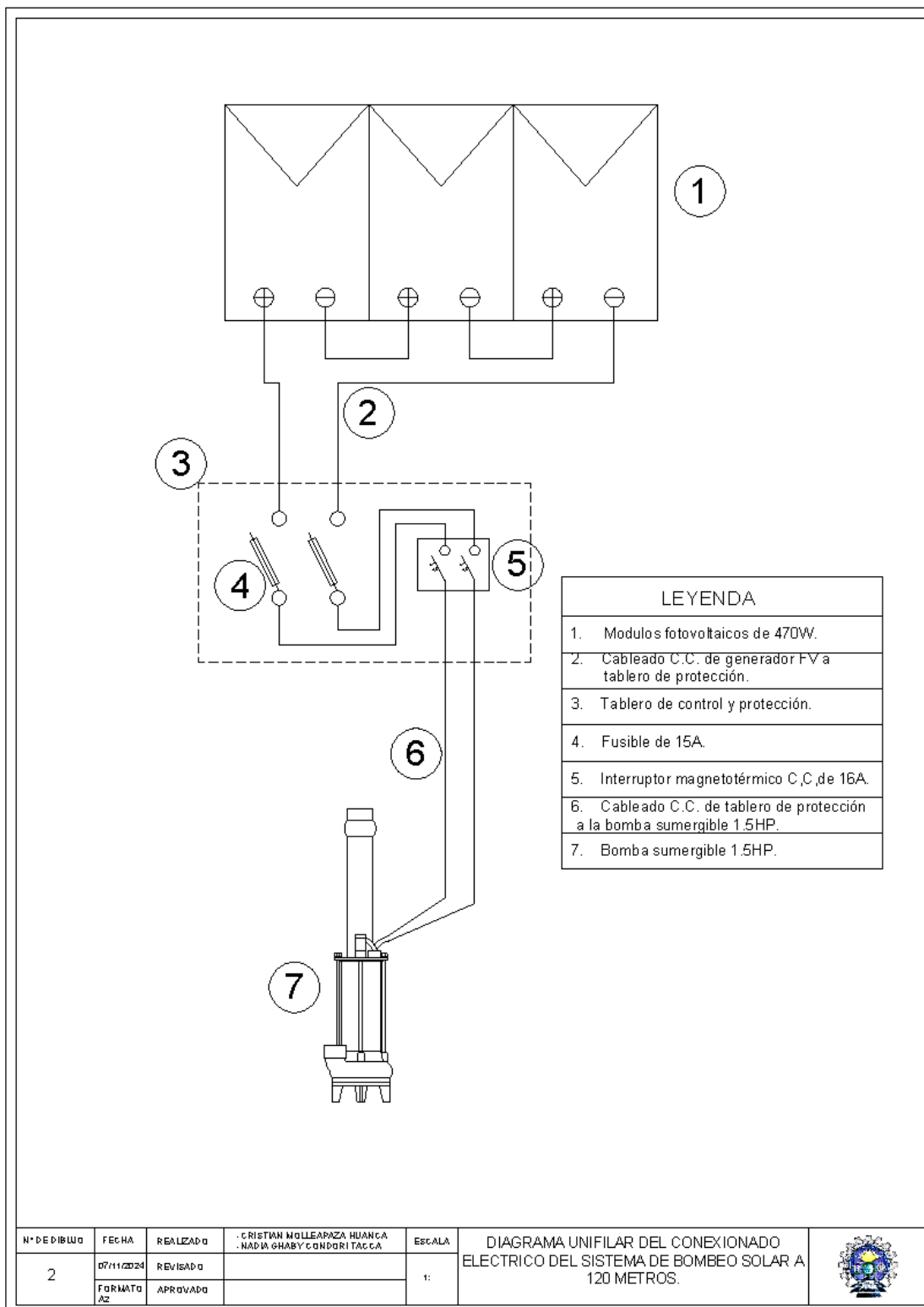
La instalación de tuberías ya con los calculos realizados consta de 8 manguera HDPE material polietileno clase 16 de una longitud de 100 metro c/u, así mismo, se realizó las conexiones de los accesorios (uniones y codos) hasta la instalación final del reservorio de 9m3. finalmente, se cuenta con una bomba sumergible de 1.5HP el cual vence la fuerza necesaria para suministrar de agua a una altura final de 120 metros.

ELEMENTOS


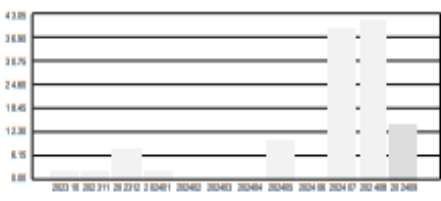

N°	MATERIALES	CANTIDAD
1	Codo HDPE 90°/ 1"	1 unid.
2	Union HDPE de 1"	7 unid.
3	Tubería HDPE polietileno de 1"	8 unid.
4	Bomba sumergible	1 unid.
5	Reservorio 9m3	1

N° DE DIBUJO 1	FECHA	REALIZADO	CRISTIAN MOLLEPATA SUANCA -INGENIERO CIVIL- CORONEL TACCA	ESCALA 1:4	 DIAGRAMA DE SISTEMA HIDRAULICO (CODOS, UNIONES, MANGUERAS Y BOMBA SUMERGIBLE) DEL SISTEMA DE BOMBEO SOLAR A 120 METROS.
	07/11/2024	REVISADO			
	FORMATO AZ	APROBADO			

Anexo 10. Diagrama unifilar del sistema de bombeos solar



Anexo 11. Recibo de energía eléctrica (costo de la energía kw.h).

 <p>Empresa Regional de Servicio Público de Electricidad de Puno Sociedad Anónima Abierta RUC: 20405479592 Jr. Mariano H. Cornejo 160</p>	<p>Para atención de consultas, pagos o denuncias, Su número de cliente (suministro) es:</p> <p>2040010996</p> <p>MES FACTURADO Septiembre-2024</p> <p>RECIBO Nro. S134 - 399621</p>										
	<p>DATOS DEL CLIENTE</p> <p>NOMBRE: TACCA HUAYLLA, ANTONIA D.N.I.: ****7031 DIRECCIÓN: C. C. SELQUE, B-10, SAM 26, MACARI DPTO/PROV: PUNO/MELGAR/MACARI RUTA: 350-20-66-003610 (034-034 AYAVIRI ZONA A)</p>	<p>DETALLE DE FACTURACIÓN</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>CONCEPTO</th> <th>IMPORTE S/</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ALUMBRADO PUBLICO (Alcaldía AP: S/0.8000)</td> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>CARGO FIJO AJUSTADO</td> <td>3.95</td> </tr> <tr> <td>ENERGIA AJUSTADA</td> <td>11.31</td> </tr> <tr> <td>INTERESES COMPENSATORIOS</td> <td>0.07</td> </tr> </tbody> </table>	CONCEPTO	IMPORTE S/	ALUMBRADO PUBLICO (Alcaldía AP: S/0.8000)	0.80	CARGO FIJO AJUSTADO	3.95	ENERGIA AJUSTADA	11.31	INTERESES COMPENSATORIOS
CONCEPTO	IMPORTE S/										
ALUMBRADO PUBLICO (Alcaldía AP: S/0.8000)	0.80										
CARGO FIJO AJUSTADO	3.95										
ENERGIA AJUSTADA	11.31										
INTERESES COMPENSATORIOS	0.07										
<p>DATOS TÉCNICOS</p> <p>TARIFA: BT5B - RESIDENCIAL ALUMEN: 60-03 (459) POTENCIA: 0.50 kW. N° MEDIDOR: 2017181650 SISTEMA: SR0123 - SER004 AYAVIRI</p> <p>ACOMETIDA: AEREA TENSIÓN: 220 V - BT CONEXIÓN: C.1.1 MONOFASICO-Electrónico-2 Hilos SEC. TÍPICO: SER</p>	<p>DETALLE DEL CONSUMO</p> <p>LECTURA ACTUAL: 195 1U Sep 2024 LECTURA ANTERIOR: 181 10 Ago 2024 DIFERENCIA DE LECTURA: 14 FACTOR: 1.00</p> <p>CONSUMO FACTURADO: 14.00 kWh PRECIO UNIT. S/ kWh: 0.8076</p>										
<p>Subtotal: 16.13 IGV 18%: 2.90</p> <p>OTROS PAGOS</p> <p>LEY 28749 ELECTRIFICACION RURAL: 0.14 REDONDEO DEL MES: -0.08 REDONDEO MES ANTERIOR: 0.01</p> <p>TOTAL MES: 19.10</p>	<p>TOTAL A PAGAR S/ ***19.10</p> <p>SON: DIECINUEVE CON 10/100 SOLES</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>FECHA EMISIÓN</th> <th>FECHA VENCIMIENTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>17 sep 2024</td> <td>02 oct 2024</td> </tr> </tbody> </table>	FECHA EMISIÓN	FECHA VENCIMIENTO	17 sep 2024	02 oct 2024						
FECHA EMISIÓN	FECHA VENCIMIENTO										
17 sep 2024	02 oct 2024										
<p>MENSAJES AL CLIENTE</p> <p>Proxima Facturación:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Mes</th> <th>F. Lectura</th> <th>F. Factur.</th> <th>F. Pago</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Oct-2024</td> <td>10-Oct-2024</td> <td>17-Oct-2024</td> <td>2-Nov-2024</td> </tr> </tbody> </table> <p>"Electro Puno comunica a Usted: Que en cumplimiento al Decreto Supremo N° 012-2023-EM, se amplía el umbral del consumo de electricidad"</p>	Mes	F. Lectura	F. Factur.	F. Pago	Oct-2024	10-Oct-2024	17-Oct-2024	2-Nov-2024	<p>Afecto a Recargo Ley 31429 FOSE, Monto S/ 0.47</p> <p>EVOLUCION DE CONSUMO DE ENERGIA</p>  <p>Monto 202407: S/ 48.40 Monto 202408: S/ 50.50</p>		
Mes	F. Lectura	F. Factur.	F. Pago								
Oct-2024	10-Oct-2024	17-Oct-2024	2-Nov-2024								
<p>PAGUE SÓLO EN CENTROS AUTORIZADOS NO AL MENSAJERO</p> <p>MES: Septiembre-2024 TOTAL S/: ****19.10</p>	<p>204-0010996 TACCA HUAYLLA, ANTONIA 001 - 34 - MELGAR/MACARI</p> <p>S134 - 399621 2024001000004420161</p>  <p>350-20-66-003610</p>										

Anexo 12. Armado de la bomba sumergible.



Anexo 13. Parte del motor de la bomba sumergible Nastec Multipower



Anexo 14. Parte hidráulica de la bomba sumergible Nastec Multipower



Anexo 15. Suministro de recurso hídrico al reservorio.



Anexo 16. Revestimiento del sistema de almacenamiento con recursos de la zona (paja y barro).



Anexo 17. Tendido del plástico geomembrana.



Anexo 18. Protección externa para evitar corrosión en el plástico geomembrana



Anexo 19. Abastecimiento de recurso hídrico para consumo ganadero a una altura de 120 metros.



Anexo 20. Irradiación promedio KWh/m2 del distrito de Macari.

IRRADIACIÓN PROMEDIO POR MESES EN KWh/m2 – MACARI – MELGAR – PUNO																							
MES/AÑO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ene	169.43	161.05	140.84	165.96	163.52	170.2	169.24	170.84	167.35	163.53	160.59	162.52	169.36	162.54	164.34	165.33	176.23	166.04	157.02	163.93	162.19	158.84	160.63
Feb	166.89	146.74	147.6	134.86	145.87	144.98	142.53	145.47	149.87	148.04	153.24	151.62	151.1	145.68	154.02	145.58	144.78	141.73	140.74	143.32	140.23	142.25	149.75
Mar	179.95	171.71	177.81	171.27	175.02	187.19	179.04	175.24	178.42	189.6	172.6	179.9	160.9	165.05	180.69	183	173.31	206.63	190.82	183.77	180.83	194	187.62
Abr	208.54	198.97	193.29	192.78	192.48	193.04	211.38	205.33	210.62	198.85	187.91	217.03	203.71	179.94	205.44	199.07	212.3	200.05	209.9	166.31	209.6	191.25	198.21
May	211.37	215.05	209.39	215.91	233.76	211.7	214.25	221.11	221.03	220.39	224.98	211.08	216.76	209.37	232.52	207.09	232.75	227.41	217.95	222.94	202.96	203.64	210.91
Jun	220.16	226.72	217.14	215.7	213.36	216.25	213.04	225.09	212.21	215.58	213.16	197.47	217.77	208.88	215.49	215.81	203.07	220.91	213.08	213.36	193.62	221.89	216.7
Jul	223.19	218.99	241.32	216.55	232.35	217.7	228.08	220.5	232.79	218.74	226.72	211.08	220.47	223.08	223.01	230.34	218.76	228.13	233.4	235.95	211.29	217.7	228.37
Ago	232.82	233.72	237.29	229.76	221.97	233.48	237.06	240.94	238.36	227.2	229.52	224.91	226.75	232.82	231.73	237.56	228.11	232.19	220.28	216.77	217.75	209.3	232.19
Set	219.55	206.52	228.64	201.88	227.07	215.1	229.3	227.18	228.84	214.81	222.55	218.57	209.11	216.26	217.88	212.31	232.4	226.84	217.49	136.58	226.5	179.6	193.04
Oct	204.73	208.15	197.49	209.08	202.25	206.36	204.34	201.04	203.18	210.5	202.25	204.08	207.12	211.23	213.45	205.54	206.33	220.35	210.87	208.23	191.73	200.19	201.02
Nov	200.62	170.18	201.72	195.85	191.54	195.33	190.22	187.29	210.9	207.18	197.94	200.69	206.69	198.63	209.79	196.46	194.71	190.92	219.04	185.48	187.72	195.99	198.13
Dic	187.33	169.76	167.69	162.5	163.84	171.96	182.92	183.2	172.2	171.52	168.52	166.62	163.68	167.61	169.68	164.82	166.87	164.23	171.09	154.77	167.41	170.61	173.17

UNW