



UPA Universidad
Politécnica Amazónica

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

**Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para
suministro de agua a la Institución Educativa
Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande –
Amazonas**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA MECÁNICA**

Autora: Bach. Tenorio León, Rosinely

<https://orcid.org/0009-0003-3385-7334>

Asesor: Ing. Mejía Vásquez, Eduar Jamis

<https://orcid.org/0000-0002-9018-9569>

Registro: UPA-PITIM0041

Bagua Grande – Perú

2023

Dedicatoria

Principalmente a Dios, por haberme dado la vida y salud permitiéndome el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi familia que con su apoyo moral, económico pude concluir mi carrera. A mis padres y hermanas por su apoyo y confianza que me brindaron y guiaron en el transcurso de mis estudios superiores. Gracias por ayudarme a cumplir mis objetivos y metas como persona y estudiante. A mi padre, a pesar de nuestra distancia física siempre estuvo brindándome los recursos necesarios, apoyándome y aconsejándome siempre. A mi madre por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mis hermanas por estar siempre presentes, acompañándome en todo momento. Con su cariño su comprensión y consejos que me brindaron día a día para realizarme profesionalmente.

Rosinely.

Agradecimiento

A los docentes de la universidad Politécnica Amazónica por brindarnos y compartir sus enseñanzas, por sembrarnos sus conocimientos que nos ayudaran en el ámbito profesional de nuestra vida. Al Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez por su asesoría y hacer posible esta tesis, gracias por el apoyo brindado. A mis compañeros de clases quienes me acompañaron en esta trayectoria de aprendizaje y conocimientos. Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de esta tesis.

La Autora.

Autoridades universitarias

Rector : Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán
Coordinador de Escuela : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

Visto bueno del asesor

Yo, Eduar Jamis Mejía Vásquez, docente y coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica, dejo constancia de haber asesorado a la tesista Rosinely Tenorio León, en su tesis titulada “Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas”. Asimismo dejo constancia que se ha levantado las observaciones señaladas en la revisión previa a esta presentación.

Por lo indicado, doy fe y visto bueno.

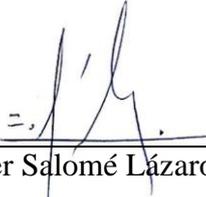
Bagua Grande, 07 de diciembre de 2023



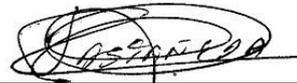
Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

Asesor

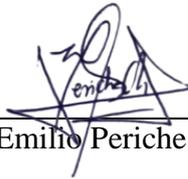
Jurado evaluador



Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán
Presidente



Mg. Ing. Juan José Castañeda León
Secretario



Mg. Ing. Emilio Periche Chunga
Vocal

Declaración jurada de no plagio

Yo, Rosinely Tenorio León, identificado con DNI. 76966113, egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy la autora de la tesis titulada: “Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas”.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra los derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.
6. Se ha respetado las consideraciones éticas en la investigación.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo toda la responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como los derechos sobre la obra y/o invención presentada. Asimismo, por la presente me comprometo a asumir todas las cargas pecuniarias que pudiera derivarse para la Universidad Politécnica Amazónica en favor de terceros por motivos de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del cumplimiento de lo declarado, y que encontraren causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias o sanciones civiles y penales que de mi acción deriven.

Bagua Grande, 07 de diciembre de 2023.

Bach. Rosinely Tenorio León

DNI. 76966113



Resultado del análisis

Archivo: Informe Rosinely Tenorio León.docx

Estadísticas

Sospechosas en Internet: 8,23%

Porcentaje del texto con expresiones en Internet [▲](#).

Sospechas confirmadas: 7,55%

Confirmada existencia de los tramos en las direcciones encontradas [▲](#).

Texto analizado: 77,17%

Porcentaje del texto analizado efectivamente (no se analizan las frases cortas, caracteres especiales, texto roto).

Éxito del análisis: 100%

Porcentaje de éxito de la investigación, indica la calidad del análisis, cuanto más alto mejor.

Direcciones más relevantes encontrados:

Dirección (URL)	Ocurrencias	Semejanza
https://1library.co/document/q2mjkkry-dimensionamiento-sistema-bombeo-agricola-poblado-roblepampa-utcubamba-amazonas.html	56	16,57 %
https://1library.co/document/y4wv060q-disenio-sistema-mediante-energia-fotovoltaica-suministrar-potable-poblacion.html	34	12,51 %
https://www.academia.edu/28428486/Economic_analysis_of_cow_manure_biogas_as_energy_source_for_electricity_power_generation_in_small_scale_ranch	13	2,46 %
https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6670?..	12	3,55 %
http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/6670	12	3,55 %
https://aicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNJA_de98c54638901c4a32d3b443bdf1f3b5	10	2,13 %

Texto analizado:

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS

Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande Amazonas

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA MECÁNICA

Autora: Bach. Tenorio León, Rosinely <https://orcid.org/0009-0003-3385-7334>

Asesor: Ing. Mejía Vásquez, Eduar Jamis <https://orcid.org/0000-0002-9018-9569>

Registro: UPA-PITIM0041

Bagua Grande Perú 2023

Dedicatoria

Principalmente a Dios, por haberme dado la vida y salud permitiéndome el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. A mi familia que con su apoyo moral, económico pude concluir mi carrera. A mis padres y hermanas por su apoyo y confianza que me brindaron y guiaron en el transcurso de mis estudios superiores. Gracias por ayudarme a cumplir mis objetivos y metas como persona y estudiante. A mi padre, a pesar de nuestra distancia física siempre estuvo brindándome los recursos necesarios, apoyándome y aconsejándome siempre. A mi madre por ser el pilar más importante y por demostrarme siempre su cariño y apoyo incondicional sin importar nuestras diferencias de opiniones. A mis hermanas por estar siempre presentes, acompañándome en todo momento. Con su cariño su comprensión y consejos que me brindaron día a día para realizarme profesionalmente.
Rosinely.

Agradecimiento

A los docentes de la universidad Politécnica Amazónica por brindarnos y compartir sus enseñanzas, por sembrarnos sus conocimientos que nos ayudaran en el ámbito profesional de nuestra vida. Al Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez por su asesoría y hacer posible esta tesis, gracias por el apoyo brindado. A mis compañeros de clases quienes me acompañaron en esta trayectoria de aprendizaje y conocimientos. Gracias a todas las personas que ayudaron directa e indirectamente en la realización de esta tesis.

La Autora.

Autoridades universitarias

Rector : Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán

Coordinador de Escuela : Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez

Visto bueno del asesor

Yo, Eduar Jamis Mejía Vásquez, docente y coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Politécnica Amazónica, dejo constancia de haber asesorado a la tesis Rosinely Tenorio León, en su tesis titulada Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande Amazonas. Asimismo dejo constancia que se ha levantado las observaciones señaladas en la revisión previa a esta presentación.
Por lo indicado, doy fe y visto bueno.

3351583804688Bagua Grande, 07 de diciembre de 2023

Índice

Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Autoridades universitarias	iv
Visto bueno del asesor	v
Jurado evaluador	vi
Declaración jurada de no plagio	vii
Índice de tablas	xii
Índice de figuras.....	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
I. Introducción.....	1
1.1 Realidad problemática	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.3 Justificación de la investigación	2
1.3.1 Justificación social	2
1.3.2 Justificación económica	2
1.3.3 Justificación ambiental.....	2
1.3.4 Justificación científica.....	3
1.4 Hipótesis	3
1.5 Objetivos.....	3
1.5.1 Objetivo general	3
1.5.2 Objetivos específicos	3
II Marco teórico	4
2.1 Antecedentes.....	4
2.1.1 A nivel internacional.....	4

2.1.2	A nivel nacional	5
2.1.3	A nivel regional y local	6
2.2	Bases teóricas.....	6
2.2.1	Suministro de agua.....	6
2.2.2	Diseño del sistema de bombeo fotovoltaico	7
2.3	Definición de términos.....	11
III	Materiales y métodos	14
3.1	Diseño de investigación	14
3.2	Población, muestra y muestro	14
3.3	Determinación de las variables	14
3.4	Fuentes de información.....	15
3.5	Métodos	15
3.6	Técnicas e instrumentos	15
3.7	Procedimiento	16
3.8	Análisis estadístico	17
3.9	Consideraciones éticas	17
IV	Resultados.....	18
4.1	Evaluación de la radiación solar en la Institución Educativa	18
4.2	Demanda de agua de la Institución Educativa	20
4.3.1	Cálculo energía hidráulica	20
4.3.2	Cálculo energía eléctrica requerida.....	22
4.4	Dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa	23
4.4.1	Cálculo del mes de dimensionado.....	23
4.4.2	Cálculo potencia del generador fotovoltaico	24
4.4.3	Cálculo caudal pico de la bomba	24
4.4.4	Selección y justificación de la electrobomba bomba.....	25

4.4.5	Cálculo y selección del inversor de bombeo solar	26
4.4.6	Cálculo y selección del sistema generación fotovoltaica.....	27
4.4.7	Cálculos y selección de diámetros de tuberías posibles.....	30
4.4.8	Cálculo y selección del sistema de almacenamiento de agua	30
4.4.9	Cálculo y selección de protecciones eléctricas en el sistema de bombeo fotovoltaico	31
4.4.10	Cálculo y selección de conductores eléctricos	32
4.4.11	Estructura de soporte para montaje de los paneles fotovoltaicos.....	33
4.4.12	Topología del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua	33
4.5	Evaluación económicamente el sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa.....	34
4.5.1	Costo Nivelado de Energía	36
4.5.2	Indicadores economicos	38
V	Discusión.....	41
	Conclusiones	43
	Recomendaciones	44
	Referencias bibliográficas.....	45
	Anexos	49

Índice de tablas

Tabla 1	Radiación diaria para diferentes ángulos de inclinación	19
Tabla 2	Demanda de agua de la Institución Educativa	20
Tabla 3	Resultados de cálculo de la energía hidráulica	21
Tabla 4	Resultados de cálculo de energía eléctrica de potencia máxima	23
Tabla 5	Cálculo del cociente entre demanda de energía e irradiación para el ángulo óptimo...	23
Tabla 6	Resultados de cálculo de la potencia del generador fotovoltaico	24
Tabla 7	Resultados de cálculo del caudal pico	25
Tabla 8	Resultados de cálculo de la potencia del inversor de bombeo solar	27
Tabla 9	Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico seleccionado	28
Tabla 10	Calculo rango máximo y mínimo de paneles fotovoltaicos a conectar en serie al inversor de bombeo solar	28
Tabla 11	Resultados de cálculo de número de paneles fotovoltaicos, potencia de generación y la selección del mejor arreglo fotovoltaico	29
Tabla 12	Resultados de cálculo de diámetros de tubería de conducción	30
Tabla 13	Resultados de cálculo del volumen de almacenamiento de agua	31
Tabla 14	Resultados de cálculo de protecciones eléctricas del sistema bombeo fotovoltaico	32
Tabla 15	Resultados de cálculo de conductores eléctricos del sistema de bombeo fotovoltaico	33
Tabla 16	Presupuesto referencial sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa	35
Tabla 17	Costos anuales de mantenimiento, sistema de bombeo fotovoltaico	36
Tabla 18	Costos de reinversión sistema de bombeo fotovoltaico.....	36
Tabla 19	Resultados LCOE del sistema de bombeo fotovoltaico.....	37
Tabla 20	Resultados de evaluación económica del sistema de bombeo fotovoltaico.....	40

Índice de figuras

Figura 1	Componentes de sistemas de bombeo de agua fotovoltaicos	8
Figura 2	Diseño de la investigación.....	14
Figura 3	Procedimiento de cálculo para el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa.....	16
Figura 4	Ubicación de la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210.....	18
Figura 5	Comportamiento de la radiación diaria para diferentes ángulos de inclinación.....	19
Figura 6	Alturas manométricas del sistema de bombeo fotovoltaico	22
Figura 7	Curva de funcionamiento de la electrobomba centrífuga con acoplamiento directo motor bomba y eje único de la marca Calpeda	26
Figura 8	Estructura coplanar para paneles	33
Figura 9	Topología del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa.....	34

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas. El tipo de investigación es básica, con un nivel descriptivo, y un diseño de investigación descriptivo correlacional causal, no experimental. Se evaluó la radiación solar para diferentes ángulos de inclinación con datos de la NASA; la radiación para el ángulo óptimo calculado de 7.67° se interpoló entre los ángulos más cercanos a los obtenidos de la NASA y resultó $3.73 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, para el mes de mayo como más desfavorable. Asimismo se determinó la demanda de agua, tomando en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones (NORMA A.040 Educación), resultó que la demanda de agua proyectada es de 61500.55 lt/día ($61.50 \text{ m}^3/\text{día}$). Para una altura manométrica de 17.05 m resultó una energía hidráulica de 2.86 kWh/día , y una energía eléctrica de potencia máxima de 7.14 kWh/día . Se dimensionaron y se seleccionaron cada componente del sistema de bombeo fotovoltaico, para lo cual se seleccionó una electrobomba centrífuga de la marca Calpeda B-NM 40/16C-60/B, NM 40/16C-60/C, de 3450 rpm , 2.2 kW , 60Hz , $220\text{V } \Delta/380\text{V Y}$ trifásico; se seleccionó un inversor de bombeo solar de la marca INVT, modelo BPD004KTRAC de 4 kW , voltaje de máxima potencia de $220\text{-}750\text{V CD}$, de 02 MPPT , y de salida 380V Y trifásico; se determinaron 14 paneles fotovoltaico policristalino modelo EGE-330 Wp con una potencia total de generación 4.62 kWp ; y el volumen de almacenamiento de agua es de 61.50 m^3 . Por último la evaluación económicamente del sistema de bombeo fotovoltaico, se evaluó a 20 años; el LCOE calculado es de 1.210 S/./kWh . El proyecto resultó ser no rentable, considerando tasas de interés para el VAN del 12% , 10% y 9% . Sin embargo, al evaluar para una tasa de interés del 7% , se obtuvo un VAN positivo de $\text{S/}. 6467.84$, y la TIR es del 9% , lo que indica que el proyecto es rentable a mediano y largo plazo, con un tiempo de recuperación de 15.29 años.

Palabras clave: Diseño, sistema de bombeo, fotovoltaico, suministro de agua.

ABSTRACT

The objective of the research was to design a photovoltaic pumping system to supply water to the Alejandro Sánchez Arteaga Educational Institution 16210, Bagua Grande – Amazonas. The type of research is basic, with a descriptive level, and a descriptive causal correlational, non-experimental research design. Solar radiation was evaluated for different inclination angles with NASA data; the radiation for the calculated optimal angle of 7.67° was interpolated between the angles closest to those obtained from NASA and resulted in 3.73 kWh/m²/day, for the month of May as the most unfavorable. Likewise, the demand for water was considered, taking into account the National Building Regulations (NORMA A.040 Education), it turned out that the projected water demand is 61500.55 lt/day (61.50 m³/day). For a manometric head of 17.05 m, a hydraulic energy of 2.86 kWh/day was obtained, and a maximum power electrical energy of 7.14 kWh/day. Each component of the photovoltaic pump system was sized and selected, for which a centrifugal electropump from the Calpeda brand B-NM 40/16C-60/B, NM 40/16C-60/C, 3450 rpm, 2.2 was selected. kW, 60Hz, 220V Δ /380V Y three-phase; an INVT brand solar pump inverter was selected, model BPD004KTRAC of 4 kW, maximum power voltage of 220-750V DC, 02 MPPT, and 380V Y three-phase output; 14 polycrystalline photovoltaic panels model EGE-330 Wp were determined with a total generation power of 4.62 kWp; and the water storage volume is 61.50 m³. Finally, the economic evaluation of the photovoltaic pumping system was evaluated for 20 years; The calculated LCOE is 1.210 S/./kWh. The project turned out to be unprofitable, considering interest rates for the NPV of 12%, 10% and 9%. However, when evaluating an interest rate of 7%, a positive NPV of S/. 6467.84, and the IRR is 9%, which indicates that the project is profitable in the medium and long term, with a recovery time of 15.29 years.

Keywords: Design, pumping system, photovoltaic, water supply.

I. Introducción

1.1 Realidad problemática

En los últimos años, ha habido un aumento en los requisitos de agua en todo el mundo como resultado del aumento de la población, el aumento de la demanda agrícola y la rápida urbanización. Además, la rápida disminución de la infraestructura para el suministro de agua ha llevado la disponibilidad de agua a sus límites (Ayodele et al., 2019).

También en los últimos años, el uso de la energía fotovoltaica se ha prestado más atención y es una de las fuentes de energía más limpias y de más rápido crecimiento. La energía eléctrica producida por la energía fotovoltaica puede ser aprovechada de diferentes formas ya que es de naturaleza inagotable, libre de contaminación, distribuida sobre la tierra, libre de mantenimiento y de reducción continua de costos, la ventaja más importante es la reducción de emisiones de dióxido de carbono. Además, el suministro de agua potable es de vital importancia para la vida y la necesidad humana de agua crece continuamente. Esta necesidad se vuelve crucial en áreas rurales, donde es difícil o incluso imposible utilizar las energías clásicas. El bombeo de agua utilizando diferentes formas de energía se ha propuesto como solución para el suministro de agua. La energía solar térmica, la eólica y los sistemas híbridos son las formas de energía más investigadas para este fin. Además, la energía solar ha recibido recientemente una atención considerable en áreas secas y soleadas. Hoy en día, se considera como la fuente más atractiva debido al continuo desarrollo del material de las células solares (Khlifi, 2016).

La Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210 se especializa en proporcionar servicios educativos que abarcan la formación integral y el desarrollo personal de sus estudiantes. Su enfoque educativo abarca aspectos físicos, psíquicos, intelectuales, morales, espirituales, sociales, afectivos, éticos, cívicos y otros valores humanos. Este abordaje holístico refleja la dedicación de la institución hacia la creación de una experiencia educativa completa.

La red de distribución urbana de agua de Bagua Grande no cumple con el abastecimiento óptimo a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210 durante las horas de trabajo, en algunos casos se llega a secar en su totalidad provocando el incumplimiento de lo establecido por el Reglamento Nacional de Edificaciones, el cual traería serias sanciones a la Institución Educativa. Asimismo el suministro de electricidad no es muy estable en la zona, hay cortes de energía y muchas de las veces el sistema de bombeo actual no funciona. Por otra parte, la importancia de la sostenibilidad y la conciencia ecológica se refleja

en los principios fundamentales de la institución. Estos principios actúan como un catalizador para la investigación, especialmente en el contexto del uso de energía renovable, como la energía solar. Este enfoque innovador demuestra el compromiso de la institución con prácticas sostenibles y proporciona un marco sólido para explorar e implementar soluciones energéticas respetuosas con el medio ambiente.

1.2 Formulación del problema

¿Se podrá diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas?.

1.3 Justificación de la investigación

1.3.1 Justificación social

Desde una perspectiva social, el proyecto busca mejorar las condiciones de la comunidad educativa al garantizar un suministro constante de agua. El acceso confiable al agua potable impacta directamente la salud y el bienestar de los estudiantes, el personal y la comunidad en general. Además, al reducir la dependencia de fuentes externas y garantizar un suministro sostenible, se fortalece la resiliencia de la comunidad ante posibles interrupciones del suministro convencional.

1.3.2 Justificación económica

El sistema de bombeo fotovoltaico para el suministro de agua en la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga presenta una sólida justificación económica. La inversión inicial en infraestructura fotovoltaica se traduce en un ahorro a largo plazo al eliminar los costos continuos de energía eléctrica convencional. Este enfoque sostenible contribuye a la eficiencia financiera de la institución, liberando recursos para otros aspectos educativos y mejorando la viabilidad económica a largo plazo.

1.3.3 Justificación ambiental

El diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico refleja un compromiso ambiental al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con las fuentes de energía convencionales. Al aprovechar la energía solar, se disminuye la huella de carbono del sistema de bombeo, contribuyendo a la mitigación del cambio climático y promoviendo prácticas sostenibles.

1.3.4 Justificación científica

Desde una perspectiva científica, la investigación asociada con el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico proporcionará datos valiosos sobre la eficiencia, la producción de energía y la viabilidad técnica de esta tecnología en el contexto específico de la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga. Estos hallazgos pueden contribuir al avance del conocimiento en el campo de la energía renovable y la aplicación de sistemas fotovoltaicos en entornos educativos.

1.4 Hipótesis

Se puede diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas.

1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar la radiación solar en la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210.
- Determinar la demanda de agua de la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210.
- Determinar la demanda de energía del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210.
- Dimensionar el sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210.
- Evaluar económicamente el sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210.

II Marco teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 A nivel internacional

Kalla et al. (2021) en su investigación “Diseño y análisis de sistema de bombeo de agua IMD alimentado por energía solar fotovoltaica”. El sistema consta de un conjunto fotovoltaico, un convertidor elevador CD-CD, un inversor de fuente de voltaje y un motor de inducción con accionamiento trifásico (IMD) y bomba centrífuga. El Método de modulación de ancho de pulso de vector espacial modificado (MSVPWM) para el control de la corriente de entrada y los usos de conmutación del variador con menor número de sensores. Las principales ventajas de MSVPWM son su alta eficiencia, bajo costo debido al número reducido de sensores y baja corriente armónica. El modelo del sistema desarrollado se simula en el software MATLAB/Simulink. El sistema proporciona resultados satisfactorios. Rendimiento en condiciones dinámicas y de estado estable.

Martínez (2020) en su tesis titulada “Diseño de sistema de bombeo a base de energía solar para suministro de agua”, ubicado en México. Cuyo propósito es el dimensionamiento de la bomba y los paneles fotovoltaicos que van a trabajar en conjunto para la adecuada operación del sistema. Los parámetros como la cantidad de agua, las horas sol pico de la zona donde se va a realizar la instalación, características del pozo, pérdidas en el sistema, carga dinámica total, potencia del equipo de bombeo y potencia solar deben conocerse para la selección de la bomba. De igual manera los conceptos de energía solar son importantes para entender el funcionamiento y correcta instalación de los paneles fotovoltaicos. El modelo experimental es un sistema de recirculación de agua que opera con una bomba sumergible y paneles fotovoltaicos que se encargan de aprovechar la energía solar y transformarla en electricidad, en el cual se simula la operación del sistema a diferentes alturas y sirve para conocer los parámetros de caudal y potencia, que forman parte de la curva de operación y que son valores dependientes de las condiciones climatológicas. En el análisis económico se realiza la comparación con un sistema de bombeo a gasolina, para conocer la diferencia en costos de inversión, instalación y mantenimiento entre ambos sistemas. Se define cual es la opción más factible para el bombeo de agua, principalmente en zonas rurales donde el acceso a la red eléctrica es complicado.

Rojas y Velazco (2021) en su tesis titulada “Diseño de sistema fotovoltaico para la alimentación de la instalación eléctrica y el sistema de bombeo de agua de una vivienda en

zona rural”, ubicado en Bogota, Colombia. En la investigación se realizó el diseño de la instalación eléctrica y el sistema de bombeo, para el suministro de energía eléctrica y agua a una vivienda en una zona rural en construcción, que se encuentra en cercanías a una fuente hídrica constante en época de verano. Así mismo, se realizó el diseño y dimensionamiento de un sistema fotovoltaico para abastecer dichas cargas, esto debido a que dentro de la zona no se cuenta con acceso a la red eléctrica y al alcantarillado del municipio, pero si disponibilidad de recursos renovables y las condiciones adecuadas para implementar este tipo de alternativas. Además de dar una solución y aportar a la comunidad, se favorece el medio ambiente. Finalmente, se hizo una estimación de costos en donde se realizó un estudio de crédito a un plazo de 60 meses y a través del software PVsyst se llevó a cabo la validación del sistema fotovoltaico.

2.1.2 A nivel nacional

Baltazar (2020) en su tesis titulada “Sistema de bombeo solar fotovoltaico para abastecimiento de agua a la Institución Educativa Privada Apóstol San Pedro del distrito Tres de Diciembre”, ubicado en la provincia Chupaca, Junín. La investigación que se realizó es de tipo tecnológico y nivel aplicado. Trata de la configuración del sistema de bombeo y el sistema fotovoltaico, mediante la selección de cada componente perteneciente a éstos sistemas. La configuración ha sido de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones y al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. Para realizar la configuración del sistema de bombeo solar fotovoltaico se inició con la determinación de los parámetros de diseño, como son el periodo de diseño, la dotación de agua y las variaciones de consumo. En segundo lugar se realizó la configuración de los componentes del sistema de abastecimiento de agua, en general la línea de conducción; también se calculó la velocidad media de flujo del agua dentro de la tubería, se halló las pérdidas primarias y secundarias del sistema para finalizar con el dimensionamiento de los tanques cisterna y reservorio. En tercer lugar se realizó la configuración del sistema fotovoltaico, este estará en función de la potencia de la bomba seleccionada, se inicia con el dimensionamiento de los paneles solares, los sistemas de acumulación, el regulador y el inversor.

Hervias (2018) en su tesis titulada “Diseño de un sistema de bombeo mediante energía solar fotovoltaica para suministrar agua potable a la población de Maynas – Perú”. Se aprecia un pre evaluación antes del desarrollo del diseño, mencionando características específicas de la zona, con el fin de demostrar la viabilidad del proyecto. Se determinó la irradiación de la zona, por mes de un año típico, con data de la NASA; asimismo se determinó la potencia de la

bomba, realizando cálculos de mecánica de fluidos y determinación de insolación de la bomba para evaluar el régimen de bombeo. Se seleccionó y dimensionó las tuberías a utilizar, con la finalidad de brindar sostenibilidad durante los años de vida del sistema. El presente informe de tesis, está diseñado para el beneficio de 120 familias de la Ciudad de Iquitos, las cuales carecen de suministro de agua potable, siendo expuestas a diversas enfermedades. Se desarrolló un comparativo de costos entre un sistema de bombeo de agua con energía solar y otro con uso de diésel, probando la factibilidad del proyecto.

2.1.3 A nivel regional y local

A nivel regional no se tiene proyectos de sistemas de bombeo para suministro de agua a instituciones educativas, se tiene referencia de sistemas de bombeo fotovoltaico para otras aplicaciones como riego agrícola en cultivo de maíz y café. Por lo que es de importancia a nivel local realizar el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, que permita comparar el costo de mantener las operaciones durante una interrupción utilizando un sistema fotovoltaico.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Suministro de agua

En términos de suministro de agua, se hace referencia al volumen deseado y necesario en términos de cantidad y calidad, que los residentes o usuarios buscan adquirir de la entidad proveedora correspondiente. Este volumen tiene como objetivo satisfacer necesidades específicas, ya sea para la producción o el consumo. La determinación de esta cantidad se ve influenciada por diversos factores, entre los que se incluyen el costo de los servicios, el nivel de ingresos, el tipo de actividad, la tecnología utilizada, entre otros. En el diseño de sistemas hidráulicos, es esencial estimar el volumen de agua a bombear de acuerdo con la demanda prevista. (Castro et al., 2011).

Consumo de agua diario

Garantizar el suministro de agua implica la implementación de un sistema integral y sofisticado que asegure que cada persona reciba una cantidad adecuada de agua de calidad. Esto comprende la identificación de fuentes de agua, su transporte, almacenamiento, tratamiento y distribución eficientes. La determinación de la cantidad específica de agua necesaria para cada individuo no puede ser estandarizada, ya que se deben considerar factores

como la fisiología, la cultura, la geografía, el clima y aspectos técnicos (Castro et al., 2011). Para el proyecto se tomará en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones para determinar la cantidad de agua necesaria para la Institución Educativa en (Litros/persona/día)

2.2.2 Diseño del sistema de bombeo fotovoltaico

El sistema a estudiar depende de la topología a diseñar. En su mayoría está compuesto por paneles fotovoltaicos, inversor, motor asíncrono y bomba centrífuga. El funcionamiento del inversor y del motor eléctrico depende de las características del campo fotovoltaico. La matriz fotovoltaica transforma la luz solar en una corriente eléctrica continua y voltaje que alimenta al inversor, lo que garantiza la conversión de CD/CA. El agua se bombea solo durante los períodos de sol, por esta razón, dicho sistema puede denominarse bombeo a lo largo del sol (Khlifi, 2016).

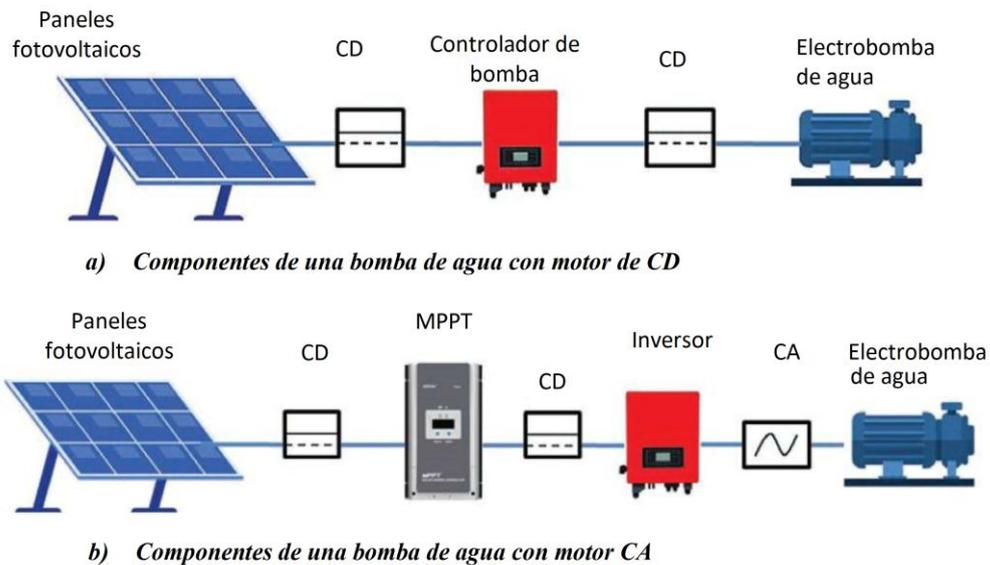
Los sistemas de bombeo de agua fotovoltaicos (SBAF) desempeñan un papel crucial en regiones remotas, aisladas y sin acceso a la electricidad, donde establecer conexión a la red principal es costoso o complicado. Estos sistemas representan una alternativa eficiente a los métodos convencionales de bombeo que dependen de electricidad y diésel. Son particularmente valiosos en áreas alejadas, tanto en naciones en desarrollo como desarrolladas, donde la conexión a la red es limitada. Su eficacia supera a la de otros sistemas tradicionales de bombeo de agua. La composición de estos sistemas incluye un módulo fotovoltaico, un sistema de conversión o control de potencia, un motor vinculado a una bomba y sensores (Vargas, 2018).

La mayoría de los desarrolladores y contratistas solares no tienen una amplia experiencia en el diseño o el trabajo en entornos escolares. Por esa razón, las escuelas deben estar preparadas para el trabajo adicional en el diseño de ingeniería y estar listas para abogar por lo que necesitan para obtener el mejor beneficio educativo del producto. Encontrar el desarrollador solar adecuado para asociarse puede facilitar enormemente este proceso. Al planificar con anticipación, las escuelas pueden diseñar estratégicamente solicitudes de propuestas para proyectos de construcción solar para garantizar que todos sus intereses se tengan en cuenta en el proceso de licitación y adquisición (Walz et al., 2020).

La Figura 1, se muestran los componentes de un sistema de bombeo fotovoltaico que convierte la energía solar en energía eléctrica mediante el efecto fotovoltaico, además, esta energía impulsa el motor y luego la bomba.

Figura 1

Componentes de sistemas de bombeo de agua fotovoltaicos



Nota. Adecuado de (Kumar et al., 2022).

Bombas de agua

El agua se puede elevar desde el nivel inferior al nivel superior solo con la ayuda de una bomba. La bomba de agua centrífuga convierte la energía de rotación (energía mecánica) en energía en un fluido en movimiento con la ayuda de un motor (Nebiyu Bogale Mereke, 2015). Las bombas más utilizadas son las sumergibles, centrífugas y de desplazamiento positivo. Su principio de funcionamiento es diferente, y cada tipo tiene sus propias características de funcionamiento (Vargas, 2018).

El motor de la bomba, actualmente hay varios tipos de motores disponibles en el mercado, como CA, CD, imán permanente, con escobillas, sin escobillas, síncronos y asíncronos, de reluctancia variable y muchos más. La matriz fotovoltaica podría conectarse directamente al motor, si la aplicación necesita un motor de CD. Si la aplicación necesita un motor de CA, se debe colocar un inversor (generalmente llamado controlador) entre la matriz fotovoltaica y el motor. El motor y la bomba están integrados juntos para los sistemas sumergibles y flotantes. En este caso, el consumidor no tiene la opción de elegirlos por separado. En el sistema de superficie, es posible elegir la bomba y el motor por separado y evaluar su desempeño junto con el controlador y el panel (Meah et al., 2008).

Sistema de control

El conjunto fotovoltaico se regula al nivel óptimo de potencia que puede proporcionar para obtener el mejor rendimiento del sistema (Khlifi, 2016). El objetivo del MPPT es transferir la máxima potencia del sistema fotovoltaico a la carga usando diferentes algoritmos, mejorando así la eficiencia del panel fotovoltaico. La eficiencia del MPPT moderno está entre el 92 % y el 97 %, con un aumento de potencia típico del 20 al 45 % en invierno y del 10 al 15 % en verano. La impedancia de entrada debe ser igual a la impedancia neta de los módulos solares para obtener la máxima potencia de salida. La frecuencia de funcionamiento de los MPPT es muy alta (rango de audio) en el rango de 20 a 80 kHz. Los algoritmos de control para el MPPT incluyen perturbar y observar conductancia incremental, ascenso de colinas, voltaje constante, capacitancia parásita, control de corrección de ondulación, voltaje de circuito abierto fraccional, lógica difusa, control de redes neuronales y muchos más (Kumar et al., 2022).

Convertidor de potencia

El convertidor de potencia es un componente esencial en los sistemas de bombeo de agua fotovoltaico (SBAF). El convertidor de potencia puede ser un convertidor CD-CD o un inversor CD-CA, según la bomba de agua utilizada para la aplicación. El SBAF convencional utiliza un motor de CD donde se puede emplear un convertidor MPPT CD-CD. Pero un motor de inducción alimentado por CA se usa ampliamente en sistemas de bombeo, por lo tanto, la salida de CD de la matriz fotovoltaica debe convertirse en AC adecuada mediante el uso del inversor adecuado. El inversor de uso común es el variador de frecuencia (VF), que funciona variando la frecuencia y el voltaje suministrados a un motor. En aplicaciones en las que el motor debe funcionar a velocidades más bajas, el VF disminuirá la frecuencia y el voltaje, lo que reducirá la velocidad del motor (Kumar et al., 2022).

Radiación solar

La irradiancia solar se refiere a la cantidad de radiación proveniente del sol que llega a una superficie específica, como un módulo solar fotovoltaico, y se cuantifica en kilovatios por metro cuadrado (kW/m^2). La máxima irradiancia solar se registra en la superficie perpendicular a la dirección del sol, en contraste con otras superficies orientadas en diferentes ángulos respecto al sol. En términos generales, las células fotovoltaicas aprovechan principalmente la radiación visible del espectro solar. Por otro lado, la irradiación representa la cantidad total de radiación solar que incide sobre una superficie durante un período de tiempo determinado. Para

ilustrar, si una superficie recibe 3.73 horas pico de sol al día, significa que durante ese tiempo está expuesta a una radiación de 1000 W/m^2 . En resumen, la irradiación solar se puede medir mediante dos unidades: Horas Sol Pico (HSP) diarias o kilovatios-hora por metro cuadrado por día ($\text{kWh/m}^2/\text{día}$). La evaluación de sistemas fotovoltaicos prioriza la disponibilidad de irradiación solar. Comúnmente, el mes con menor insolación se utiliza como referencia para el diseño. Diversos recursos ofrecen información detallada sobre la irradiación solar diaria, entre ellos, la NASA proporciona un portal online con datos mensuales obtenidos mediante mediciones satelitales (International Energy Agency-IEA, 2014).

La generación óptima de energía eléctrica en sistemas fotovoltaicos depende del tamaño y la orientación adecuada del panel solar con respecto a la irradiación solar. Para garantizar que el panel solar suministre electricidad en su máxima capacidad, es esencial considerar la posición del sol y la orientación precisa de la superficie fotovoltaica durante el diseño del sistema solar. En consecuencia, la orientación del panel se convierte en un elemento crucial en la planificación del sistema fotovoltaico (Beitelmal et al., 2022).

Energía hidráulica

La energía hidráulica se obtiene aprovechando la fuerza del agua en movimiento, especialmente a la salida de un sistema de bombeo. La cuantificación de esta energía se expresa en kilovatios-hora (kWh), siendo influenciada por dos factores clave: el promedio diario de agua bombeada, medido en metros cúbicos por día ($\text{m}^3/\text{día}$), y la altura total alcanzada en el proceso (m) (Glasnovic y Margeta, 2007).

Potencia de generación fotovoltaica

El sistema generador de una bomba solar, basado en tecnología fotovoltaica, se compone de módulos fotovoltaicos conectados de manera combinada en serie y paralelo, ajustados según las necesidades de voltaje del motor. Cada módulo fotovoltaico está compuesto por células solares encargadas de transformar la radiación solar en electricidad directa (Chandel et al., 2015).

Evaluación económica

El costo actual engloba el costo inicial de inversión, el costo asociado al reemplazo y los gastos operativos y de mantenimiento durante todo el tiempo de vida del proyecto. La

evaluación económica de un proyecto consiste en cuantificar sus beneficios netos expresados en términos monetarios (Beitelmal et al., 2022).

Costos de energía eléctrica

En términos generales, el costo de la energía está directamente vinculado al tamaño del sistema, ya que una mayor capacidad suele disminuir los costos energéticos. Sin embargo, este beneficio se ve contrarrestado por un aumento en los costos de inversión (Mahmud, 2010).

El Costo Nivelado de Generación de Electricidad (LCOE) refleja el costo total de un sistema de generación de energía a lo largo de su vida útil. Se define como el precio de la electricidad necesario para equilibrar los ingresos con los costos, considerando el rendimiento del capital invertido en relación con la tasa de descuento. Un precio de la electricidad superior a este punto resultaría en una mayor rentabilidad del capital, mientras que un precio inferior llevaría a una rentabilidad menor o incluso pérdidas (Derbie, 2019).

Indicadores economicos

La predicción del rendimiento financiero o económico de un proyecto se basa en factores económicos clave (Akbar et al., 2015). Una vez que se conoce el costo de la energía eléctrica, el análisis prosigue evaluando la ganancia, el flujo de efectivo y parámetros económicos como el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación (Wresta et al., 2015).

El VAN, que es la suma algebraica de flujos de efectivo ajustados a la tasa de costo de capital durante el período de evaluación, determina la viabilidad económica de un proyecto. Un VAN mayor o igual a cero indica que los ingresos ajustados superan los gastos ajustados, considerando la tasa de costo de capital. La TIR representa la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos y gastos, llevando el VAN a cero. Si la TIR es mayor que el rendimiento de la inversión requerido, se considera que el proyecto es económicamente viable, ya que ofrece una rentabilidad superior al umbral mínimo establecido (Valdés et al., 2020).

2.3 Definición de términos

Suministro de agua

En términos de suministro de agua, se hace referencia al volumen deseado y necesario en términos de cantidad y calidad, que los residentes o usuarios buscan adquirir de la entidad

proveedora correspondiente. Este volumen tiene como objetivo satisfacer necesidades específicas, ya sea para la producción o el consumo (Castro et al., 2011).

Diseño del sistema de bombeo fotovoltaico

En su mayoría está compuesto por paneles fotovoltaicos, inversor, motor asíncrono y bomba centrífuga. El funcionamiento del inversor y del motor eléctrico depende de las características del campo fotovoltaico. El agua se bombea solo durante los períodos de sol, por esta razón, dicho sistema puede denominarse bombeo a lo largo del sol (Khlifi, 2016).

Radiación solar

La irradiancia solar se refiere a la cantidad de radiación proveniente del sol que llega a una superficie específica, como un módulo solar fotovoltaico, y se cuantifica en kilovatios por metro cuadrado (kW/m^2). Por otro lado, la irradiación representa la cantidad total de radiación solar que incide sobre una superficie durante un período de tiempo determinado (International Energy Agency-IEA, 2014).

Energía hidráulica

La energía hidráulica se obtiene aprovechando la fuerza del agua en movimiento, especialmente a la salida de un sistema de bombeo. Se expresa en kilovatios-hora (kWh), siendo influenciada por dos factores el promedio diario de agua bombeada ($\text{m}^3/\text{día}$), y la altura total alcanzada (m) (Glasnovic y Margeta, 2007).

Potencia de generación fotovoltaica

El sistema generador, basado en tecnología fotovoltaica, se compone de módulos fotovoltaicos conectados de manera combinada en serie y paralelo, ajustados según las necesidades (Chandel et al., 2015).

Evaluación económica

La evaluación económica de un proyecto consiste en cuantificar sus beneficios netos expresados en términos monetarios (Beitelmal et al., 2022).

Costos de energía eléctrica

El costo de la energía está directamente vinculado al tamaño del sistema, ya que una mayor capacidad suele disminuir los costos energéticos. Sin embargo, este beneficio se ve contrarrestado por un aumento en los costos de inversión (Mahmud, 2010).

LCOE

El Costo Nivelado de Generación de Electricidad (LCOE) se define como el precio de la electricidad necesario para equilibrar los ingresos con los costos, considerando el rendimiento del capital invertido en relación con la tasa de descuento (Derbie, 2019).

Indicadores economicos

El desempeño económico del proyecto se puede prever sobre la base de determinantes económicos (Akbar et al., 2015). El análisis prosigue evaluando el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Periodo de Recuperación (Wresta et al., 2015).

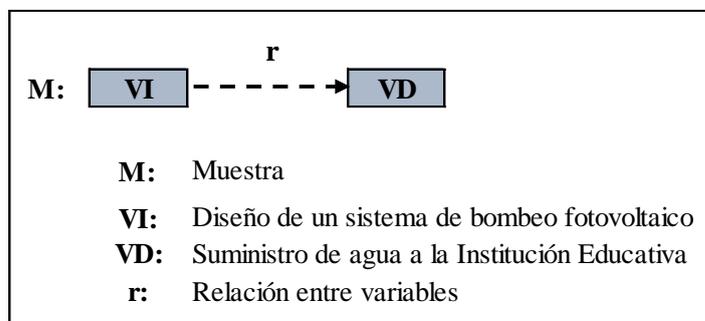
III Materiales y métodos

3.1 Diseño de investigación

El diseño de la investigación implica convertir las preguntas e hipótesis de investigación en tácticas específicas, tales como la selección de participantes, la implementación de tratamientos, el uso de instrumentos de medición, la recopilación de datos, entre otros (Gonzales, 2021). Este estudio se clasifica como básico, con un nivel de investigación de enfoque descriptivo. Además, el diseño de la investigación adopta una perspectiva descriptiva correlacional causal, no experimental.

Figura 2

Diseño de la investigación



Nota. Diseño de investigación descriptivo correlacional causal

3.2 Población, muestra y muestro

La población se refiere al conjunto integral de individuos, infraestructuras, equipos, herramientas e incluso material audiovisual que se busca comprender en el contexto de una investigación. En contraste, la muestra constituye una porción o subconjunto específico del universo o población bajo estudio. La muestra se elige de manera que sea representativa de la población en general (Gonzales, 2021).

- Población: Alumnos de la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210.
- Muestra: Alumnos de la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, año 2022.
- Muestreo: No probabilístico por conveniencia del investigador.

3.3 Determinación de las variables

- Variable independiente: Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico.
- Variable dependiente: Suministro de agua

3.4 Fuentes de información

Las fuentes de información primaria consisten en documentos originales utilizados como base en investigaciones previas, mientras que las fuentes secundarias implican la interpretación, comentario o análisis de otras fuentes (Ñaupas et al., 2018). Respecto a los datos recopilados, estos provienen de la Institución Educativa e incluyen información sobre la cantidad de alumnos en los niveles primario y secundario, así como datos topográficos y alturas manométricas. Además, para las labores gabinete, que involucran formulación, cálculos y diseño, se emplearon datos de radiación solar con resolución mensual de los últimos años, los cuales fueron obtenidos de la NASA.

3.5 Métodos

La inducción implica la transición del pensamiento desde hechos particulares hacia afirmaciones de carácter más amplio. Este proceso consiste en derivar hipótesis, leyes y teorías que abarquen no solo la situación específica de partida, sino también otros casos similares, partiendo de los resultados de observaciones o experimentos que, generalmente, involucran un número limitado de casos. La deducción, por otro lado, es un método que posibilita inferir hechos específicos a partir de enunciados generales, siendo su origen la palabra "deducción", que significa descender (Ruiz, 2007). En la investigación realizada, se empleó el método de inducción-deducción. El enfoque inductivo se centró inicialmente en comprender el problema del suministro de agua. En contraste, el método deductivo se utilizó para analizar hechos específicos, como las características y el funcionamiento detallado de cada componente del sistema de bombeo fotovoltaico.

3.6 Técnicas e instrumentos

Las guías de observación permiten al investigador registrar la situación o los eventos observados durante la investigación. Los investigadores a menudo deben usar cámaras de video para registrar eventos que no son fácilmente visibles. También está el análisis de documentos, donde el investigador recopila información de cuadros, informes, etc. No es necesaria la revisión estadística del caso por expertos (Gonzales, 2021). Para la investigación se utilizó la técnica de observación y análisis documental.

- **Técnica de observación**

Instrumento: Guía de observación de datos topográficos y alturas manométrica.

- **Técnica de análisis de documentos**

Instrumento: Ficha de registro de número de alumnos.

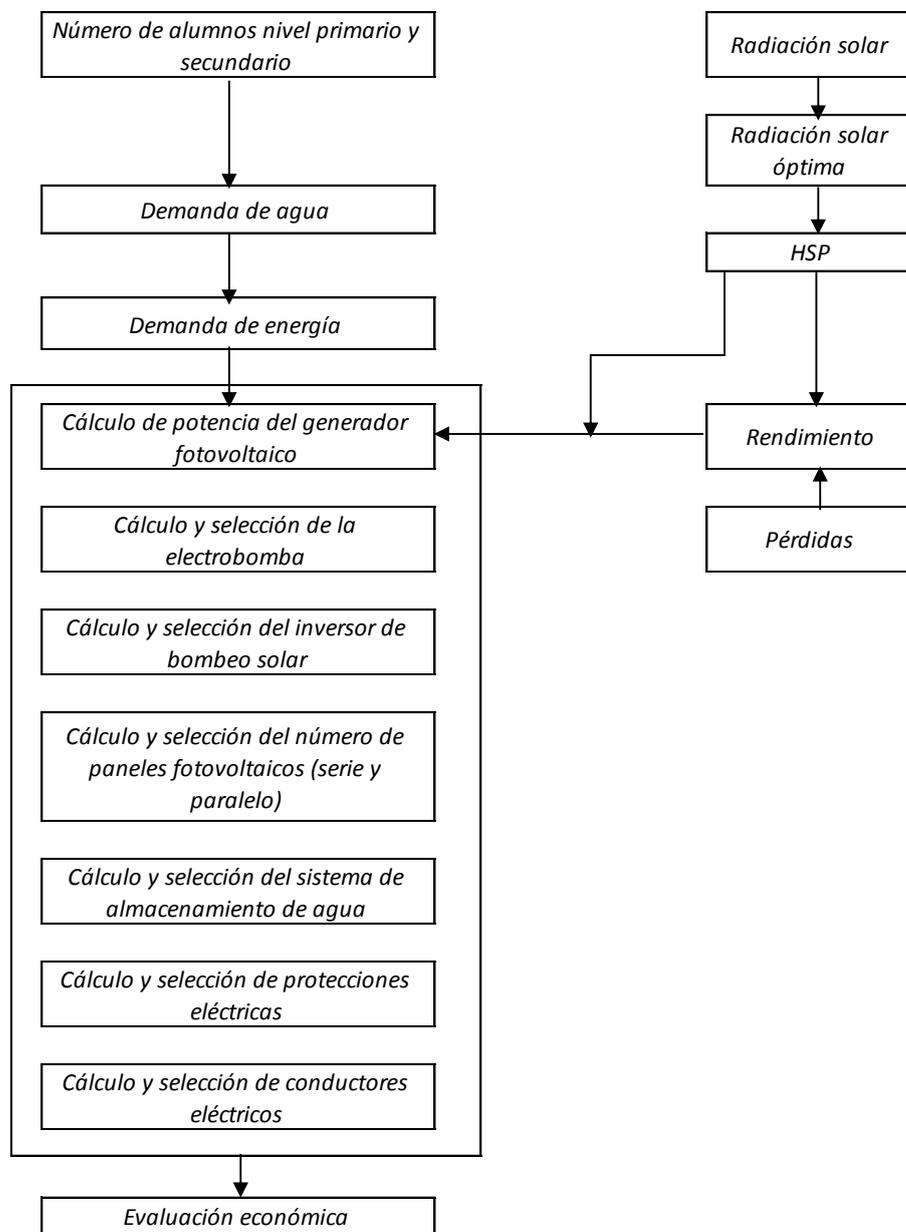
Instrumento: Ficha registro de radiación solar.

3.7 Procedimiento

Para el dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa, se tomó en cuenta los objetivos planteados (Figura 3).

Figura 3

Procedimiento de cálculo para el diseño del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa.



Nota. Procedimiento de cálculo de acuerdo a objetivos planteados.

3.8 Análisis estadístico

El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el uso de estadística descriptiva, que implica la evaluación de los datos recopilados. Posteriormente, se procedió a describir el comportamiento de estos datos en el contexto de la investigación. Esta descripción se materializó mediante la presentación de tablas y figuras, y se complementó con la aplicación de medidas numéricas utilizando la herramienta Excel.

3.9 Consideraciones éticas

En el marco de las consideraciones éticas, se consideraron las pautas éticas internacionales para la investigación. La tesis se encuentra libre de plagio en su totalidad o en parte, y sigue los estándares internacionales en cuanto a la correcta citación y referencia bibliográfica de las fuentes consultadas. Asimismo, se garantiza que no se han violado los derechos de terceros

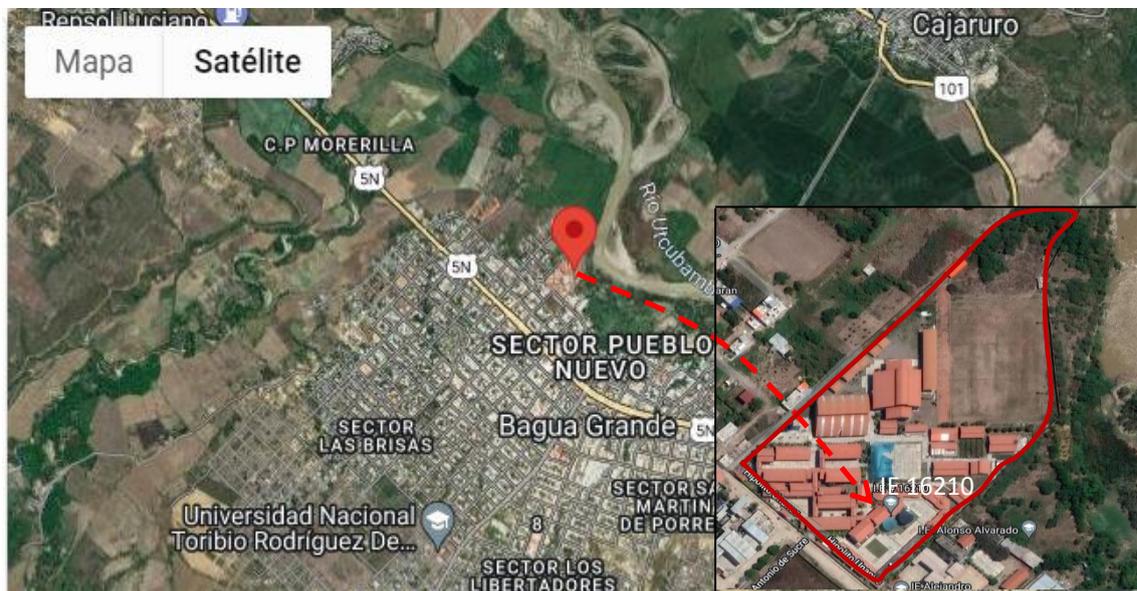
IV Resultados

4.1 Evaluación de la radiación solar en la Institución Educativa

El objeto de estudio comprende la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, ubicada en el distrito de Bagua Grande, que está ubicado a una Latitud -5.75017 , y Longitud -78.44504 , altitud de 435 m.s.n.m. La Figura 4, muestra la ubicación de la zona de estudio.

Figura 4

Ubicación de la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210



Nota. Adecuado del Google Maps.

La optimización del ángulo de inclinación en los sistemas fotovoltaicos es esencial y debe ajustarse según la ubicación geográfica. Esto se realiza con el propósito de mejorar la autolimpieza de los paneles y prevenir la acumulación de elementos como hojas y polvo (Mejía, 2019). Según Pareja (2016), el cálculo del ángulo óptimo de inclinación anual de acuerdo a la latitud del lugar, se determinó con la Ecuación (1). Como resultado se obtuvo que el ángulo óptimo de inclinación calculado es de 7.67° , para una latitud del lugar de -5.75017 .

$$\beta_{\text{óptimo}} = 3.7 + 0.69 \times |\phi| \quad (1)$$

Donde

$\beta_{\text{óptimo}}$: Ángulo óptimo de inclinación.

$|\phi|$: Latitud del lugar.

La radiación para el ángulo óptimo calculado de 7.67° se interpoló entre los ángulos más cercanos obtenidos del aplicativo de la NASA. Los resultados de radiación solar para el ángulo óptimo calculado se muestran Tabla 1, y en la Figura 5 se muestra el comportamiento de la radiación diaria promedio para diferentes ángulos de inclinación. Para el diseño del sub sistema de generación fotovoltaica se tomó el mes más desfavorable del ángulo de inclinación óptima calculada (7.67°) que resultó $3.73 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, para el mes de mayo.

Tabla 1

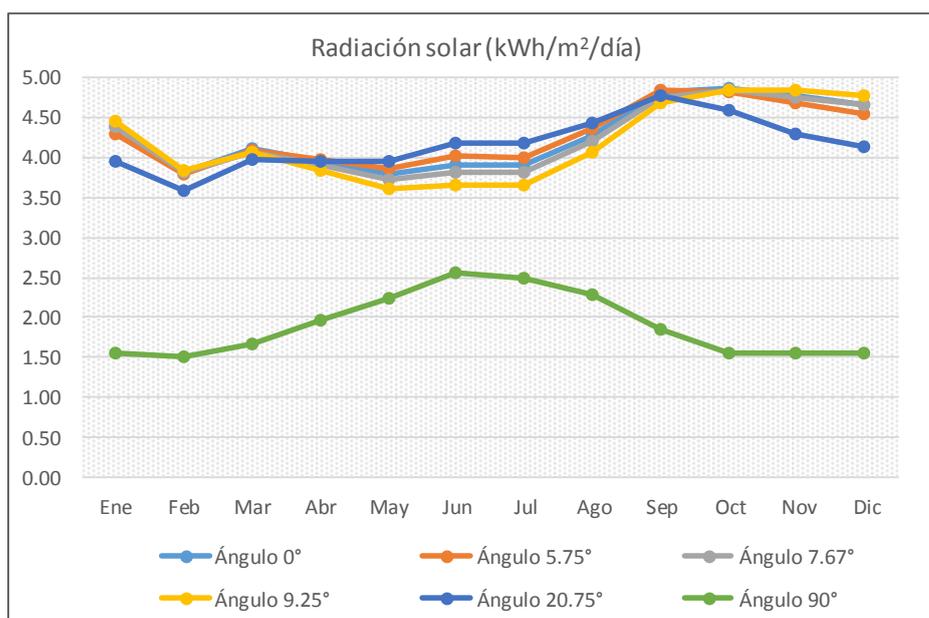
Radiación diaria para diferentes ángulos de inclinación

Parámetros	Ángulo 0°	Ángulo 5.75°	Ángulo 7.67°	Ángulo 9.25°	Ángulo 20.75°	Ángulo 90°
Ene	4.38	4.30	4.39	4.46	3.96	1.56
Feb	3.82	3.79	3.81	3.83	3.60	1.50
Mar	4.11	4.10	4.08	4.06	3.97	1.66
Abr	3.95	3.98	3.90	3.84	3.96	1.96
May	3.80	3.87	3.73	3.61	3.96	2.23
Jun	3.91	4.02	3.82	3.66	4.19	2.55
Jul	3.90	4.01	3.81	3.65	4.18	2.49
Ago	4.28	4.36	4.21	4.08	4.44	2.29
Sep	4.82	4.85	4.76	4.69	4.77	1.85
Oct	4.87	4.83	4.85	4.86	4.59	1.55
Nov	4.77	4.68	4.77	4.84	4.31	1.56
Dic	4.66	4.55	4.67	4.77	4.13	1.54

Nota. NASA (2021-2022). Valores ángulo óptimo 6.67° obtenido por interpolación.

Figura 5

Comportamiento de la radiación diaria para diferentes ángulos de inclinación



Nota. NASA (2021-2022). Valores ángulo óptimo 6.67° obtenido por interpolación.

4.2 Demanda de agua de la Institución Educativa

Según RNE (2006), la dotación de agua a garantizar para el diseño de los sistemas de suministro y almacenamiento son: Educación primaria 20 lts/alumno/día, y para educación secundaria y superior 25 lts./alumno/día.

Tabla 2

Demanda de agua de la Institución Educativa

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad alumnos	Población futura de alumnos (a 20 años)	Dotación de agua (lt/alumno/día)	Sub total (lt/día)
I	Primaria					29855.59
1.1	Hombres	Und.	455	745.57	20	14911.41
1.2	Mujeres	Und.	456	747.21	20	14944.18
II	Secundaria					26054.00
2.1	Hombres	Und.	330	540.74	25	13518.59
2.2	Mujeres	Und.	306	501.42	25	12535.42
Sub total						55909.59
Pérdidas de agua (10%)						5590.96
Total						61500.55

Nota. Para la dotación de agua (lt/alumno/día) se tomó RNE (2006). Cantidad de alumnos actual corresponde al año escolar 2022. Tasa de crecimiento anual 2.5%.

4.3 Demanda de energía del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa

4.3.1 Cálculo energía hidráulica

Si se tiene información sobre la variación de nivel durante el proceso de bombeo, también conocida como abatimiento, no resulta imprescindible llevar a cabo la prueba de bombeo, la cual también está especificada en los lineamientos del IDAE. En cuanto al cálculo de la altura total equivalente, es esencial considerar un 10% de pérdida por fricción en el sistema (Pareja, 2016). Además, de acuerdo con las directrices del IDAE (2009), la altura se define como la distancia que el flujo de agua debe recorrer desde el punto de extracción hasta llegar al tanque de distribución.

Actualmente en la Institución Educativa existe un pozo de captación de agua de 36 m de profundidad, y utiliza electrobombas de superficie, por otra parte se cuenta con un tanque elevado de concreto de 4.60 x 5.40 x 2.50m (62.1 m³ de capacidad). Para el diseño, se tuvo en cuenta una altura de abatimiento de 0.80 m por debajo del nivel del agua, porque el volumen

de agua puede disminuir durante el bombeo. La Figura 6 muestra un esquema de alturas manométricas para el sistema de bombeo fotovoltaico.

Para el proyecto la altura manométrica total que incluye alturas de succión, impulsión y pérdidas (10%) es igual a 17.05 m. Por otra parte el requerimiento de agua o caudal de diseño es 61500.55 lt/día (61.50 m³/día).

Pareja (2016) la energía hidráulica se determina mediante la Ecuación (2). Los resultados de cálculo se muestra en la Tabla 3, y resultó que la energía hidráulica es 2.86 kWh/día.

$$E_h = \frac{\rho \times g \times Q \times H_T}{3600} \quad (2)$$

Donde:

E_h : Energía hidráulica (Wh/día).

ρ : Densidad del agua (kg/m³).

g : Gravedad (m/s²).

Q : Demanda de agua (m³/día).

H_T : Altura manométrica total (m).

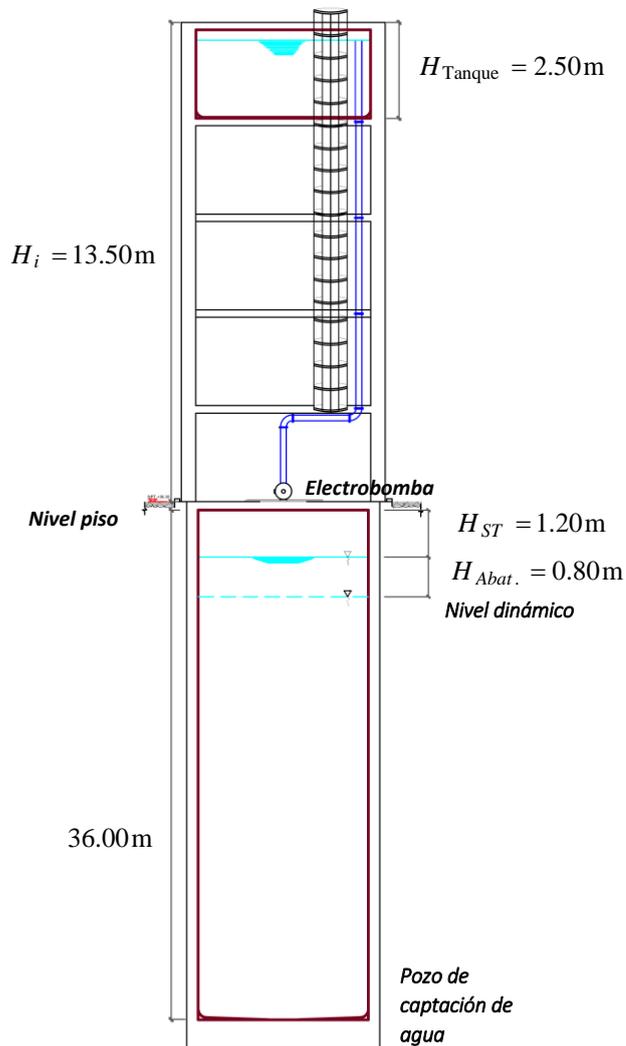
Tabla 3

Resultados de cálculo de la energía hidráulica

Parámetros	Valores
Altura manométrica total (m)	17.05
Demanda de agua (m ³ /día)	61.50
Gravedad (m/s ²)	9.81
Densidad del agua (kg/m ³)	1000
Energía hidráulica (E_h) (kWh/día)	2.86

Figura 6

Alturas manométricas del sistema de bombeo fotovoltaico



Nota. H_i altura de impulsión, H_{ST} altura estática, $H_{Abat.}$ altura de abatimiento. Tanque de concreto de 4.60 x 5.40 x 2.50 m (62.1 m³ de capacidad).

4.3.2 Cálculo energía eléctrica requerida

En el cálculo de la energía eléctrica requerida, se toma en consideración el rendimiento pico del subsistema motor-bomba de corriente alterna (CA), típicamente con un rendimiento medio del 40 % y un rendimiento pico del 60 % (Pareja, 2016). La determinación de la energía necesaria para la máxima potencia diaria se tomó un rendimiento del 40 %, obtenido a través de la Ecuación (3). Los resultados de cálculo se muestran en la Tabla 4, dando como resultado una cantidad de energía eléctrica de 7.24 kWh/día para la potencia máxima.

$$E_{Pmax-d} = \frac{E_h}{\eta_{MB}} \quad (3)$$

Donde:

E_{Pmax-d} : Energía eléctrica de potencia máxima (kWh/día).

E_h : Energía hidráulica diaria (kWh/día).

η_{MB} : Rendimiento medio del sistema electrobomba.

Tabla 4

Resultados de cálculo de energía eléctrica de potencia máxima

Parámetros	Valores
Energía hidráulica (E_h) (kWh/día)	2.86
η_{MB} (%)	40
Energía eléctrica de potencia máxima (E_{Pmax-d}) (kWh/día)	7.14

4.4 Dimensionamiento del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa

4.4.1 Cálculo del mes de dimensionado

Para determinar el mes de dimensionado, se evalúa el coeficiente entre la energía hidráulica y la radiación solar (E_h/G_{dm}), seleccionando el valor más alto correspondiente al ángulo óptimo calculado de 7.67° , que es 0.767. Los resultados del cálculo se presentan en la Tabla 5, revelando el mes con la menor radiación. En este contexto, se llega a la conclusión de que el mes de dimensionado es mayo, considerando un ángulo de inclinación óptimo calculado de 7.67° y una demanda de energía hidráulica de 2.86 kWh/día.

Tabla 5

Cálculo del cociente entre demanda de energía e irradiación para el ángulo óptimo

Mes	E_h (kWh/día)	$G_{dm} (7.67^\circ)$ (kWh/día)	E_h/G_{dm}
Ene	2.86	4.39	0.651
Feb	2.86	3.81	0.750
Mar	2.86	4.08	0.701
Apr	2.86	3.90	0.732
May	2.86	3.73	0.767
Jun	2.86	3.82	0.747
Jul	2.86	3.81	0.749
Ago	2.86	4.21	0.679
Sep	2.86	4.76	0.600
Oct	2.86	4.85	0.590
Nov	2.86	4.77	0.599
Dic	2.86	4.67	0.612

4.4.2 Cálculo potencia del generador fotovoltaico

Pareja (2016) establece que la potencia del generador fotovoltaico, excluyendo la potencia de cada módulo solar, se calcula mediante la Ecuación (4). En estos cálculos, se incorpora un factor de seguridad de 1.2, que corresponde a un 20 % de sobredimensionamiento, aplicado en el mes de dimensionamiento con 3.73 *HSP* para un ángulo óptimo calculado de 7.67°.

Según las pautas del IDAE (2009), en el caso de bombeo directo con el uso de un inversor sin baterías, el valor de es de 0.7. En situaciones que involucran un sistema con baterías, se utiliza el valor de 0.6. Los resultados detallados se encuentran en la Tabla 6, revelando una potencia mínima de 3.65 kW que debe considerarse para el generador fotovoltaico.

$$P_G = fs \times \frac{E_{P_{\max-d}}}{0.9 \times HSP \times K_T} \quad (4)$$

Donde:

P_G : Potencia del generador (kW).

fs : Factor de seguridad para sobre dimensionar la instalación.

$E_{P_{\max-d}}$: Energía eléctrica de potencia máxima (kWh/día).

HSP : Horas sol pico.

K_T : Pérdidas de la instalación.

Tabla 6

Resultados de cálculo de la potencia del generador fotovoltaico

Parámetros	Valores
Energía eléctrica de potencia máxima ($E_{p_{\max-d}}$) (kWh/día)	7.14
Factor de seguridad (fs)	1.20
Horas sol pico (HSP)	3.73
Pérdidas en la instalación (K_T)	0.70
Potencia del generador fotovoltaico (P_G) (kW)	3.65

4.4.3 Cálculo caudal pico de la bomba

De acuerdo con Pareja (2016), la elección de la electrobomba implica la capacidad de manejar un flujo volumétrico máximo o pico (lt/s) en función de la capacidad del generador fotovoltaico y el rendimiento máximo del subsistema motobomba. La eficiencia promedio de este subsistema generalmente está alrededor del 40 %, con un rendimiento máximo alcanzando

el 60 %. La evaluación se lleva a cabo utilizando la Ecuación (5), y los resultados se presentan de manera detallada en la Tabla 7. Con base en estos cálculos, se determina que el caudal pico que la electrobomba debe ser capaz de manejar es de 8.73lt/s (equivalente a 31.43 m³/h).

$$Q_P = \frac{P_G \times \eta_{MB}}{g \times H_T} \quad (5)$$

Donde:

Q_P : Caudal pico (lt/s).

P_G : Potencia del generador (W).

η_{MB} : Rendimiento del subsistema motor-bomba.

g : Gravedad (9.81 m/s²).

H_{TE} : Altura total equivalente (m).

Tabla 7

Resultados de cálculo del caudal pico

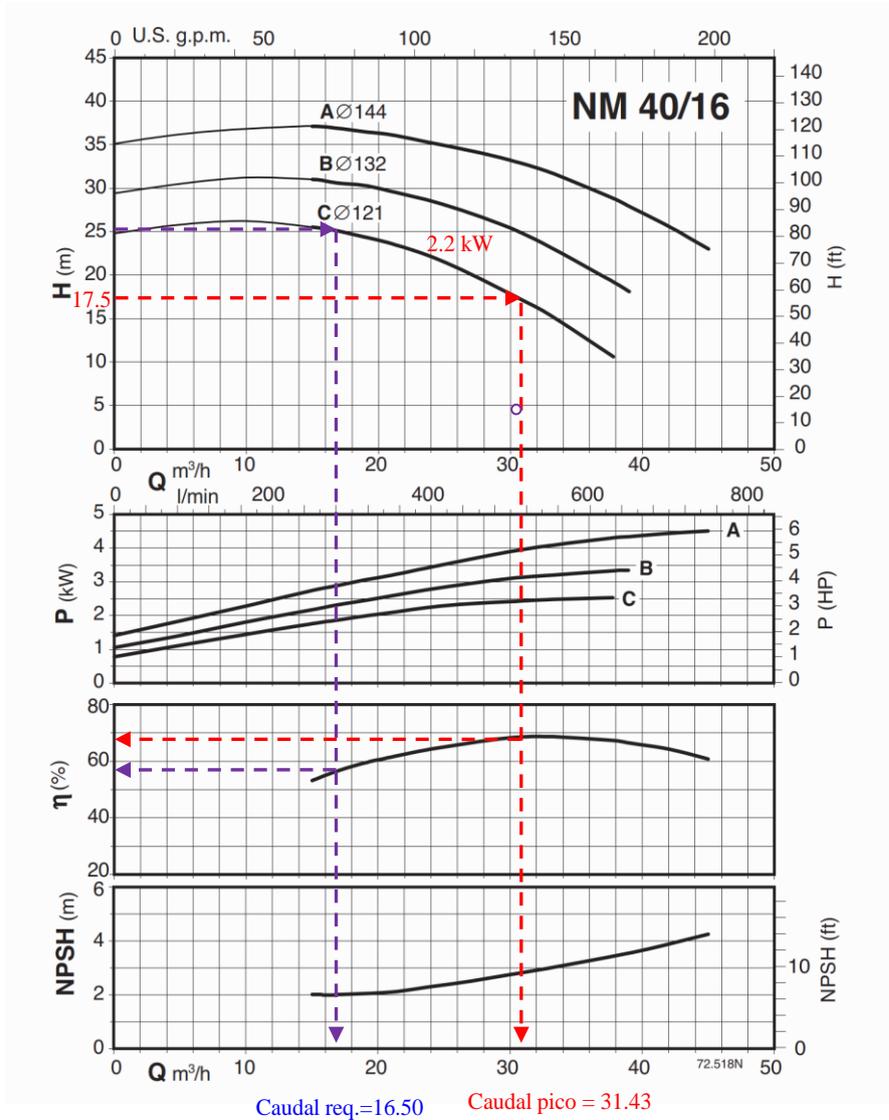
Parámetros	Valores
Potencia del generador fotovoltaico (P_G) (kW)	3.65
η_{MB} (%)	40
Gravedad (m/s ²)	9.81
Altura manométrica total (H_T) (m)	17.05
Caudal pico (Q_P) (litros/s)	8.73

4.4.4 Selección y justificación de la electrobomba bomba

Luego de una búsqueda de electrobombas disponibles en el mercado y potencias estándar de fabricantes, se seleccionó 01 electrobomba centrífuga con acoplamiento directo motor bomba y eje único de la marca Calpeda B-NM 40/16C-60/B, NM 40/16C-60/C, de 3450 rpm, 2.2 kW, 60Hz, 220V Δ/380V Y trifásico.

Figura 7

Curva de funcionamiento de la electrobomba centrífuga con acoplamiento directo motor bomba y eje único de la marca Calpeda



Nota. Altura de aspiración manométrica hasta 1 a 2 m. Tomando de Catálogo de fabricante Calpeda.

Para una altura manométrica de 17.5 m, la electrobomba seleccionada puede soportar un caudal pico de 31.43 m³/h, mucho mayor al caudal requerido (16.50 m³/h) y altura manométrica requerida (17.05 m).

4.4.5 Cálculo y selección del inversor de bombeo solar

La capacidad mínima requerida por el inversor de bombeo solar es igual a la potencia de la carga, que en este caso es la electrobomba. De acuerdo con Mejía (2019), la potencia

necesaria para el inversor se calculó utilizando la Ecuación (6). Para el cálculo, se incorporó un factor de seguridad de 1.2 (20 % de sobredimensionamiento), para tener en cuenta la potencia absorbida durante el arranque. Los resultados detallados de los cálculos se encuentran en la Tabla 8.

$$P_{INV} = P_{carga} \times FS \quad (6)$$

Donde:

P_{INV} : Potencia del inversor.

P_{carga} : Potencia de la carga.

FS : Factor de seguridad.

Tabla 8

Resultados de cálculo de la potencia del inversor de bombeo solar

Parámetros	Valores
Potencia de la electrobomba (kW)	2.20
Factor de seguridad (FS)	1.20
Potencia del inversor de bombeo solar (P_{INV}) (kW)	2.64

De acuerdo a cálculos realizados e inversores de bombeo solar disponibles en el mercado, no se encontró inversores con una potencia de salida mayor o igual a 2.64 kW, 380V Y trifásico; como referencia se seleccionó un inversor de bombeo solar de la marca INVT, modelo BPD004KTRAC de 4 kW, el cual puede brindar un voltaje de máxima potencia de entrada de 220-750V CD, voltaje máximo 800 V CD, de 02 MPPT, y de salida 380V Y trifásico.

4.4.6 Cálculo y selección del sistema generación fotovoltaica

Para el dimensionamiento y configuración de los paneles solares para bombeo y destinados a proveer agua a la Institución Educativa, se tomó como referencia un panel solar policristalino EOS POLY, modelo EGE-330W-72M. La información detallada sobre sus parámetros eléctricos se presenta en la Tabla 9.

Tabla 9*Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico seleccionado*

Parámetros eléctricos	Valores
Potencia máxima (P_{max})	330 Wp
Tensión máxima potencia (V_{pm})	37.93 V
Corriente máxima potencia (I_{pm})	8.70 A
Tensión de circuito abierto (V_{oc})	46.11 V
Corriente de cortocircuito (I_{sc})	9.10 A

Nota. Datos adaptados ficha técnica de fabricantes. Modelo EGE-330W-72M

Florián (2022) destaca la necesidad de considerar los datos técnicos del inversor de bombeo solar y los paneles fotovoltaicos al determinar el rango adecuado de conexiones en serie. Esto se logra mediante el análisis del rango de tensión de operación MPPT del inversor (220-750V) y el voltaje máximo de los paneles (800 V DC). Los cálculos, realizados mediante las Ecuaciones (7) y (8), proporcionan resultados detallados en la Tabla 10.

$$N_{p,serie-max MPPT} \leq \frac{V_{DCmax-MPPT Inv}}{V_{m\acute{a}x, panel}} \quad (7)$$

$$N_{p,serie-min MPPT} \geq \frac{V_{DCmin-MPPT Inv}}{V_{m\acute{a}x, panel}} \quad (8)$$

Tabla 10*Calculo rango máximo y mínimo de paneles fotovoltaicos a conectar en serie al inversor de bombeo solar*

Parámetros	Valores
$N_{p,serie-max MPPT}$	19.77 \approx 19
$N_{p,serie-min MPPT}$	5.80 \approx 6

La selección de un inversor de una capacidad de 4 kW con lleva aumentar la potencia de generación fotovoltaica calculada (3.65 kW), tomando en cuenta los parámetros eléctricos de entrada del inversor se recomienda una potencia de generación fotovoltaica mínima de entrada al inversor de aproximadamente 4.4 kWp, la potencia pico de entrada también va depender de la eficiencia del inversor de bombeo solar. Por lo tanto se tomó como potencia de generación fotovoltaica 4.4 kWp con la finalidad de no sobredimensionar el sistema.

Mejía (2019) explica que la cantidad y disposición de paneles fotovoltaicos para una instalación se determina mediante las Ecuaciones (9),(10) y (11). Asimismo, la potencia generada se calcula utilizando la Ecuación (12). La Tabla 11 presenta los resultados de cálculo.

$$N_{p,totales} \geq \frac{P_G}{P_{m\acute{a}x,panel}} \quad (9)$$

$$N_{p,serie} \geq \frac{V_{n,generador}}{V_{n,panel}} \quad (10)$$

$$N_{p,paralelo} \geq \frac{N_{p,totales}}{N_{p,serie}} \quad (11)$$

$$P_{G,FV} = N_{p,serie} \times N_{p,paralelo} \times P_{m\acute{a}x,panel} \quad (12)$$

Tabla 11

Resultados de cálculo de número de paneles fotovoltaicos, potencia de generación y la selección del mejor arreglo fotovoltaico

Paneles en serie	Voltaje	Paneles en paralelo	Paneles totales	$P_{G, FV real}$	Sobredimensionamiento	
$N_{p, serie}$	V_{mp}	$N_{p, paralelo}$	$N_{p, total}$	kW	kW	
MPPT -1						
6	227.58	1.17	2.00	12	3.96	1.76
7	265.51	1.00	1.00	7	2.31	0.11
8	303.44	0.88	1.00	8	2.64	0.44
9	341.37	0.78	1.00	9	2.97	0.77
10	379.30	0.70	1.00	10	3.30	1.10
11	417.23	0.64	1.00	11	3.63	1.43
12	455.16	0.58	1.00	12	3.96	1.76
13	493.09	0.54	1.00	13	4.29	2.09
14	531.02	0.50	1.00	14	4.62	2.42
15	568.95	0.47	1.00	15	4.95	2.75
16	606.88	0.44	1.00	16	5.28	3.08
17	644.81	0.41	1.00	17	5.61	3.41
18	682.74	0.39	1.00	18	5.94	3.74
19	720.67	0.37	1.00	19	6.27	4.07
MPPT-2						
6	227.58	1.17	2.00	12	3.96	1.76
7	265.51	1.00	1.00	7	2.31	0.11
8	303.44	0.88	1.00	8	2.64	0.44
9	341.37	0.78	1.00	9	2.97	0.77
10	379.30	0.70	1.00	10	3.30	1.10
11	417.23	0.64	1.00	11	3.63	1.43
12	455.16	0.58	1.00	12	3.96	1.76
13	493.09	0.54	1.00	13	4.29	2.09
14	531.02	0.50	1.00	14	4.62	2.42
15	568.95	0.47	1.00	15	4.95	2.75
16	606.88	0.44	1.00	16	5.28	3.08
17	644.81	0.41	1.00	17	5.61	3.41
18	682.74	0.39	1.00	18	5.94	3.74
19	720.67	0.37	1.00	19	6.27	4.07
Total				14	4.62	0.22

Tras evaluar el rango de voltaje MPPT del inversor y las características eléctricas del panel fotovoltaico, se determinó que la disposición más eficaz implica la conexión de 07 paneles en serie y uno en paralelo para cada punto MPPT. Este diseño proporciona una potencia de generación fotovoltaica de 2.31 kW por MPPT, con un sobredimensionamiento de generación de 0.11 kW en cada uno. La potencia total generada por ambos MPPT, mediante este arreglo optimizado de paneles solares, asciende a 4.62 kW. La Tabla 11 detalla exhaustivamente estos resultados de cálculo.

4.4.7 Cálculos y selección de diámetros de tuberías posibles

Martínez et al. (2022) se procede a calcular los posibles diámetros a utilizar en la conducción de agua. Empleando la ecuación de continuidad y el rango de velocidades recomendables. Los cálculos se muestran en la Tabla 12, resulta seleccionar una tubería PVC de 2 ½ pulgadas para el tramo de impulsión, y para la succión también se selecciona una tubería con el mismo diámetro.

$$D = \left(\frac{4Q_D}{\pi V} \right)^{0.5} \quad (13)$$

Donde

D : Diámetro interior teórico de la tubería de conducción principal (m).

Q_D : Caudal de diseño del sistema (m^3/s).

V : Velocidad media de circulación en la tubería (m/s).

Tabla 12

Resultados de cálculo de diámetros de tubería de conducción

Descripción	Valores
Caudal de diseño del sistema (Q_D)	16.50 m^3/h 0.00458 m^3/s
Velocidad [0.5 m/s – 2 m/s]	1.50 m/s
Diámetro (D)	0.06237 m 62.37 mm

4.4.8 Cálculo y selección del sistema de almacenamiento de agua

El cálculo del tamaño de almacenamiento cuando éste se realiza en forma de depósito de agua es bastante simple, ya que el único condicionante es el periodo de autonomía establecido. La forma más sencilla de calcular el volumen de almacenamiento se realiza con la Ecuación (14). Los cálculos se muestran en la Tabla 13, resultando un volumen de

almacenamiento de agua de 61.50 m³, menor a la capacidad del tanque de concreto existe en la Institución Educativa de 4.6 x 5.4 x 2.5 m (62.10 m³).

$$V_{almacenamiento} = Q \times D_{aut.} \quad (14)$$

Tabla 13

Resultados de cálculo del volumen de almacenamiento de agua

Parámetros	Valores
Demanda de agua diario (m ³ /día)	61.50
Días de autonomía ($D_{aut.}$)	1.00
Volumen de almacenamiento de agua (m ³)	61.50

4.4.9 Cálculo y selección de protecciones eléctricas en el sistema de bombeo fotovoltaico

a) Sistemas de puesta a tierra

El correcto dimensionamiento de la puesta a tierra se centra en salvaguardar a las personas de descargas eléctricas severas. Adicionalmente, la puesta a tierra facilita el flujo de corrientes normales o de falla hacia la tierra, evitando exceder los límites operativos y protegiendo la continuidad del servicio eléctrico (Datsios y Mikropoulos, 2012). Los sistemas fotovoltaicos con tensiones superiores a 48 voltios deben contar con al menos una conexión a tierra (Pareja, 2016). La puesta a tierra debe cumplir con las normativas establecidas en el Código Nacional de Electricidad (CNE) de Perú. Esto incluye el uso de una varilla de cobre de 16 mm de diámetro y 2.40 metros de longitud, un conector de cobre, una caja de registro, y un cable de cobre de 16 mm². Se recomienda el uso de tierra negra y dosis de bentonita.

b) Fusibles y termo magnéticos

Los componentes primordiales de seguridad comprenden el fusible y los interruptores termomagnéticos, los cuales actúan como mecanismos de protección contra cortocircuitos y sobretensiones (Pareja, 2016). El dimensionamiento de estos dispositivos se efectúa mediante el empleo de las fórmulas (15) y (16), y los resultados obtenidos se presentan detalladamente en la Tabla 14.

$$I_{fusible(P-INV)} > I_{sc} \times N_{p, paralelo} \quad (15)$$

$$I_{term.} = \frac{P_{CA-Bomba}}{\sqrt{3} \times V_n \times \cos \phi} \quad (16)$$

Tabla 14*Resultados de cálculo de protecciones eléctricas del sistema bombeo fotovoltaico*

Componentes	Voltaje (V)	Tipo	Corriente fusible (A)		Corriente termomagnéticos (A)	
			Calculado	Estandarizado	Calculado	Estandarizado
▪ Fusible GFV1 - MPPT 1 Inversor	265.51	CD	9.10	10
▪ Fusible GFV2 - MPPT 2 Inversor	265.51	CD	9.10	10
▪ Termomagnético Inversor - Tablero eléctrico	380	CA	4.18	6 -10

Nota. Cálculo y selección de fusibles y termomagnéticos estandarizados.

Según los cálculos realizados para fusibles y dispositivos termomagnéticos en el tramo de corriente continua, se optó por la elección de dos fusibles estandarizados del tipo cilíndrico GL de 10 A. Además, se seleccionó un interruptor termomagnético trifásico de 10 A para el tramo que conecta el inversor de bombeo solar al tablero eléctrico.

4.4.10 Cálculo y selección de conductores eléctricos

Para establecer la sección de los conductores eléctricos, es esencial tener en cuenta tanto el tipo de material (ya sea cobre o aluminio) como su conductividad, la longitud del cable, la corriente que fluirá a través de él y la caída de tensión en los extremos (Pareja, 2016). Los cálculos pertinentes se llevan a cabo utilizando las Ecuaciones (17) y (18), considerando la conductividad del cobre a 75°C. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 15.

$$S = \frac{2 \times L \times I}{\gamma \times \Delta V} \quad (17)$$

$$S = \frac{\sqrt{3} \times L \times I \times \cos \phi}{\gamma \times \Delta V} \quad (18)$$

Donde:

S : Sección del conductor (mm²).

L : Longitud del conductor (m).

γ : Conductividad del cable ($\gamma_{Cu \ 75^\circ C} = 45.45 \text{ m} / \Omega \cdot \text{mm}^2$).

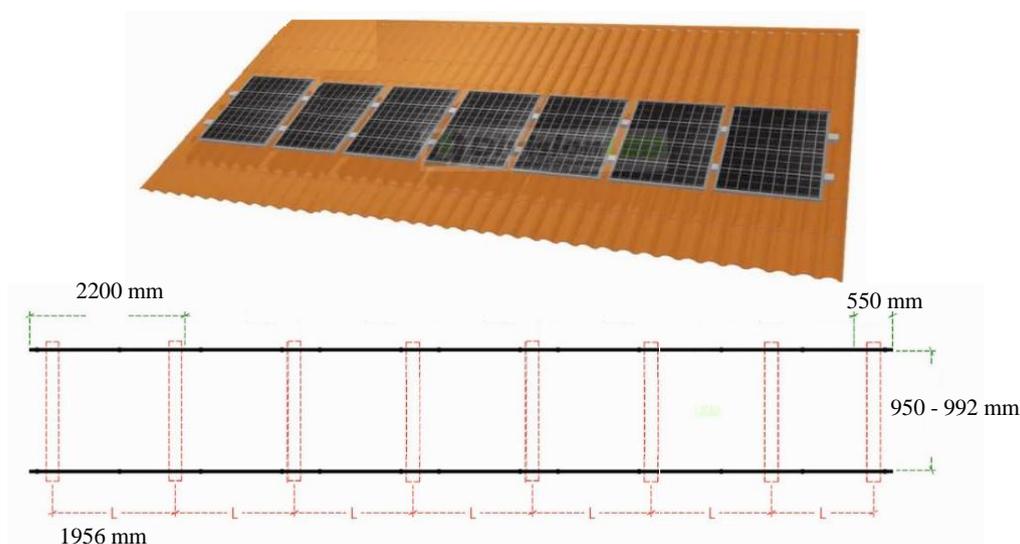
ΔV : Caída de tensión (V).

Tabla 15*Resultados de cálculo de conductores eléctricos del sistema de bombeo fotovoltaico*

Componentes	Tipo	Longitud (m)	Máxima caída de tensión admisible	I (A)	Voltaje (V)	S (mm ²)	AWG
▪ GFV1 – MPPT 1 Inversor	CD	80	3.0%	9.10	265.51	4.02	12
▪ GFV2 – MPPT 2 Inversor	CD	80	3.0%	9.10	265.51	4.02	12
▪ Inversor - Tablero distribución	CA	60	1.5%	4.18	380	1.34	14

4.4.11 Estructura de soporte para montaje de los paneles fotovoltaicos

Para el montaje de los paneles fotovoltaicos, se ha considerado 02 Kits estructura coplanar de aluminio para 07 paneles fotovoltaicos en serie. Los paneles fotovoltaicos tienen las siguientes dimensiones 1956x992x40mm. En la Figura 8 se muestra las dimensiones referenciales.

Figura 8*Estructura coplanar para paneles*

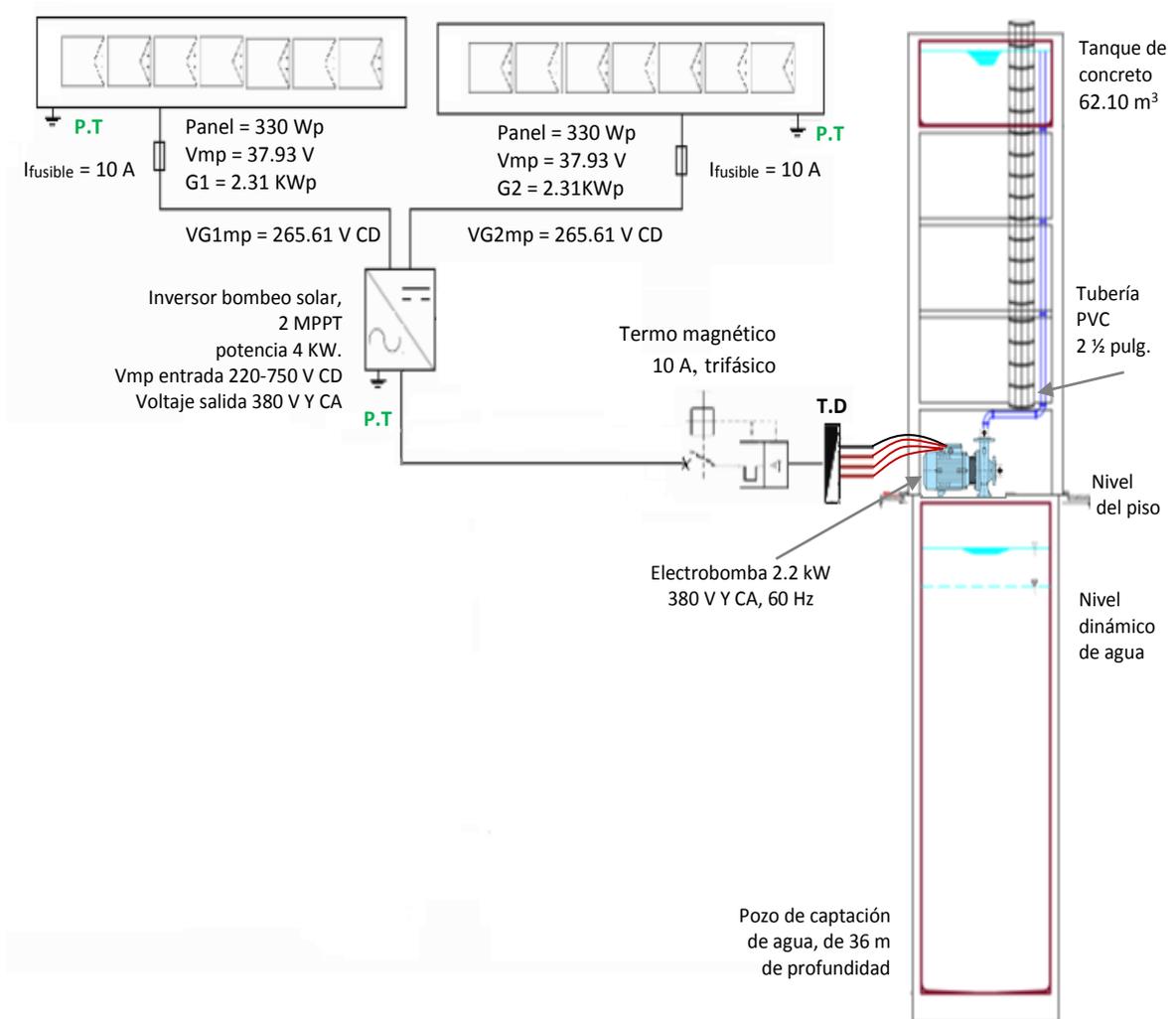
Nota. Estructura coplanar de aluminio para 07 paneles fotovoltaicos en serie. Diagrama representativo y dimensiones referenciales para su montaje.

4.4.12 Topología del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua

En la Figura 9, se presenta la topología del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa.

Figura 9

Topología del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa



Nota. Suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210.

4.5 Evaluación económicamente el sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa

Para la evaluación económicamente del sistema de bombeo fotovoltaico, primeramente se determinó la inversión referencial (suministro y montaje electromecánico), costos de mantenimiento, y el Costo Nivelado de Energía (LCOE); luego se calcularon los indicadores económicos. El presupuesto para el sistema de bombeo fotovoltaico asciende a S/. 41405.50. En la Tabla 16, se muestra el presupuesto referencial del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa.

Tabla 16

Presupuesto referencial sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa

Ítem	Descripción de componentes	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
I	Suministro de materiales				25121.00
1.1	Panel fotovoltaico policristalino, modelo EGE-330W-72M, 330 Wp, voltaje máxima potencia 37.93 V.	Und.	14	700.00	9800.00
1.2	Inversor de bombeo solar INVT, modelo BPD004KTRAC, 4 kW, voltaje de máxima potencia 220-750V CD, voltaje máximo 800 V CD, 02 MPPT, y de salida 380V Y trifásico.	Und.	1	4440.00	4440.00
1.3	Cable 14 AWG.	m	60	5.85	351.00
1.4	Cable 12 AWG.	m	160	6.50	1040.00
1.5	Conectores MC4.	Glb.	1	250.00	250.00
1.6	Portafusibles cilíndrico gl de 10 ^a .	Und.	2	65.00	130.00
1.7	Termomagnético trifásico de 4P, 10A.	Und.	1	110.00	110.00
1.8	Tablero de distribución para inversor y termomagneticos.	Und.	1	250.00	250.00
1.9	Electrobomba centrífuga con acoplamiento directo motor bomba, marca Calpeda B-NM 40/16C-60/B, NM 40/16C-60/C, de 3450 rpm, 2.2 kW, 60Hz, 220V Δ/380V Y trifásico.	Und.	1	5450.00	5450.00
1.10	Tubería PVC, diámetro 2 1/2 pulgada.	m	25	18.00	450.00
1.11	Accesorios para tuberías de PVC (codos, uniones, etc).	Glb.	1	280.00	280.00
1.12	Accesorios para control de llenado de tanque de agua.	Glb.	1	300.00	300.00
1.13	Válvula check (no retroceso), 2 1/2 pulgadas.	Und.	1	120.00	120.00
1.14	Kits estructura coplanar de aluminio para 07 paneles fotovoltaicos en serie.	Und.	2	750.00	1500.00
1.15	Puesta a tierra (01 varilla Cu 5/8 pulgadas φ x2.40 m, 01 conector de Cu tipo AB 5/8 pulgadas, 01 caja de registro de concreto, 01 saco de bentonita 30 kg, 10 m conductor Cu 16 mm ²).	Glb.	1	650.00	650.00
II	Montaje				11199.61
2.1	Montaje electromecánico del sistema de bombeo fotovoltaico	Glb.	1	10299.61	10299.61
2.2	Acondicionamiento y mejoramiento de pozo, y tanque de concreto existente	Glb.	1	850.00	900.00
	Total (CD)				S/. 36320.61
	Transporte de materiales				S/. 1452.82
	Gastos generales				S/. 3632.06
	Total				S/. 41405.50

Según la International Energy Agency-IEA, 2014, la sostenibilidad de los proyectos de energía solar fotovoltaica fuera de la red depende crucialmente de los costos de mantenimiento. Aunque la obtención de capital para la implementación inicial es esencial, el desafío real radica

en establecer una financiación sostenible para el mantenimiento a lo largo de la vida útil del sistema. A menudo, proyectos exitosos financiados por agentes internacionales han enfrentado dificultades posteriores debido a la falta de fondos sostenibles destinados al reemplazo de componentes críticos, especialmente baterías, controladores de carga e inversores.

En la Tabla 17 se detallan los costos de mantenimiento específicos para el sistema de bombeo fotovoltaico, abarcando tanto los mantenimientos de la electrobomba como del generador fotovoltaico. Además, la Tabla 18 presenta los gastos relacionados con la reinversión en el sistema de bombeo fotovoltaico, abarcando tanto el inversor como la electrobomba.

Tabla 17

Costos anuales de mantenimiento, sistema de bombeo fotovoltaico

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
1.1	Mantenimiento electrobomba	Und.	1	136.25	136.25
1.2	Mantenimiento generador fotovoltaico (2 % Costo total de paneles fotovoltaicos)	Und.	1	196.00	196.00
Total					S/. 332.25

Nota. Costo de mantenimiento anual generador fotovoltaico (%), tomado (Derbie, 2019).

Tabla 18

Costos de reinversión sistema de bombeo fotovoltaico

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio (S/.)	Sub total (S/.)
1.1	Inversor de bombeo solar INVT, modelo BPD004KTRAC, 4 kW, voltaje de máxima potencia 220-750V CD, voltaje máximo 800 V CD, 02 MPPT, y de salida 380V Y trifásico.	Und.	1	4440.00	4440.00
1.2	Electrobomba centrífuga con acoplamiento directo motor bomba, marca Calpeda B-NM 40/16C-60/B, NM 40/16C-60/C, de 3450 rpm, 2.2 kW, 60Hz, 220V Δ/380V Y trifásico	Und.	1	5450.00	5450.00
Total					S/. 9890.00

4.5.1 Costo Nivelado de Energía

De acuerdo con García et al. (2015), el Costo Nivelado de la Energía (LCOE) se refiere a la energía generada por un sistema fotovoltaico a lo largo de su vida útil. Este indicador incorpora tanto los costos operativos durante el período de funcionamiento como la producción

en términos de valor presente, mediante la aplicación de una tasa de descuento. Se define el LCOE por la Ecuación (19), se aplica para cada año del ciclo de vida del sistema.

$$\text{LCOE} = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + O \& M_t}{(1+d)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_{G,t}}{(1+d)^t}} \quad (19)$$

Donde:

I_t : Inversión inicial (S/).

d : Tasa de descuento (%).

t : Tiempo de vida útil (años).

$O \& M_t$: Operación y mantenimiento (S/).

$E_{G,t}$: Generación energía eléctrica (kWh).

Guillen (2015) señala que los estudios internacionales de costos de producción eléctrica suelen emplear tasas de descuento del 5% y 7%, basadas en precios reales. Sin embargo, para proyectos de inversión privada, se pueden considerar tasas de descuento más altas. En el contexto de la investigación, el LCOE para la generación fotovoltaica en el sistema de bombeo se calculó con una tasa de descuento del 9%, resultando en 1.210 S/./kWh, según la Tabla 19.

Tabla 19

Resultados LCOE del sistema de bombeo fotovoltaico

Año	Inversión	Producción Energía	Costos O&M	Costos Recurrentes	Costos Anuales Totales	Producción a Valor Presente	Costos Anuales a Valor Presente
	(S/.)	(kWh)	(S/.)	(S/.)	(S/.)	(kWh)	(S/.)
0	41405.50				41405.50		41405.50
1		4400.11	332.25		332.25	4036.80	304.82
2		4400.11	332.25		332.25	3703.48	279.65
3		4400.11	332.25		332.25	3397.69	256.56
4		4400.11	332.25		332.25	3117.15	235.37
5		4400.11	332.25		332.25	2859.77	215.94
6		4400.11	332.25		332.25	2623.64	198.11
7		4400.11	332.25		332.25	2407.01	181.75
8		4400.11	332.25		332.25	2208.27	166.75
9		4400.11	332.25		332.25	2025.93	152.98
10		4400.11	332.25	9890.00	10222.25	1858.65	4317.99
11		4400.11	332.25		332.25	1705.19	128.76
12		4400.11	332.25		332.25	1564.39	118.13

13	4400.11	332.25	332.25	1435.22	108.37
14	4400.11	332.25	332.25	1316.72	99.42
15	4400.11	332.25	332.25	1208.00	91.22
16	4400.11	332.25	332.25	1108.25	83.68
17	4400.11	332.25	332.25	1016.75	76.77
18	4400.11	332.25	332.25	932.80	70.43
19	4400.11	332.25	332.25	855.78	64.62
20	4400.11	332.25	332.25	785.12	59.28
Totales:				40166.58	48616.10
Costo nivelado de generación LCOE (S./kWh)				1.210	

4.5.2 Indicadores economicos

Kumar (2015) propone el uso del Valor Actual Neto (VAN) mediante la Ecuación (20) para la evaluación de proyectos. De igual manera, la Tasa Interna de Retorno (TIR), determinada por la Ecuación (21), ajusta la tasa de interés hasta que el VAN sea nulo. Sin embargo, se destaca que el Tiempo de Recuperación (TR), calculado con la Ecuación (22), puede generar evaluaciones demasiado optimistas al no considerar aspectos clave como la duración de la inversión y el costo del capital.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i_t)^t} - I_0 \quad (20)$$

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+R)^t} - I_0 = 0 \quad (21)$$

$$TR = \frac{I_0}{FC} \quad (22)$$

Donde:

FC_t : Flujo de caja en el t -ésimo año (S/).

I_0 : Inversión inicial (S/).

t : Tiempo de vida útil (años).

i_t : Tasa de interés.

R : Tipo de interés o tasa de retorno.

$1/(1+i_t)^t$: Factor de descuento.

n : Años que dura la inversión.

El proyecto resultó ser no rentable, considerando tasas de interés para el Valor Actual Neto (VAN) del 12%, 10% y 9%. Sin embargo, al evaluar para una tasa de interés del 7%, se observa un VAN positivo de S/. 6467.84, además, la Tasa Interna de Retorno (TIR) es del 9%, lo que indica que el proyecto se vuelve rentable a mediano y largo plazo, con un tiempo de recuperación de 15.29 años. En la Tabla 20 se presentan los resultados de la evaluación económica para una tasa de interés del 7%.

Tabla 20

Resultados de evaluación económica del sistema de bombeo fotovoltaico

Año	Energía			Resultados					
	Inversión (S/.)	Producción Energía (kWh)	LCOE (S/./kWh)	Ingresos (S/.)	Pagos (S/.)	Flujo Neto Caja (S/.)	FNC Actualizado (Cálculo del VAN) (S/.)	Flujo Neto Caja Acumulado (S/.)	Tiempo Recuperación TR (Años)
0	41405.50								
1		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	4666.80	-36738.70	
2		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	4361.49	-32377.21	
3		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	4076.16	-28301.05	
4		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	3809.50	-24491.55	
5		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	3560.28	-20931.27	
6		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	3327.36	-17603.91	
7		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	3109.68	-14494.23	
8		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	2906.25	-11587.98	
9		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	2716.12	-8871.86	
10	9890.00	4400.11	1.210	5325.72	10222.25	-4896.53	-2489.15	-11361.01	
11		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	2372.36	-8988.65	
12		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	2217.16	-6771.49	
13		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	2072.11	-4699.37	
14		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	1936.55	-2762.82	
15		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	1809.86	-952.96	15.29
16		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	1691.46	738.51	
17		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	1580.81	2319.31	
18		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	1477.39	3796.70	
19		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	1380.74	5177.44	
20		4400.11	1.210	5325.72	332.25	4993.47	1290.41	6467.84	
						TIR	9.00%	S/. 6467.84	
						TR (años)	15.29		
						Interés para VAN	7%		
						VAN	S/. 6467.84		

Nota. Interés para VAN de 7 %

V Discusión

La radiación para el ángulo óptimo calculado de 7.67° se interpoló entre los ángulos más cercanos a los obtenidos de la NASA y resultó $3.73 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, para el mes de mayo como más desfavorable. Hervias (2018) en su investigación determinó la irradiación de la zona, por mes de un año típico, con data de la NASA. Los valores de radiación solar mucho va a depender de la latitud del lugar, y el ángulo de inclinación óptimo seleccionado.

Para determinar la demanda de agua de la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, se realizó tomando en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones (NORMA A.040 Educación), la dotación de agua a garantizar para el diseño del sistema de suministro y almacenamiento resultó que la demanda de agua proyectada es de 61500.55 lt/día ($61.50 \text{ m}^3/\text{día}$). Concuera con Baltazar (2020) que para determinar la demanda de agua también utiliza el Reglamento Nacional de Edificaciones y al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

La demanda de energía del sistema de bombeo fotovoltaico, para una altura manométrica de 17.05 m, resultó una energía hidráulica de 2.86 kWh/día , y una energía eléctrica de potencia máxima de 7.14 kWh/día . Concuera con Hervias (2018) en su investigación determina la altura manométrica total, y la energía hidráulica y eléctrica del sistema de bombeo, asimismo determinó la potencia de la bomba. La demanda de energía hidráulica depende de la demanda de agua, la altura manométrica y las pérdidas; por otra parte la energía eléctrica de la eficiencia de la electrobomba.

Se dimensionó y seleccionó el sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua, para lo cual se seleccionó una electrobomba centrífuga con acoplamiento directo motor bomba de la marca Calpeda B-NM 40/16C-60/B, NM 40/16C-60/C, de 3450 rpm, 2.2 kW, 60Hz, 220V $\Delta/380\text{V}$ Y trifásico. También se seleccionó un inversor de bombeo solar de la marca INVT, modelo BPD004KTRAC de 4 kW, el cual puede brindar un voltaje de máxima potencia de entrada de 220-750V CD, voltaje máximo 800 V CD, de 02 MPPT, y de salida 380V Y trifásico. Se determinaron y se seleccionó 14 paneles fotovoltaico policristalino EOS POLY, modelo EGE-330 Wp con una potencia total de generación 4.62 kWp. Martínez (2020) realiza el dimensionamiento de la bomba y los paneles fotovoltaicos que van a trabajar en conjunto para la adecuada operación del sistema. A diferencia de Kalla et al. (2021) en su investigación, selecciona un convertidor elevador CD-CD, un inversor de fuente de voltaje y un motor de inducción con accionamiento trifásico (IMD) y bomba centrífuga; el modelo del sistema desarrollado se simula en el software MATLAB/Simulink. El sistema proporciona resultados

satisfactorios. La capacidad de los equipos va a depender de la demanda de agua, altura manométrica total, y la topología del sistema de bombeo a proponer.

La evaluación económicamente del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua, se evaluó a 20 años. El LCOE calculado es 1.210 S/./kWh; en el año 10 se consideró un costo de reinversión de S/. 9890.00 para el inversor solar y la electrobomba. El proyecto resultó ser no rentable, considerando tasas de interés para el Valor Actual Neto (VAN) del 12%, 10% y 9%. Sin embargo, al evaluar para una tasa de interés del 7%, se obtuvo un VAN positivo de S/. 6467.84, y la Tasa Interna de Retorno (TIR) es del 9%, lo que indica que el proyecto se vuelve rentable a mediano y largo plazo, con un tiempo de recuperación de 15.29 años. Martínez (2020) realiza el análisis económico y comparando con un sistema de bombeo a gasolina, para conocer la diferencia en costos de inversión, instalación y mantenimiento entre ambos sistemas; define cual es la opción más factible para el bombeo de agua, principalmente en zonas rurales donde el acceso a la red eléctrica es complicado. Asimismo Rojas y Velazco (2021) para la estimación de costos se realizaron un estudio de crédito a un plazo de 60 meses y a través del software PVsyst llevó a cabo la validación del sistema fotovoltaico. Por último Hervias (2018) desarrolló un comparativo de costos entre un sistema de bombeo de agua con energía solar y otro con un sistema diésel, probando la factibilidad del proyecto. La evaluación económica va depender de los costos de energía, tasas de descuento, y las tasas de interés a considerar.

Conclusiones

Se evaluó la radiación solar en la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210 para diferentes ángulos de inclinación con datos de la NASA. La radiación para el ángulo óptimo calculado de 7.67° se interpoló entre los ángulos más cercanos a los obtenidos de la NASA y resultó $3.73 \text{ kWh/m}^2/\text{día}$, para el mes de mayo como más desfavorable.

Se determinó la demanda de agua de la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, tomando en cuenta el Reglamento Nacional de Edificaciones (NORMA A.040 Educación), la dotación de agua a garantizar para el diseño del sistema de suministro y almacenamiento resultó que la demanda de agua proyectada es de 61500.55 lt/día ($61.50 \text{ m}^3/\text{día}$).

Se determinó la demanda de energía del sistema de bombeo fotovoltaico, que para una altura manométrica de 17.05 m resultó una energía hidráulica de 2.86 kWh/día , y una energía eléctrica de potencia máxima de 7.14 kWh/día .

Se dimensionaron y se seleccionaron del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, para lo cual se seleccionó una electrobomba centrífuga con acoplamiento directo motor bomba de la marca Calpeda B-NM 40/16C-60/B, NM 40/16C-60/C, de 3450 rpm , 2.2 kW , 60Hz , $220\text{V } \Delta/380\text{V}$ Y trifásico. También se seleccionó un inversor de bombeo solar de la marca INVT, modelo BPD004KTRAC de 4 kW , el cual puede brindar un voltaje de máxima potencia de entrada de $220\text{-}750\text{V CD}$, voltaje máximo 800 V CD , de 02 MPPT , y de salida 380V Y trifásico. Se determinaron y se seleccionó 14 paneles fotovoltaico policristalino EOS POLY, modelo EGE-330 Wp con una potencia total de generación 4.62 kWp . El volumen de almacenamiento de agua es de 61.50 m^3 , menor a la capacidad del tanque de concreto existe en la Institución Educativa de $4.6 \times 5.4 \times 2.5 \text{ m}$ (62.10 m^3).

La evaluación económicamente del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, se evaluó a 20 años. El LCOE calculado es de 1.210 S/./kWh ; en el año 10 se consideró un costo de reinversión de $\text{S/} 9890.00$ para el inversor solar y la electrobomba. El proyecto resultó ser no rentable, considerando tasas de interés para el Valor Actual Neto (VAN) del 12% , 10% y 9% . Sin embargo, al evaluar para una tasa de interés del 7% , se obtuvo un VAN positivo de $\text{S/} 6467.84$, y la Tasa Interna de Retorno (TIR) es del 9% , lo que indica que el proyecto se vuelve rentable a mediano y largo plazo, con un tiempo de recuperación de 15.29 años.

Recomendaciones

Para el Costo Nivelado de Electricidad (LCOE), puede incluir la utilización de tasas de descuento más elevadas en proyectos financiados mediante inversión privada.

Como desafíos pendientes para futuras investigaciones, se sugiere llevar a cabo una evaluación económica en comparación con otros contextos, como la red eléctrica convencional sistemas de bombeo eólicos, con el propósito de respaldar la viabilidad del sistema de bombeo fotovoltaico.

El director de la Institución Educativa, debe encontrar recursos financieros mediante la participación en convocatorias destinadas a proyectos de investigación en energías renovables. Además, se requiere informar al Ministerio de Educación y a las Direcciones o Gerencias Regionales de Educación sobre la intención de llevar a cabo iniciativas relacionadas con sistemas de bombeo fotovoltaico para suministro de agua.

Referencias bibliográficas

- Akbar, T., Mufti, A. U. G. M., y Khurshid, N. (2015). Potential and viability of stand alone solar PV systems for rural electrification of Pakistan by using RET screen software. *International Journal of Smart Home*, 9(8), 11-18. <https://doi.org/10.14257/ijsh.2015.9.8.02>
- Ayodele, T. R., Ogunjuyigbe, A. S. O., y Adeniran, O. A. (2019). Evaluation of solar powered water pumping system: the case study of three selected Abattoirs in Ibadan, Nigeria. *International Journal of Sustainable Engineering*, 12(1), 58-69. <https://doi.org/10.1080/19397038.2018.1482967>
- Baltazar, M. (2020). *Sistema de bombeo solar fotovoltaico para abastecimiento de agua en la I.E.P. Apóstol San Pedro del Distrito Tres de Diciembre* [Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/6670>
- Beitelmal, W. H., Okonkwo, P. C., Al Housni, F., Grami, S., Emori, W., Uzoma, P. C., y Das, B. K. (2022). Renewable energy as a source of electricity for Murzuq health clinic during COVID-19. *MRS Energy and Sustainability*, 9(1), 79-93. <https://doi.org/10.1557/s43581-021-00020-w>
- Castro, M., Colmenar, A., Fiffe, R. P., Perez, M., Perpiñan, O., y Perulero, J. M. (2011). *Sistemas de Bombeo Eólicos y Fotovoltaicos* (Progensa (ed.); 2 ed.).
- Chandel, S. S., Nagaraju Naik, M., y Chandel, R. (2015). Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 1084-1099. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.083>
- Datsios, Z. G., y Mikropoulos, P. N. (2012). *Safe grounding system design for a photovoltaic power station. May 2014*. <https://doi.org/10.1049/cp.2012.2041>
- Derbie, S. (2019). Design of a Standalone Photovoltaic System for a Typical Household around Dessie City-Ethiopia. *American Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 7(1), 1-7. <https://doi.org/10.12691/ajeee-7-1-1>
- Florián, H. (2022). Dimensionamiento de un sistema eléctrico fotovoltaico para la demanda eléctrica del Taller de Procesos de Manufactura de la Universidad Politécnica Amazónica [Universidad Politecnica Amazónica]. En *Universidad Politecnica Amazónica*. <http://hdl.handle.net/20.500.12897/92>
- García, M. F., Marino, I., Hernández, I., y Valdés, J. (2015). Cálculo del costo nivelado de la energía para una planta fotovoltaica en el noroeste de la república Mexicana.

<https://www.researchgate.net/publication/342433294%0ACÁLCULO>

Glasnovic, Z., y Margeta, J. (2007). A model for optimal sizing of photovoltaic irrigation water pumping systems. *Solar Energy*, 81(7), 904-916.
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.11.003>

Gonzales, J. A. (2021). *Técnicas e instrumentos de investigación científica* (ENFOQUES CONSULTING EIRL (ed.); 1 era Edic).
<https://www.researchgate.net/publication/350072286%0ATÉCNICAS>

Guillen, O. (2015). *Energía eólica para generación eléctrica* (Editorial Trillas (ed.); 1era Ed.).

Herrera, R., y Vera, J. (2020). *Dimensionamiento de un sistema de bombeo solar para riego agrícola en el centro Poblado Roblepampa, Utcubamba – Amazonas* [Universidad Nacional de Jaén]. <http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/213>

Hervias, A. (2018). *Diseño de un sistema de bombeo mediante energía solar fotovoltaica para suministrar agua potable a la población de Maynas – Perú* [Universidad del Callao]. En *Universidad Nacional del Callao*. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/3949>

IDAE. (2009). *Instalaciones de Energía Solar Fotovoltaica Pliego. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Aisladas de Red*. www.idae.es

Kalla, U. K., Bhati, N., Chariya, K., y Qureshi, I. (2021). Design and Analysis of Solar PV Fed IMD Water - Pumping System. *2021 International Conference on Sustainable Energy and Future Electric Transportation, SeFet 2021*.
<https://doi.org/10.1109/SeFet48154.2021.9375744>

Khelifi, M. A. (2016). Study and control of photovoltaic water pumping system. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 11(1), 117-124.
<https://doi.org/10.5370/JEET.2016.11.1.117>

Kumar, L. A., Lakshmiprasad, C. N., Ramaraj, G., y Sivasurya, G. (2022). Design, simulation of different configurations and life-cycle cost analysis of solar photovoltaic-water-pumping system for agriculture applications: use cases and implementation issues. *Clean Energy*, 6(2), 1100-1117. <https://doi.org/10.1093/ce/zkac018>

Mahmud, A. M. (2010). Evaluation of the solar hybrid system for rural schools in Sabah, Malaysia. *PECon2010 - 2010 IEEE International Conference on Power and Energy*, 1, 628-633. <https://doi.org/10.1109/PECON.2010.5697657>

Martínez, C. (2020). *Diseño de Sistema de Bombeo a Base de Energía Solar para Suministro de Agua* [Universidad Veracruzana].

https://www.uv.mx/veracruz/miaplicada/files/2021/07/Tesis_Carlos-Alberto-Martinez-Farias.pdf

- Martínez, Y., Riaño, F., y Acosta, L. (2022). Determinación del diámetro económico de una tubería de impulsión de polietileno de alta densidad (PEAD). *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 43(4), 47-51. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1680-03382022000400047&lng=es&tlng=es.
- Meah, K., Ula, S., y Barrett, S. (2008). Solar photovoltaic water pumping-opportunities and challenges. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 12, Número 4, pp. 1162-1175). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2006.10.020>
- Mejía, E. (2019). Diseño de un sistema fotovoltaico autónomo para el suministro de energía eléctrica al laboratorio de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica. *Revista Científica Pakamuros*, 7(2), 73-88. <http://revistas.unj.edu.pe/index.php/pakamuros/article/view/95/89>
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., y Romero, H. (2018). *Metodología de la investigación cuantitativa - cualitativa y redacción de la tesis* (Ediciones de la U (ed.); Quinta edi). www.edicionesdelau.com
- Nebiyu Bogale Mereke. (2015). Design of Solar Photovoltaic Power Generation System for Water Pumping. *International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT)*, 4(10), 536-543. www.ijert.org
- Pareja, M. (2016). *Energía Solar Fotovoltaica. Cálculo de una Instalación Aislada*. (Marcombo (ed.); 3era Ed.).
- RNE. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones (NORMA A.040 Educación)*. http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/archivos/Estudios_Normalizacion/Normalizacion/normas/RNE_03.pdf
- Rojas, M., y Velazco, D. (2021). Diseño de sistema fotovoltaico para la alimentación de la instalación eléctrica y el sistema de bombeo de agua de una vivienda en zona rural [Universidad de La Salle]. En *Ciencia Unisalle* (Vol. 1). https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1621&context=ing_electrica
- Ruiz, R. (2007). *El Método Científico y sus Etapas*. <http://www.index-f.com/lascasas/documentos/lc0256.pdf>
- Valdés, G. D., Rodríguez, E. R., Miranda, C., y Lillo, J. (2020). Viability study of photovoltaic systems as distributed sources of energy in the city of Arica, Chile. *Informacion Tecnológica*, 31(3), 249-256. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000300249>

- Vargas, D. (2018). *Photovoltaic Water Pumping Systems Based on Standard Components*. 1-50.
- Walz, K. A., Area, M., y College, T. (2020). Enlightened Education : Solar Engineering Design to Energize School Facilities. *127th ASEE Annual Conference, Montreal, Canada, 25*.
- Wresta, A., Andriani, D., Saepudin, A., y Sudiby, H. (2015). Economic analysis of cow manure biogas as energy source for electricity power generation in small scale ranch. *Energy Procedia, 68*, 122-131. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.03.240>

Anexos

Anexo 01. Instrumentos de recolección de datos

Instrumento: Guía de observación de datos topográficos y alturas manométrica

Institución Educativa:

Nivel:

Año:

Alturas manométricas para bombeo de agua	Medida (m)
Altura estática de agua (HST)	
Altura dinámica de agua (HDT)	
Altura al deposito o tanque (HD)	
Dimensiones pozo de captación de agua	
Describir topología del sistema de bombeo de agua:	
<p>El diagrama ilustra un sistema de bombeo de agua. A la izquierda, un depósito rectangular está conectado a un tubo que desciende hasta un nivel del suelo. Desde este punto, el tubo continúa hacia un pozo de captación de agua. El pozo contiene un nivel estático del agua (representado por una línea horizontal) y un nivel dinámico del agua (representado por una línea horizontal más baja). A la derecha del pozo, se muestran tres alturas con flechas verticales: H_D (altura al depósito o tanque), H_{ST} (altura estática de agua) y H_{DT} (altura dinámica de agua). Una firma manuscrita en azul está visible en la parte inferior derecha del diagrama.</p>	

Instrumento: Ficha de registro de número de alumnos

Institución Educativa:

Año:

Nivel: Primario

Descripción	Total	Subtotal		Primer Grado		Segundo Grado		Tercer Grado		Cuarto Grado		Quinto Grado		Sexto Grado	
		Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
Alumnos															
Matriculados															
Retirados															

Nivel: Secundario

Descripción	Total	Subtotal		Primer Grado		Segundo Grado		Tercer Grado		Cuarto Grado		Quinto Grado	
		Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
Alumnos													
Matriculados													
Retirados													

Instrumento: Ficha de registro de radiación

Proyecto de tesis:

Tesista:

Fecha:

Latitud:

Longitud:

Mes	Ángulo 0°	Ángulo Latitud	Ángulo Latitud -15	Ángulo Latitud +15	Ángulo 90°
Ene					
Feb					
Mar					
Abr					
May					
Jun					
Jul					
Ago					
Sep					
Oct					
Nov					
Dic					



Anexo 02. Validez y confiabilidad

Constancia de evaluación

Yo, Eduar Jamis Mejía Vásquez, con DNI 40695828, de profesión Ingeniero Mecánico Electricista, con Registro CIP 86534; desempeñándome como Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Amazónica, hago constar:

Por medio de la presente he revisado con fines de validación los siguientes instrumentos: Guía de observación de datos topográficos y alturas manométrica, ficha de registro de número de alumnos en el nivel primario y secundario, y ficha de registro de radiación solar; de la tesis del Bachiller en Ingeniería Mecánica Rosinely Tenorio León, titulada “**Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas**”.

Luego de realizar la revisión y observaciones pertinentes, puedo formular las siguientes apreciaciones:

Criterio de evaluación: MA = 5 (X) A = 4 () PA = 3 () I = 2 ()

Ítem	Criterio	Muy adecuado	Adecuado	Poco adecuado	Inadecuado
1	Congruencia de ítems	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Aptitud de contenido	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Redacción de ítems	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Metodología	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Pertinencia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Coherencia	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Organización	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8	Objetividad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9	Claridad	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Puntaje obtenido

Donde: Muy adecuado MA (37 – 45), Adecuado A (28 – 36), Poco adecuado PA (19 – 27), Inadecuado I (0 – 18)

Conclusión: El instrumento es: Muy adecuado.

En señal de conformidad firmo la presente, en la ciudad de Bagua Grande a los 07 días del mes de diciembre de 2023.

Ing. Eduar Jamis Mejía Vásquez
Coordinador Escuela Profesional
Ingeniería Mecánica -UPA

Anexo 03. Matriz de consistencia

1. TITULO	4. VARIABLES DE ESTUDIO	8. INSTRUMENTOS
<p>Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Variable independiente: Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico. - Variable dependiente: Suministro de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> - Guía de observación de datos topográficos y alturas manométrica. - Ficha de registro de número de alumnos. - Ficha de registro de radiación solar.
2. FORMULACION DEL PROBLEMA	5. HIPOTESIS	9. ANALISIS DE DATOS
<p>¿Se podrá diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas?</p>	<p>Se puede diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas.</p>	<p>El análisis estadístico se llevó a cabo mediante el uso de estadística descriptiva, que implica la evaluación de los datos recopilados. Posteriormente, se procedió a describir el comportamiento de estos datos en el contexto de la investigación. Esta descripción se materializó mediante la presentación de tablas y figuras, y se complementó con la aplicación de medidas numéricas utilizando la herramienta Excel.</p>
3. OBJETIVOS	6. DISEÑO DE INVESTIGACION	
<p>3.1. Objetivo general Diseñar un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas.</p> <p>3.2 Objetivos específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Evaluar la radiación solar en la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210. - Determinar la demanda de agua de la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210. - Determinar la demanda de energía del sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210. - Dimensionar el sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210. - Evaluar económicamente el sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210. 	<p>La investigación es básica, con un nivel de investigación de enfoque descriptivo. Además, el diseño de la investigación es descriptiva correlacional causal, no experimental.</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px 0;"> <p style="text-align: center;">M: VI $\overset{r}{\dashrightarrow}$ VD</p> <p>M: Muestra VI: Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico VD: Suministro de agua a la Institución Educativa r: Relación entre variables</p> </div> <p><i>Nota.</i> Diseño de investigación descriptivo con propuesta.</p>	
7. POBLACION Y MUESTRA	<ul style="list-style-type: none"> - Población: Alumnos de la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210. - Muestra: Alumnos de la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, año 2022. - Muestreo: No probabilístico por conveniencia del investigador. 	

Anexo 04. Fichas técnicas de materiales y equipos

NM, NMS 60 Hz



Performance - Prestaciones

n ≈ 3450 rpm

B-NM	NM	P ₂		Q m ³ /h l/min	6,6	7,5	8,4	9,6	10,8	12	13,2	15	16,8	18,9	21	24	27	30		
		kW	HP		110	125	140	160	180	200	220	250	280	315	350	400	450	500		
B-NM 32/12F-60	NM 32/12FE-60	0,55	0,75	H m	12,4	12,1	11,7	11,1	10,4	9,6	8,6	7								
B-NM 32/12D-60	NM 32/12DE-60	0,75	1		18,8	18,5	18,3	17,8	17,2	16,5	15,8	14,4								
B-NM 32/12A-60/A	NM 32/12A-60/A	1,1	1,5		24,3	24,1	23,8	23,4	22,8	22,2	21,4	20,1								
B-NM 32/12S-60/A	NM 32/12S-60/A	1,5	2		25,2	25	24,8	24,3	23,8	23,2	22,5	21,2	19,7*	17,8*	15,6*	12*				
B-NM 32/16B-60/A	NM 32/16B-60/A	1,5	2		31	30,5	30	29,5	29	28	27	25*	23*							
B-NM 32/16A-60/B	NM 32/16A-60/B	2,2	3		36,5	36	35,5	35	34	33	32,5	31*	29*							
B-NM 32/20D-60/B	NM 32/20D-60/B	2,2	3		39	38	37,5	36,9	35	34	32									
B-NM 32/20C-60/A	NM 32/20C-60/A	3	4		45	44,5	44	43	42	41	40	37	34*							
B-NM 32/20A-60/B	NM 32/20A-60/B	4	5,5		57	56,5	56	55,5	55	54	53	51	49*							

B-NM	NM	P ₂		Q m ³ /h l/min	15	16,8	18,9	21	24	27	30	33	37,8	39	42	45	48	54		
		kW	HP		250	280	315	350	400	450	500	550	630	650	700	750	800	900		
B-NM 40/12F-60/A	NM 40/12F-60/B	1,1	1,5	H m	15,4	14,9	14,3	13,4	11,8	10	7,8	5,6								
B-NM 40/12C-60/A	NM 40/12C-60/B	1,5	2		18,5	18,1	17,6	17	15,8	14,2	12,4	10,5	6,9							
B-NM 40/12A-60/B	NM 40/12A-60/C	2,2	3		22,5	22,3	21,9	21,4	20,6	19,6	18,3	16,7	13,7	12,9						
B-NM 40/16C-60/B	NM 40/16C-60/C	2,2	3		25,5	25,1	24,4	23,6	22,1	20,1	17,8	15,4	10,6							
B-NM 40/16B-60/A	NM 40/16B-60/B	3	4		31	30,6	30,3	29,6	28,5	27,1	25,4	23,2	19,2	18,1						
B-NM 40/16A-60/B	NM 40/16A-60/C	4	5,5		37,1	36,9	36,5	36,1	35,2	34,3	33,2	31,8	28,8	27,9	25,6	23				
B-NM 40/20C-60/B	NM 40/20C-60/C	4	5,5		44	43	42	41	39	36										
B-NM 40/200B-60/A	NM 40/20B-60/A	5,5	7,5		52	51,5	50,5	49,5	47,5	44,5	40	35								
B-NM 40/200AR-60/A	NM 40/20AR-60/A	5,5	7,5		56,5	56	55	54	52	49										
B-NM 40/200A-60/A	NM 40/20A-60/A	7,5	10		59,5	59	58,5	58	56	53,5	50,5	47	38,5							
B-NM 4025C-60/C	NM 40/25C-60/C	9,2	12,5		65,4	65	64,4	63,5	61,5	58,6	54,2	49								
B-NM 4025B-60/C	NM 40/25B-60/C	11	15		71,5	71,3	70,8	70,3	68,9	66,4	63,3	59,2	50							
B-NM 4025A-60/C	NM 40/25A-60/C	15	20		90,4	90,2	89,7	89,1	88,5	87,3	86,1	83,8	78	76						

B-NM	NM	P ₂		Q m ³ /h l/min	24	27	30	33	37,8	42	48	54	60	66	69	72	75	84		
		kW	HP		400	450	500	550	630	700	800	900	1000	1100	1150	1200	1250	1400		
B-NM 50/12F-60/B	NM 50/12F-60/C	2,2	3	H m				16,1	15,4	14,2	13	11,1	8,6	5,8						
B-NM 50/12D-60/A	NM 50/12D-60/B	3	4					19,4	19	18	17	15,5	13,5	11,1	8,4					
B-NM 50/12A-60/B	NM 50/12A-60/C	4	5,5					24,8	24,6	24	23,4	22,3	20,8	19	17	16	14,8	13,6		
B-NM 50/160B-60/B	NM 50/16B-60/B	5,5	7,5					35,3	34,9	33,6	32,4	30,1	27,5	24,5	20,9	19	17,1	15,1		
B-NM 50/160A-60/B	NM 50/16A-60/B	7,5	10					42,7	41,6	41,2	40,3	38,5	36,3	33,8	30,9	29,4	27,8	26,1	20,4	
B-NM 50/200B-60/C	NM 50/20B-60/C	9,2	12,5		51	50,6	50,4	49,8	48,5	47,1	44	40,5	36	30,2	27,3					
B-NM 50/200A-60/C	NM 50/20A-60/C	11	15		57,6	57,7	57,3	56,9	55,7	54,6	52,2	49,5	46	41,8	39	36,2	33,2			
B-NM 5025C-60/C	NM 50/25C-60/C	11	15		61,9	61,2	60,3	59,3	57,2	55	50	44	36,5							
B-NM 5025B-60/C	NM 50/25B-60/C	15	20		74,6	73,9	73,2	72	70,1	68,1	64,3	59,3	52,8	43,8						
B-NM 50/25A-60	NM 50/25A-60/D	18,5	25		87,6	87,3	86,9	86,2	84,7	83	79,8	76	72	66,9						

B-NM	NM	P ₂		Q m ³ /h l/min	37,8	42	48	54	60	66	75	84	96	108	120	132	141	150		
		kW	HP		630	700	800	900	1000	1100	1250	1400	1600	1800	2000	2200	2350	2500		
B-NM 65/12E-60/A	NM 65/12E-60/C	4	5,5	H m	16	15,8	15,5	15,2	14,8	14,3	13,5	12,7	11,4	9,9						
B-NM 65/125C-60/B	NM 65/12C-60/B	5,5	7,5		21,4	21,2	21	20,6	20,3	19,8	19,1	18,3	17	15,3	13,1					
B-NM 65/125A-60/B	NM 65/12A-60/B	7,5	10		26,4	26,4	26,2	26,1	25,8	25,5	24,9	24,1	22,8	21,1	18,9					
B-NM 65/160D-60/B	NM 65/16D-60/B	7,5	10					24,4	24,2	23,9	23,6	23	22,1	21,2	19,7	17,6				
B-NM 65/160C-60/C	NM 65/16C-60/C	9,2	12,5					27,9	27,8	27,6	27,3	26,7	26	24,9	23,4	21,5	19			
B-NM 65/160B-60/C	NM 65/16B-60/C	11	15					32,8	32,7	32,5	32,2	31,7	31	29,9	28,5	26,8	24,4			
B-NM 65/160AR-60	NM 65/16AR-60	15	20					35,9	35,9	35,8	35,7	35,3	34,7	33,6	32,3	30,7	28,5			
B-NM 65/160A-60/C	NM 65/16A-60/C	15	20					40,7	40,7	40,6	40,5	40,1	39,6	38,6	37,3	35,5	33,2			
B-NM 65/200C-60/C	NM 65/20C-60/C	15	20					45,1	44,9	44,5	44,1	43,2	42,2	40,5	38,6	36,2	33,2	30,4		
B-NMS 65/200B-60	NM 65/20B-60/D	18,5	25					52,8	52,8	52,6	52,3	51,5	50,5	48,8	46,7	44,3	41,4	38,7		
B-NMS 65/200A-60	NM 65/20A-60/A	22	30					58,5	58,5	58	58	57,5	56,5	55	53	50,5	47,5	45,5		
B-NMS 65/250C-60	NM 65/25C-60/A	22	30					63	63	62,5	62	60,5	59	56,5	53	49	43			
B-NMS 65/250B-60/A	NMS 65/250B-60/A	30	40					74	74	74	74	73	72	70	67,5	64	60,5			
B-NMS 65/250A-60/B	NMS 65/250A-60/B	37	50					87	87,5	87,5	87,5	87	86	84,5	81,5	78	74,5			

Rated currents - Intensidades nominales

P2		P2*		220V Δ / 380V Y			220V Δ / 440V Y		440V Δ	I _A /I _N
kW	HP	kW	SF	380V Δ / 660V Y			IN A	IN A	IN A	
0,55	0,75	0,63	1,15	4,5	2,6		4,7	2,7		5,2
0,75	1	0,86	1,15	4,8	2,8		5,0	3,0		6
1,1	1,5	1,27	1,15	5,7	3,3		6,0	3,5		5,4
1,5	2	1,75	1,15	9	5,2		9,4	5,5		6,1
2,2	3	2,55	1,15	11,1	6,4		11,7	6,8		8,4
3	4	3,45	1,15	13,4	7,7		14,0	8,1		8,4
4	5,5	4,55	1,15		11,2	6,5				9,2
5,5	7,5	6,3	1,15		13,7	7,9				8,7
7,5	10	8,6	1,15		17	9,8				9,2
9,2	12,5	10,6	1,15		22	12,7				8,3
11	15	12,6	1,15		25,8	14,9				8,9
15	20	17,3	1,15		33,2	19,2				9,4
18,5	25	21,3	1,15		40,8	23,6				9,4
22	30	24,5	1,15		48,9	28,3				9,6
30	40	33,5	1,15		65,4	37,8			55	8,7
37	50	41,5	1,15		82	47			66	8,5
45	60	51	1,15		97	56			81	8
55	75	62	1,15		119	68,5			97	7,2
75	100	84	1,15		157	90			132	6

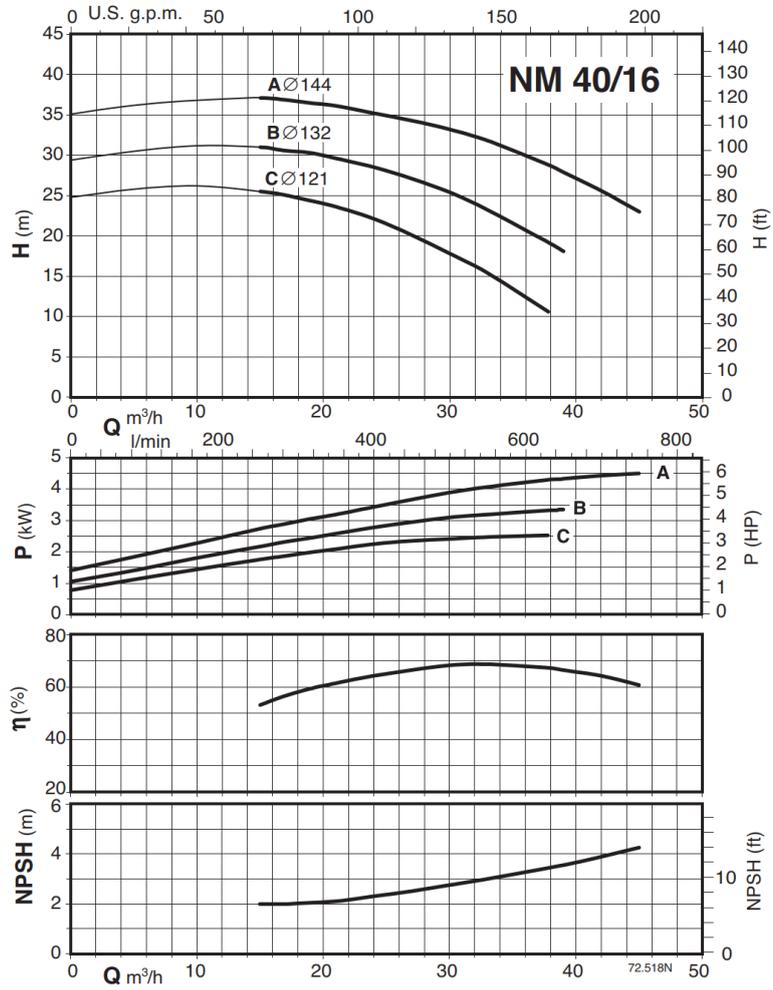
P2 Rated motor power output.
Potencia nominal del motor.

Rated power on the nameplate
Potencia nominal de la placa de identificación

* Power with S.F.
Potencia con S.F.

I_A/I_N D.O.L. starting current / Rated current
Intensidad de arranque / Intensidad nominal

Characteristic curves - Curvas Características



Especificaciones

	BPD2K2TRAC	BPD004KTRAC	BPD5K5TRAC
Entrada (DC)			
Max DC Voltage (V)	800		800
Voltaje de arranque (V)	220		220
Voltaje mínimo de trabajo (V)	180		180
Rango de funcionamiento del MPPT (V)	220-750		220-750
Número de MPPT / String	1		2
Máxima corriente CC (A)	12	20	20
Entrada Bypass (AC)			
Voltaje de entrada (VAC)	380 (3PH)-15%+10%		
Frecuencia de entrada (Hz)	47-63		
Método conexiones entrada (AC)	R,S,T,PE		
Salida (AC)			
Rango de potencia (W)	2200	4000	5500
Rango de corriente (A)	5.5 (3PH)	9.5 (1PH)	14 (1PH)
Método conexión salida	3P3L: Conectado a un motor síncrono 3PH		
Frecuencia de salida (Hz)	1-400		
Funcionamiento			
Modo control	V/F		
Tipo de motor	Motor asíncrono 3PH		
Otros parámetros			
Dimensiones (H x W x D mm)	331×360×154.5	454×360×154.5	454×360×154.5
Peso (kg)	10.1	14.1	
Protección	IP65		
Enfriamiento	Convección natural		
HMI	Teclado externo LED		
Comunicación			
Comunicación externa	RS485 / 3 entradas digitales		
Certificaciones			
Certificaciones	CE ; IEC61800-3 C3		
Ambiente de trabajo			
Temperatura ambiente	(-25℃~60℃ Mas de 45℃ pérdida de rendimiento)		
Altura de trabajo	3000m (mas de 2000m pérdida de rendimiento)		
Garantía	24 meses		



E-mail: overseas@invt.com.cn Website: www.invt.com

Shenzhen INVT Electric Co., Ltd

ELECTRICAL DATA AT STC*

Power output (Pmax)	330 W	335 W	340 W	345 W	350 W
Power tolerance	0+5 W				
Module efficiency	17.01 %	17.27 %	17.52 %	17.78 %	18.04 %
Maximum power voltage (Vmp)	37.93 V	38.15 V	38.42 V	38.68 V	38.93 V
Maximum power current (Imp)	8.70 A	8.78 A	8.85 A	8.92 A	8.99 A
Open circuit voltage (Voc)	46.11 V	46.32 V	46.58 V	46.85 V	47.12 V
Short circuit current (Isc)	9.10 A	9.16 A	9.23 A	9.31 A	9.38 A

*Standard Test Conditions: Irradiance: 1 000 W / m² • Cell temperature: 25°C • AM: 1.5

ELECTRICAL DATA AT NMOT*

Power output (Pmax)	244.13 W	247.83 W	251.53 W	255.23 W	258.92 W
Maximum power voltage (Vmp)	35.03 V	35.23 V	35.48 V	35.72 V	35.96 V
Maximum power current (Imp)	6.96 A	7.02 A	7.08 A	7.14 A	7.19 A
Open circuit voltage (Voc)	42.80 V	43.00 V	43.24 V	43.49 V	43.74 V
Short circuit current (Isc)	7.39 A	7.44 A	7.49 A	7.56 A	7.61 A

*Nominal Operating Cell Temperature: Irradiance: 800 W / m² • Ambient temperature: 20°C
• AM: 1.5 • Wind speed: 1 m/s

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Cell type	Polycrystalline (156.75x156.75mm)
Number of cells	72
Dimensions	1956x992x40mm
Weight	22.8 kg
Glass	3.2 mm tempered glass, High transmission (>94%), Anti-Reflective Coating
Frame	Anodized aluminium alloy
Junction box	IP68 rated (3 by pass diodes)
Cable	4mm ² , 900mm (+) 900mm (-); Length can be customized
Connector	MC4 or MC4 compatible
Max front load (e.g.: snow)	5400 Pa
Max back load (e.g.: wind)	2400 Pa

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

NOCT	45 °C ±2 °C
Temperature coefficient of Pmax	-0.396%/°C
Temperature coefficient of Voc	-0.31%/°C
Temperature coefficient of Isc	+0.06%/°C

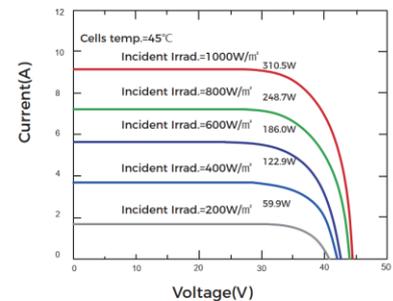
MAXIMUM RATINGS

Operating temperature range	-45 °C -+85 °C
Maximum system voltage	1500V/DC(IEC) 1500V/DC(UL)
Max series fuse rating	25 A

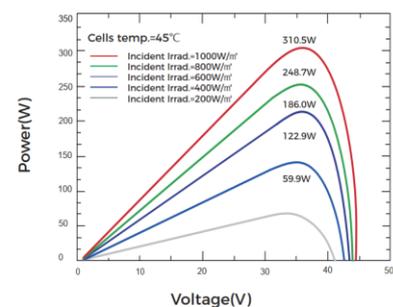
PACKAGING (1956x992x40mm)

Type	Pcs	Weight
Per Pallet	27 pcs	650 kg
40ft HQ Container	720 pcs	17.3 t

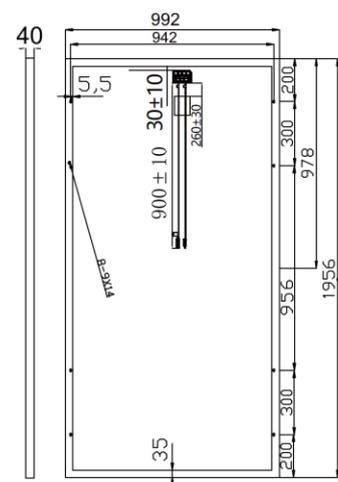
PV MODULE : EGE-350W-72M



PV MODULE : EGE-350W-72M



Dimension of PV Module (mm)



Anexo 05. Autorización para ejecución de proyecto de tesis

“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

Bagua Grande, 04 de mayo del 2023

Señorita:

Bach. Rosinely Tenorio León

Tesista Universidad Politécnica Amazónica

Asunto : Respuesta a solicitud de autorización para la ejecución de Proyecto de Tesis de Ingeniería Mecánica.

Referencia : Solicitud S/N, de fecha 04 de mayo del 2023

Visto la solicitud presentada:

Se concede procedente el permiso para la recopilación de información necesaria, a la **Rosinely Tenorio León**, con **DNI N° 76966113**, egresado de la Universidad Politécnica Amazónica, para la ejecución del Proyecto de Tesis, titulada “**Diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico para suministro de agua a la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210, Bagua Grande – Amazonas**”. Por lo que se recomienda realizar las coordinaciones respectivas con los responsables de área para la recopilación de información que crea conveniente para la ejecución de su investigación.

Atentamente.



The image shows a blue circular official stamp on the left and a handwritten signature in blue ink on the right. The stamp contains the text: 'UNIVERSIDAD POLITÉCNICA AMAZÓNICA', 'DIRECCION', 'BAGUA GRANDE', 'TEG. AMAZONAS'. The signature is over a rectangular stamp that reads: 'Mg. Rosinely Tenorio León', 'C.I. 1033640813', 'DIRECCION'. The signature itself appears to be 'Rosinely Tenorio León'.

Anexo 06. Fotografías



Nota. Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210.



Nota. Tesista y Director de la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210.



Nota. Tanque elevado de concreto existe en la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210.



Nota. Tesista realizando mediciones de alturas manométricas del tanque elevado de concreto existe en la Institución Educativa Alejandro Sánchez Arteaga 16210.