



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i6.2347>

Ciencias de la salud
Artículo de investigación

Estudio de Factibilidad de un Sistema de Bombeo sin Cobertura Eléctrica en el Sector Hoja Blanca del Cantón Flavio Alfaro

Feasibility Study of a Pumping System without Electrical Coverage in the Hoja Blanca Sector of the Flavio Alfaro Canton

Estudo de Viabilidade de Sistema de Bombeamento sem Cobertura Elétrica no Setor Hoja Blanca do Cantão Flavio Alfaro

Diego Marcelo Rodríguez-Macías ^I
drodriguez0766@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-6574-2297>

Alcira Magdalena Vélez-Quiroz ^{II}
alcira.velez@utm.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-0133-1744>

Correspondencia: drodriguez0766@utm.edu.ec

***Recibido:** 30 de Agosto de 2021 ***Aceptado:** 22 de Septiembre de 2021 *** Publicado:** 18 de Octubre de 2021

- I. Ingeniero Eléctrico, Estudiante de Posgrado de la Maestría Académica con Trayectoria de Investigación en Electricidad mención Sistemas Eléctricos de Potencia de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.
- II. Doctorando en la Cujae- La Habana Cuba, Magíster en Gerencia Educativa, Ingeniera Eléctrica en Sistema Eléctrico de Potencia, Docente Investigadora de la Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Ecuador.

Resumen

El objetivo de este estudio fue realizar un estudio de factibilidad de un sistema de bombeo fotovoltaico sin cobertura eléctrica en el sector Hoja Blanca del cantón Flavio Alfaro del Ecuador. La metodología se ha enmarcado en una investigación documental-bibliográfica acerca de la temática. Por ello, se realizó una indagación vía online de fuentes bibliográficas académicas publicados entre los años 2017 y 2021. El criterio de selección se basó en rigor en aportes, relevancia y pertinencia. Se encontró que las aportaciones de los documentos consultados coinciden en el hecho de que los sistemas de bombeo fotovoltaico se han constituido en una alternativa rentable para la sustitución del sistema de bombeo convencional, aunado al hecho de que es una energía renovable y limpia. Se concluye que predomina una visión entre los autores citados de que los sistemas de bombeo fotovoltaico para cualquier zona rural y de difícil acceso con las condiciones óptimas de irradiación solar, tal cual ocurre en el país ecuatoriano, es una tendencia para mejorar la calidad de las actividades que requieran de un sistema con resultados eficaces y que utiliza elementos ya existentes en la naturaleza y herramientas de fácil acceso en el mercado, y que con simples adaptaciones para su aplicación tienen un óptimo de funcionamiento.

Palabras clave: Sistema de bombeo; fotovoltaica; energía limpia.

Abstract

The objective of this study was to carry out a feasibility study of a photovoltaic pumping system without electrical coverage in the Hoja Blanca sector of the Flavio Alfaro canton of Ecuador. The methodology has been framed in a documentary-bibliographic research on the subject. Therefore, an online inquiry was made of academic bibliographic sources published between the years 2017 and 2021. The selection criteria was based on rigor in contributions, relevance and pertinence. It was found that the contributions of the consulted documents coincide in the fact that photovoltaic pumping systems have become a profitable alternative to replace the conventional pumping system, coupled with the fact that it is a renewable and clean energy. It is concluded that a view prevails among the cited authors that photovoltaic pumping systems for any rural area and difficult to access with optimal solar irradiation conditions, as occurs in the Ecuadorian country, is a trend to improve the quality of the activities that require a system with effective results and that uses elements that already exist in

nature and tools that are easily accessible in the market, and that with simple adaptations for their application have an optimal functioning.

Keywords: Pumping system; photovoltaic; clean energy.

Resumo

O objetivo deste trabalho foi realizar um estudo de viabilidade de um sistema de bombeamento fotovoltaico sem cobertura elétrica no setor Hoja Blanca do cantão Flavio Alfaro, no Equador. A metodologia foi enquadrada em uma pesquisa bibliográfica documental sobre o assunto. Para tanto, foi realizada uma consulta online de fontes bibliográficas acadêmicas publicadas entre os anos de 2017 e 2021. O critério de seleção baseou-se no rigor nas contribuições, relevância e pertinência. Verificou-se que os contributos dos documentos consultados coincidem no facto de os sistemas de bombagem fotovoltaicos se terem tornado uma alternativa vantajosa para substituir o sistema de bombagem convencional, aliada ao facto de se tratar de uma energia renovável e limpa. Conclui-se que prevalece uma visão entre os autores citados de que os sistemas fotovoltaicos de bombeamento para qualquer área rural e de difícil acesso com ótimas condições de irradiação solar, como ocorre no país equatoriano, é uma tendência para melhorar a qualidade das atividades que requerem um sistema. com resultados eficazes e que utiliza elementos já existentes na natureza e ferramentas facilmente acessíveis no mercado, e que com simples adaptações para a sua aplicação têm um funcionamento ótimo.

Palavras-chave: Sistema de bombeamento; energia fotovoltaica; energia limpa.

Introducción

La energía solar es muy beneficiosa para el desarrollo de energías renovables para cuidar el medio ambiente, razón por la cual es una tendencia energética a nivel mundial, mismo que puede ser un recurso para el uso doméstico, industrial, comercial u otros. Justamente en este criterio (Malinowski, León, & Abu-Rub, 2019) detalla que hay dos tipos principales de sistemas de energía solar la energía térmica y la energía fotovoltaica (PV). En referencia al primer tipo, estos autores indican que el uso térmico directo de la energía solar para calentar agua es una tecnología muy antigua. Con respecto al segundo tipo, la tecnología fotovoltaica es una tecnología prometedora para lugares con las condiciones ambientales adecuadas para generar electricidad con mayor eficiencia. En este sentido,

en el Ecuador, dada su ubicación geográfica se cuenta con índices de radiación óptimos para generar energía eléctrica en sus diferentes modalidades aprovechando el calor del sol.

Dentro de las aplicaciones de la energía solar, (Malinowski, León, & Abu-Rub, 2019) especifican en este grupo el calentamiento de agua, la refrigeración solar (aire acondicionado con energía térmica) e incluso la desalinización de agua. Asimismo, un importante uso de la energía solar fotovoltaica son los sistemas de bombeo, según lo expresado por (Perpinán, 2020) este sistema permite brindar un servicio destinado al suministro de agua para consumo humano, para riego de plantas y cultivos y para la desalinización del agua por el proceso de ósmosis inversa.

Hoy en día, en opinión de (Verma, y otros, 2021) aún es muy común la ejecución del riego mediante el uso de bombas de motor diesel, empero, factores como el inestable precio de los combustibles fósiles en los mercados internacionales, las emisiones nocivas al ambiente por su uso, el alto costo del mantenimiento y la corta vida útil del equipo, plantean la cuestión de buscar otras alternativas energéticas y un modo de acceder a ella es cambiando hacia un sistema de bombeo de agua que funciona con energía solar. En este marco, refiere también estos autores que dado que la energía solar está disponible en grandes cantidades y en casi todas partes, en lugares remotos, es una buena alternativa a la bomba de agua con motor diésel (Verma, y otros, 2021)

En esta línea (Shepvalov, Belenov, & Chirkov, 2020) consideran que el desarrollo de sistema de bombeo de agua fotovoltaico (PVWPS) tienen una serie de ventajas sustanciales en comparación con otros sistemas de suministro de agua, particularmente en áreas remotas y ubicaciones con alto potencial de energía solar. Los sistemas de bombas de agua solares requieren un mantenimiento mínimo y no consumen combustibles orgánicos. A diferencia de las bombas de agua convencionales, las PVWPS correctamente diseñadas y dimensionadas son capaces de proporcionar ahorros esenciales a largo plazo.

Concuerdan con estas apreciaciones (Muhsen, Khatib, & Nagi, 2017) cuando establecen un lenguaje común al asegurar que el sistema de bombeo de agua fotovoltaico (PVPS) es una aplicación importante y prometedora de los sistemas de energía solar, especialmente en áreas remotas, aun cuando estos autores tiene la percepción de que, los PVPS tienen una serie de desafíos que superar relacionados con el procedimiento de diseño, el método de modelado, la estrategia de control, la disponibilidad de datos y los obstáculos del sitio, como los efectos de sombra, no es menos cierto de que también consideran que los sistemas solares fotovoltaicos de bombeo de agua (PVWPS) se han convertido en una solución adecuada a los sistemas de bombeo tradicionales.

En una verdadera alineación con lo anteriormente expresado (Li, Jin, Akram, & Chen, 2017) destacan que uno de los enfoques de desarrollo sostenible, es la energía solar fotovoltaica, y con ello, el sistema de bombeo de agua (SPVWPS) es una alternativa prometedora a los sistemas de bombeo convencionales y una aplicación rentable, especialmente en áreas remotas fuera de la red de países en desarrollo. Además expresan que la aplicación del bombeo fotovoltaico en diferentes regiones del mundo en los últimos años, a través de la mejora continua, se ha utilizado ampliamente en los sectores agrícola, industrial y doméstico.

De vital utilidad en el desarrollo de la temática son los aportes suministrados por (Sharma, Tomar, & Bhagat, 2020) los mismos plasman las cualidades del sistema de bombeo basado en energía fotovoltaica como una alternativa probada para el desempeño de diferentes funciones, en especial en las actividades agrícolas. En el escenario actual, se promueve el uso de tecnologías de energía limpias para la protección del ambiente y en este particular (Sharma, Tomar, & Bhagat, 2020) dan gran valor a los sistemas de riego basados en la energía fotovoltaica porque tienen amplias aplicaciones o implementaciones para las buenas prácticas agrícolas, siendo que este sector de la economía han provocado el deterioro de muchos ecosistemas, producidos por un manejo inadecuado de las tecnologías disponibles o por desconocimiento de la existencia de alternativas más limpias de mayor responsabilidad y respeto medioambiental.

En otra perspectiva, reconocen los autores (Sharma, Tomar, & Bhagat, 2020) que en la literatura especializada, durante los últimos años se han abordado muchos problemas prácticos de los sistemas solares fotovoltaicos, como desajustes / sombreados, variaciones en el nivel de irradiancia, desajuste de carga, eficiencia de la bomba de motor, mantenimiento del sistema de bombeo, mantenimiento y costo inicial de instalación, como problemas críticos y prácticos en el campo real, pero que con un abordaje correcto y visión clara sobre su empleo y las implicaciones ambientales, estas dificultades se pueden superar para mejorar el desempeño de los sistemas de bombeo de agua basados en la tecnología fotovoltaica, pues su viabilidad es cada vez más necesaria.

Llegados a este punto, a continuación se incluye un marco de referencia, pues él mismo deberá proporcionar una visión general sobre la energía solar fotovoltaica, se incluye asimismo estudiar los aspectos teóricos relacionados con la viabilidad económico-financiera de un sistema de bombeo fotovoltaico sin cobertura eléctrica, el cual puede perfectamente ser aplicado a cualquier sector o localidad interesado en su implementación como puede ser el sector Hoja Blanca del Cantón Flavio Alfaro en Ecuador, puesto que el mismo de acuerdo con la información recabada en el reporte emitido

por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Flavio Alfaro (GAD, 2018) el cantón se encuentra ubicado sobre dos formaciones geológicas muy importantes, las mismas que son factores determinantes para el uso del suelo.

Por ello, esta localidad ecuatoriana se destaca por su predominante actividad agropecuaria, la cual contempla los usos: pecuario, agropecuario mixto, agrícola y forestal (GAD, 2018). En este documento, también se incluye información muy importante sobre las conductas laborales de los agricultores del uso del suelo, la apreciación general del desempeño de los trabajadores da cuenta de que el impacto y nivel de contaminación de origen antrópico en el ecosistema terrestre es alto. Es así que, la adopción de buenas prácticas agrícolas en esta comunidad resulta fundamental para la protección y conservación del medioambiente y, en este propósito un sistema de bombeo basado en el uso de tecnologías limpias como la energía fotovoltaica puede convertirse en una solución efectiva y aceptable para la ejecución del trabajo agrícola comprometido en el cuidado y mejoramiento del entorno natural del cual forma parte.

En la actualidad, las energías renovables con mayor potencial en América Latina son la solar fotovoltaica (FV), la eólica y la biomasa, debido a su ubicación geográfica y sus condiciones atmosféricas. En tal sentido, algunos países de la región han hecho diferentes esfuerzos a nivel regulatorio con el fin de incentivar estas fuentes de energía (Castaño & García, 2020) Siendo que la tecnología fotovoltaica ofrece ventajas considerables sobre otras formas de generación de electricidad como (a) mayor eficiencia en la generación de electricidad; (b) mínimo impacto ambiental; (c) fuente inagotable de energía a través de la luz del sol y, (d) gran flexibilidad (Ballester, 2018).

La energía solar fotovoltaica funciona mediante el principio del efecto fotoeléctrico, algunos materiales conocidos como semiconductores tienen la propiedad de generar un potencial eléctrico mediante la absorción de fotones de luz y emiten electrones. Cuando se captura a estos electrones libres emitidos, el resultado es una corriente eléctrica que puede ser utilizada como energía (Aguirre, 2018). Hay que destacar que el objetivo fundamental de la energía fotovoltaica es transformar la radiación solar directamente en electricidad usando celdas solares y, como esta no es acumulable, se requiere de un sistema de almacenamiento como las baterías para poderla ofrecer en cualquier momento en que se solicite (de Kuyper, 2018)

En este orden, (Aguirre, 2018) indica que la gran mayoría de paneles solares son construidos de silicio y dependiendo de su pureza o aleación permiten generar mayor potencial eléctrico mejorando su eficiencia. Cada celda de los paneles solares convencionales puede producir entre 0,6 y 0,7 voltios

(V). Este voltaje generado es directamente proporcional al área de captación e irradiación solar incidente. De este modo, (Perpinán, 2020) define la irradiancia solar, como la densidad de flujo radiante solar. Siguiendo esta misma dirección (Vilca, 2021) indica que la potencia de la radiación solar, que se recibe en un instante dado sobre un captador de una superficie determinada, se le conoce como irradiación y se mide en unidades de W/m^2 . Según (Perpinán, 2020) la Organización Meteorológica Mundial ha propuesto como valor promedio de la constante solar 1367 watt por metro cuadrado (W/m^2)

Siguiendo con las aportaciones de (Perpinán, 2020), a su paso por la atmósfera, la radiación solar es sometida a una combinación de procesos de reflexión, atenuación y difusión que alteran sus características. Es así que, para el cálculo de la irradiancia solar que finalmente incide en una superficie arbitraria localizada en corteza terrestre será útil distinguir tres contribuciones diferentes: Radiación Directa (B), representa la fracción de irradiancia procedente en línea recta del Sol; Radiación Difusa (D) es la radiación procedente de todo el cielo salvo del Sol y, Radiación del albedo (R o AL) es aquella fracción de radiación procedente de la reflexión en el suelo, la cual supone una contribución muy pequeña y en algunos casos puede ser despreciada. Así, la suma de estas tres componentes constituye la denominada irradiancia global. En consecuencia, la irradiación disminuye su valor respecto de afuera de la atmósfera. Bajo condiciones de atmósfera limpia, sin ningún proceso óptico y estando el sol en el cenit, la irradiación máxima que un captador podría recibir es de 1,000 W/m^2 como un valor promedio normalizado. (Vilca, 2021)

En esta misma vertiente, (Aguirre, 2018) indica que para poder calcular la radiación o incidencia solar en una posición específica se vale de los siguientes datos: (a) Azimut solar, es el ángulo formado entre la proyección del sol sobre el horizonte y el sur y, (b) Zenit solar, es el ángulo en un plano vertical entre los rayos del sol y la proyección de los mismos sobre el plano horizontal. Adicionalmente añade este autor que por eso la zona del Ecuador al absorber mayor radiación solar, la convierte en una de las zonas más abundante de este recurso natural.

También (Vilca, 2021) señala que en la mayor parte de los lugares del mundo se conoce cuánta energía solar promedio está disponible. Este promedio se mide en horas pico solar o PSH. Una hora perfecta de sol equivale a una radiación de 1000 W/m^2 durante una hora. El PSH se obtiene sumando toda la energía recibida en el día y dividiendo esta suma por 1000 W/m^2 , el resultado indica la cantidad de energía que se puede generar a través del día, lo que ayuda a estimar la potencia que puede producir los módulos fotovoltaicos. (Vilca, 2021)

En esta línea, (Vaca & Ordóñez, 2019) reportan que el Ecuador por su ubicación geográfica, localizado sobre la línea ecuatorial, tiene algunas ventajas para el aprovechamiento de la energía solar, puesto que no existe una variación significativa del recurso solar a lo largo del año, lo que disminuye la necesidad de la utilización de grandes acumuladores de energía. A pesar de ello, dice este mismo autor, la participación de la energía solar en la matriz energética ecuatoriana es muy baja, con una generación de energía fotovoltaica de apenas 35,8 gigawatts hora (GWh), lo que representa solo el 0,15% de la energía eléctrica consumida en el país.

De las energías renovables empleadas, tal como se muestra en el documento elaborado por el Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE, 2019) predomina la hidroeléctrica con una participación de 58,4%; térmicas con el 39,3% y un 2,3% distribuido entre plantas de otras energías renovables. En apreciaciones de (Aguirre, 2018) en el Ecuador se podría mejorar la matriz energética mediante una correcta combinación de todos sus tipos de generación de energía, es decir un mix energético.

Teniendo en cuenta las bondades de la energía solar fotovoltaica como energía limpia para el cuidado ambiental y la posición geográfica privilegiada del Ecuador para aprovechar la radiación solar, se considera importante su adopción como fuente energética sobre todo en las zonas rurales y lugares remotos donde generalmente el suministro y distribución de energía eléctrica es nula y en el mejor de los casos es deficiente, junto a ello también es importante destacar que siendo la agropecuaria la principal actividad económica en la mayoría de las zonas rurales del país, demanda de sistemas de riego para los cultivos que por lo general se realiza con el uso de bombas de motores a base de combustible fósiles, los cuales emiten gases y partículas dañinas para el medio ambiente, por todo ello, resulta claro que deben buscarse opciones energéticas más favorables, en cualquier caso la energía fotovoltaica tiene el potencial de convertirse en una dispensadora importante de energía eléctrica.

A este fin, el uso de energía fotovoltaica para alimentar un sistema de bombeo en las comunidades rurales responde indudablemente a un modelo actualizado, sostenible y seguro de suministro de electricidad. (Perpinán, 2020), dice que un sistema fotovoltaico de bombeo (SFB) emplea un generador fotovoltaico para alimentar una motobomba y extraer agua de un pozo, almacenarla en un depósito o transportarla de un lugar a otro. Es de resaltar que, según (Rúa, Hernández, Cely, Granados, & et al, 2020) un sistema de bombeo de agua fotovoltaico (SPV) consiste en 3 sistemas básicos, el primero comprende el arreglo de paneles solares que captan la radiación y la transforman

en energía eléctrica, que a su vez es transferida al segundo sistema, un motor que impulsa una bomba que transforma la energía eléctrica en energía mecánica necesaria para mover el fluido y tercero, el sistema de conducción del líquido hasta su destino final.

Actualmente, asevera (Asmat, 2018) la tecnología fotovoltaica se presenta como una alternativa real, disponible y accesible para su aplicación en zonas rurales alejadas de la red de electricidad pública y para riego agrícola, puesto que en la actualidad los costos de los módulos fotovoltaicos han disminuido considerablemente, posibilitando de esta forma su adquisición y uso. En este propósito, tomando en cuenta el gran potencial de tierras agrícolas en el Ecuador y la posición geográfica beneficiosa para aprovechar la irradiación solar del país, se tiene la idea de que la energía fotovoltaica representaría una gran alternativa para acometer un proyecto relacionado con la factibilidad del uso de un sistema de bombeo fotovoltaico en el sector Hoja Blanca del Cantón Flavio Alfaro.

En concordancia con lo anterior (Asmat, 2018) indica que el diseño de un sistema de bombeo fotovoltaico requiere de las siguientes etapas: en primer lugar, evaluar los recursos locales y las necesidades de agua y, en segundo lugar, su implementación física cuyas fases son las siguientes: (a) Determinación de la demanda de agua; (b) Determinación de la carga dinámica total; (c) Determinación de la radiación solar de la zona y; (d) Selección de la bomba y de los paneles solares. Teniendo en cuenta estas premisas, la presente investigación tuvo como objetivos realizar un análisis documental sobre el proceso de implantación de la energía solar fotovoltaica en el sector Hoja Blanca del Cantón Flavio Alfaro del Ecuador.

Metodología

El tipo de investigación se desarrolló bajo un enfoque documental bibliográfico, lo cual permitió describir los elementos clave para verificar la factibilidad de implementación de un sistema de bombeo fotovoltaico sin cobertura eléctrica en el sector Hoja Blanca del Cantón Flavio Alfaro del Ecuador. La población estuvo conformada por la información documental recabada de diferentes fuentes como revistas indexadas, trabajos de investigación, artículos, libros, otros. En opinión de (Rojas, 2011) “constituyen las fuentes de información utilizadas en la investigación y se trata de personas, instituciones, documentos, cosas, bibliografías, publicaciones, estados del arte, estados del conocimiento, tesis, bases de datos, fuentes electrónicas situadas en la Web, etcétera.” La información recopilada fue seleccionada con un criterio estratégico.

Estudio de Factibilidad de un Sistema de Bombeo sin Cobertura Eléctrica en el Sector Hoja Blanca del Cantón Flavio
Alfaro

Es así que del total de los documentos recabados, se escogió una muestra intencional de cinco (05) fuentes bibliográficas en consideración de sus aportes y relevancia para este estudio. Por otro lado, las técnicas e instrumentos de recolección de datos para la presente investigación fueron, el análisis documental y análisis de contenido. Por lo cual, la recolección de datos fue realizada través del instrumento, matriz de análisis documental. De acuerdo con (Sierra, 2007) la matriz de análisis documental es una técnica de investigación para la descripción objetiva sistemática y cuantitativa del contenido de las publicaciones, con el fin de interpretarlas.

En cuanto a la viabilidad, constituye la parte neurálgica del desarrollo y fortalecimiento de un estudio, a decir de (Rojas, 2011), se debe tomar en cuenta, la disponibilidad de recursos financieros, humanos y materiales, que determinaran el alcance de la investigación. Según el análisis de literatura realizado, se tiene que existe una gran cantidad de herramientas tecnológicas que sirven de apoyo para acometer proyectos exitosos de implementación de sistemas de bombeo fotovoltaico para las zonas rurales.

Resultados

Para el análisis de la información

Tabla 1. Fuentes Bibliográficas Seleccionadas para el Análisis Documental

Autor/Año	Título	Tipo de Documento	Resultados/Conclusión
(Verma , y otros, 2021)	Sistema de bombeo de agua con energía solar fotovoltaica: una revisión	Artículo científico Instituto Nacional de Tecnología Maulana Azad, Bhopal, India	Las bombas de motor diesel se utilizan ampliamente para fines de riego. Sin embargo, se ha descubierto que el sistema de bombeo de agua solar fotovoltaico es más económico, ecológico, confiable, con menos mantenimiento y una vida útil prolongada en comparación con las bombas de agua que funcionan con diesel.
(Shepovalov, Belenov, & Chirkov, 2020)	Revisión de la investigación de sistemas de bombeo de agua fotovoltaicos	Artículo científico Institutskiy proezd, Moscú, Rusia	Las experiencias exitosas en el desarrollo de sistema de bombeo de agua fotovoltaico (PVWPS) es de considerable interés para los diseñadores y fabricantes de sistemas fotovoltaicos, ya que tienen una serie de ventajas sustanciales en comparación con otros sistemas de suministro de agua, particularmente en áreas remotas y ubicaciones con alto potencial de energía solar.

Estudio de Factibilidad de un Sistema de Bombeo sin Cobertura Eléctrica en el Sector Hoja Blanca del Cantón Flavio
 Alfaro

(Ballester, 2018)	Estudio de Bombeo Para Instalación de Riego Mediante Instalación Solar Fotovoltaica	Trabajo Fin de Grado Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia	La tecnología necesaria para el desarrollo de sistemas de bombeo solar fotovoltaico ha evolucionado en los últimos años hacia aplicaciones de gran envergadura, con resultados eficaces. La rentabilidad económica es tan alta, que es presumible que todos los sistemas de riego que utilicen bombeo sean abastecidos, en un futuro, mediante esta tecnología
(Asmat, 2018)	Determinación de la Eficiencia de un Sistema de Bombeo Fotovoltaico en el Distrito de Yaurisque, Cusco	Trabajo de Fin de Carrera Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú	La implementación de un sistema de bombeo fotovoltaico en una zona con alta radiación solar y buenas condiciones climáticas, favorecen el funcionamiento eficiente de los componentes del sistema (motor-bomba y panel solar)
(Muhsen, Khatib, & Nagi, 2017)	Una revisión de los métodos de diseño de sistemas de bombeo de agua fotovoltaicos, las estrategias de control y el rendimiento en el campo.	Artículo científico Universidad Nacional de Tenaga, Malasia	El sistema de bombeo de agua fotovoltaico (PVPS) es una aplicación importante y prometedora de los sistemas de energía solar, especialmente en áreas remotas. Sin embargo, los PVPS tienen una serie de desafíos relacionados con el procedimiento de diseño, el método de modelado, la estrategia de control, la disponibilidad de datos y los obstáculos del sitio, como los efectos de sombra.

Fuente: Elaboración propia

Discusión

Realizado el análisis pertinente de la información recabada, las aportaciones de los autores consultados, indican que el sistema de bombeo fotovoltaico ofrece una serie de ventajas respecto al sistema convencional, en tal sentido (Verma , y otros, 2021) dicen que el sistema de bombeo de agua solar fotovoltaico es más económico, ecológico, confiable, con menos mantenimiento y una vida útil prolongada. También existen desafíos que dicho sistema debe superar, de acuerdo con (Muhsen, Khatib, & Nagi, 2017) los mismos están relacionados con el procedimiento de diseño, el método de modelado, la estrategia de control, la disponibilidad de datos y los obstáculos del sitio, como los efectos de sombra.

Sin embargo, existen experiencias exitosas de sistema de bombeo de agua fotovoltaico (PVWPS) (Shepovalov, Belenov, & Chirkov, 2020) a razón de que tienen una serie de ventajas sustanciales en comparación con otros sistemas de suministro de agua, particularmente en áreas remotas y ubicaciones con alto potencial de energía solar.

Es así que han surgido diversos estudios para indagar acerca de la factibilidad del uso de sistemas de bombeo en áreas rurales como (Ballester, 2018) su estudio revela que la tecnología de los sistemas de bombeo solar fotovoltaico han evolucionado grandemente con resultados eficaces, aunado a la cuestión de que tienen una alta rentabilidad económica. Por su parte, (Asmat, 2018) suministra datos sobre la importancia de tomar en consideración aspectos tales como alta radiación solar en la zona de ubicación del sistema de bombeo fotovoltaico, pues las buenas condiciones climáticas favorecen el funcionamiento eficiente de los componentes del sistema (motor-bomba y panel solar).

Teniendo en cuenta estos hallazgos, se puede considerar la factibilidad de acometer un sistema de bombeo fotovoltaico sin cobertura eléctrica en el sector Hoja Blanca del Cantón Flavio Alfaro, como una solución efectiva y ecológica a las dificultades energéticas existentes en esta localidad rural ecuatoriana.

Conclusiones

Los estudios de factibilidad que se han llevado a cabo para implementar la tecnología del sistema de bombeo fotovoltaico para la distribución de agua y de riego para las cosechas u otros usos, sugieren que ofrece múltiples ventajas respecto al método convencional.

Así, este sistema de bombeo solar fotovoltaico ha experimentado en los últimos años un gran desarrollo en virtud de las grandes ventajas que aporta, por un lado es una energía limpia y renovable para el cuidado ambiental, por el otro es una herramienta útil y rentable para solucionar los problemas de distribución y suministro de electricidad en las zonas rurales y de difícil acceso y con las condiciones de buena irradiación solar.

Referencias

1. Aguirre, J. (2018). Análisis de la Matriz Energética Ecuatoriana y Plan De Desarrollo Energético Sostenible Para la Ciudad de Machala. Universidad Politécnica de Valencia. Tesis de Fin de Máster, pp.100.
2. Asmat, C. (2018). Determinación de la Eficiencia de un Sistema de Bombeo Fotovoltaico en el Distrito de Yaurisque - Cusco. universidad Nacional Agraria. Lima – Perú. Trabajo de Titulación, pp.117.

3. Ballester, M. (2018). Estudio de Bombeo Para Instalación de Riego Mediante Instalación Solar Fotovoltaica. Universidad Politécnica de Cartagena. Trabajo de Fin de Grado, pp.146.
4. Castaño, M., & García, J. (2020). Análisis de los incentivos económicos en la capacidad instalada de energía solar fotovoltaica en Colombia. *Lecturas de Economía*. Núm. 93. Colombia. <https://doi.org/10.17533/udea.le.n93a338727>.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-25962020000200023.
5. de Kuyper, J. (2018). Aplicaciones de la Energía Fotovoltaica. In *Principios y Aplicaciones de la Energía Fotovoltaica y de las Baterías*. Chile: Ediciones UC. 1st ed. pp. 135–156. <https://doi.org/10.2307/j.ctvkjb50j.15>.
6. GAD. (2018). Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Flavio Alfaro. Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Flavio Alfaro (GAD). http://www.flavioalfaro.gob.ec/flavioalfaro/wp-content/uploads/2018/03/PDOT-FLAVIO-ALFARO_01.pdf, pp.100.
7. IIGE. (2019). Balance Energético Nacional 2019. Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE)/ Ministro de Energía y Recursos Naturales No Renovables. <https://www.recursoyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/Balance-Energetico-Nacional-2019-1.pdf>, pp.174.
8. Li, G., Jin, Y., Akram, M., & Chen, X. (2017). Research and current status of the solar photovoltaic water pumping system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 79. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.055>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032117306925>, pp.440-458.
9. Malinowski, M., León, J., & Abu-Rub, H. (2019). Photovoltaic Energy Systems. En B. Bose, *Power Electronics in Renewable Energy Systems and Smart Grid: Technology and Applications* (págs. pp.1269-1308). Wiley Online Library. Institute of Electrical and Electronic Engineers, Inc. Primera publicación. DOI: 10.1002/9781119515661.
10. Muhsen, D., Khatib, T., & Nagi, F. (2017). A review of photovoltaic water pumping system designing methods, control strategies and field performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 68, Part 1. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.129>.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116306396#!>, pp.70-86.
11. Perpinán, O. (2020). *Energía Solar Fotovoltaica*. España de Creative Commons. <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>, pp.186.

12. Rojas. (2011). Elementos para el diseño de técnicas de investigación: una propuesta de definiciones y procedimientos en la investigación científica. *Tiempo de Educar*. Vol. 12. Núm. 24, pp. 277-297.
13. Rúa, E., Hernández, S., Cely, L., Granados, A., & et al. (2020). Bombeo solar fotovoltaico: Sistema portátil para irrigación de cultivos de arboles frutales. *Universidad Santo Tomás, Seccional Tunja*, pp.205.
14. Sharma, S., Tomar, A., & Bhagat, V. (2020). PV-Based Water Pumping System: A Complete Review. *Advances in electromechanical technologies*. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-15-5463-6_34, pp.389-398.
15. Shepovalov, O., Belenov, A., & Chirkov, S. (2020). Review of photovoltaic water pumping system research. *Energy Reports*. Volume 6, Supplement 6. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2020.08.053>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484720313081>, pp.306-324.
16. Sierra, R. (2007). *Técnicas de investigación social: Teoría y ejercicios*. Madrid, España: International Thomson Editores y Paraninfo, S.A. (14ava ed.).
17. Vaca, D., & Ordóñez, F. (2019). Mapa Solar del Ecuador 2019. *Scinergy. Research in Alternative Energy*. https://www.ingenieriaverde.org/wp-content/uploads/2020/01/Mapa_Solar_del_Ecuador_2019.pdf, pp.30.
18. Verma , S., Mishraa , S., Chowdhury , S., Gaur , A., Mohapatra , S., Soni , A., y otros. (2021). Solar PV powered water pumping system: A review. *Materials today: Proceedings*. Volume 46, Part 11. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.09.434>. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785320371509#!>, pp.5601-5606.
19. Vilca, J. (2021). Estudio Para el Bombeo de Agua Mediante la Energía Solar Fotovoltaica Aplicado al Riego en El Sector Ganadero de Rosaspata Ubicado en la Cuenca Llallimayo. *Universidad Nacional del Altiplano de Puno. Perú. Trabajo de Titulación*, pp.179.