



**UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO
RUIZ GALLO**



ESCUELA DE POSGRADO

**DOCTORADO EN CIENCIAS DE INGENIERIA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN ENERGÍA**

**Generación de electricidad mediante un sistema híbrido solar
eólico para bombear aguas subterráneas en la estación
meteorológica de la UNPRG**

TESIS

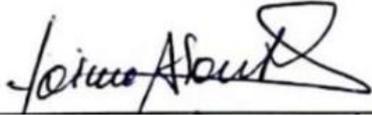
**Presentada para optar el Grado Académico de Doctor en
Ciencias de la Ingeniería Mecánica y Eléctrica con
mención en Energía**

**Investigador:
M.Sc. Jaime Abanto Castillo**

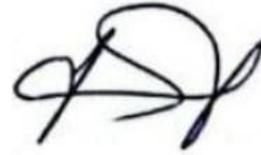
**Asesor:
Dr. Luis Jaime Collantes Santisteban**

Lambayeque, 2024

Generación de electricidad mediante un sistema híbrido solar eólico para bombear aguas subterráneas en la estación meteorológica de la UNPRG



M.Sc. Jaime Abanto Castillo
Autor



Dr. Luis Jaime Collantes Santisteban
Asesor

Tesis presentada a la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo para optar el Grado Académico de: DOCTOR EN CIENCIAS DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN ENERGÍA

Aprobado por:



Dr. Amado Aguinaga Paz
Presidente del jurado



Dr. Daniel Carranza Montenegro
Secretario del jurado



Dr. Elmer Augusto Cueva Guevara
Vocal del jurado

Lambayeque, 2024

Declaración jurada de originalidad

Yo, Jaime Abanto Castillo investigador principal, y Dr. Luis Jaime Collantes Santisteban, asesor del trabajo de investigación “Generación de electricidad mediante un sistema híbrido solar eólico para bombear aguas subterráneas en la Estación Meteorológica – UNPRG”, declaramos bajo juramento que este trabajo no ha sido plagiado, ni contiene datos falsos. En caso se demostrara lo contrario, asumo responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiere lugar, que puede conducir a la anulación del título o grado emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, noviembre de 2024

Nombre del investigador M.Sc. Jaime Abanto Castillo

Nombre del asesor Dr. Luis Jaime Collantes Santisteban

Dedicatoria

A LA MEMORIA

Este trabajo de Tesis Doctoral va dedicado especialmente a la memoria de mis Queridos Padres Clemente Abanto Silva y Cristina Castillo Figueroa, y en forma muy especial a la memoria de mi Tío Demetrio Abanto Silva, por haberme impulsado desde estudiante, cuando perdí a mi padre, a terminar mis estudios y llegar a ser Doctor.

A mi esposa Mary Susan e hijos Christian y Stephany por su gran apoyo y aliento para culminar mis estudios y obtener mi anhelado sueño de ser doctor en Ciencias.

Agradecimiento

Mi sincero agradecimiento al doctor Luis Jaime Collantes Santisteban por su gran apoyo asesorándome en el desarrollo de mi proyecto doctoral.

A mi colega Francisco García Roque por su colaboración en la Estación Meteorológica y en la Adquisición y Dimensionamiento del sistema híbrido.

A mis profesores Jaime Héctor Sotero Solís y José Fernández Calderón, por sus orientaciones de carácter científico en la presente Tesis Doctoral.

Y finalmente al Equipo Técnico que laboró en la Estación Meteorológico de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Índice General

Acta de sustentación (copia).....	¡Error! Marcador no definido.
Declaración jurada de originalidad.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Índice General.....	vii
Índice de Tablas.....	viii
Índice de Figuras.....	ix
Resumen.....	10
Abstract.....	11
Introducción.....	12
Capítulo I. Diseño Teórico.....	14
1.1 Antecedentes de la Investigación.....	14
1.2 Base Teórica.....	15
1.3 Hipótesis.....	29
Capítulo II. Métodos y Materiales.....	30
2.1 Tipo de Investigación.....	30
2.2 Método de Investigación.....	30
2.3 Diseño de Contrastación.....	31
2.4 Población, Muestra y Muestreo.....	32
2.5 Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales de Recolección de Datos.....	32
2.6 Procesamiento y Análisis de Datos.....	34
Capítulo III. Resultados.....	36
Capítulo IV. Discusión.....	48
Conclusiones.....	49
Recomendaciones.....	50
Bibliografía.....	51

Índice de Tablas

Tabla 1. Factor de forma K – Distribución de Weibull.....	40
Tabla 2. Valores promedios de eficiencia de bomba solar nb según su tipo y carga dinámica total.....	40
Tabla 3. Fluido solar.....	45
Tabla 4. Extrapolación para la determinación del punto de trabajo de la bomba.....	45
Tabla 5. Aportes solar y eólico en el caudal del sistema híbrido solar - eólico.....	46
Tabla 6. Volúmenes diarios con ambos sistemas	47

Índice de Figuras

Figura 1. Energía Eólica	20
Figura 2 Corrientes globales de viento	23
Figura 3 Parte de un aereogenerador	25
Figura 4 Tipos de bujes.....	26
Figura 5 Veleta de orientación.....	27
Figura 6 Carcasa del aerogenerador	27
Figura 7 Diagrama de la eficiencia con energía eólica	30
Figura 8 Eficiencia con energía solar.	31
Figura 9 Diagrama de la eficiencia con la yuxtaposicion de las 2 energias eolica y solar	31
Figura 10 Velocidad promedio del viento registrado en la Estación Meteorológica – UNPRG durante 14 meses consecutivos de enero 2022 a febrero del 2023.....	36
Figura 11 Radicación solar promedio del registrado en la Estación Meteorológica - UNPRG durante los 7 meses consecutivos del año 2023.....	36
Figura 12 . Sistema de eficiencia del aerogenerador	42
Figura 13 Curva de potencia del aerogenerador	44
Figura 14 Curva de rendimiento de la bomba con energía fotovoltaica.....	46
Figura 15 Diseño experimental del sistema hibrido solar-eolico.....	52
Figura 16 Sistema Convencional Híbrido De Energía Renovable	53
Figura 17 Nuevo Sistema De Energía Híbrida Multicanal Renovable	53
Figura 18 Nuevo aerogenerador liviano de 600W	54
Figura 19 S 600W Power Curve	54

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

066

Siendo las 10.00 horas del día 17 de DICIEMBRE del año Dos Mil VEINTICUATRO

, en la Sala de Sustentación de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, se reunieron los miembros del Jurado, designados mediante Resolución N° 728-2023-EPG de fecha 04/08/2023, conformado por:

- Dr. ANADO AGUINAGA PAZ PRESIDENTE (A)
- Dr. DANIEL CARRANZA MONTENEGRO SECRETARIO (A)
- Dr. ELNER AUGUSTO CUEVA GUEVARA VOCAL
- Dr. LUIS JAIME COLLANTES SANTISTEBAN ASESOR (A)

Con la finalidad de evaluar la tesis titulada "GENERACION DE ELECTRICIDAD MEDIANTE UN SISTEMA HIBRIDO SOLAR EOLICO PARA BOMBLEAR AGUAS SUBTERRANEAS EN LA ESTACION METEOROLOGICA DE LA UNPRG"

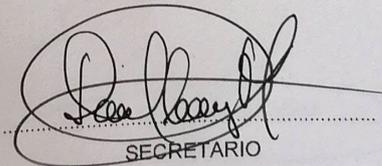
presentado por el (la) Tesista JAIME ABANTO CASTILLO sustentación que es autorizada mediante Resolución N° 749-2024-EPG-1 de fecha 13 DE DICIEMBRE DEL 2024

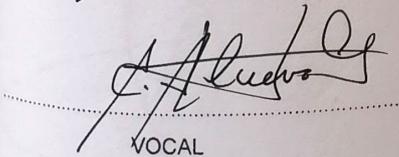
El Presidente del jurado autorizó del acto académico y después de la sustentación, los señores miembros del jurado formularon las observaciones y preguntas correspondientes, las mismas que fueron absueltas por el (la) sustentante, quien obtuvo 16 puntos que equivale a calificativo de BUENO

En consecuencia el (la) sustentante queda apto (a) para obtener el Grado Académico de: DOCTOR EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA CON MENCIÓN EN ENERGIA

Siendo las 11.48 am horas del mismo día, se da por concluido el acto académico, firmando la presente acta.


PRESIDENTE


SECRETARIO


VOCAL

ASESOR

CONSTANCIA DE APROBACIÓN DE ORIGINALIDAD DE TESIS

Yo, Dr. Luis Jaime Collantes Santisteban, Docente¹/ **Asesor de tesis**²/ Revisor del trabajo de investigación³, del (los) estudiante(s), Abanto Castillo Jaime.

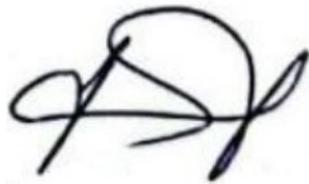
Titulada:

Generación de electricidad mediante un sistema híbrido solar eólico para bombear agua subterránea en la estación meteorológica de la UNPRG, luego de la revisión exhaustiva del

documento constato que la misma tiene un índice de similitud de 16% verificable en el reporte de similitud del programa Turnitin.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecida por la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Lambayeque, 19 de diciembre del 2024



DR. Luis Jaime Collantes
Santisteban
DNI: 16654135
ASESOR

Tesis Doctoral informe final Jaime Abanto Castillo

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

16%

FUENTES DE INTERNET

1%

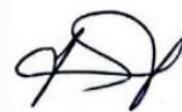
PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

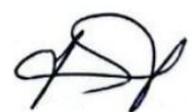
FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6%
2	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	3%
3	www.scribd.com Fuente de Internet	2%
4	revistas.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
5	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	1%
6	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1%
8	vdocuments.site Fuente de Internet	<1%



9	fdocuments.ec Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.ingemmet.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
11	Submitted to Universidad de Santiago de Chile Trabajo del estudiante	<1 %
12	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas Activo Excluir coincidencias < 15 words
 Excluir bibliografía Activo





Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Jaime Abanto Castillo
Título del ejercicio: Tesis Doctoral
Título de la entrega: Tesis Doctoral informe final Jaime Abanto Castillo
Nombre del archivo: Informe_final_de_Tesis-Doctorado_Abanto_-_6_Dic_2024.docx
Tamaño del archivo: 1.75M
Total páginas: 51
Total de palabras: 7,019
Total de caracteres: 36,877
Fecha de entrega: 06-dic.-2024 01:38p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega... 2543207045

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIAS DE INGENIERIA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA CON MENCIÓN EN ENERGÍA



TESIS

"Generación de electricidad mediante un sistema híbrido solar eólico para bombear aguas subterráneas en la Estación Meteorológica – UNPRG"

Investigador:
M.Sc. Jaime Abanto Castillo

Asesor:
Dr. Luis Jaime Collantes Santisteban

Lambayeque, 2024

Resumen

La aplicación de la Física no convencional, como lo es la Física de energía renovables constituye un recurso de gran importancia para el desarrollo de la ciencia y la tecnología. En nuestro país, la gran mayoría de fuentes de irrigación necesita muchas veces de combustibles fósiles para poder bombear las aguas, ya sea del subsuelo o de cauces abiertos, para la irrigación de cultivos, lo cual dificulta, encarece y sobre todo contamina nuestro medio ambiente y a su vez contribuye también al calentamiento global.

El presente trabajo se llevó a cabo con el objetivo de resolver un problema de muchas décadas, dado que nuestra institución, la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, cuenta con grandes extensiones de tierras agrícolas, las cuales por falta de agua (recurso hídrico) no son productivas.

En tal sentido se diseñó un sistema híbrido solar eólico a través de un prototipo experimental que pudiera resolver en mayor escala dicho problema, con una capacidad de 2.2 kw.

Se concluye que el uso de este sistema permitirá obtener agua permanente en nuestras zonas y fronteras agrícolas.

Palabras clave: energía, solar, eólica.

Abstract

The application of unconventional physics, such as renewable energy physics, constitutes a resource of great importance for the development of science and technology. In our country, the vast majority of irrigation sources often require fossil fuels to be able to pump water, whether from the subsoil or from open channels, for the irrigation of crops, which makes it difficult, more expensive and, above all, contaminates our environment. and in turn also contributes to global warming.

The present work was carried out with the objective of solving a problem of many decades, given that our institution, the Pedro Ruiz Gallo National University, has large extensions of agricultural land, which due to lack of water (water resource) are not productive.

In this sense, a wind-solar hybrid system was designed through an experimental prototype that could solve this problem on a larger scale, with a capacity of 2.2 kw.

It is concluded that the use of this system will allow us to obtain permanent water in our agricultural areas and borders.

Keywords: energy, wind, solar

Introducción

El presente proyecto tiene como pilares el aporte de la energía solar y eólica, que gracias a la base de datos con que cuenta la estación meteorológica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque, fue posible dimensionar y diseñar un sistema híbrido solar Eólico, mediante un prototipo experimental que nos permita aprovechar las aguas subterráneas existentes en dicha zona de trabajo, obteniendo un flujo de agua de una manera eficaz, económica y controlada. Dicha fuente acuífera dada su tipo de suelo, capa freática y profundidad es posible utilizar dichos recursos por muchos años más, para el beneficio de las zonas agrícolas y de cultivo del fundo de la universidad; y dado su gran importancia de este trabajo los estudiantes de las diferentes facultades de nuestra alma mater relacionados con el recurso hídrico podrán desarrollar diferentes proyectos de desarrollo y de investigación.

Cabe señalar que sobre sistemas híbridos solares eólicos no existe mucha información tanto a nivel nacional como internacional.

El diseño de nuestro sistema híbrido solar eólico se alimenta con 6 paneles solares, cada una con una potencia nominal de 270 w cada uno y un generador eólico trifásico de 600w de potencia, haciendo un total de 2.25 kw, la cual a su vez suministra energía eléctrica a una electrobomba sumergible de 1Hp lo cual permite extraer agua del sub suelo a una profundidad de 6 m.

La capacidad del pozo cuyas dimensiones dan un volumen operacional de 30m³ de agua y tiene una capacidad acuífera, aplicando el método de la escuadra da 3 l/s, utilizando un tubo solido cuyo diámetro fue de 2”.

El presente trabajo permitió cumplir con los objetivos energéticos solar y eólico, ya que se consiguió una mayor estabilidad del sistema hibrido diseñado; que los sistemas renovables de un solo tipo de energía, además posee una mayor capacidad de generación energética almacenado en las baterías de Gel de 100 Ah.

1.1 Antecedentes de la Investigación

La utilización de la energía solar tiene raíces antiguas; incluso en la agricultura, su presencia ha sido fundamental, ya que esta práctica no sería posible sin la energía constante del sol. Sin embargo, al hablar de aplicaciones más avanzadas, podemos remontarnos al año 212 a.C., cuando Arquímedes empleó un rayo de luz concentrado para atacar una flota romana en Siracusa, logrando incendiar algunas de sus naves.

El efecto fotovoltaico fue descubierto en 1839 por el físico francés Edmond Becquerel, aunque su hallazgo quedó en el olvido durante los siguientes 75 años. Con tan solo 19 años, Becquerel observó que ciertos materiales producían pequeñas cantidades de corriente eléctrica al ser expuestos a la luz. Posteriormente, en la década de 1870, Heinrich Hertz profundizó en el estudio del efecto en sólidos, desarrollando celdas fotovoltaicas que convertían la luz en electricidad con una eficiencia del 1% al 2%.

En 1940 se desarrolló el procedimiento Czochralski, que permitió generar cristales de silicio de alta pureza. En 1954 los Laboratorios Bell utilizaron esta nueva técnica de producir cristales para fabricar una celda de silicio con un 4% de eficiencia.

Existen además otras técnicas de generación de energía solar que no implica la generación fotovoltaica, es decir la generación de energía eléctrica a partir del calor o la luz.

Existen sistemas donde los colectores solares son dispuestos para usar concentradores y espejos con lentes para enfocar los rayos del sol, para concentrar el calor que luego será transmitido a una máquina de vapor donde se utilizará el principio básico de generación de electricidad. En la actualidad la eficiencia de las celdas fotovoltaicas está sobre el 20%.

Existen 1600 millones de personas en el mundo que no tienen acceso a la electricidad en sus casas, cifras que representa más del 23 % de la población mundial.

En general son las áreas rurales, que, debido a sus situaciones geográficas y a la baja densidad de población, las que en mayor proporción no tienen acceso a la electricidad, necesitando soluciones de generación aislada.

En el Perú más de seis millones de personas que habitan las áreas rurales pobres no tienen acceso a los beneficios de la energía eléctrica. Aproximadamente la cobertura asciende a 32% en estas zonas siendo una de las más bajas de América latina.

La falta de energía eléctrica determina limitadas oportunidades para el desarrollo socio económico.

En el Departamento de Lambayeque, la ciudad de Chiclayo es un balneario que cuenta con todas las comodidades que puede ofrecer la modernidad con fastuosos hoteles y restaurantes llenos de lujo y detalles además de plazas, parques, paseos muy bien iluminados que habitar.

Sin embargo, la otra cara de la moneda representa la comunidad vecina de Salas, Callanca, Incahuasi, Cañaris, y varios pueblos, caseríos de la zona que la electricidad es solo una utopía.

En muchos casos esto se genera debido a la falta de interés de las autoridades así como empresas concesionarias eléctricas locales que no proyectan y planifican la instalación de estos servicios básicos, aduciendo falta de presupuesto y costos elevados para su realización; adicionalmente la falta de interés y organización por parte de los pobladores ayuda a que estos proyectos no se prioricen y el no tomar verdadera conciencia que la obtención de la electricidad cambiaría la calidad de vida de ellos y sus futuras generaciones.

1.2 Base Teórica

1.2.1. Generalidades sobre el proyecto de paneles fotovoltaicos.

Desde el principio de los tiempos la humanidad ha dependido de las energías para su supervivencia, es así que, desde el apareamiento del fuego, el hombre pudo controlarlos.

La segunda gran transformación energética trajo consigo una diversificación notable tanto en las tecnologías de uso final como en las fuentes de energía. La llegada de la electricidad fue quizás el avance más revolucionario, ya que facilitó la conversión de energía en luz, calor o fuerza de trabajo en el propio lugar de uso, haciendo la vida más práctica y flexible.

Otro invento crucial fue el motor de combustión interna, que revolucionó la movilidad, cambiando para siempre la forma en que las personas se desplazaban, tanto en transporte individual como colectivo. Sin embargo, esta etapa de innovación también intensificó la dependencia del petróleo, que pasó a ser la fuente esencial para cubrir una demanda creciente de combustibles, no solo para generar electricidad sino también para alimentar el vasto sistema de transporte que se expandía rápidamente.

Sin embargo, a pesar del surgimiento de otras fuentes energéticas primarias continuamos viviendo una era en donde el patrón de energía está dominado por los combustibles fósiles, principalmente por el petróleo.

Si la evidencia de la relación entre la quema de combustibles fósiles y la emisión de gases de invernadero es tan tangible, surge entonces la interrogante sobre si la dependencia respecto a ellos debe ser mantenida en el futuro.

Las energías renovables solucionarán muchos de los problemas ambientales, como el cambio climático, los residuos radiactivos, las lluvias ácidas y la contaminación atmosférica. Pero para ello hace falta voluntad política y dinero.

Santamaría afirma que la producción, transformación y consumo final de tal cantidad de energía es la causa principal de la degradación ambiental, con el 15% de la población mundial, consumen el 60% de la energía, factor este último a tener en cuenta a la hora de

repartir responsabilidades de la crisis ambiental. Las energías renovables son la única solución sostenible, y la energía nuclear, de fisión o fusión, sólo agravaría la situación y conduciría a un camino sin salida, de proliferación nuclear y generación de residuos radiactivos (Santamaría, 2005).

1.2.2. Energía solar

La energía solar absorbida por la Tierra en un año es equivalente a 20 veces la energía almacenada en todas las reservas de combustibles fósiles en el mundo y diez mil veces superior al consumo actual (MOLINA, 2012) . El sol es la única fuente de materia orgánica y de energía vital de la Tierra, y aunque a veces nos pasa desapercibido, ya hoy estamos utilizando masivamente la energía solar, en forma de alimentos, leña o energía hidroeléctrica. Los mismos combustibles fósiles, cuya quema está en el origen del deterioro ambiental, no son otra cosa que energía solar almacenada a lo largo de millones de años. La fotosíntesis es hoy el empleo más importante de la energía solar, y la única fuente de materia orgánica, es decir, de alimentos y biomasa (Santamarta, 2009).

Dado que la radiación solar se emite de manera constante, diaria e inagotable, la captación de energía solar se plantea como una alternativa renovable y sostenible. Esta forma de energía es limpia, no produce contaminación ni deja residuos que afecten los ecosistemas terrestres.

La cantidad de radiación que alcanza la superficie terrestre depende de factores como la hora del día, las condiciones atmosféricas y la latitud. En condiciones favorables de irradiación, este valor es aproximadamente de 2600 W/m² en la región del Ecuador. Esta medida se denomina irradiación.

- ✓ La radiación directa es la que llega directamente del foco solar. Sin reflexiones o refracciones intermedias.

- ✓ La difusa es la emitida por la bóveda celeste diurna gracias a los múltiples fenómenos de reflexión y refracción solar en la atmósfera, en las nubes y el resto de elementos atmosféricos y terrestres.

La producción está basada en el fenómeno físico denominado 'efecto fotovoltaico', que básicamente consiste en convertir la luz solar en energía eléctrica por medio de unos dispositivos semiconductores denominados células fotovoltaicas. Estas células están elaboradas a base de silicio puro (uno de los elementos más abundantes, componente principal de la arena) con adición de impurezas de ciertos elementos químicos (boro y fósforo), y son capaces de generar cada una corriente de 2 a 4 amperios, a un voltaje de 0,46 a 0,48 Voltios, utilizando como fuente la radiación luminosa (Descubre la energía , s.f.).

Las Ventajas que presenta esta energía alternativa son las siguientes:

- ✓ Energía solar permanente en el geosistema.
- ✓ Recurso renovable y gratuito.
- ✓ Calefacción en invierno y refrigeración en verano.
- ✓ Integración de energía limpia al geosistema.
- ✓ Utilización maximizada de energía solar.
- ✓ Sin desechos o residuos.
- ✓ Costo cero en descontaminación.
- ✓ Incorpora elementos arquitectónicos innovadores.
- ✓ Creación e investigación de tecnología moderna e innovadora.

Si bien es cierto que las ventajas comparativas parecen innegables, la implementación de esta tecnología es aún elevada en sus costos iniciales, por tanto, es una limitante a considerar, en especial en los países en desarrollo.

1.2.3. Radiación solar:

Se conoce por radiación solar al conjunto de radiaciones electromagnéticas emitidas por el sol. El sol se comporta prácticamente como un cuerpo negro que emite energía siguiendo la ley de Planck a una temperatura de unos 6000 K. La radiación solar se distribuye desde infrarrojo hasta ultravioleta. No toda la radiación alcanza la superficie de la tierra, pues las ondas ultravioletas, más cortas, son absorbidas por los gases de la atmósfera fundamentalmente por el ozono. La magnitud que mide la radiación solar que llega a la tierra es la irradiación, que mide la energía que, por unidad de tiempo y área, alcanza a la tierra. Su unidad es el W/m² (vatio x m²) (Equipos y laboratorios de Colombia , s.f.).

1.2.4. Energía eólica.

La energía eólica es una fuente renovable que se genera al aprovechar el movimiento constante del viento o las brisas. En todo el planeta, circulan corrientes de aire que siguen patrones relativamente estables, aunque varían ligeramente con las estaciones. Esta característica convierte al viento en una opción importante para la producción de energía alternativa.

El uso de la energía eólica tiene una larga historia, especialmente en las regiones mediterráneas de Europa, donde ya ha demostrado ser confiable y efectiva. Países como Holanda, que fue pionero en este campo, junto con España y Escocia, han adoptado esta tecnología de manera considerable. En América Latina, la energía eólica ha ganado fuerza en Argentina, en el sur de Chile y en Centroamérica, destacándose Costa Rica y México.

La manera más común de capturar esta energía es a través de grandes aspas o torres de acero en tierra firme, que se colocan en zonas de viento constante para asegurar un flujo de energía continuo.

Figura 1. Energía Eólica



Fuente: MIGUEL VARGAS PALOMEQUE, introducción a las energías alternativas con experimentos sencillos, Bolivia 2006. pág. 5

Estas instalaciones tienen la capacidad de producir energía alternativa en forma de electricidad, generando entre 300 y 400 kilovatios. Con esa potencia, pueden satisfacer las necesidades energéticas de una comunidad de más de 70,000 personas o incluso de varios núcleos poblacionales a la vez. Además, están conectadas a la red central, lo que permite que apoyen el suministro energético en plantas industriales, cubriendo hasta un 30% de la energía que estas necesitan para sus procesos.

Un avance todavía más innovador son las torres eólicas marinas desarrolladas recientemente en Dinamarca. Este proyecto busca aprovechar los intensos vientos del Mar del Norte. Ya están en funcionamiento los 8 molinos eólicos que fueron instalados durante dos años de trabajo y que marcan un hito como los primeros en "sembrar molinos en el mar".

Esta generación eólica pretende ser utilizada por los 'Países nórdicos, que son los líderes en energías alternativas, sustentables y seguras para el medio ambiente.

En términos de Ventajas, se aprecian los siguientes parámetros:

- ✓ Eficiente
- ✓ Recurso propio e inagotable
- ✓ Recurso manejable
- ✓ Instalación económica, limpia, moderna
- ✓ Áreas sin uso actual
- ✓ Experiencia histórica
- ✓ Escala local y regional
- ✓ Uso múltiple de la energía
- ✓ Contaminación visual

En regiones de América Latina, como es el caso de la Argentina, se está utilizando la instalación de góndolas eólicas para extracción de agua de profundidad, prospección de acuíferos subterráneos, proyectos de riego y para abrevaderos de ganado; por tanto, el uso es múltiple y con costos mucho más bajos que las otras energías alternativas mencionadas anteriormente.

Al comparar la energía eólica con las anteriores, resulta altamente competitiva, económica y factible en todas las regiones del Planeta. De hecho, es una excelente alternativa para regiones pobres, que ven limitados sus recursos energéticos y la imposibilidad de adquirir energía tradicional.

Por otro lado, las Naciones Unidas ha difundido la necesidad de incorporar estas energías sustentables, para reducir las emisiones a la atmósfera y mejorar así la calidad de vida de los habitantes del mundo.

1.2.4.1 Viento.

El viento es el movimiento del aire dentro de la atmósfera, especialmente en la troposfera, y es un fenómeno meteorológico originado por causas naturales. Para estudiar el viento con fines energéticos, se mide su velocidad en metros por segundo (m/s) y se considera solo la velocidad y dirección en su componente horizontal. Este movimiento se debe a las diferencias de temperatura causadas por el calentamiento desigual de distintas zonas de la Tierra y la atmósfera. Las masas de aire caliente tienden a subir, dejando su lugar a las masas de aire circundante, que son más frías y, por lo tanto, más densas.

1.2.4.2 Causas del viento

Existen varias causas, la primera y más importante de estas es el calentamiento de la tierra por el sol. La radiación del sol es absorbida por la superficie de la Tierra y luego regresada a la atmósfera

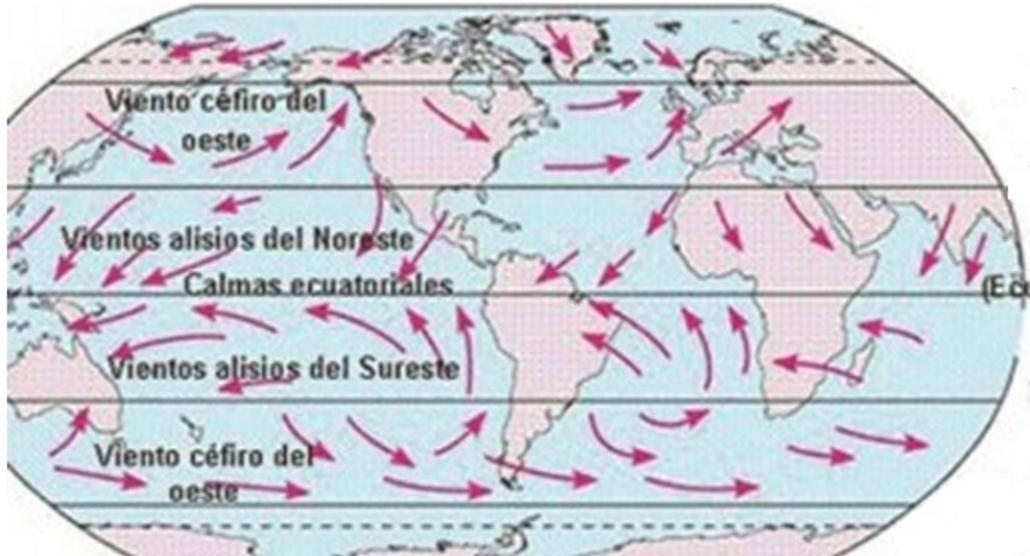
Dado que la superficie terrestre es tan variada con montañas, océanos, biomas y otros elementos, la absorción de la energía solar cambia dependiendo de la ubicación geográfica, la hora del día y la estación del año. Esta distribución desigual de calor crea grandes contrastes en la temperatura, densidad y presión de la atmósfera, lo que genera fuerzas que mueven las masas de aire de un lugar a otro.

En particular, las regiones tropicales de la Tierra (como Perú) reciben mucha más energía solar durante el año en comparación con las regiones polares. Esto hace que las zonas tropicales se calienten más, mientras que las áreas polares se mantienen frías, generando un intenso flujo de convección entre ambas.

Además, la rotación de la Tierra crea la fuerza de Coriolis, que desvía estas masas de aire hacia la derecha en el hemisferio norte y hacia la izquierda en el hemisferio sur, al observarlas en la dirección de la corriente.

Este proceso causa el movimiento espiral de ecualización de aire, visto en las imágenes de nubes de zonas de baja presión.

Figura 2 Corrientes globales de viento



Fuente: <http://esunmomento.es/contenido.php?recordID=112>

Cerca del suelo, la fricción de la superficie produce una disminución en la velocidad del viento, que también reduce el efecto de la fuerza de Coriolis.

1.2.4.3 Medición de la dirección y velocidad del viento.

La velocidad y dirección del viento se miden con instrumentos especiales llamados anemómetros, que cuentan con dos sensores: uno para registrar la velocidad del viento y otro para detectar su dirección. Es fundamental que estos instrumentos se instalen siguiendo los procedimientos internacionales vigentes para minimizar posibles interferencias. Generalmente, se considera que a partir de los 10 metros de altura, estas perturbaciones dejan de afectar de manera significativa las mediciones.

1.2.4.4. Descripción de los componentes del sistema de energía eólica.

En los sistemas que no se encuentran conectados a la red generalmente se dispone de algún sistema de almacenamiento con el objetivo de disponer de la energía en periodos de viento flojo o calmas.

Aerogeneradores de eje horizontal

Pablo Polanco Nos dice que:

Los convertidores de energía eólica que tienen su eje de rotación en una posición horizontal, se realizan casi exclusivamente con base en los conceptos de hélices. La superioridad indiscutible de este diseño hasta la fecha, se basa principalmente en las siguientes características:

- En el diseño de la hélice, la velocidad del rotor y la potencia de salida puede ser controlado inclinando las palas del rotor sobre su eje longitudinal (ángulo de paso de la pala, pitch control). Además, inclinando las palas del rotor, es la protección más eficaz contra el exceso de velocidad y las velocidades de viento extremas, especialmente en los grandes aerogeneradores.
- La forma de la pala del rotor puede ser optimizada aerodinámicamente y se ha probado que logrará mayor eficiencia cuando la sustentación aerodinámica sea explotada al máximo(Perdomo, 2012).

El aerogenerador.

Los aerogeneradores o turbinas de viento tienen varios componentes. El aerogenerador de eje horizontal es considerado el más eficiente en comparación de los de eje vertical. Generalmente las potencias nominales de los aerogeneradores se dan para unos vientos de 8 -12 m/s.

Los aerogeneradores se pueden clasificar según el eje de trabajo:

- De eje vertical, las máquinas de eje vertical giran alrededor de un eje vertical son muy poco usadas para la generación de electricidad debido a que su configuración no les permite girar a altas velocidades; su rendimiento es muy bajo para la generación de electricidad.
- De eje horizontal, son las más usadas para la generación de electricidad. Con esta configuración se ha alcanzado el mayor rendimiento de captación energética del viento.

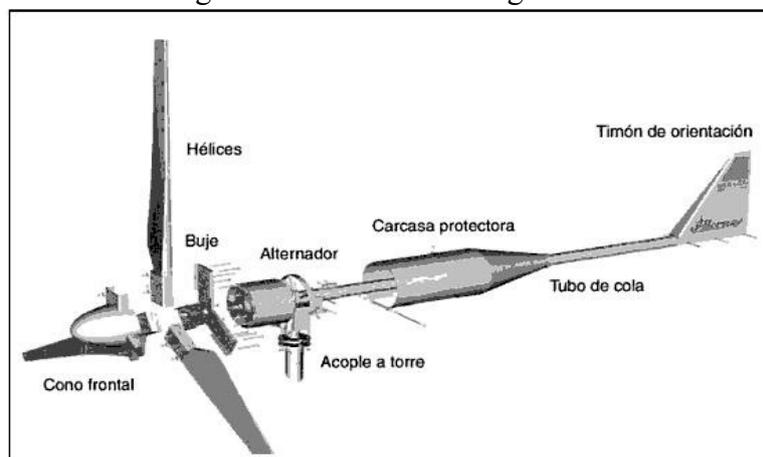
Clasificación según el tamaño y potencia del aerogenerador:

- Micro turbina de 0.5 a 1.25 metros de diámetro.
- Las mini turbinas eólicas son ligeramente más grandes y su rango se encuentra entre las micro turbinas y el de las turbinas domésticas.
- Su diámetro varia 1.25 a 2.75 metros.
- Turbinas de tamaño domestico abarcan desde 2.7 metros de diámetro hasta un rotor de 7 metros.

En general, las pequeñas turbinas eólicas son máquinas que producen desde unos pocos vatios hasta 10 – 20 KW.

Las partes que conforman un aerogenerador son las que se detallan a continuación:

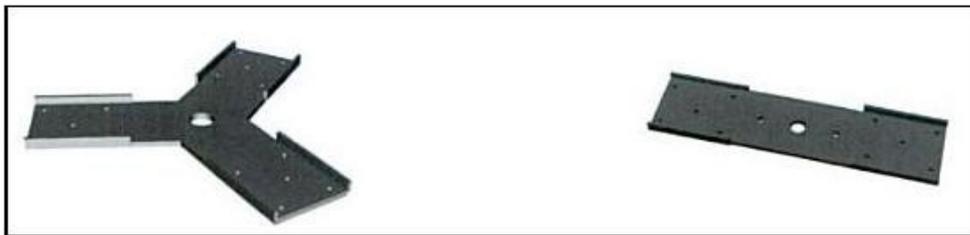
Figura 3 Parte de un aereogenerador



Cono frontal: Su función básica es estética.

- Hélice: Su función es convertir la energía cinética del viento en la energía mecánica que se utiliza para impulsar el generador eléctrico. Las palas están fabricadas con el fin de alcanzar un balance óptimo en la captación eficaz de la energía del viento. La mayoría de las pequeñas turbinas eólicas usan materiales compuestos, tal como fibra de vidrio (vidrio reforzado con poliéster), para las hélices.
- Buje: el buje es la pieza que sujeta las hélices y va unido al eje principal. El buje tendrá unas características u otras en función al número de hélices.

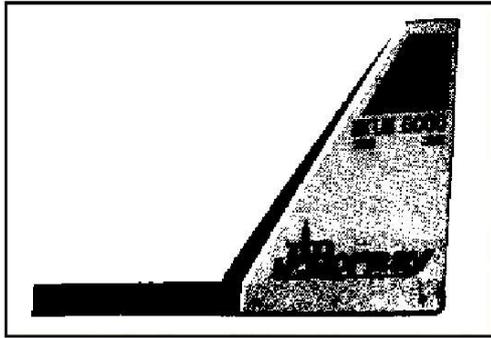
Figura 4 Tipos de bujes.



A la izquierda buje de tres hélices y a la derecha buje de dos hélices.

- Alternador: Transforma la energía mecánica en eléctrica. La mayoría de las pequeñas turbinas eólicas emplean alternadores de imanes permanentes. El empleo de imanes permanentes permite lograr la generación de energía desde bajas velocidades de giro, permitiendo así un acoplamiento directo turbina generador.
- Timón de orientación: debido a sus dimensiones, las pequeñas turbinas eólicas no pueden acomodar los mecanismos de transmisión y los motores de orientación que emplean las turbinas más grandes. Casi todas las pequeñas turbinas utilizan veletas que ponen al rotor de frente al viento.

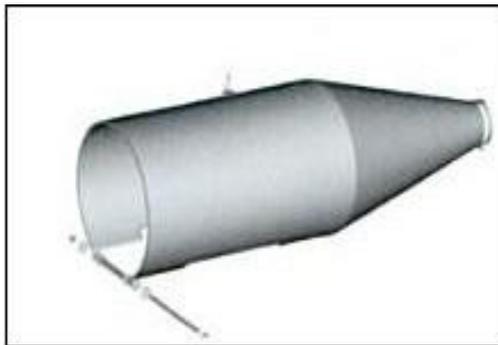
Figura 5 Veleta de orientación



Timón de orientación

- Carcasa: su misión es encerrar y proteger el alternador y componentes eléctricos de los efectos atmosféricos.

Figura 6 Carcasa del aerogenerador



1.2.5. Células fotovoltaicas

Los paneles fotovoltaicos que se usan para generar energía están hechos de células fotovoltaicas, que son las encargadas de transformar la luz solar en electricidad. Este proceso ocurre porque las células están fabricadas con materiales semiconductores que, al recibir fotones (partículas de luz), generan electrones en movimiento. Es decir, convierten la energía luminosa en corriente eléctrica.

Estas células funcionan como pequeños diodos, compuestos de materiales semiconductores con un campo eléctrico constante que se genera mediante una unión p-n. Cuando la radiación solar llega a estos materiales, se produce una excitación que hace que los electrones se desplacen, generando así una diferencia de potencial entre los extremos de la celda.

La celda tiene dos terminales. La cara que está expuesta a la luz cuenta con un fino enrejado metálico (generalmente de plata o aluminio), que recoge los electrones generados por la luz; esta es la terminal negativa. La otra cara tiene una capa metálica, normalmente de aluminio, que actúa como la terminal positiva, donde se acumulan las cargas positivas.

Además, las celdas están recubiertas por una capa antirreflejante para reducir las pérdidas de energía por reflexión. Cada celda puede generar pequeñas cantidades de corriente con un voltaje que oscila entre 0,46 y 0,48 V. Para alcanzar un voltaje adecuado para aplicaciones prácticas, varias células se conectan en serie dentro de los paneles fotovoltaicos.

1.2.6. El efecto fotovoltaico:

El efecto fotovoltaico (FV) es la base del proceso mediante el cual una célula FV convierte la luz solar en electricidad. Las células se montan en serie sobre paneles o módulos solares para conseguir un voltaje adecuado.

1.2.7. El futuro de las energías renovables en el Perú.

El sistema energético de Perú, es un sistema basado en fuentes de energía de origen fósil y energías renovables, siendo el peso de cada fuente energética, durante el año 2012.

Si se analiza la generación de energía tiende más a Gas Natural y poco en Producción de energía Renovable. Pero a pesar de la alta participación de las energías renovables en la producción eléctrica en el Perú. Hasta el momento tan sólo se está aprovechando el 20% del

potencial hidroeléctrico del país. Aun siendo Perú, un país productor y exportador de energía, no es autosuficiente. Por otro lado, se puede obtener energía eólica suministrada por la velocidad del viento y la misma que contribuirá a mejorar la eficacia del sistema híbrido.

1.3 Hipótesis

Se puede generar electricidad para bombear aguas subterráneas utilizando un sistema híbrido energético (solar – eólico)

2.1 Tipo de Investigación

Aplicada – Experimental

2.2 Método de Investigación

Experimental

Para el presente trabajo se medirán las eficiencias de dos parámetros.

Radiación solar y velocidad de viento.

CON VIENTO

Figura 7 Diagrama de la eficiencia con energía eólica

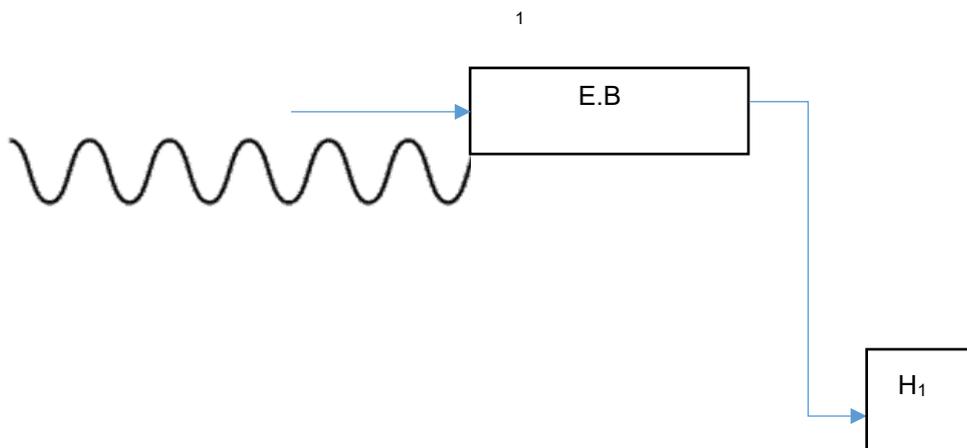


Figura 8 Eficiencia con energía solar.

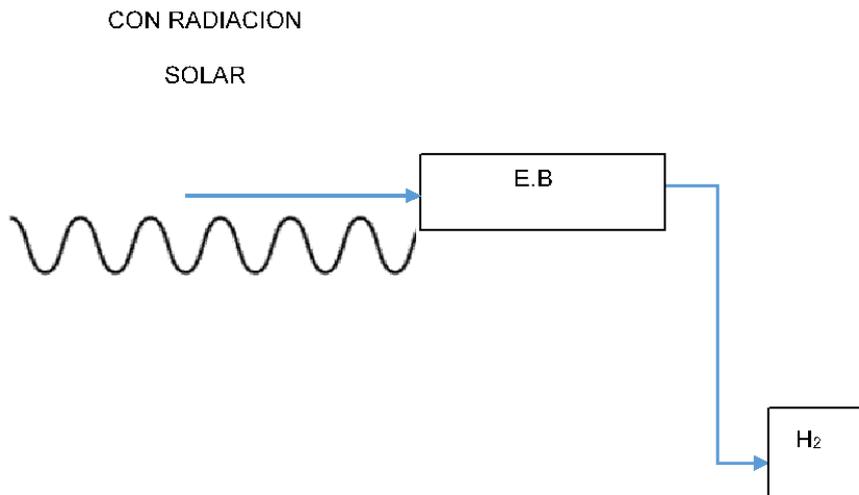
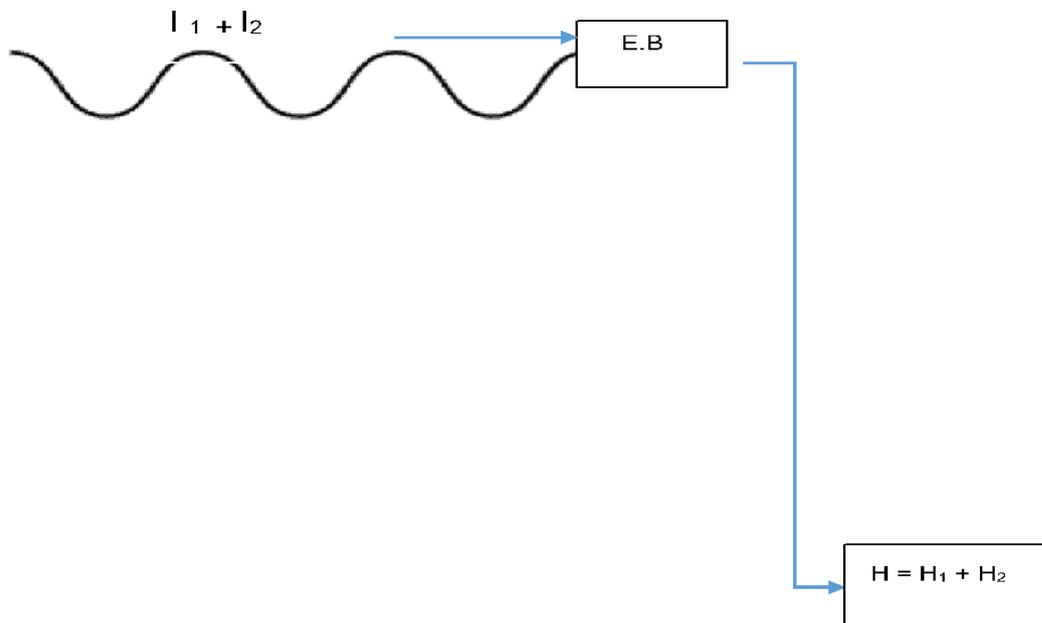


Figura 9 Diagrama de la eficiencia con la yuxtaposición de las 2 energías eólica y solar



2.3 Diseño de Contrastación

Para el desarrollo del presente estudio se midió la eficiencia de la potencia eléctrica con la radiación solar.

En segundo lugar, se midió la potencia eléctrica con la eficiencia de la velocidad del viento.

En tercer lugar, se obtuvo la eficiencia de la yuxtaposición de las dos energías (solar-eólica) con la eficiencia de la potencia eléctrica suministrada al sistema.

2.4 Población, Muestra y Muestreo

Para la ejecución del presente trabajo se tomó la población de los datos registrados de la estación meteorológica UNPRG durante los últimos 12 meses tanto para la radiación solar como para la velocidad del viento.

2.5 Técnicas, Instrumentos, Equipos y Materiales de Recolección de Datos

Se registrarán durante 12 meses consecutivos los datos suministrados por estos instrumentos y equipos; asimismo se evaluará sus respectivas eficiencias para cada tipo de energía (solar, eólica e híbrida)

Los datos proporcionados serán debidamente procesados y analizados siguiendo los patrones y técnicas establecidas de la estación meteorológica.

MATERIALES

Aerogenerador marca ZONHAN de 600 W – 24V.V.

06 paneles solares 270 w – 24v.

01 Bomba trifásica sumergible de 1 HP

01 Variador INVIT Trifásico.

01 Power inverter 2000 w – 24 v

02 Baterías de Gel AOKLY 100AOKL Y 100 AH

01 TABLERO Polyéster de control

01 Tubo de 250 MM x 6 metros HDPE 100

01 tanque de almacenamiento de 2500 litros.

Tubos de ¾”, ½” Y 2” pvc.

Alambre de cobre y conectores.

01 Extensión de 50m

01 Taladro

01 Moladora de corte

01 Motobomba de 2" honda

06 Metros de manguera de succión de 2".

20 metros de manguera de desfogue de 2"

01 Pinzómetro de potencia.

01 Multitester digital

Caseta de control

01 Millar de ladrillo de pared

150 Ladrillos King Kong N^a 15 para techo.

40 Bolsas de cemento.

12 Varillas de 5/8" x 9 m de fierro

08 Varillas de 1/4" x 9 m de fierro

05 Cubos de arena amarilla

01 Cubo de piedra base

03 Cubos de piedra chancada ³/₄

02 Cubos de arenilla.

30 Kg de alambre de amarre.

10 Cajas Hexagonales.

02 Tubos de 2" x 3m PVC

06 Tubos de luz.

10 Codos de luz.

2.6 Procesamiento y Análisis de Datos

De acuerdo a la base de datos del solarímetro (actinógrafo) de la estación meteorológica durante los meses de enero a diciembre del año 2021 se registró un valor promedio 550 (W/M2) °K de cálculo a la velocidad del viento.

De acuerdo a la base de datos del anemómetro de la estación meteorológica se registró un valor promedio de 6.7 m/s.

Cálculo para bombeo solar.

Recurso hídrico: $U_h = 28.36 \text{ m}^3$

Hd: altura dinámica = 6m

Hr: altura de descarga del agua en el reservorio con respecto al nivel del suelo 4m.

Hp: pérdida hidráulicas considerado como un 10% de Hd + Hr.

Ht: Altura total de bombeo = (Hd+Hr)x Hp

HSP: 4,21 es la hora solar pico para la zona de estudios, correspondiente a la menor radiación del año (Mes de Julio)

Ht: altura total de bombeo = (6m+4m) x 1 = 10 m

Potencia pico del panel fotovoltaico (Pph): 270 wp, 24 v.

Rendimiento mecánico medio (nm): 25%

Energía de extracción de agua de pozo Ee

$$E_h = P_8 U_h H_t$$

$$E_h = 1000 \times 9,81 \times 28,36 \times 10 / 1000 \times 3600 = 0,77 \text{ kwh/día}$$

$$E_h = E_h / n_m = 0,773 / 0.25 = 3.092 \text{ Kwh/día}$$

Potencia al grupo motor bomba (P_{mb})

$$P_{mb} = E_c / H_{sp} = 3.092 / 4.21 = 0,73 \text{ Kw.}$$

Caudal requerido (Q)

$$Q = U_h / H_{sp} = 28,36 / 4,21$$

$$Q = 6,73 \text{ m}^3/\text{h} = (1,87 \text{ l/s})$$

Cálculo de la energía requerida en el panel fotovoltaico (E_{ph})

$$E_{ph} = E_c / \eta_c$$

$$E_{ph} = 3,092 / 0,95$$

$$E_{ph} = 3,25 \text{ kWh/día}$$

Cálculo del número de paneles fotovoltaicos

$$N = E_{ph} / (E_{ph} \times HSP) = 3,25 / (0,27 \times 4,21)$$

$$= 3,25 / 1,13 = 2,87 = 3 \text{ paneles.}$$

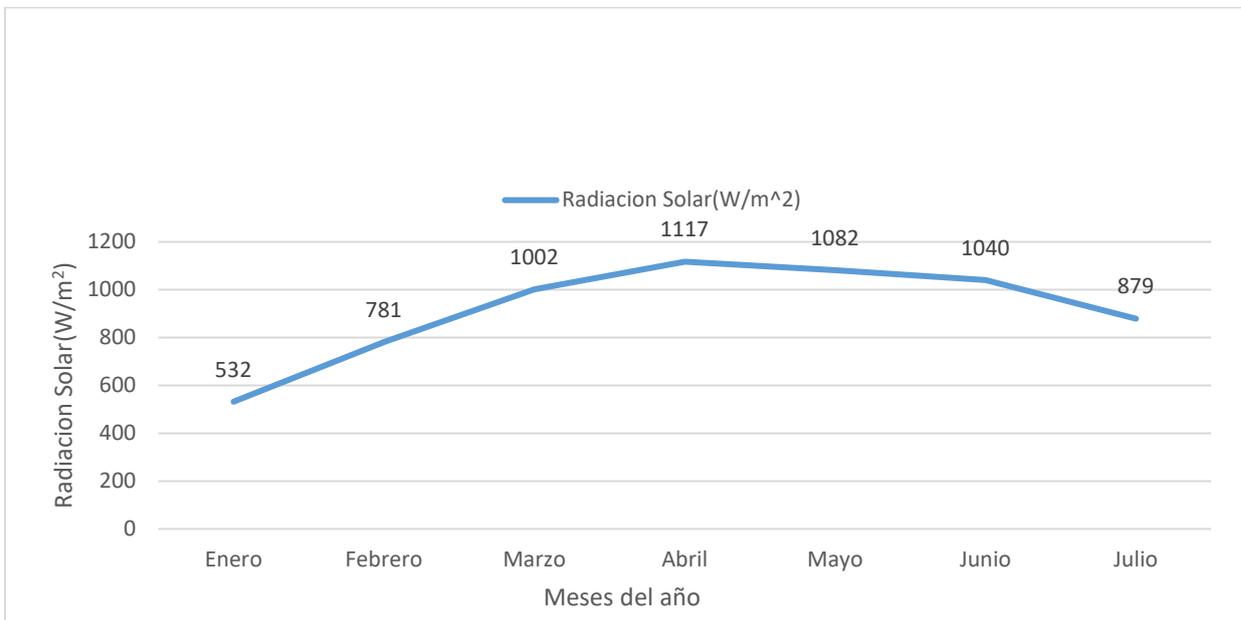
Capítulo III. Resultados

De acuerdo a los datos registrados se tienen los siguientes resultados.

Figura 10 Velocidad promedio del viento registrado en la Estación Meteorológica – UNPRG durante 14 meses consecutivos de enero 2022 a febrero del 2023..



Figura 11 Radicación solar promedio del registrado en la Estación Meteorológica - UNPRG durante los 7 meses consecutivos del año 2023.



Al efectuar el dimensionamiento y los cálculos respectivos se ha podido alcanzar los siguientes resultados.

RENDIMIENTO DEL POZO ARTESANAL

El pozo artesanal en la Estación Meteorológica tiene las siguientes dimensiones.

Diámetro (D) = 3.00 m

Profundidad = 6.00 m

Espejo de agua = 4.00 m

Volumen Acuífero = 28.36 m³

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD ACUÍFERA

Aplicando el método de la escuadra al pozo artesanal mediante la siguiente expresión:

$$Q = \frac{\pi D^2 x}{4} \sqrt{\frac{g}{2y}}$$

Donde:

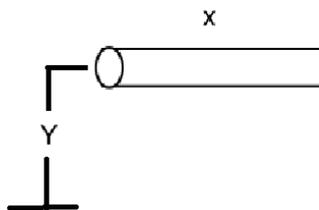
Q = CAUDAL (L)

D = Diámetro del pozo (m)

X = Distancia del borde del tubo – punto de contacto con la trayectoria del agua.

G = Aceleración de la gravedad 9.8 m/s².

y = Altura del punto de contacto.



Para nuestro caso se obtuvieron los siguientes valores.

D = 2" (0.0254 m) = 0.0508 m

X = 0.20 m

G = 9.8 m/s²

Y = 0.10 m

Reemplazando datos en la ecuación (I) se tiene

$$Q = \frac{314 (0.0508M)^2 * 0.2m}{4} \sqrt{\frac{\frac{9.8}{s^2}}{2(0.10m)}}$$

$$Q = 0.002836 \text{ m}^3/\text{s a L/S}$$

$$Q = 3\text{L/s}$$

Promedio de radiación solar: $550 \left(\frac{w}{m^2}\right) ^\circ K$

Promedio de velocidad del viento. 6.7 m/s

CÁLCULO PARA BOMBEO SOLAR

Recurso hídrico: $U_h = 28.36\text{m}^3$

H_d = altura dinámica = 6 m

H_r = altura de descarga del agua en el reservorio con respecto al nivel del suelo 4 m.

H_p = pérdidas hidráulicas considerado como un 10% de $H_d + H_r$

H_t = altura total de bombeo = $(H_d + H_r) \times H_p$

HSP = 4,21 es la hora solar pico para la zona de estudios, correspondiente a la menor radiación del año. (mes de julio)

H_t = altura total de bombeo = $(6 \text{ m} + 4 \text{ m}) \times 1 = 10 \text{ m}$

Potencia pico del panel fotovoltaico (P_{ph}): 270 wp, 24 v

Rendimiento mecánico medio (nm): 25%

Energía de extracción de agua de pozo E_e

$$E_h = p \ g \ U_h \ H_t$$

$$E_h = 1000 \times 9,81 \times 28,36 \times 10 / 1000 \times 3600 = 0,773 \text{ Kwh/día}$$

$$E_e = E_h / n_m = 0,773 / 0.25 = 3.092 \text{ kwh/día}$$

Potencia del grupo motor – bomba (P_{mb})

$$P_{mb} = \frac{E_e}{HSP} = \frac{3,092}{4,21} = 0,73 \text{ kw}$$

Caudal requerido (Q)

$$Q = U_h/HSP = 28,36/4,21$$

$$Q = 6,73 \frac{m^3}{h} = \left(1,87 \frac{1}{s}\right)$$

Cálculo de la energía requerida en el panel fotovoltaico (E_{ph})

$$E_{ph} = E_e/nc$$

$$E_{ph} = 3,092/0,95$$

$$E_{ph} = 3,25 \text{ kwh/día}$$

Cálculo de número de paneles fotovoltaico

$$N = \frac{E_{ph}}{(P_{ph} \times HSP)} = \frac{3,25}{0,27 \times 4,21}$$

$$= \frac{3,25}{1,13} = 2,87 = 3 \text{ paneles}$$

Tabla 1. Factor de forma K – Distribución de Weibull

<i>K</i>	<i>FPE</i> *	<i>K</i>	<i>FPE</i>
1,2	3,99	2,6	1,53
1,4	3,03	2,8	1,46
1,6	2,48	3,0	1,40
1,8	2,14	3,2	1,36
2,0	1,91	3,5	1,30
2,2	1,75	4,0	1,23
2,4	1,63	5,0	1,15

*FUENTE: * Factor patrón de energía*

Tabla 2. Valores promedios de eficiencia de bomba solar nb según su tipo y carga dinámica total

Carga dinámica total (m)	Tipo de bomba	Eficiencia %
5	Centrifuga de superficie	25
20	Centrifuga de superficie	15
20	Centrifuga sumergible	25
20 – 100	Centrifuga peso múltiple	35
0 – 100	Desplazamiento positivo	35
> 100	Desplazamiento positivo palanca	45

Fuente: Dr. Aarón Sánchez Juárez. Sistemas fotovoltaicos, iluminación y bombeo. Asociación Nacional de Energía Solar (ANES) España. Junio 2009 [10]

Eficiencia el sistema eólico

Un sistema de bombeo eólico puede oscilar entre 200 y 6000 litros/hora.

La energía disponible en $\frac{kwh}{año}$; indica cuanta energía eléctrica producirá el aerogenerador en un año promedio.

La potencia eólica P_E , por unidad de superficie A esta dado por:

$$\frac{P_E}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3$$

donde:

V= velocidad del viento (m/s)

La eficiencia según la Ley de BETZ es del 59%

$$E_{AP} = \left(\frac{P}{A}\right) A_X (\text{eficiencia total}) \times \frac{8760 \frac{\text{h}}{\text{año}}}{1000 \frac{\text{w}}{\text{kw}}}$$

Densidad de potencia: $\frac{P}{A}$

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} (\text{densidad del aire}) \times F_c * V^3$$

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} (1,2) \times (1,91) * V^3$$

Fc: Distribución de Ray leigh) 1,91

P: Densidad del aire al nivel del mar de 1,2 kg/m³

$$\Rightarrow \frac{P}{A} = 1.146 V^3 \text{ en } \frac{\text{w}}{\text{m}^2}$$

Para nuestro caso radio de la polea es 0.8

$$P = 1.146 \times (6)^3 * (0.8)^2 = 633.69 \text{ w}$$

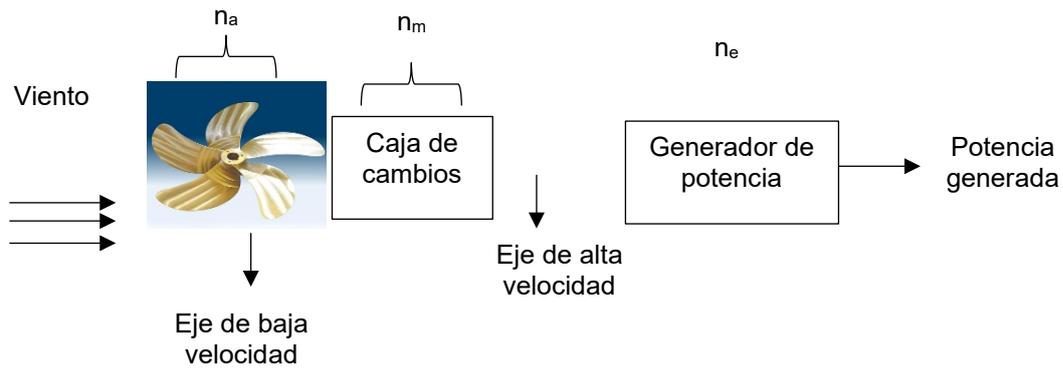
Eficiencia del sistema de bombeo eólico

De acuerdo a la ley de BETZ, solo se puede convertirse menos del 16/27 parte aproximadamente 59,259% de la energía cinética.

La eficiencia del dispositivo n

$$n = \frac{P_{salida}}{P_{entrada}} * 100\%$$

Figura 12 . Sistema de eficiencia del aerogenerador



donde estas eficiencias están alrededor de los siguientes valores:

$$n_a = 45\%$$

$$n_m = 95\% \quad n = \frac{257.35}{633.69} = 0.40$$

$$n_e = 95\% \quad n = 40\%$$

Eficiencia del sistema de bombeo fotovoltaico

La eficiencia n de un panel solar está dado

$$\text{Por } n = \frac{\text{potencia pico del panel}}{\text{irradiación STC} * \text{área panel}}$$

La eficiencia del panel fotovoltaico n_s no es igual a la eficiencia de la celda solar n_t , generalmente es de 1 a 3% inferior a esta.

$$n_s = (1 - k) n_T n_{CE}$$

Donde:

n_{CE} = eficiencia de los conductores electrónicos de cobre electrolítico del 99.9% de pureza.

Para un sistema de bombeo solar se requiere las siguientes energías:

E_h : energía requerida para disponer el recurso hídrico en el reservorio, bombeando hasta una altura H_t a un caudal Q_h

E_b la energía requerida para activar la bomba solar, la misma que tiene una eficiencia de n_b .

E_m la energía necesaria para activar el motor eléctrico, cuya eficiencia es n_m .

E_s la energía solar disponible en la zona de bombeo captada por el panel solar que tiene una eficiencia total de n_s .

Relación existente entre estas se indican a continuación:

$$E_b = E_h/n_b$$

$$E_m = E_b/n_m$$

$$E_s = E_m/n_s$$

Por tanto se tiene que:

$$E_s = E_h/n_s n_m n_b$$

Es la ecuación fundamental que relaciona la energía hidráulica de bombeo requerida en función de la energía solar disponible en el lugar de bombeo.

$$E_h = pgU_h h_t$$

Donde:

E_h = es la energía hidráulica requerida (watt-s/día)

p = densidad del agua (1000 kg/m³)

g = aceleración de la gravedad (9,8 m/s²)

U_h = Es la demanda diaria para el mes más crítico m³/día

h_t = es la altura total de bombeo incluyendo las correspondientes pérdidas hidráulicas (m)

Por lo tanto, la eficiencia del sistema fotovoltaico de bombeo será:

$$n = \frac{4,25}{6} = 0,70$$

$$n_2 = 70,8\%$$

Aporte del generador eólico

Velocidad del viento: 6.7 m/s a 10m de altura

Proyección a 12 m de altura, perfil potencial

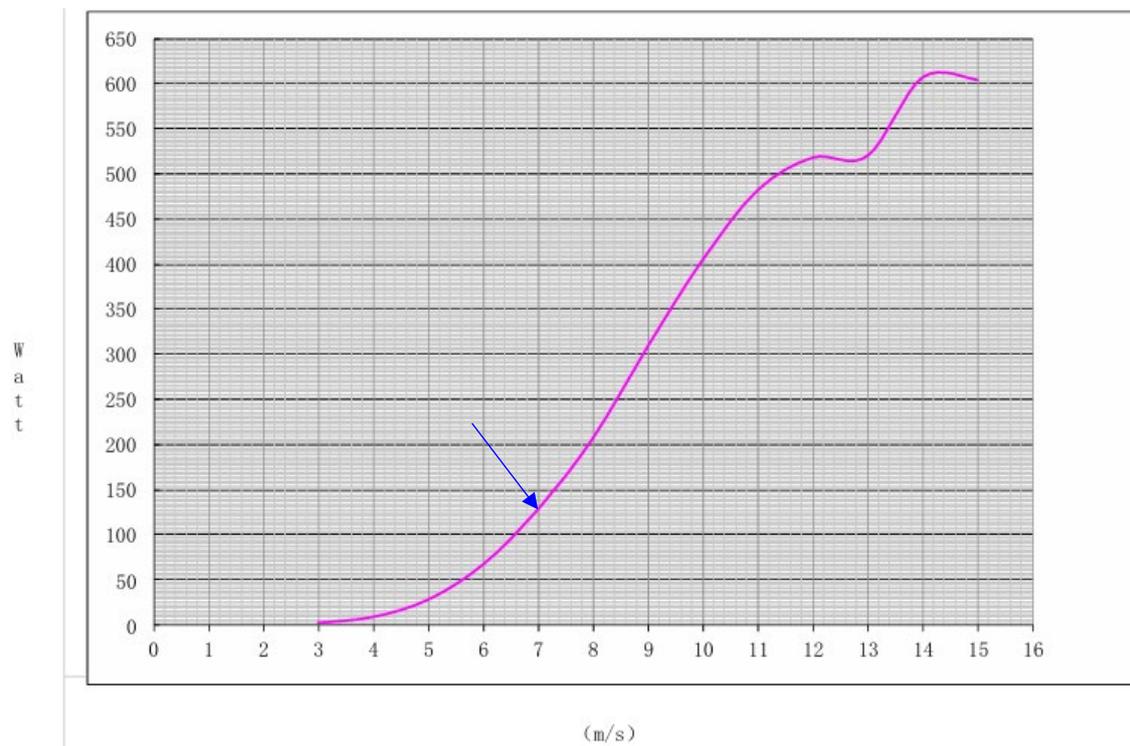
$$\frac{V_z}{V_{ref}} = \left(\frac{Z}{Z_{ref}} \right)^\alpha \quad (1a) \quad V_z = V_{ref} \left(\frac{Z}{Z_{ref}} \right)^\alpha \quad (1b)$$

α , exponente de rugosidad (*wind shear exponent*). Varía entre 0,0 a 0,40, según el tipo de rugosidad del terreno: agua, 0,13; grama, 0,14 a 0,16; **cultivos y arbustos, 0,20**; bosques, 0,25 y zonas urbanas, 0,40.

$$V_z = (6.7 \text{ m/s}) (12/10)^{0.2} = 6.95 \text{ m/s}$$

Según la curva de rendimiento del aerogenerador

Figura 13 Curva de potencia del aerogenerador



La potencia obtenida a la velocidad proyectada sería 125W

Para la altura máxima de bombeo se debe extrapolar la siguiente tabla que proporciona el fabricante de la bomba

Tabla 3. Fluido solar

FLUID SOLAR 1/10

POTENCIA ABSORBIDA P₁ **750 W**

Prestaciones con nº **4 módulos** fotovoltaicos con potencia nominal total de 980 Wp

Q	m ³ /h		l/min		m ³ /h		l/min	
	0	0.3	0.6	1.2	1.6	1.8	2.3	
	0	5	10	20	26	30	38	
H metros	—	84	79	72	56	42	33	12
	40	36	31	17	6		

Extrapolamos la tabla anterior para una potencia del aerogenerador (125W) a la velocidad del viento estimada (6,95 m/s) con lo cual se obtiene

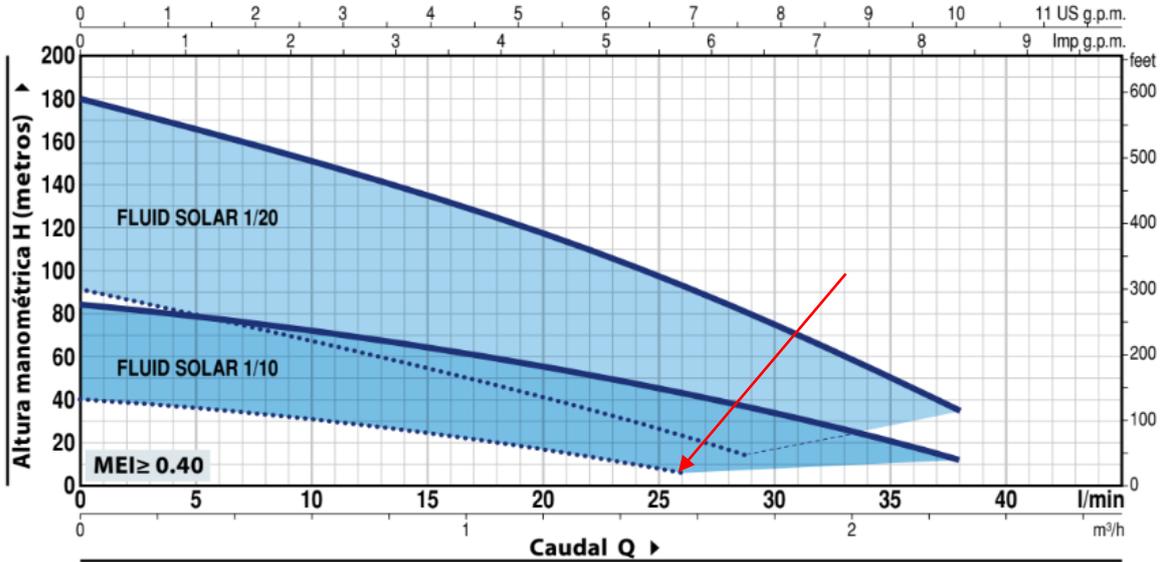
Tabla 4. Extrapolación para la determinación del punto de trabajo de la bomba

Q(m ³ /h)	0	0.3	0.6	1.2	1.6	1.8	2.3
H(m)	84	79	72	56	42	33	12
	40	36	31	17	6		
	32	28	23	10			

Se obtiene que la altura máxima a la potencia promedio del aerogenerador es 32 m y la carga mínima 10 m con un **caudal máximo de 1.2 m³/h**

El aporte del generador solar se muestra en la figura 14

Figura 14 Curva de rendimiento de la bomba con energía fotovoltaica



Según la hoja de datos de la electrobomba, para una carga total de 10 m, el caudal obtenido es de 26 l/min = **1.56 m³/h**

Tabla 5. Aportes solar y eólico en el caudal del sistema híbrido solar - eólico

GENERADOR	CAUDAL(m³/h)	CAUDAL(l/s)	PROPORCION (%)
EOLICO	1.20	0.33	44
SOLAR	1.56	0.43	56
SISTEMA HIBRIDO	2.76	0.77	100

De acuerdo con el comportamiento del viento a lo largo de las horas del día se estima un total de 08 horas efectivas diarias, con lo cual se calcula un volumen de 9.6 m³ de agua diarios, en tanto que el generador solar aportaría con 6.6 m³ por cada día, según como se muestra en la tabla 5. Esto conlleva a un total de 16.2 m³/día para el sistema híbrido.

Tabla 6. Volúmenes diarios con ambos sistemas

	CAUDAL (m ³ /h)	HORAS EFECTIVAS	VOLUMEN (m ³)
EOLICO	1.20	8.00	9.6
SOLAR	1.56	4.21	6.6
SISTEMA HIBRIDO	2.76	—	16.2

El volumen total (16.2 m³), para el sistema hibrido representa el 57% de la capacidad del acuífero (28.36 m³), por lo tanto existe un margen disponible que puede aprovecharse elevando la altura de instalación del generador eólico.

Capítulo IV. Discusión

Habiendo obtenido el registro y el comportamiento tanto de la radiación solar así como la velocidad del viento durante el año 2021 en la Estación Meteorológica de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque y habiendo combinado ambas energías para el bombeo de las Aguas Subterráneas, se pudo concretar su eficiencia del sistema híbrido solar eólico, se debe precisar que si se requiere en adelante el uso de las energías limpias o renovables, se debe utilizar este sistema ya que proporcionará una energía eléctrica estable y en consecuencia el equipo de bombeo podrá trabajar en forma continua y con un alto grado de eficiencia.

De acuerdo con los resultados de la tabla 4, se ha obtenido que el aporte eólico constituye un 44 % del total del volumen de agua bombeado, lo cual es ligeramente menor con respecto a la solar (56%). Este resultado difiere con los obtenidos por Cajusol, 2019, quien ha calculado una proporción mucho mayor del aporte solar con respecto al eólico, sin embargo, en su estudio refleja la misma tendencia de un aporte mayor del sistema solar respecto al eólico.

Conclusiones

Por la gran eficacia conseguido con el diseño de este sistema híbrido solar eólico, con el soporte de la base de datos que nos proporciona los instrumentos y equipos de la estación meteorológica ha sido posible a través de un prototipo experimental obtener una producción acuífera muy significativa equivalente a 3L/S lo que equivale a 10800 L/H y dado que una planta de cedro necesita aproximadamente 4 litros de agua por semana, para su mantenimiento, con este recurso proveniente del sub suelo se podría regar fácilmente 2700 plantones.

Se concluye que la combinación de este sistema híbrido solar eólico para bombear aguas subterráneas en la estación meteorológica por su enorme potencial energético y estable conseguido, incrementará para la producción agrícola y/o ganadera de nuestra universidad, ya sea con fines de investigación o comercialización dependiendo del tipo de especie agrícola que se pretenda cultivar de forma adecuada y controlada.

Recomendaciones

Por la gran relevancia de este sistema híbrido solar eólico en términos energéticos de eficiencia y dado la gran demanda y a su vez los escasos del recurso hídrico actualmente en los terrenos de la Universidad, se recomienda su uso, cuidado, mejoramiento y mantenimiento de este sistema híbrido. En tal sentido se debe continuar con este trabajo de investigación dado el gran impacto que representa no solo para nuestra institución sino también el servicio que se podría desprender de todo esto hacia nuestra sociedad lambayecana y al país.

Bibliografía

- Creussole. Antonio. (s.f.). *Aerogeneradores. Primeras Edición: 2008. Editorial CEYSA – España.*
- Descubre la energía . (s.f.). Obtenido de Descubre la energía :
<https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/preguntas-y-respuestas/energias-renovables/que-es-el-efecto-fotovoltaico/>
- Equipos y laboratorios de Colombia . (s.f.). Obtenido de equiposylaboratorio:
<https://www.equipsylaboratorio.com/portal/articulo-ampliado/radiacion>
- Gil., M. C. (s.f.). *Sistemas de Bombeo Eólico y Fotovoltaico. Segunda edición 2011. Editorial Progenisa - España.*
- Harper., G. E. (s.f.). *Al ABC de las Instalaciones Eléctricas en sistemas fotovoltaicos y Eólicos. Editorial Limusa – México 2011.*
- Molina, D. J. (2012). *Implementacion de un sistema fotovoltaico autónomo móvil de 1000W. Cartagena.*
- Perdomo, P. P. (2012). Lineamientos para el Desarrollo., (pág. 73). Guatemala.
- Santamaría, J. (31 de 01 de 2005). *mundoobrero.es*. Obtenido de
<https://mundoobrero.es/2005/02/00/las-energias-renovables-son-el-futuro/>
- Santamarta, J. (19 de septiembre de 2009). *cienciasambientales*. Obtenido de
<https://www.cienciasambientales.com/es/noticias-ambientales/articulo-las-energias-renovables-son-el-futuro-59>
- Sistemas Solares Fotovoltaicos. Loco Energy 2019. (s.f.).*
- Volera., A. (s.f.). *Electricidad Solar, UNI 1986.*
- Wlianou., L. C. (s.f.). *Energía Eólica. Integración a la red eléctrica. Primera edición 2016. Editorial Universidad Autónoma de Occidente – Colombia.*

Figura 15 Diseño experimental del sistema hibrido solar-eolico

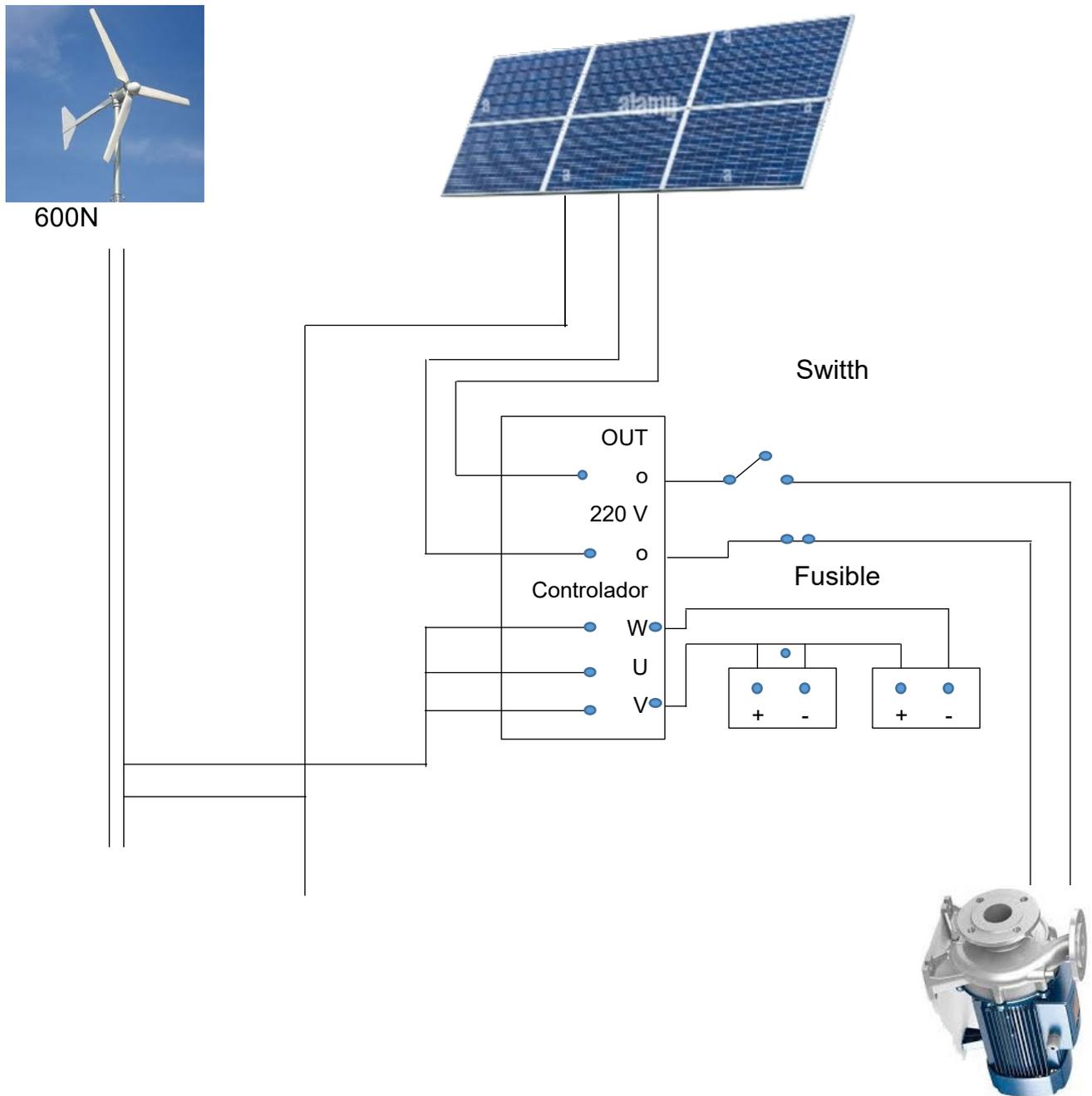
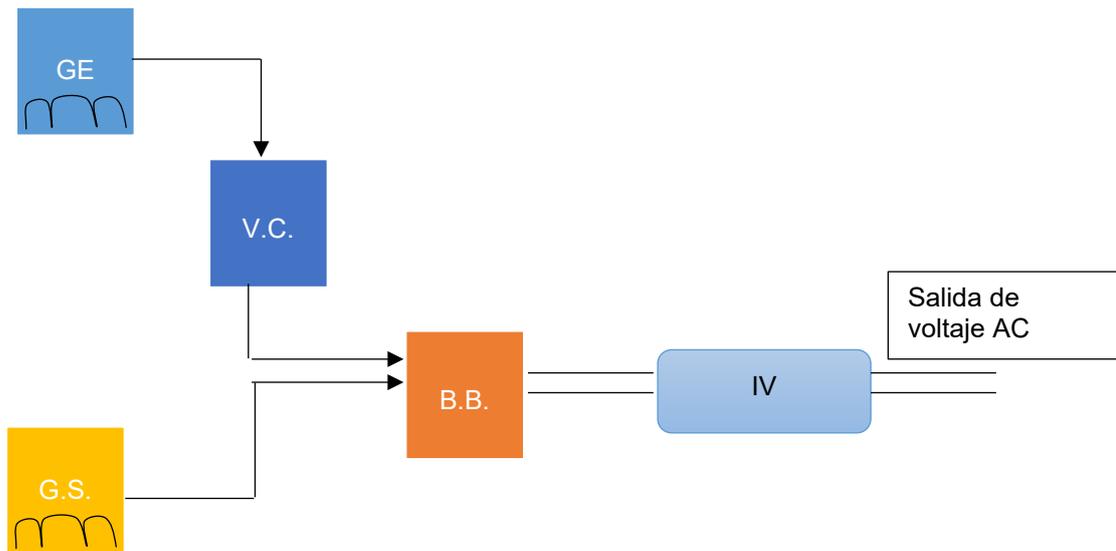


Figura 16 Sistema Convencional Híbrido De Energía Renovable



COMPONENTES Y/O DISPOSITIVOS: G.E., G.S., V.C., B.B., I.V.

DONDE G.E. GENERADOR EÓLICO, G.S. GENERADOR SOLAR, V.C. VARIADOR DE CORRIENTE, B.B. BANCO DE BATERIAS, I.V. INVERSOR DE VOLTAJE.

ELABORACIÓN PROPIA: MSC. JAIME ABANTO CASTILLO

Figura 17 Nuevo Sistema De Energía Híbrida Multicanal Renovable

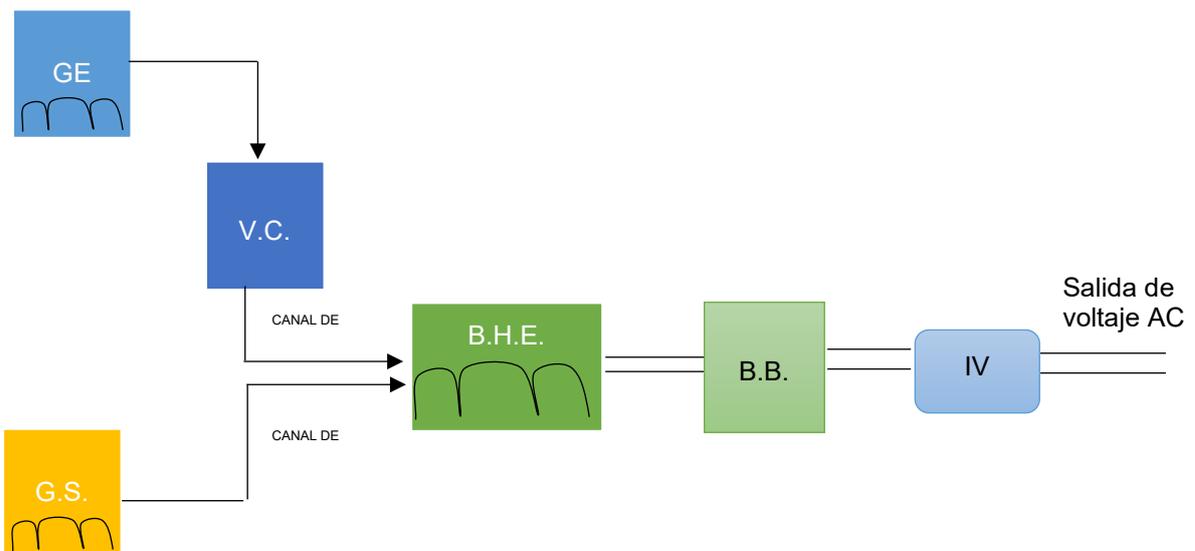


Figura 18 Nuevo aerogenerador liviano de 600W



Figura 19 S 600W Power Curve

Viene con un controlador de carga sencillo que indica el estado de batería a través de tres LEDs. El controlador es totalmente hermético.



Voltaje de batería	24V
Potencia nominal del generador:	100W
Potencia max del generador :	600W
Voltaje de frenado automático	30V
Voltaje de liberación automática	27V
Corriente max de frenado	30A
Temperature de Operación	-35~+75°C
Dimensiones(L x W x H)	100mmx87m
Corriente de autoconsumo	≤20 mA
Protección IP	IP67