



Universidad Nacional

SAN LUIS GONZAGA



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

Esta licencia es la más restrictiva de las seis licencias principales Creative Commons, permitiendo a otras solo descargar sus obras y compartirlas con otras siempre y cuando den crédito, pero no pueden cambiarlas de forma alguna ni usarlas de forma comercial.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>



N° 096-2024

CONSTANCIA

El que suscribe, director de la Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica, hace constar que se ha realizado el análisis con el software de verificación de similitud de la **Tesis** cuyo título es:

“DISEÑO DE UN AEROGENERADOR EÓLICO PARA EL SUMINISTRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AL SISTEMA DE BOMBEO DE AGUA PARA ZONAS RURALES DEL DISTRITO OCUCAJE”

Presentado por:

BAUTISTA GONZALES, ANTONY JHON

BACHILLER de la Facultad **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA** – Escuela Profesional de **INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**. El resultado obtenido es un porcentaje de **ONCE POR CIENTO (11%)**, por el cual se le otorga el calificativo de:

APROBADO

Se adjunta al presente, el reporte de evaluación con el software de verificación de originalidad.

Ica, 21 de Mayo del 2024

UNIVERSIDAD NACIONAL "SAN LUIS GONZAGA"
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
UNIDAD DE INVESTIGACIÓN

Dr. José Luis Bonayre Pasache
DIRECTOR DE UNIDAD

UNIVERSIDAD NACIONAL “SAN LUIS GONZAGA”
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
Facultad de Ingeniería Mecánica Eléctrica y Electrónica



TESIS:

“Diseño de un Aerogenerador Eólico para el suministro de energía eléctrica al Sistema de Bombeo de agua para zonas rurales del distrito Ocucaje”

Línea de Investigación

Ciencias Naturales, Ingeniería y Tecnologías Sostenibles

Presentado por:

Bach. ANTONY JHON BAUTISTA GONZALES

ASESOR:

Mag. Ing. VICTOR DANILO CACERES QUINTANILLA

ICA- PERÚ

2022

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con todo mi corazón a Dios y a mi familia quienes fueron el soporte principal para la realización de la misma

AGRADECIMIENTO

A Dios, por bendecirme en cada instante y darme el valor que requiero cada día para superarme.

A mis maestros de la FIMEE por su orientación y compromiso para ayudarme a mejorar en mi carrera, así como por su apreciable apoyo para ayudarme a lograr mi título de ingeniería.

A mi asesor, el Dr. Danilo Cáceres Quintanilla, por brindarme su sapiencia y apoyo para realizar mi proyecto de tesis.

Quiero expresar mi agradecimiento a mi madre, que siempre ha estado a mi lado a lo largo de mi carrera en Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

INDICE DE CONTENIDOS

I.	INTRODUCCIÓN	10
1.	MARCO TEÓRICO.....	11
1.1.	Antecedentes del problema de investigación	11
1.2.	Bases teóricas de la investigación	13
1.2.1.	Sistemas Eólicos	13
1.2.2.	Bombeo de agua subterránea	14
1.2.3.	Aerogeneradores	14
1.3.	Marco conceptual.....	24
2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	25
2.1.	Situación de problema.....	25
2.2.	Formulación del problema	25
2.2.1.	Problema general	25
2.2.2.	Problemas específicos.....	25
2.3.	Justificación e importancia de la investigación.....	25
2.3.1.	Justificación de la investigación	25
2.3.2.	Importancia de la investigación	25
2.4.	Objetivos de la investigación	26
2.4.1.	Objetivo general.....	26
2.4.2.	Objetivos específicos	26
2.5.	Hipótesis de la investigación.....	26
2.5.1.	Hipótesis general.....	26
2.5.2.	Hipótesis específicas	26
2.6.	Variables de investigación	26
2.6.1.	Identificación de variables	26
2.6.2.	Operacionalización de variables	27
3.	ESTRATEGIA METODOLÓGICA.....	28
3.1.	Tipo, nivel y diseño de la investigación.....	28
3.1.1.	Tipo de investigación.....	28
3.1.2.	Nivel de investigación.....	28
3.1.3.	Diseño de investigación	28
3.2.	Población y muestra	28
3.2.1.	Población	28
3.2.2.	Muestra	28
4.	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN.....	29
4.1.	Técnicas de recolección de información	29
4.2.	Instrumentos de recolección de información	29
4.3.	Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de resultados.....	29
5.	PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	30

5.1.	Presentación e Interpretación de resultados	30
5.1.1.	Determinar los requerimientos de agua diario para abastecer a una vivienda en Ocucaje.	30
5.1.2.	Realizar un estudio del potencial eólico de la zona de influencia del proyecto.	32
5.1.3.	Calcular y seleccionar dispositivos para la generación de energía y componente del sistema de bombeo de agua	36
5.1.4.	Evaluación económica del proyecto.....	50
5.2.	Discusión de resultados.....	51
VI.	CONCLUSIONES	53
VII.	RECOMENDACIONES	54
VIII.	FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	55
IV.	ANEXOS	57

INDICE DE TABLAS

1. Tabla I: Requerimientos hídricos de cultivos	32
2. Tabla II: Resultados de mediciones	33
3. Tabla III: Catalogo general 60 Hz	46
4. Tabla IV: Datos del inversor seleccionado	60

INDICE DE FIGURAS

1. Figura 1 Componentes de un sistema eólico.....	14
2. Figura 2 Aerogenerador Savonius	16
3. Figura 3 Aerogenerador Darrieus	16
4. Figura 4 Clásicas Turbinas eólicas americanas usadas para bombeo de agua	17
5. Figura 5 Aerogenerador de 01, 02, 03 palas.....	18
6. Figura 6 Aerogenerador a Barlovento y Sotavento	19
7. Figura 7 Torre tubular de celosía, de mástil tensado e híbrido respectivamente	21
8. Figura 8 Sistema de transmisión	21
9. Figura 9 Sistema de orientación por veletas	23
10. Figura 10 Sistema de regulación centrífuga mediante bielas	24
11. Figura 11 Sistema de regulación del ángulo de calaje de las palas	25
12. Figura 12 Ubicación Geográfica de Ocucaje	31
13. Figura 13 Dimensionamiento del alabe del generador	40
14. Figura 14 Triangulo de velocidades de Euler	42
15. Figura 15 Darrieus Sandia 2 m CP vs TSR	43
16. Figura 16 Geometría del rotor de la Turbina eólica	44
17. Figura 17 Accionamiento de la Turbina eólica	45
18. Figura 18 Geometría de las palas del aerogenerador	45
19. Figura 19 Grafica para la selección del calibre de conductores	50
20. Figura 20 Interruptor diferencial ultrasensible 2x25A	50
21. Figura 21 Diagrama unifilar	52

RESUMEN

La tesis actual se centra su desarrollo de la energía eólica y sus múltiples efectos positivos en la sociedad. Por lo tanto, es fundamental comprender primero el término energía renovable, ya que este tipo de generación de energía se considera inagotable y su consumo no tiene ningún impacto en el medio ambiente. disminuye la dependencia de los hidrocarburos y otros combustibles fósiles, fomenta la diversificación de los suministros propios y reduce de manera significativa la emisión de gases de efecto invernadero.

La energía eólica proviene del viento y se genera a través de las variaciones de temperatura en diferentes áreas. El viento transforma esta energía cinética en energía mecánica o eléctrica. Los aerogeneradores producen energía eólica.

El departamento de Ica cuenta con un potencial eólico aprovechable donde se tienen vientos en su zona costera, con velocidad que llega a superar los 7 m/s y densidad superior a 400 W/m² en nuestro caso estamos en el distrito de Ocucaje en el Caserío de Callango que tiene una cercanía al mar, zona que tiene una capa freática cercana a la superficie, donde es posible realizar bombeo de agua para esa zona rural del distrito de Ocucaje.

Palabras claves: energía eólica, aerogenerador

ABSTRACT

This thesis work is based on the development of wind energy and its various impacts on society, which are numerous and, for the most part, positive. That is why it is important to understand, first of all, the concept of renewable energy, a category to which this type of energy generation belongs, it is considered inexhaustible and its own consumption does not affect the environment, it reduces dependence on hydrocarbons and other fuels. fossils, promotes the diversification of our own sources of supplies and significantly reduces the emission of greenhouse gases.

Wind energy is energy that is obtained from the wind and is produced through the difference in temperatures between different geographical areas. This kinetic energy generated by the wind is transformed into electrical or mechanical energy. Wind energy is obtained from machines called wind turbines.

The department of Ica has a usable wind potential where there are winds in its coastal area, with speeds that exceed 7 m/s and with densities greater than 400 W/m². In our case we are in the district of Ocucaje in the Caserío. of Callango, which is close to the sea, an area that has a water table close to the surface, where it is possible to pump water for that rural area of the Ocucaje district.

Keywords: wind energy, wind turbine

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, es una principal aplicación de energía eólica, que produce energía eléctrica, aunque también se emplean molinos de viento para extraer agua del pozo en áreas rurales donde la capa freática está cerca de la superficie, como en el Caserío de Callango. La industria de instalaciones de turbinas eólicas de pequeña escala sigue creciendo, teniendo grandes esperanzas, a pesar de que las instalaciones de pequeña escala ahora están marginadas por proyectos comerciales en términos de inversión, apoyo político y conciencia pública.

La turbina de viento pequeña no tiene sentido para todos los lugares, pero definitivamente juega un papel en el futuro limpio y en la economía energética. Es importante tener en cuenta que, debido a la abundancia de viento en Ica, el viento es la fuente de energía renovable. No hay duda de que el recurso alcanzará su punto máximo de obtención en algún momento, al igual que lo ha hecho con los combustibles fósiles. Se espera que los beneficios del viento exploten mientras permanezca aquí durante al menos 20 millones de años más.

Actualmente el distrito de Ocucaje en el Caserío de Callango, hay pequeños agricultores y para ellos se propone un sistema de bombeo de agua empleando un aerogenerador, los cuales no poseen un suministro adecuado de energía eléctrica, restringiendo el acceso continuo a dicho servicio.

El presente estudio propone el diseño de un aerogenerador eólico como un sistema de generación eléctrica alternativo y sostenible.

CAPITULO I

1 MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes del problema de investigación

CRESPO (2011), “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO TIPO SAVONIUS DE EJE VERTICAL”, concluye:

- La estructura ha alcanzado la rigidez y tolerancia deseadas durante su operación, y alternador seleccionado va producir energía a bajas revoluciones como se esperaba.
- Las aspas tuvieron problemas durante el funcionamiento debido a su grosor y fallas en la soldadura.
- El área de estudio para aerogeneradores no tuvo vientos constantes o una velocidad promedio suficiente para generar la energía esperada, lo que impidió obtener suficiente información para demostrar la eficiencia del aerogenerador.
- El aerogenerador Savonius de aspa modificada creado en el proyecto ha cumplido con las metas planteadas para el estudio del tipo de aerogenerador. Sin embargo, la ubicación de la prueba, junto con elementos en la zona y bajos e inconstantes niveles de velocidad del viento, hacen que las pruebas de eficiencia energética fueran menores a las esperadas.

GONZALES (2007), “DISEÑO DE UN SISTEMA DE CALEFACCIÓN ALIMENTADO POR UN AEROGENERADOR” de la Pontificia Universidad Católica del Perú, resume:

- El trabajo actual surge de la necesidad de implementar el sistema de calefacción eléctrica en áreas remotas donde no es factible conectarse a la red de electricidad local debido a problemas económicos o por la falta de ella. Un ejemplo es la Estación Científica Antártica Machu Picchu (ECAMP), donde investigadores peruanos trabajan allí durante los meses de enero y febrero y viven en ella. Situada en la Ensenada MacKellar, Bahía de Almirantazgo e Isla Rey Jorge, la ECAMP cuenta con dos grupos electrógenos diésel de 50 y 40 kW que proporcionan energía para los equipos de la estación, como los calefactores eléctricos, durante la temporada de Verano Austral (desde diciembre hasta marzo).
- El estudio actual utiliza datos recopilados por un grupo de investigadores de PUCP en 1997 para calcular la carga térmica de módulos de vivienda y cocina-comedor,

así como el consumo de energía eléctrica de la estación. Al analizar estas medidas, se descubrió que dicha carga térmica para mantener los módulos de vivienda y cocina-comedor a 21 °C requería aproximadamente 25 kW. Además, el consumo mensual de energía eléctrica en 1997 fue de 18123 kW-h, lo que representa un consumo de combustible diesel de 5649 l/mes.

- Se descubrió que, en esta región, la velocidad media del viento es 6.6 m/s y que el 51.1% de los casos, la velocidad del viento supera 4 m/s, la velocidad mínima que el fabricante de aerogenerador solicita para emplear sus equipos. Después del resultado, se analizaron varios modelos de aerogenerador para conocer las características. Se seleccionaron dos marcas de fabricantes que podían soportar condiciones extremas en la Antártida, con ráfaga de viento de más de 50 m/s y temperaturas frías. Los modelos elegidos fueron Bergey Excel S (10 kW) y Proven WT2500 (2.5 kW). Se examinaron estos últimos junto con su respectiva curva de potencia y la gráfica de probabilidad del viento en la zona del proyecto para determinar cuál era el método más eficiente para generar energía eléctrica...

COLOMA (2012), “Diseño preliminar de un sistema eólico para bombeo de agua en zonas rurales aisladas”, de la Universidad Pontificia Comillas, Madrid, resume:

- El Capítulo 1 de la Memoria se dedicará al análisis, estudio y comprensión de la necesidad de llevar a cabo el proyecto. El origen de este proyecto radica en la necesidad del abastecimiento de agua, que es fundamental para la vida y desarrollo humano. En los países desarrollados, el suministro de agua puede ser algo rutinario a lo que apenas se presta atención, ya que casi toda la población cuenta con canalización de agua. Sin embargo, en países en vía de desarrollo, esto no es tan común. La organización no gubernamental Energía sin Fronteras, ESF, propuso llevar a cabo un análisis de esta necesidad y encontrar una solución mediante el uso de una bomba eólica., y de ahí surgió este Proyecto.
- La pequeña aldea elegida del emplazamiento de la bomba de agua eólica se encuentra en Kenia, a unos 120 km de la capital del país, Nairobi. Nyumbani es su nombre, que significa Hogar. La aldea de Nyumbani es única, por lo que se utilizaron datos de este lugar para el diseño preliminar del aerogenerador. Nyumbani es una aldea ecológica principalmente habitada por niños, jóvenes y ancianos. Como se mencionó anteriormente, Nyumbani, que se traduce como "Hogar", tiene como objetivo serlo para aquellos que residen allí. Se trata de individuos que, en su mayoría, han experimentado dificultades y han sido afectados por el virus del SIDA en algún momento de su vida.

1.2 Bases teóricas de la investigación

1.2.1 Sistemas Eólicos

Los sistemas eólicos obtienen energía eléctrica a partir de la energía cinética del viento. Esta energía se utiliza como energía directa, mientras que en otros casos se requiere dispositivo capaz de convertir la energía continua en energía alterna.

Sus componentes son:

- Turbina eólica.
- Generador eléctrico.
- Sistema de Regulación y control.
- Rectificador.
- Inversor.
- Banco de batería.
- Equipo de medición eléctrica.

Velocidad del viento

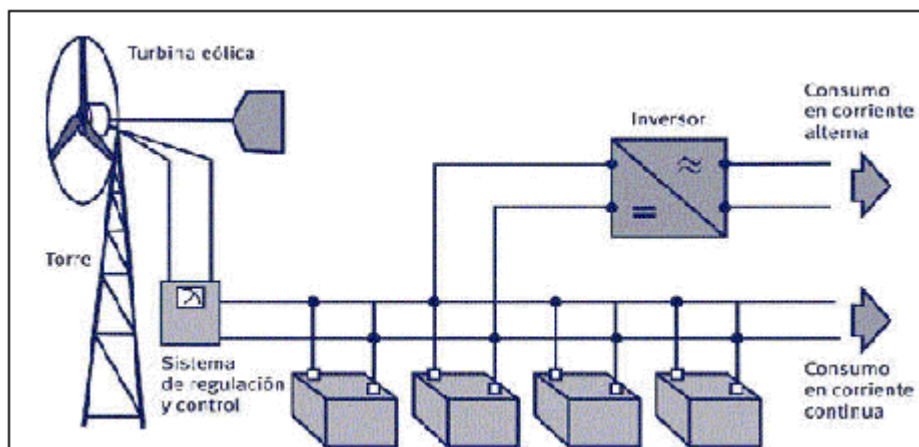
Aunque la energía eólica tiene muchas ventajas, es importante tener en cuenta que el viento es disperso y aleatorio.

La diferencia de presiones aumenta con el gradiente de velocidades, y movimiento va estar influenciado por el giro de la Tierra.

La velocidad del viento es una magnitud vectorial que cambia aleatoriamente en módulo. Los valores típicos oscilan entre 5 y 8 m/s. No obstante, según la altitud y topografía, estos pueden ser más o menos altos.

Figura 1

Componentes de un sistema eólico



Fuente: Conrado Moreno 2015

Tipos de turbinas eólicas.

La turbina de viento se divide en categoría, según el eje en el que giran. La turbina de viento que gira alrededor del eje horizontal es el más común, mientras que la turbina eólica que gira alrededor del eje vertical se utiliza con menos frecuencia.

Turbinas de eje vertical

Los aerogeneradores eólicos de eje vertical, tienen el eje principal del rotor dispuesto verticalmente. La ventaja es que la turbina eólica no tiene que estar dirigida hacia el viento. Esto es beneficioso en lugares con vientos turbulentos o muy variables. Un eje vertical facilita el mantenimiento al colocar el generador y otros componentes principales cerca del suelo, lo que evita que la torre lo sostenga.

1.2.2 Bombeo de agua subterránea

El agua subterránea se emplea para proveer agua potable en hogares individuales como áreas urbanas, en el campo para el riego y el uso de animales, así como en industrias que requieren una gran cantidad de agua. (Vélez, 1999, página 3)

El agua subterránea es beneficiosa para el consumo humano debido a su baja contaminación y capacidad de filtración del suelo, que la hace generalmente pura que el agua superficial (Vélez, 1999, p. 03).

Estación de bombeo

“Conjunto de estructura civil, equipo, tubería y accesorios, que emplean el agua directa de la fuente de abastecimiento e impulsa al estanque de provisión o directamente a la red de distribución (OPS/CEPIS, 2005, p. 03).

1.2.3 Aerogeneradores

Los aerogeneradores eólicos modernos convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica.

El avance en el diseño de turbinas de viento ha mejorado debido al adelanto que se ha ido dando en estudios de aerodinámica, dinámica estructural y micro meteorología.

1.2.3.1 Tipos de Turbinas Eólicas

I. Según la posición del aerogenerador

A. Aerogeneradores de Eje Vertical

Tienen el eje de rotación en posición perpendicular al suelo. Se le denomina además por “VAWT” (Vertical Axis Wind Turbine).

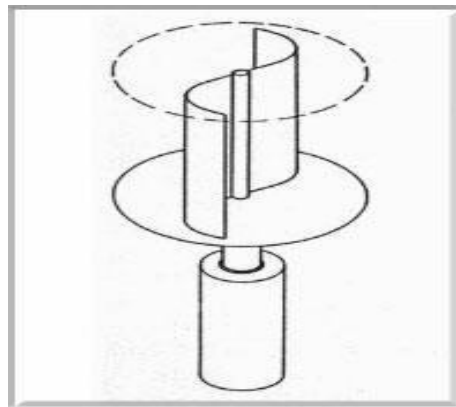
Aerogenerador Savonius

Se compone de 02 semicilindros de igual diámetro, de eje paralelo unido al eje de giro y separado por una distancia corta.

La ventaja es que puede trabajar con velocidad de viento baja, por la adecuada característica aerodinámica para el autoarranque y autorregulación.

Figura 2

Aerogenerador Savonius

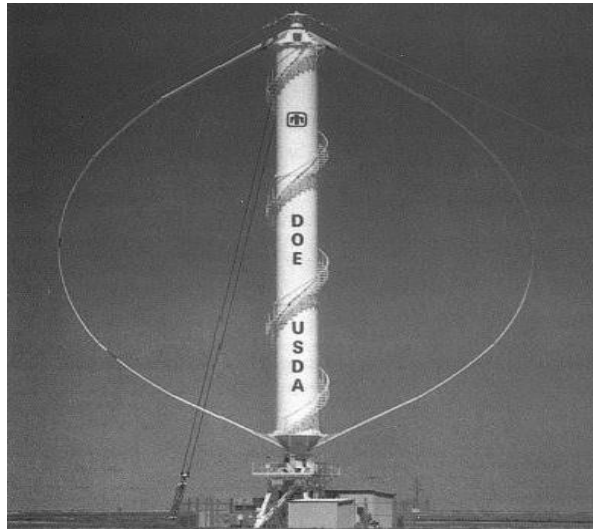


Aerogenerador Darrieus

Consta de una fina pala que está unida al eje por solo 02 extremos, con una curva diseñada para el máximo rendimiento entre 02 uniones del eje. Normalmente se construyen de 2 o 3 palas.

Figura 3

Aerogenerador Darrieus desarrollado por Sandia National Laboratories



B. Aerogenerador de Eje Horizontal

Las turbinas eólicas de eje horizontal es la más popular y se presta la mayor atención a su diseño. Este sistema de generador y la flecha están paralelos al suelo. A esta turbina se le conoce como “HAWT” (Horizontal Axis Wind Turbine).

Aerogenerador de eje horizontal lento

Las turbinas eólicas de tipo arrastre utilizan parte del viento que está perpendicular a la superficie del aspa. Un ejemplo es su tradicional molino estadounidense. Las placas metálicas delgadas y de perfil no aerodinámico del rotor están orientadas de manera para aprovechar la fuerza de arrastre del viento. El uso más común es bombear agua con una bomba de embolo.

Figura 4

Clásica turbina eólica americana usada para bombeo de agua



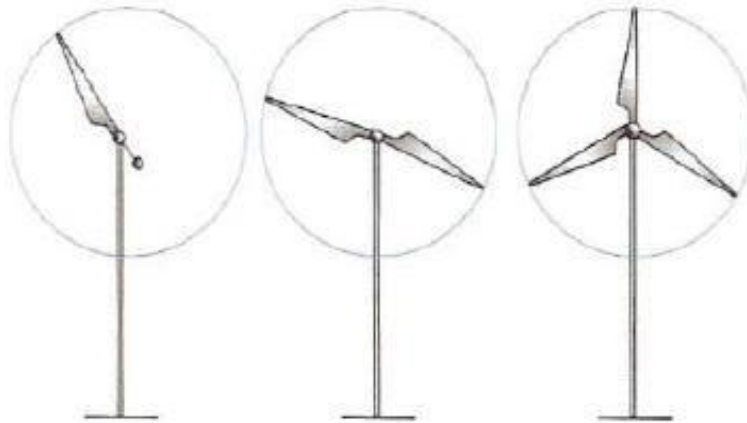
Aerogenerador de eje horizontal rápido

Este tipo de aerogeneradores tienen un rotor compuesto por hélice de 02 o más palas, aunque a menudo solo tiene una pala. Los perfiles utilizados son generalmente muy similares al del ala del avión. Sus perfiles se seleccionan en función de la cantidad de revoluciones por minuto deseadas para la turbina.

Las turbinas de 03 palas son las más populares de esta categoría debido a la mayor estabilidad estructural y aerodinámica, emisión menor de ruido y rendimiento energético que la turbina de 01 o 02 palas.

Figura 5

Aerogeneradores de 01, 02 y 03 palas en la hélice



SEGÚN POSICIÓN DEL AEROGENERADOR EN RELACION AL VIENTO

Rotor a barlovento

La turbina eólica tiene el rotor o la hélice delante de la torre, directamente al viento.

La desventaja es que el aerogenerador que se encuentran en posición de barlovento necesita un sistema de orientación que los mantenga en posición de viento. Este sistema se puede clasificar como activo o pasivo.

El sistema de orientación activo consiste en accionamientos motorizados y sensores de dirección que guían automáticamente la hélice en dirección del viento. En caso contrario, una aleta estabilizadora es necesaria para el sistema de orientación pasiva en la turbina.

Rotor a sotavento

La turbina eólica son dispositivos en los que el viento impacta en la pala de manera que primero pasa por el mecanismo de orientación y luego se coloca sobre la hélice.

La ventaja de esta forma de aerogeneradores es que puede construirse sin el sistema de orientación, siempre que el rotor y la góndola estén diseñados de manera que puedan seguir al viento de manera pasiva. Otra ventaja de esta clase de aerogenerador es la capacidad de hacer que el rotor sea más flexible.

Figura 6

Aerogeneradores a barlovento y sotavento.



1.2.3.2 Componentes del Aerogenerador

El aerogenerador con hélice de eje horizontal, tiene el diseño relativamente estandarizado:

- Sistema de soporte
- Sistema de transmisión
- Sistema de rotor
- Sistema de control
- Sistema de orientación
- Sistema de enfriamiento
- Sistema de regulación de potencia

SISTEMA DE SOPORTE

Compuesto por el sistema de anclaje del aerogenerador y la torre de soporte. Mantener la turbina eólica a la altura adecuada de funcionamiento por encima del suelo le permite soportar el peso del aerogenerador y esfuerzo asociado con soportar vientos fuertes.

Hay 04 tipos de torres, que son:

- a) **Torre tubular de acero:** Usada en la mayoría de grandes aerogeneradores y fabricadas en secciones de 20 a 30 metros con bridas en cada extremo y unida por pernos.
- b) **Torres de celosía:** Fabricada usando perfil soldada. La ventaja es el bajo costo, debido al ahorro del material en comparación con la torre tubular, que posee la misma rigidez.
- c) **Torre de mástil tensado:** Conformado por la torre delgada de mástil sostenida por cable tensor. Su ventaja viene a ser el ahorro en peso y costo. La desventaja es acceso difícil a la zona cercana a la torre, lo que resulta poco apropiado para una zona agrícola y rural.
- d) **Torres híbrida:** Conformado por diferente combinación de las anteriormente ya indicadas.

Es necesario colocar un cabezal y plataforma en su parte superior de la torre para sujetar los demás componentes del aerogenerador a la torre y darle la capacidad de girar libremente para orientarse según la dirección del viento.

SISTEMA DE TRANSMISIÓN

El eje de rotación, la caja amplificadora de revolución y generador eléctrico son los componentes típicos.

El propósito del sistema es transferir energía cinética generada por rotación de la hélice al generador eléctrico. Este generador transforma la energía cinética en energía eléctrica. En el aerogenerador tipo eje horizontal examinado en esta investigación, hay conexión directa en la que el eje transmite su potencia mecánica para que el imán del rotor la transformen en energía eléctrica.

Figura 7

Torre tubular, celosía, mástil tensado e híbrido

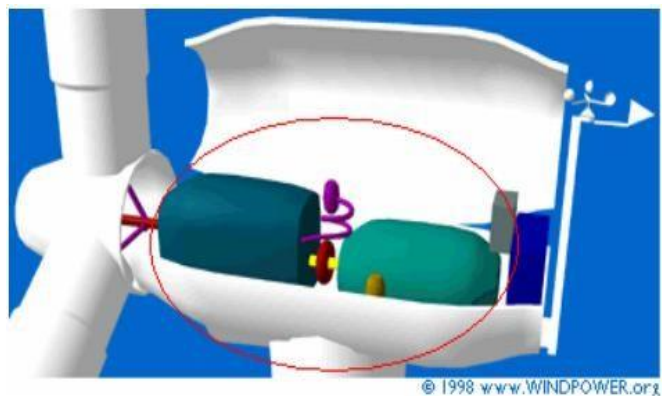


El tipo de generador eléctrico depende de si es de corriente continua o alterna. Actualmente, el generador eléctrico de corriente alterna son el más utilizado en la industria. Los generadores síncronos son preferidos para turbinas eólicas de baja potencia y los generadores de inducción son preferidos para turbina eólica de alta potencia.

La caja amplificadora de revoluciones es una pieza opcional del aerogenerador que se encarga de ajustar la velocidad de giro del eje conectado al generador eléctrico.

Figura 8

Sistema de transmisión



SISTEMA DE ROTOR

La hélice, formada por aspas y masa central conocida como buje, se utiliza para extraer energía cinética del viento y convertirla en energía cinética de rotación del eje del aerogenerador.

- a) **Buje:** El cubo conecta la pala y transmite el movimiento de giro al eje. Debido a que reduce la fatiga a la flexión del eje del rotor, un buje rígido se puede usar en aerogenerador cuyo diámetro es inferior a 40 metros, especialmente en hélices tripalas. Se prefiere utilizar un cubo articulado (flexible) en aerogeneradores cuyo diámetro supera los 40 metros.
- b) **Palas:** Son ellos quienes capturan el viento y lo transmiten al cubo. Dado que la pala está expuesta a condiciones de trabajo extrema, como fenómeno de corrosión, contracciones, erosión y dilatación, debido a la vibración y agotamiento, el material que se emplea en la fabricación debe ser el más importante.

SISTEMA DE CONTROL

Los diferentes tipos de control se seleccionan según la forma en que opera el aerogenerador. Por la variante de dirección del viento e intensidad, que provoca fluctuación en el nivel de voltaje registrados en los bornes de la máquina, la función del sistema de control es mantener el nivel de voltaje generado constante.

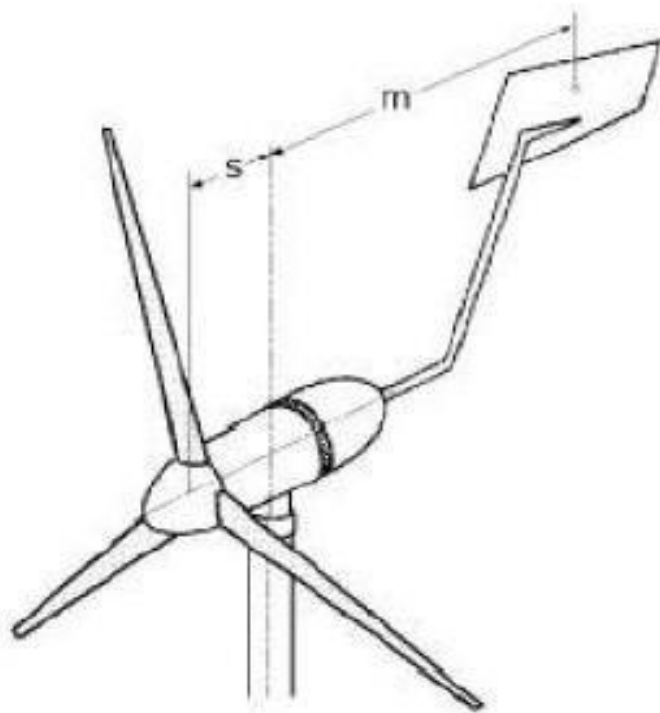
SISTEMA DE ORIENTACIÓN

La modificación de su orientación para que el viento incida perpendicularmente al rotor y obtenga su máxima potencia en base a la masa máxima del aire en movimiento va ser el principal problema que enfrenta el aerogenerador del eje horizontal. La veleta que forma parte del aerogenerador se representa gráficamente en la Figura.

Hay varios sistemas disponibles para satisfacer esta necesidad de cambiar la orientación, como:

- Cola muy eficaz de la turbina eólica
- Sistema de orientación accionado por rotor auxiliar
- Servomotor controlado de forma electrónica.
- Sistema de orientación por efecto de conicidad que se da a la pala en su disposición sobre el buje del rotor.

Figura 9
Sistema de orientación por veleta



SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Durante el funcionamiento de los generadores, es necesaria la refrigeración. Las turbinas generalmente encapsulan el generador en conducto y utilizan un ventilador para la refrigeración por aire. La refrigeración por agua es un método alternativo que se puede construir de manera compacta. Sin embargo, requiere un radiador en la góndola para eliminar calor del sistema de refrigeración por líquido.

SISTEMAS DE REGULACIÓN DE POTENCIA

Sistema que no permite controlar y regular el número de revolución, sino que también protege al aerogenerador contra velocidades de viento superior a la permitida a nivel estructural. Existe dos grandes grupos de sistemas de regulación según cómo funcionan.

Sistemas de regulación por acción del rotor se basa en el cambio de orientación del rotor. Cuando deba funcionar a potencia nominal, el rotor debe estar de cara al viento, pero cuando está parado, debe estar paralelo al viento. De la misma manera, se puede controlar a voluntad cambiando la cantidad de aire que absorbe para obtener la potencia deseada. Una veleta es utilizada para implementar este tipo de regulación.

La aplicación de paso variable proporciona otro sistema de regulación por acción sobre el rotor. El método de este sistema es ajustar su ángulo de ataque de palas, que hace que su rendimiento aerodinámico aumente y disminuya, lo que aumenta la potencia absorbida. Se emplea con frecuencia en turbina de gran potencia, donde el mecanismo que opera mediante el eje de velocidad, así como mecanismo que modifican su ángulo de calaje de parte de la pala incorporan alerones a la misma.

Figura 10

Sistema de regulación centrífuga mediante bielas

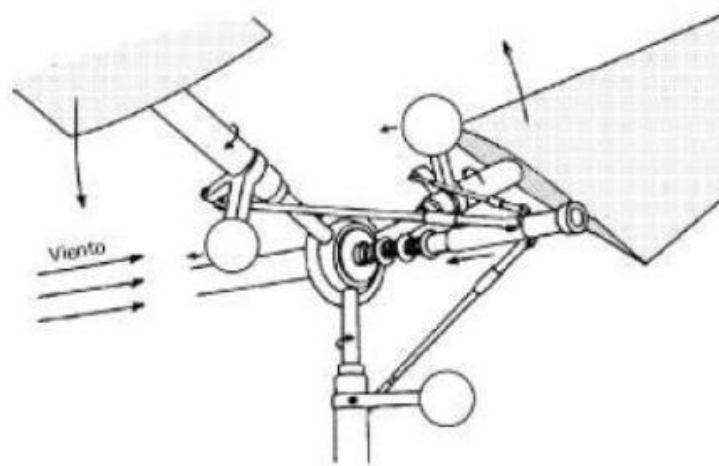
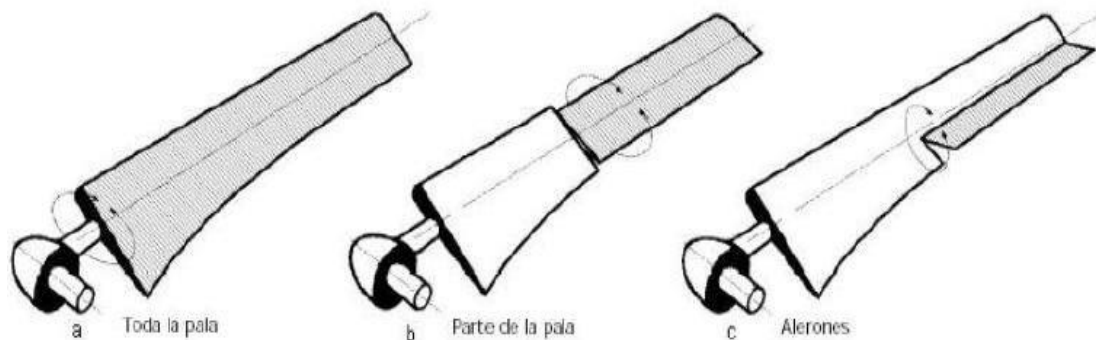


Figura 11

Sistema de regulación del ángulo de calaje de las palas



1.3 Marco conceptual

- **Energía Eólica** “La energía del viento se transforma en energía mecánica a través del movimiento de las aspas de una turbina eólica. Se encuentra en áreas terrestres y marinas, como parques o granjas que están conectados eléctricamente por un grupo de aerogeneradores”
- **Caudal variable** “La bomba de desplazamiento variable se utiliza en grande volumen requiriendo tasa de constante de caudal” (OPS/CEPIS, 2005, p. 13).
- **Bombas centrífuga horizontal** “Estos dispositivos tienen un eje de transmisión de bomba horizontal. Se pueden instalar lejos de la fuente de abastecimiento, lo que les permite ubicarse en lugares secos, ventilados, protegidos de inundaciones y de fácil acceso” (OPS/CEPIS, 2005, p. 13).
- **Bombas centrífugas verticales** “Estas bombas tienen un eje transmisión vertical y un conjunto de impulsores que aumentan la Cantidad de agua por etapas.” (OPS/CEPIS, 2005, p. 14).
- **Bombas sumergibles** “Dichos dispositivos tienen ventajas sobre las bombas de eje vertical y solo se utilizan en pozos muy profundos. Operan sumergidos en el punto de captación y cuentan con una bomba y un motor conectados en forma compacta. Las desventajas de estas bombas son que tienen una eficiencia relativamente baja a pesar de su bajo costo. Además, su alto consumo de energía aumenta los costos de operación. (OPS/CEPIS, 2005, p.15).

CAPITULO II

2 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1 Situación de problema

El distrito de Ocucaje cuenta con sistemas de bombeo de agua en sus diversas zonas rurales, los cuales no poseen un suministro adecuado de energía eléctrica.

Se requiere diseñar un generador eólico, de tal modo que se pueda contar con un sistema de generación eléctrica continuo.

2.2 Formulación del problema

2.2.1 Problema general

¿Será posible realizar el diseño de un aerogenerador eólico para el suministro de energía eléctrica al sistema de bombeo de agua para zonas rurales del distrito Ocucaje?

2.2.2 Problemas específicos

- **P.E.1:**

¿Será posible realizar un estudio del potencial eólico en la zona de influencia del proyecto?

- **P.E.2:**

¿Será posible calcular y seleccionar los componentes necesarios en generación de energía y sistema de bombeo?

2.3 Justificación e importancia de la investigación

2.3.1 Justificación de la investigación

El proyecto se justifica en el diseño de un aerogenerador eólico con la finalidad de que los pobladores de Ocucaje tengan mayor acceso al servicio de agua de manera continua.

2.3.2 Importancia de la investigación

La presente investigación es de suma importancia ya que se presentará el diseño de un aerogenerador eólico con la finalidad de que pueda suministrar de energía eléctrica a los diversos sistemas de bombeo de agua de Ocucaje.

2.4 Objetivos de la investigación

2.4.1 Objetivo general

Realizar el diseño de un aerogenerador eólico para el suministro de energía eléctrica al sistema de bombeo de agua para zonas rurales del distrito Ocucaje.

2.4.2 Objetivos específicos

- **O.E.1:**

Realizar un estudio del potencial eólico en la zona de influencia del proyecto.

- **O.E.2:**

Calcular y seleccionar los componentes necesarios de generación de energía y sistema de bombeo.

2.5 Hipótesis de la investigación

2.5.1 Hipótesis general

Si se realiza el diseño de un aerogenerador eólico para el suministro de energía eléctrica al sistema de bombeo de agua para zonas rurales del distrito Ocucaje.

2.5.2 Hipótesis específicas

- **H.E.1:**

Si se realiza un estudio del potencial eólico en la zona de influencia del proyecto.

- **H.E.2:**

Si se calculan y seleccionan los componentes necesarios de generación de energía y sistema de bombeo.

2.6 Variables de investigación

2.6.1 Identificación de variables

2.6.1.1 Variable independiente

Diseño de un aerogenerador.

2.6.1.2 Variable dependiente

Energía eléctrica para un sistema de bombeo de agua.

2.6.2 Operacionalización de variables

2.6.2.1 Aerogenerador

- **Definición conceptual**

Un aerogenerador es un dispositivo que transforma la energía eólica del viento en energía mecánica en turbina eólica y luego en energía eléctrica en un generador eléctrico.

2.6.2.2 Sistema de bombeo.

- **Definición conceptual**

El sistema de bombeo de agua funciona a través de un motor eléctrico de corriente alterna que obtiene energía eléctrica del banco de baterías y luego entrega la energía almacenada.

CAPITULO III

3 ESTRATEGIA METODOLOGICA

3.1 Tipo, nivel y diseño de la investigación

3.1.1 Tipo de investigación

La investigación es de tipo aplicada.

3.1.2 Nivel de investigación

Su nivel de investigación es descriptiva porque va proporcionar guía y orientación para la realización del estudio de la investigación.

3.1.3 Diseño de investigación

El tipo de diseño que se utilizará en el trabajo es longitudinal, se escogió este tipo de diseño porque reúne datos en dos o más momentos, es decir que durante el desarrollo del estudio sobre el diseño del aerogenerador eólico podremos seguir recopilando datos.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

La población será sus residentes del distrito de Ocucaje.

3.2.2 Muestra

La muestra será una vivienda del distrito de Ocucaje.

CAPITULO IV

4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

4.1 Técnicas de recolección de información

Las Técnicas de recolección de la información son:

- Técnica de observación
- Técnica de encuesta

4.2 Instrumentos de recolección de información

- Encuestas.
- Entrevistas.
- Documentos.
- Internet.

4.3 Técnicas de procesamiento, análisis e interpretación de resultados

Una vez adquirida y organizada la información del trabajo de campo, esta será analizada e interpretada mediante métodos estadísticos.

CAPITULO V

5 PRESENTACIÓN, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Presentación e Interpretación de resultados

5.1.1 Determinar los requerimientos de agua diario para abastecer a una vivienda en Ocucaje.

Coordenadas geográficas de Ocucaje

14°20'49"S 75°40'18"O

Figura 12

Ubicación geográfica de Ocucaje



En la actualidad, los habitantes de Ocucaje adquieren el agua para su consumo, utilizando técnicas manuales para regar, lavar ropa y brindar servicios higiénicos. En el proyecto de investigación, va tener la intención de proporcionar agua a cultivos a escala pequeña de 1,5 hectáreas, además del servicio higiénico de la vivienda, entre otras funciones.

En la casa seleccionada de la investigación, se encuentra infraestructura de tanque elevado de agua con una capacidad de 6 metros cúbicos y altura de 3 metros.

Cantidad de Agua para cultivos

De acuerdo con sus características agronómicas, los cultivos necesitan una cantidad específica de agua para poder crecer rápidamente. Debido a la cantidad promedio de cultivo es inferior a las 2 hectáreas, los pobladores de viviendas tienen cultivos para autoconsumo y para venta.

Se crearon dos grupos de cultivos para determinar su cantidad de agua que necesitaban. Uno de los grupos requiere 6 mm de agua cada diez días, mientras que el otro grupo requería 4 mm de agua cada diez días.

La siguiente tabla muestra la cantidad de agua necesaria para cada uno de los dos grupos de cultivos.

Tabla 1
Requerimientos hídricos de cultivos

Cultivo	mm de Riego	Hectáreas Cultivadas	Total, m3
Moderado Requerimiento de Agua	6	0.4	24
Moderado Requerimiento de Agua	2.5	1.1	27.5
TOTAL			51.5

Interpretación:

Para calcular el volumen del agua, relaciona la altura del agua (mm) por el área total del cultivo y se obtiene como resultado en metros cúbicos, que va ser cantidad de agua que el cultivo necesita durante diez días. Por lo tanto, para un día se necesita un volumen de agua de 5,15 metros cúbicos.

Cantidad de agua para Servicios Higiénicos.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) indica que una persona del sector rural necesita 50 litros de agua por día en satisfacer la necesidad básica. El promedio de personas en cada hogar es de 5; por lo tanto, se necesitan 250 litros por día. Cada hogar debe tener 150 litros al día para servicios higiénicos.

Por lo que requiere de 400 litros diarios de agua en satisfacer la necesidad de cada vivienda, sin considerarse el consumo humano, que será adquirida en botella de agua potable.

Cantidad de agua total requerida.

Cantidad de agua total es: $5,15 + 0,4 = 5,55$ metros cúbicos por día.

5.1.2 Realizar un estudio del potencial eólico de la zona de influencia del proyecto.

La medición de velocidad del viento se realiza durante las horas del día y se utiliza el siguiente protocolo de medición.

- Realice medición de velocidad del viento a 6 y 7 metros, para el cual se acondiciona el anemómetro digital calibrado, para tener las dos posiciones.
- El anemómetro digital va instalar con dirección del viento, por lo que la medición se realiza en dirección frontal al viento.
- Las mediciones de velocidad del viento, se realiza dos veces, de acuerdo con su formato de guía de observación 1, para obtener su promedio de ambos.
- No tomar mediciones de velocidad, si existe precipitación fluvial.

Tabla 2

Resultados de Mediciones

TOMA 1	Velocidad del viento (Altura 6 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.33	5.39	5.99	6.07	6.12
Medición 2	5.33	5.45	6.03	6.05	6.18
Promedio	5.33	5.42	6.01	6.06	6.15

TOMA 1	Velocidad del viento (Altura 7 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.44	6.12	5.99	6.20	6.15
Medición 2	5.41	6.13	6.03	6.14	6.13
Promedio	5.43	6.13	6.01	6.17	6.14

TOMA 2	Velocidad del viento (Altura 6 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.28	5.44	6.02	6.13	5.99
Medición 2	5.33	5.45	6.09	6.19	6.03
Promedio	5.30	5.45	6.06	6.16	6.01

TOMA 2	Velocidad del viento (Altura 7 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.31	5.49	6.16	6.19	6.21
Medición 2	5.39	5.45	6.16	6.21	6.24
Promedio	5.35	5.47	6.16	6.20	6.23

TOMA 3	Velocidad del viento (Altura 6 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.34	5.39	6.04	6.07	6.12
Medición 2	5.36	5.43	6.06	6.09	6.18
Promedio	5.35	5.41	6.05	6.08	6.15

TOMA 3	Velocidad del viento (Altura 7 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.44	6.14	5.99	6.20	6.15
Medición 2	5.41	6.12	6.01	6.14	6.13
Promedio	5.43	6.13	6.00	6.17	6.14

TOMA 4	Velocidad del viento (Altura 6 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.28	5.48	6.02	6.13	5.99
Medición 2	5.33	5.46	6.09	6.19	6.05
Promedio	5.30	5.47	6.06	6.16	6.02

TOMA 4	Velocidad del viento (Altura 7 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.31	5.44	6.16	6.18	6.21
Medición 2	5.39	5.42	6.16	6.20	6.24
Promedio	5.35	5.43	6.16	6.19	6.23

TOMA 5	Velocidad del viento (Altura 6 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.34	5.39	5.99	6.07	6.11
Medición 2	5.38	5.45	6.05	6.05	6.15
Promedio	5.36	5.42	6.02	6.06	6.13

TOMA 5	Velocidad del viento (Altura 7 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.44	6.00	5.99	6.15	6.15
Medición 2	5.41	6.16	6.03	6.17	6.13
Promedio	5.43	6.08	6.01	6.16	6.14

TOMA 6	Velocidad del viento (Altura 6 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.29	5.44	6.02	6.13	5.99
Medición 2	5.33	5.48	6.04	6.19	6.03
Promedio	5.31	5.46	6.03	6.16	6.01

TOMA 6	Velocidad del viento (Altura 7 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.31	5.50	6.16	6.20	6.21
Medición 2	5.39	5.48	6.16	6.24	6.24
Promedio	5.35	5.49	6.16	6.22	6.23

TOMA 7	Velocidad del viento (Altura 6 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.33	5.39	5.99	6.07	6.12
Medición 2	5.39	5.45	6.07	6.05	6.18
Promedio	5.36	5.42	6.03	6.06	6.15

TOMA 7	Velocidad del viento (Altura 7 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.46	6.12	5.99	6.20	6.15
Medición 2	5.40	6.13	6.05	6.14	6.13
Promedio	5.43	6.13	6.02	6.17	6.14

TOMA 8	Velocidad del viento (Altura 6 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.28	5.44	6.01	6.13	5.99
Medición 2	5.36	5.45	6.09	6.19	6.03
Promedio	5.32	5.45	6.05	6.16	6.01

TOMA 8	Velocidad del viento (Altura 7 metros)				
	Hora de la medición				
	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00
Medición 1	5.31	5.48	6.16	6.19	6.21
Medición 2	5.39	5.46	6.12	6.21	6.24
Promedio	5.35	5.47	6.14	6.20	6.23

5.1.3 Calcular y seleccionar dispositivos para la generación de energía y componente del sistema de bombeo de agua

5.1.3.1 Cálculo de la Potencia del Aerogenerador.

Determinar la potencia del aerogenerador, análisis se basa en el requerimiento de potencia hidráulica de la bomba, se utilizan la altura y el caudal.

El tanque está elevado a una altura de 3 metros sobre el nivel del suelo, y el agua se extrae a través de "Pozo tubular" de 6" de diámetro y profundidad máxima de 8 m, con una altura estática de agua de 3,3 metros.

Por lo tanto, la altura manométrica de la bomba sumergible será:

$$H_m = H_p + H_h$$

Donde:

H_m: Altura Manométrica, en metros.

H_p: Profundidad del pozo, 8 metros.

H_h: Altura de la base del tanque: 3 metros.

Reemplazando valores, se tiene:

$$H_m = 11 \text{ m}$$

La altura total será la que se adiciona por pérdidas por fricción, y va estar en función de sus características del flujo, además a las características de accesorio y tubería de instalación.

Para determinar pérdida por fricción, se usa la ecuación de Darcy, que establece que la pérdida de energía por fricción.

$$H_f = (F * L * V^2) / (2gD)$$

Dónde:

F: Factor de fricción (0.002, tubería PVC, según diagrama de Moody)

L: Longitud de la tubería PVC. (11 metros)

V: Velocidad del fluido. (3 – 4 m/s)

D: Diámetro de la tubería de impulsión. (1" = 0.0254m) Reemplazando valores se tiene:

$$H_f = (0.002 * 11 * 3^2) / (2 * 9.81 * 0.0254)$$

$$H_f = 0.40 \text{ m}$$

Por lo tanto, la altura dinámica es la suma de la altura manométrica más la pérdida de carga, por lo tanto:

$$H_d = H_m + H_f$$

$$H_d = 11 + 0.4 = 11.4 \text{ m.}$$

Cálculo del caudal.

Para determinar el caudal de impulsión de la electrobomba sumergible, se determina mediante:

La cantidad de agua que requiere por día, de lo calculado en el primer punto de es de 5,55 metros cúbicos de agua. Se establece que la electrobomba va tener un funcionamiento de acuerdo a la energía que es suministrada por el banco de batería.

Se establece el criterio para elección del caudal óptimo.

Para el funcionamiento de 1 hora, su caudal es $5,55/60 = 92.5$ lt por minuto.

Para el funcionamiento en 2 horas, su caudal es $5,55 / 120 = 46.25$ lt., por minuto.

Para el funcionamiento de 3 horas, su caudal es $5,55 / 180 = 30.83$ lt por minuto.

Para el funcionamiento de 4 horas, su caudal es $5,55 / 240 = 23.12$ lt por minuto.

Se determina el funcionamiento de la potencia hidráulica que requiere la bomba:

La potencia hidráulica se determina por la ecuación:

$$P = (Y * Q * H) / (1000 * e)$$

Reemplazando sus valores, se tiene:

Para el funcionamiento de 1 Hora:

$$P = (9810 * 0.0015 * 86) / (1000 * 0.9) = 1.40 \text{ Kw.}$$

Para el funcionamiento de 2 Horas:

$$P = (9810 * 0.00077 * 86) / (1000 * 0.9) = 0.72 \text{ Kw.}$$

Para el funcionamiento de 3 Horas:

$$P = (9810 * 0.00051 * 86) / (1000 * 0.9) = 0.47 \text{ Kw.}$$

Para el funcionamiento de 4 Hora:

$$P = (9810 * 0.00051 * 86) / (1000 * 0.9) = 0.35 \text{ Kw.}$$

Se opta el funcionamiento de la electrobomba para 1 hora de funcionamiento, con potencia de 1.4 kW, la potencia del aerogenerador será en 2 kW su diseño.

5.1.3.2 Selección del Aerogenerador

La turbina eólica se divide en turbina de eje horizontal, también conocidas como HAWTs, turbinas de eje vertical conocida como VAWTs.

Las HAWTs son más eficientes para una cantidad de potencia pero requieren menos material, mientras que VAWT son robustas, resistentes a turbulencias, de acceso mayor de la labor de mantenimiento, fácil de construir y simple de usar.

La expresión proporciona la ecuación que determinan la cantidad de energía que puede obtener de la turbina eólica:

$$E_{cu} = 1/2 * \rho * A * L * v^3$$

Se debe diseñar la turbina eólica con relación aceptable entre la energía generada y costo, asegurándose de que su potencia nominal P_n de la turbina sea equivalente a la velocidad del viento v_n que esté cerca de la raíz cúbica de la sumatoria del producto del cubo de la velocidad por su probabilidad de ocurrencia.

Considerando la distribución normal del área, se encuentra que $k=2$, $C=9$ y la v media es de 5,8 m/s.

Entonces, establecimos la velocidad de viento nominal de diseño en 5.0 m/s.

Dimensionamiento de la Turbina Eólica.

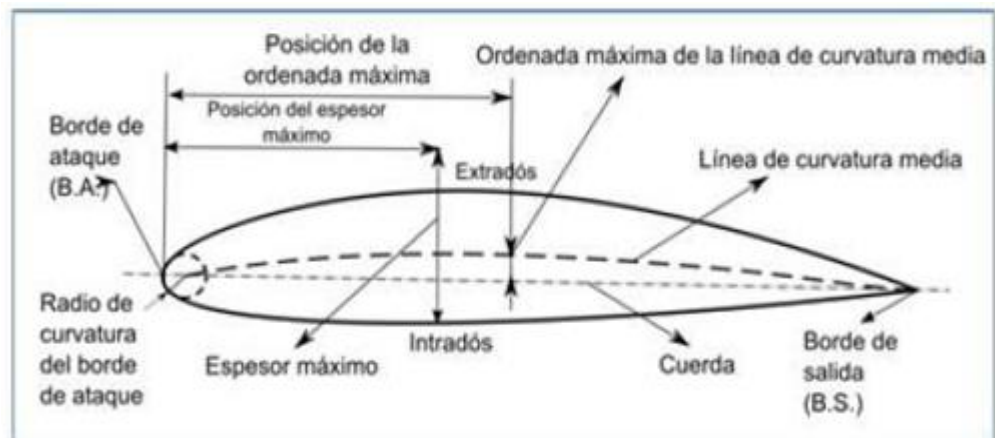
El diseño del alabe se da por la teoría del ala, con un proceso en la sección de los alabes, el cálculo del rotor se da en las ecuaciones aerodinámicas.

Cálculo de la sección del álabe y selección del perfil

De acuerdo a indicado, se toma punto de paso $r= 0.5R$ y $r= 0.9 R$, con que se tiene valor definitivo de la cuerda y ángulo de construcción del molde.

Figura 13

Dimensionamiento del alabe del aerogenerador



Fuente: Chapman 20011

Geometría de la pala

Para hacer un molde, su longitud de pala debe dividirse en secciones; cada radio va tener una cuerda y ángulo de posición. Para crear plantillas, característica del perfil NACA 4412 obtienen la geometría de cada sección mediante dibujos a escala real.

Familia de Perfiles

Existe diversidad de familias de perfil aerodinámico, el cual ha sido estudiado y diseñado por investigadores. Se puede nombrar el perfis Gottingen, SERI o LS, Clark, FX (Frank X. Wortmann) y los NACA (Escánez, 2013, p.50)

NACA - 4 cifras

El significado de la primera es geométrico, indica máxima flecha de línea media de la cuerda en %, proporcionando su máx. curva.

Cálculo de la torre

La torre va ser su elemento estructural que permite al aerogenerador elevarlo a una altura determinada, para aprovechar la energía del viento ya que a mayor altura son rápidos y más estables (Ferrero, 2007, p.95).

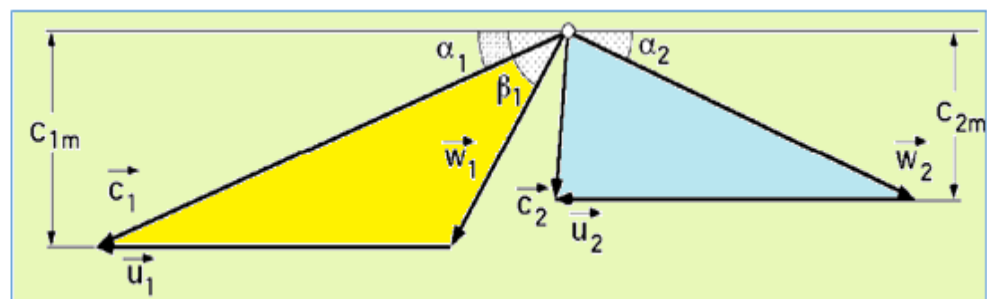
Fuerza involucrada en el cálculo de la estructura se toma de manera que mantenga girando a 350 RPM para un viento mayor a 5 hasta 20 m/s.

En el proceso de diseño, sus parámetros importantes van a ser:

- Radio de turbina Darrieus, RD
- Altura de turbina Darrieus, HD
- Radio de turbina Savonius, RS
- Altura de turbinas Savonius, HS
- N° de palas de turbina Darrieus, ND
- N° de palas de turbinas Savonius, NS
- Perfil aerodinámico de la pala de turbina Darrieus
- Solidez de turbina Darrieus, σ
- TSR para el CP máximo en la turbina eólica, conversión de energía cinética en energía mecánica, produce en el alabe, en el cual coexiste tres velocidades de acuerdo al triangulo de velocidades de Euler

Figura 14

Triangulo de velocidades de Euler



Del Triángulo de Euler, se tiene:

C: Velocidad absoluta.

U: Velocidad tangencial.

W: Velocidad relativa.

$$\text{TSR} = \text{Vel. Tg Max} / V$$

$$\text{TSR} = w \cdot R / V$$

$$\text{TSR} = (2 \cdot \text{Pi} \cdot \text{RPM} \cdot R) / (V \cdot 60)$$

Solo será posible obtener una pequeña parte de esta energía, ya que si eliminamos la energía cinética del aire, la turbina quedaría en reposo.

Betz calculó el límite de extracción teórico máximo y descubrió que la energía teórica máxima extraíble es igual al 59.3% de todo.

Como resultado, las turbinas reales pueden generar menos energía que Betz pronosticó. Este cociente entre potencia extraída y potencia total del fluido se conoce como coeficiente de potencia (C_p), que siempre será inferior a 0,593.

Diseño de la turbina Darrieus

Se considera tener la misma característica C_p en comparación con TSR como primera aproximación de la turbina con característica y dimensión similar, con el mismo perfil trabajando a números Reynold similares.

El C_p como función de TSR en las turbinas Darrieus depende de su solidez. Sin embargo, un par motor más pulsante se produce cuando hay más palas, pero la cuerda de la pala se debilita para mantener el índice σ .

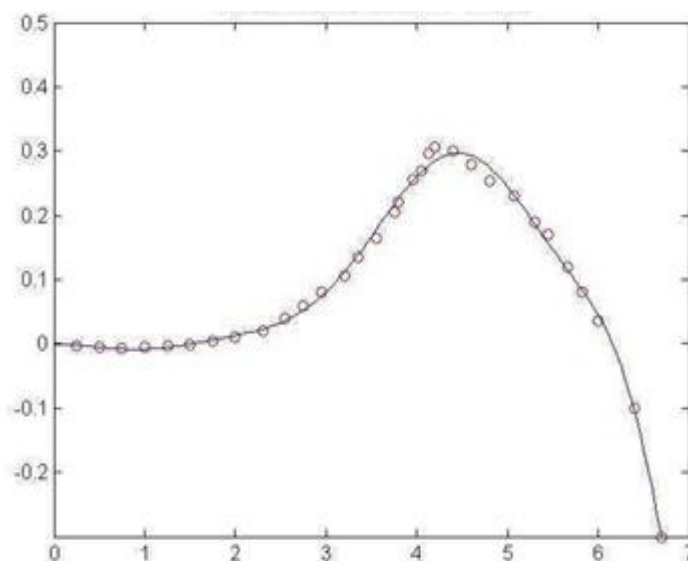
El tipo y espesor de los perfiles aerodinámicos también son un factor adicional en la determinación de la turbina eólica. Los diseños simétricos, generalmente con perfiles NACA, son comunes en el tipo de turbinas Darrieus.

La relación entre C_p y TSR, así como la relación para una turbina Darrieus, se muestran en la figura.

Con el objeto de reducirse el tamaño de los rotores, elige una opción de tres palas, $N_s = 3$, la cual presenta mayor C_p , pero con un par más variable en función de la posición angular del mismo; de acuerdo a las condiciones del diseño para 2 KW, $C_{pmax} = 0,23$ se da a un $TSR = 0,85$.

Figura 15

Darrieus Sandia 2m CP vs TSR



considerando datos del generador eléctrico proporcionados por el fabricante local.

Generador trifásico sincrónico con múltiples imanes permanentes y flujo axial.

La potencia necesaria se corrigió con $P_n=2\text{kw}$, $V_{fn}=48\text{v}$ a 400RPM y $R_L=2.4\Omega$. El rendimiento eléctrico fue del 85% y el rendimiento aerodinámico fue inferior al del modelo utilizado como referencia debido a posible diferencia en método de fabricación y calidad de terminación

La cantidad de energía requerida se calcula dividiendo la potencia nominal por el coeficiente de ajuste y el rendimiento eléctrico.

$$P_n = 2 / (0.85 * 0.9) \quad P_n = 2.61 \text{ KW.}$$

Figura 16

Geometría del Rotor de la turbina eólica

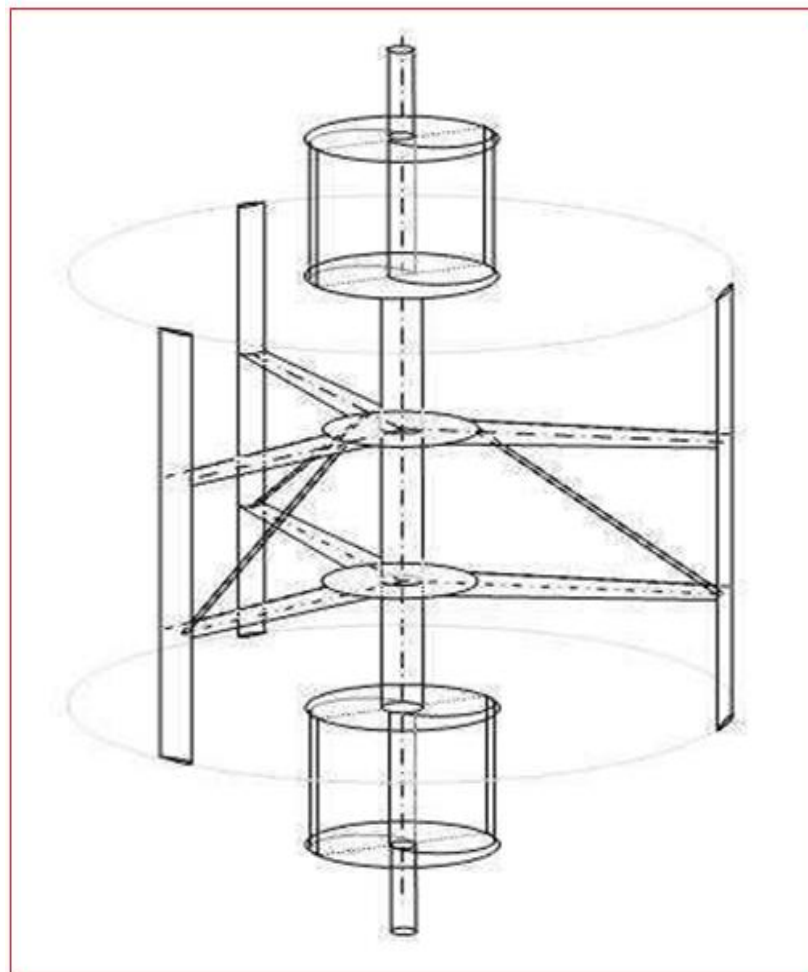


Figura 17
Accionamiento de Turbina Eólica.

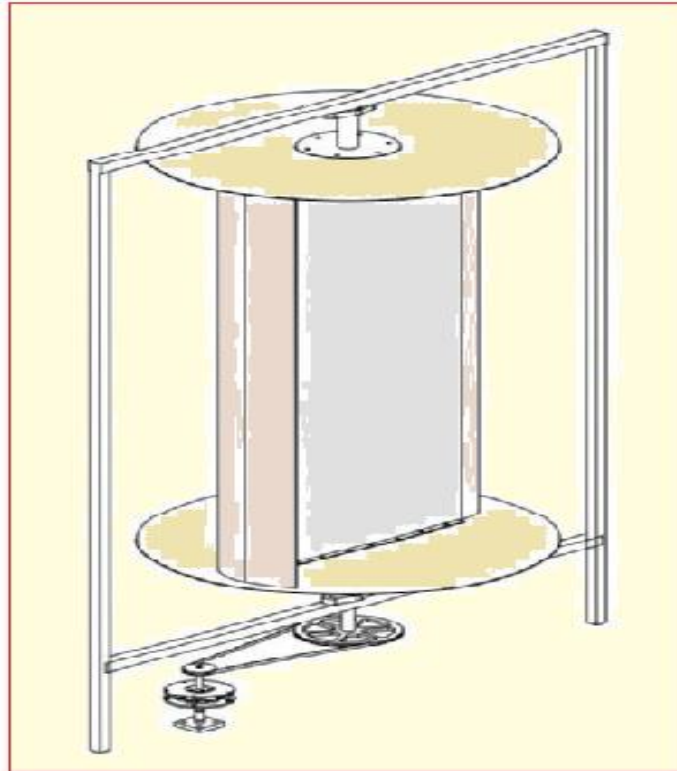
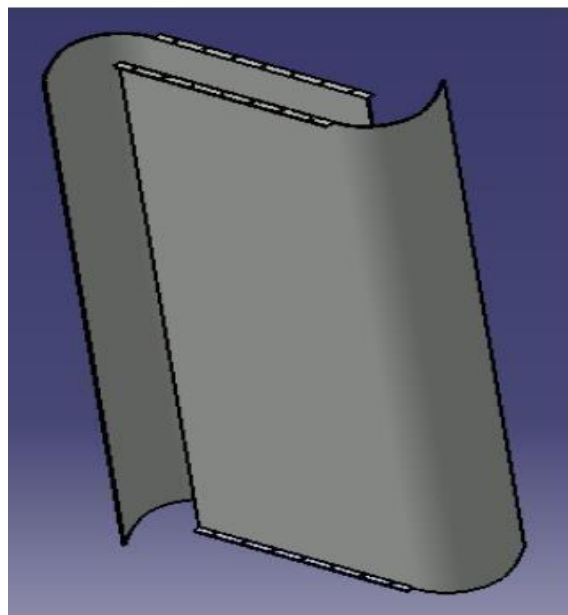


Figura 18
Geometría de las palas del aerogenerador



5.1.3.3 Seleccionar el dispositivo de bombeo de agua subterránea para satisfacer el requerimiento.

SELECCIÓN DEL EQUIPO DE BOMBEO

Para la selección del equipo de Bombeo Sumergible se requiere de:

- ✓ Q = Gasto (l/s=litros por segundo)
- ✓ Ne = Nivel Estático (mts.)
- ✓ Nd = Nivel Dinámico (mts.)
- ✓ Da = Diámetro interior del Ademe (pulg. y/o cms)
- ✓ Dc = Diámetro de la columna de bombeo (pulg. y/o cms.)
- ✓ Lc = Longitud de la columna de bombeo (mts.)
- ✓ Ltc = Longitud de la tubería de conducción (mts.)
- ✓ Dtc = Diámetro y tipo de material de la tubería de conducción (mts.)
- ✓ DT = Desnivel Topográfico del brocal del pozo hasta la descarga final (mts.)
- ✓ S = Sumergencia (mts.)
- ✓ C = Longitud de la bomba (mts.)
- ✓ CDT = Carga Dinámica Total (mts.) ya sea calculada por el Cliente o con los datos anteriormente solicitados, nuestro representante de Ventas la calculará.
- ✓ A = Accesorios: Estos varían en cantidad, tipo y material y son válvulas, codos, tees, etc., instalados a lo largo de la tubería de conducción.

Tabla 3
Catalogo general 60 Hz

VERSION CON FLOTADOR "GE"																	
MODELO	POTENCIA		Q	H													
	kW	HP		metros													
Monofásica			m ³ /h	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	
			l/min	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	
NKm 2/1 - GE	0.45	0.6		39	38	37	35	32.5	29.5	26.5	22.5	18					
NKm 2/2 - GE	0.55	0.75		50	48	46.5	43.5	41	37	33	28	22					
NKm 2/3 - GE	0.75	1		64	62	60	56	52	47	41.5	35	28					
NKm 2/4 - GE	1.1	1.5		74	72	70	67	63.5	59	54	48.5	41					
NKm 2/5 - GE	1.5	2		85	84	81	78	74	69	63.5	56.5	50					
NKm 4/1 - GE	0.55	0.75		41	-	40	38.5	37	34.5	32	29	26	22	18	14	10	
NKm 4/2 - GE	0.75	1		52	-	50	48.5	47	44	41	36.5	32.5	28	23.5	18.5	14	
NKm 4/3 - GE	1.1	1.5		58	-	57	55	54	51	48	44	40	35.5	31.5	25	19	
NKm 4/4 - GE	1.5	2		68	-	67	66	64	62	60	57	55	51	47	42	36	
NKm 4/5 - GE	2.2	3		92	-	90	89	87	84	82	79	75	72	68	63	58	

Q = Caudal; H = Altura manométrica total

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO 9906 Grade 3.

El modelo elegido es la monofásica NKm 2/5.GE; de 1.5 kW

- P= 1.5 kW
- Q= 80 L/min
- Tensión= 220 V
- Intensidad de corriente= 5 Amp

El aerogenerador de 2 kW genera energía eléctrica en el alternador para luego enviarla al banco de baterías; sin embargo, la carga aumenta gradualmente durante las horas de giro, que son las 4 horas cuando está en su máxima expresión.

Entonces, la cantidad total de energía generada por el alternador durante un día será de $2 \times 4 = 8$ kW-h, la cual se almacena en los bancos de batería, que poseen esa capacidad de almacenamiento...

Selección del banco de baterías c (a-h)

$$C=(E/(C*Pd))(A-h)$$

$$C= 740.71(A-h)$$

El sistema necesita 740.74 amperios hora, por lo que elegimos 4 baterías de 200 amperios hora. La batería elegida es RITAR, modelo RA12-200, y cumplen con dato tomado para el cálculo.

Selección del inversor

La electrobomba de 1,4 kW es la carga a alimentar, pero todo motor tiene corriente de pico al arrancar. El inversor va estar equipado para que soporte no solo 1,4 kW, sino también la corriente pico de milésimas de segundos.

El inversor se ha hecho barato y eficiente; el sistema de bombeo solar usa inversor especial sinusoidal para optimizar el emparejamiento con el panel, batería y bomba, y soporte esta corriente que dura menos de un segundo.

Selección del inversor

Esto significa que el inversor que se elige no solo debe estar preparado para la In de 17 A, sino que también debe estar preparado para la corriente a plena carga, según lo establecido por el CNE.

Según ISO 9001:2000, tendremos que elegir dos inversores paralelos de 800W de potencia nominal para cumplir con nuestros requisitos.

El inversor debe dimensionarse por la potencia transmitida porque se encarga de convertir la corriente continua en corriente alterna...

Tabla 4

Datos del inversor seleccionado

INVERSOR	
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V
Salida	Salida: 230V ± 2% / 50/60Hz ± 0,1% (1)
Potencia cont. de salida 25 °C (VA) (2)	3000
Potencia cont. de salida 25 °C (W)	2500
Potencia cont. de salida 40 °C (W)	2200
Pico de potencia (W)	6000
Eficacia máx. 12/ 24 /48 V (%)	93 / 94 / 95
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)	15 / 15 / 16
Consumo en vacío en modo AES (W)	10 / 10 / 12
Consumo en vacío modo Search (W)	4 / 5 / 5

Dimensionamiento del conductor

Conductor generado al controlador

La corriente que genera como corriente alterna a 220 voltios va determinarse mediante:

$$I = \text{Potencia Activa} / (\text{Tensión} \times \text{Factor de Potencia})$$

$$I = 2000 / (220 * 0.9).$$

$$I = 10.10 \text{ Amperios.}$$

El conductor va soportar corriente mayor a la corriente de cortocircuito (I_{sc}) del generador eléctrico, es 10.1A. Por lo que se elige conductor NLT 2x14 (INDECO).

Conductor del Controlador a la Batería.

Este conductor va soportar como mínimo el paso de 10.1 A, que va ser el amperaje aproximado que va ser entregado por el alternador y que es controlado por el regulador.

Entonces seleccionamos de INDECO el conductor NLT 2x14.

Conductor de la Batería al Inversor.

El calibre del conductor es igual al calibre que utiliza en la conexión de la electrobomba al Interruptor Termomagnético.

Seleccionamos de INDECO el conductor NLT 2x14.

Dimensionamiento de conductor de la bomba sumergible

Para seleccionar el cable sumergible, debe conocer su tensión de operación del Motor y su consumo en Amp, así como la longitud que tendrá el cable a instalar.

Datos:

Tensión= 220 V Intensidad total = 25 Amp.

Longitud total del cable= 90 mts.

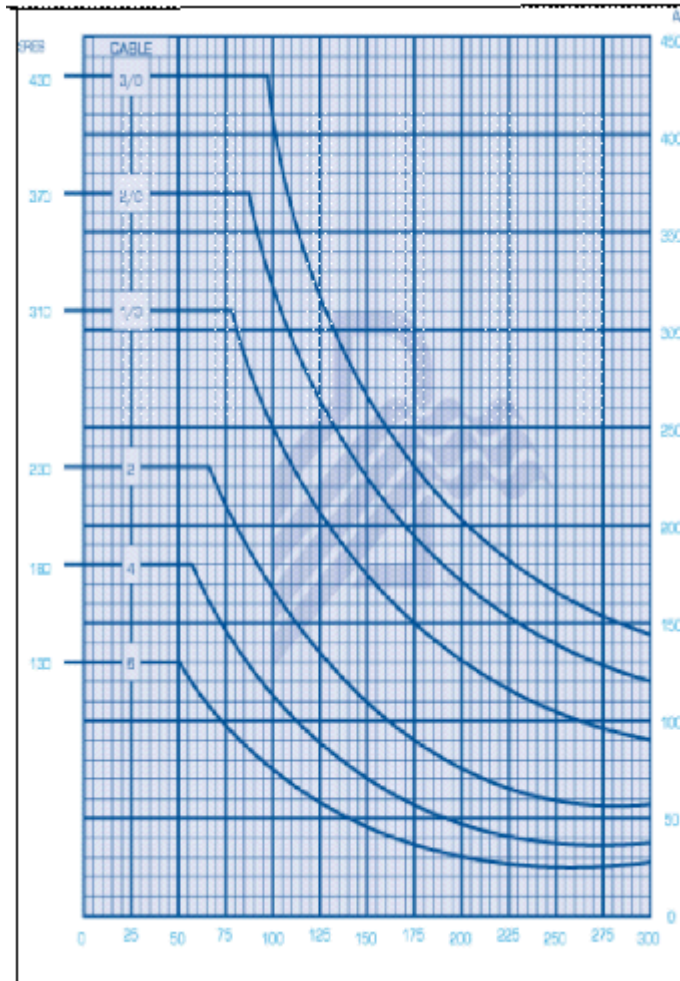
Se consulta con la figura 19 de Amperaje en cable sumergible, para 220 Volts y observa el calibre 6 permite transportar 25 Amperes hasta 90 m de longitud sin caída de tensión, siendo el cable que debe usar para que no sobrepase 2,5% de caída de tensión establecido para derivación por NTCSE.

Ahora seleccionamos el calibre de los conductores, teniendo en cuenta el grafico siguiente de conductores sumergibles:

Figura. 19

Grafica para la selección de calibre de conductores

Fuente BANSÁ 2015 P.35



Cálculo por caída de tensión.

La ecuación determina la caída de tensión en el conductor eléctrico es:

$$\Delta V = \frac{2 * \rho * L * I * \cos\theta}{S * V}$$

Reemplazando valores, se tiene:

$$\Delta V = \frac{2 * 0.0171 * 90 * 10 * 0.9}{2.08 * 220} = 0.06$$

En términos porcentuales será de $0.06 / 220 = 0.027\%$

Equipo de protección.

Interruptor Termomagnético de 2x25A

El interruptor termomagnético, conocido como llave térmica, se emplea para proteger el circuito eléctrico de sobrecargas y cortocircuito. La característica constructiva lo hacen apto para brindar protección térmica y magnética en instalaciones donde las corrientes normales superan los 100 A. La velocidad de apertura y cierre de los contactos no está influenciada por la velocidad de maniobra de la palanca gracias al diseño de la caja cinemática del interruptor termomagnético.

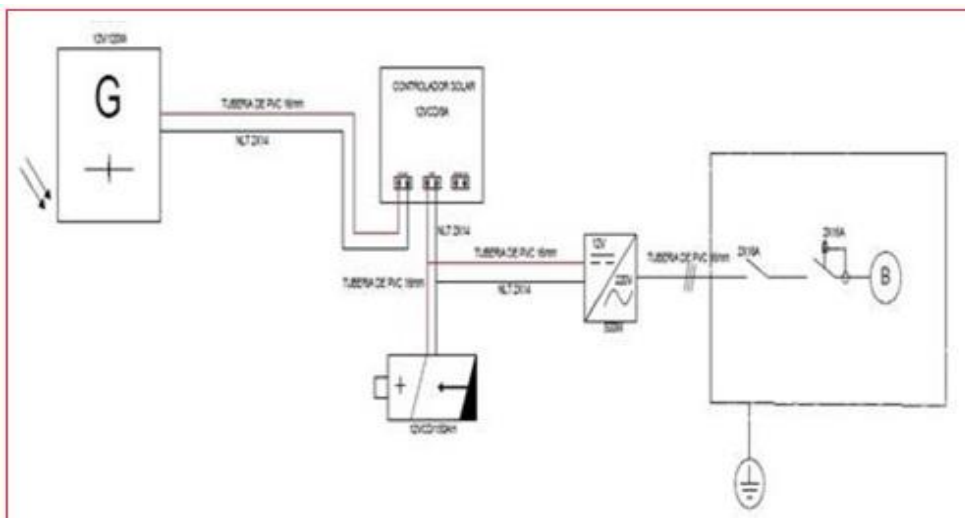
Figura 20

Interruptor diferencial ultrasensible 2x25A



Figura 21

Diagrama Unifilar



Dispositivos Puesta a Tierra.

Borne principal de tierra

Cada conductor conectado al borne principal de tierra debe poder desconectarse individualmente.

Además, esta conexión se realiza de tal manera que su eliminación solo debe ser posible mediante una herramienta.

Para realizar las conexiones mencionadas, en ocasiones puede ser necesario instalar más de un borne o barra principal de tierra. Los conductores de tierra en este caso están conectados a la misma toma de tierra.

5.1.4 Evaluación económica del proyecto

Inversión Inicial del Proyecto.

N°	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/)
1	Soporte de estructura metálica ángulo 2 x2 x3/16" de turbina eólica	Unidad	1	500	500
2	Turbina eólica 2kW	Unidad	1	800	800
3	Alternador de 4 pares de polos	Unidad	1	380	380
4	Regulador de carga /Inversor	Unidad	1	180	180
5	Batería 12 V -200	Unidad	4	180	720
	Tablero de control, incluye interruptor termomagnético	Unidad	1	220	220
7	Electromba sumergible 1.5 Kw, con control de nivel	Unidad	1	1200	900
8	Cable N° 14	Rollo de 100	3	80	240
Total					3940

Ingresos

Los ingresos que genera este proyecto de inversión, va ser:

- a) Un suministro constante de agua para servicio higiénico y lavado de ropa, que, en comparación con el sistema tradicional, el recibo por servicio de agua es 120.00 Nuevos Soles mensuales.
- b) Se incrementa la producción de cultivos a pequeña escala; se estima que el poblador tiene una utilidad de 3600 Nuevos Soles al año; sin embargo, al tener servicio de agua para riego, dicho ingreso aumenta en 30%, lo que significa que tendrá un incremento de 1200 Nuevos Soles al año, lo que equivale a 100.00 Nuevos Soles al año.
- c) Se estima que también hay un ahorro económico porque la extracción de agua se hace manualmente. En promedio, cada habitante gana 2400 Nuevos Soles al año, es decir, 200 Nuevos Soles al mes.

Por lo tanto, se tiene que el proyecto de inversión garantiza un ingreso de $120 + 100 + 200 = 420$ Nuevos Soles

Egreso

Se estimó costo mensual de S/. 70.00 que incluye labor de mantenimiento, como limpieza del sistema eólico, lubricación de piezas móviles y reajuste de pernería. Estos trabajos se pueden realizar por el mismo usuario, por lo que no es un costo significativo.

Factibilidad

La implementación del proyecto es técnicamente factible y su inversión es recuperable en el periodo de 12 meses.

5.2 Discusión de resultados

La presente tesis examinó minuciosamente la posibilidad de utilizar energía solar para accionar la electrobomba sumergible en pozos tubulares en algunos casos existentes en la región, determinando que si es rentable en el contexto en el que se comparó el trabajo de investigación.

CRESPO (2011), mencionó que, en el área de estudio para los aerogeneradores, no hubo vientos constantes o una velocidad promedio suficiente para generar la energía esperada, lo que impidió obtener suficiente información para demostrar la eficiencia del aerogenerador.

En este sentido, es importante destacar que no solo se tomaron en cuenta los valores de velocidad de viento en estaciones meteorológicas cercanas, sino que también se llevó

a cabo la labor de medición en Ocucaje de acuerdo con el protocolo establecido. Como resultado, la investigación se acerca más a la realidad en cuanto al potencial eólico...

GONZALES (2007), analizó que, en lugares remotos donde no están conectados a la red de electricidad local, es imposible tener un sistema de calefacción eléctrica debido a razones económicas inviables o simplemente porque no existe. La tesis coincide con la realidad, ya que cinco hogares se encuentran a 5 km del punto de alimentación eléctrica del sistema convencional, lo que significa que estas viviendas ya no están incluidas en el plan de electrificación rural. En su lugar, la opción de electrificación se basa en energías renovables no convencionales.

COLOMA (2012), El origen de este proyecto radica en la necesidad de abastecimiento de agua, que es fundamental para la vida y el desarrollo humano. Aunque en los países desarrollados, el suministro de agua puede ser algo rutinario a lo que apenas se presta atención, ya que casi toda la población cuenta con sistemas de canalización de agua.

El abastecimiento de agua de la presente tesis en el área rural de Ocucaje garantiza un uso continuo de agua si se lleva a cabo el proyecto; sin embargo, el proyecto analizado no realizó un análisis de la cantidad de agua subterránea, que debe ser objeto de otra investigación.

6 CONCLUSIONES

- Se llevó a cabo una evaluación de los usos de agua para los siguientes usos: riego de cultivos a pequeña escala, servicios higiénicos y lavado de ropa, lo que equivale a 5,55 metros cúbicos de agua por día. El agua se almacenará en un tanque elevado de 6 metros cúbicos.
- Se llevó a cabo un análisis del potencial eólico y se descubrió que durante las 22.00 horas y las 02.00 horas del día siguiente se registró la velocidad más alta, superando los 6 metros por segundo. Además, durante el período de las 18.00 a las 03.00 del día siguiente, se registró una media de velocidad de 5,78 metros por segundo, lo que permite que la turbina eólica funcione durante al menos cuatro horas al día.
- Se optó por la turbina eólica con una potencia instalada de 2.0 kilovatios, lo que permite accionar la electrobomba de 1,4 kilovatios. El motor eléctrico de la bomba no recibe energía directamente del alternador, sino que necesita almacenarla en cuatro baterías de 200 Amperios.
-
- La implementación del proyecto es técnicamente factible y su inversión es recuperable en el periodo de 12 meses.

7 RECOMENDACIONES

- Se sugiere que se realice mediciones de otra variable, como la temperatura ambiente, la presión atmosférica y la humedad relativa, para realizar un estudio preciso y analizar su influencia de corrosión en sus componentes metálicos del proyecto.
- Se recomienda utilizar cultivos que requieren poca cantidad de agua, ya que algunos cultivos realizados por los residentes rurales requieren una gran cantidad de agua.

8 FUENTES BIBLIOGRAFICAS

- Posso, F. (2002). Energía y ambiente: pasado, presente y futuro. Parte dos: sistema energético basado en energías alternativas
- Samsonov V., Aerodinámica y control de turbinas eólicas, Editorial Marketing de Ideas S.R.L., Primera Edición.
- Samsonov V., Energía eólica y diseño de aerogeneradores, Separata del Curso Tópicos Selectos de Ingeniería Mecánica.
- Manwell J.F. y otros, WIND ENERGY EXPLAINED THEORY, DESIGN AND APPLICATION, Editorial John Wiley and Sons, Primera Edición, Inglaterra.
- ATLAS EÓLICO DEL PERÚ. “Implementación del Sistema Digital para evaluación preliminar del Potencial de Recurso Eólico – VIENTOGIS”. Lima, 2014, 123pp.
- AGUILAR Darío. “Diseño y construcción de un prototipo aerodinámico de aerogenerador a sotavento de 80 w con palas no linealizadas” Centro de Desarrollo e Investigación en Termofluidos CEDIT. 2014, 128pp.
- AVELLANEDA José. “Estudio del potencial de generación de energía eólica en la zona del páramo de chontales, municipios de Paipa y Sotaquirá. Departamento de Boyacá. José Alfonso Avellaneda Cusarúa” Maestría en Ingeniería con énfasis en Energías Alternativas. Bogotá. 2012, 212pp.
- BAYÓN Roberto, CEBADERA Laura, DEL CASTILLO Raquel. Diseño de un parque eólico de 6 Mw en Malpica de Bergantiños, la Coruña. Madrid – España. Escuela de Organización industrial – Escuela de negocios. 2013. 71 pp.
- CARCHENILA Carlos. Parque eólico Cassino. Tesis, (Ingeniero de minas). Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas. 2013. 261 pp .
- CORNEJO Alonso. “Evaluación Técnica y Económica Para la Generación de Energía Eléctrica Híbrido Eólica – Solar para la Comunidad De San Luis en el Distrito de Pimentel, Región Lambayeque” Universidad “César Vallejo” Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica. 2010, 112pp.
- COTAN, Santiago. Valoración de impactos ambientales. INERCO. Sevilla. 2011, 89 pp.
- CHAPMAN. Máquinas Eléctricas Rotativas, México 2012, 345pp.
- GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL (GWEC) P. 284, 2014.
- LÓPEZ Gabriel. Propuesta para asimilar la tecnología de construcción y operación de parques eólicos. Tesis (Ingeniero Industrial). Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de Ingeniería. México D.F. 2011. 116 pp.

- MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS, Balance Nacional de Energía. 2014. Lima, 2014. 142 pp.
- MOLINERO, Alberto. Proyecto de un parque eólico, Universidad de Madrid.España. Escuela técnica superior de ingeniería (ICAI). 2010, 236 pp.
- Norma IEC 64100-1: Modelado del Viento en condiciones Normales. 2012, 123pp.
- PITTELOUD Daniel, Association World Wind Energy. Venezuela, 2013.
- POLONCO Pablo. Lineamientos para el desarrollo de parques eólicos en Guatemala. Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil. 2012, 208 pp.
- ONU, División de Desarrollo Sostenible del Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas, 2015
- ORTIZ Jorge. Investigación titulada “Estudio De Factibilidad Para La Instalación De Una Central Eólica”, de la Escuela Politécnica Nacional. Tesis Facultad De Ingeniería Eléctrica. Quito, Ecuador, 2013.

9 ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	HIPÓTESIS	OBJETIVOS	VARIABLES
<p>Problema general</p> <p>¿Será posible realizar el diseño de un aerogenerador eólico para el suministro de energía eléctrica al sistema de bombeo de agua para zonas rurales del distrito Ocucaje?</p>	<p>Hipótesis general</p> <p>Si se realiza el diseño de un aerogenerador eólico para el suministro de energía eléctrica al sistema de bombeo de agua para zonas rurales del distrito Ocucaje.</p>	<p>Objetivo general</p> <p>Realizar el diseño de un aerogenerador eólico para el suministro de energía eléctrica al sistema de bombeo de agua para zonas rurales del distrito Ocucaje.</p>	<p>Variable independiente:</p> <p>Diseño de un aerogenerador.</p>