

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**RENDIMIENTO DE UN AEROGENERADOR CON
ALTERNADOR DE AUTOMÓVIL PARA GENERAR
ELECTRICIDAD**

**Autores: Bach. JULIO CESAR AQUINO OCAMPO
Bach. DILGER RONEY RUÍZ FERNÁNDEZ**

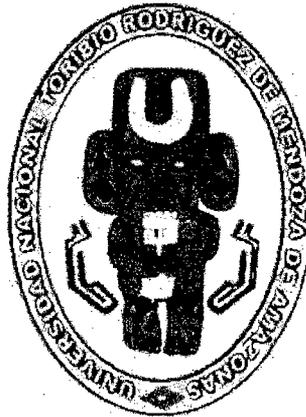
Asesor: Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLÓN

**CHACHAPOYAS - PERÚ
2013**



10 6 ENF 2014

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

**TESIS PARA OBTENER EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**RENDIMIENTO DE UN AEROGENERADOR CON ALTERNADOR DE
AUTOMÓVIL PARA GENERAR ELECTRICIDAD**

**Autores: Bach. JULIO CESAR AQUINO OCAMPO
Bach. DILGER RONEY RUIZ FERNANDEZ**

Asesor: Dr. MIGUEL ÁNGEL BARRENA GURBILLON.

CHACHAPOYAS - PERÚ

2013



06 ENE 2014

DEDICATORIA

A DIOS de quien proviene la sabiduría y es el origen de toda fortaleza.

A mis padres JOSÉ ABRAHAM AQUINO CHIROQUE y BERTHA MALENA OCAMPO CHAVEZ, quienes con su inspiración, ejemplo y amor incondicional me confortan en cualquier situación.

A mis hermanos y familiares por apoyarme en todo momento.

JULIO CESAR

DEDICATORIA

A mi madre SOFIA FERNÁNDEZ DELGADO, quien con su ejemplo, amor, cariño y esfuerzo hizo posible la realización de mi formación personal y profesional.

A Dios por fortalecer mi fe, esperanza y sabiduría, para salir adelante, guiándome durante todos estos años y brindarme apoyo en esta hermosa profesión.

DILGER RONEY

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darnos la vida y las fuerzas para seguir adelante y cumplir con nuestras metas.

A nuestros padres, por todo el esfuerzo y sacrificio, haciendo todo lo posible para formarnos profesionalmente y brindarnos su apoyo incondicional.

A nuestros familiares.

A cada uno de los profesores que intervinieron en el proceso de nuestra formación, por impartirnos sus conocimientos necesarios para el desarrollo de nuestra formación académica y humanística durante los cinco años de estudios universitarios.

A nuestro asesor de tesis Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón por su orientación y su valiosa colaboración para realizar este proyecto.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDESCES), por los datos meteorológicos que nos proporcionó.

A Tele Amazonas, por el apoyo en la edición del video demostrativo de nuestra Tesis.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

**Ph. D. Dr. Hab. VICENTE MARINO CASTAÑEDA CHÁVEZ
RECTOR**

**Dr. JOSÉ ROBERTO NERVI CHACÓN
VICERECTOR ACADÉMICO**

**Dr. EVER SALOMÉ LÁZARO BAZÁN
VICERECTOR ADMINISTRATIVO**

**Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLON
DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA
Y CIENCIAS AGRARIAS**

VISTO BUENO DEL ASESOR

El docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas que suscribe, hace constar que ha asesorado la realización de tesis titulada **“RENDIMIENTO DE UN AEROGENERADOR CON ALTERNADOR DE AUTOMÓVIL PARA GENERAR ELECTRICIDAD”**, de los Bachilleres en Ingeniería Agroindustrial egresados de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias de esta Casa Superior de estudios:

- **JULIO CESAR AQUINO OCAMPO**
- **DILGER RONEY RUIZ FERNANDEZ**

El suscrito da el Visto Bueno al informe de la mencionada tesis, dándole pase para que sea sometida a la revisión del jurado evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de las observaciones dadas por el jurado evaluador, para su posterior sustentación.

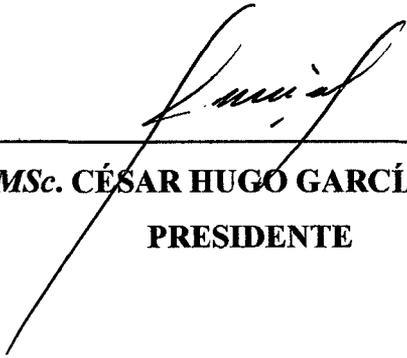
Chachapoyas, 04 de noviembre del 2013



Dr. MIGUEL ANGEL BARRENA GURBILLÓN

Profesor Principal a Dedicación Exclusiva- UNTRM

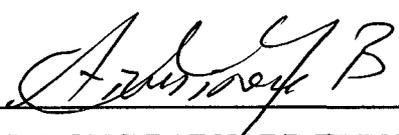
JURADO EVALUADOR



Ing. MSc. CÉSAR HUGO GARCÍA TORRES
PRESIDENTE



Ing. MEREGILDO SILVA RAMÍREZ
SECRETARIO



Ing. M. Sc. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERÍ
VOCAL

ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIAS.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	v
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	vi
JURADO EVALUADOR.....	vii
ÍNDICE.....	ix
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN	
1.1. Clasificación de los aerogeneradores	5
1.1.1. Según el tipo del aerogenerador	5
1.1.2. Según la aplicación del aerogenerador.....	7
1.1.2.1. Aerogeneradores de baja potencia	7
1.1.2.1.1 Aerogenerador de imanes permanentes.....	8
1.1.2.1.2 Aerogenerador con alternador de automóvil.....	10
1.1.2.2. Aerogeneradores de mediana potencia	11
1.1.2.3. Aerogeneradores de gran potencia	11
1.2. Selección del sitio de ubicación del aerogenerador.....	16
II. MATERIAL Y MÉTODOS	

2.1. Aspas para el aerogenerador	17
2.2. Rotor de 3 palas	18
2.3. Alternador	19
2.4. Tornamesa del aerogenerador.....	19
2.5. Multiplicador de velocidad	21
2.6. Rotor de 6 palas	21
2.7. Rotor de 8 palas.....	22
2.8. Torre del aerogenerador	23
2.9. Sistema de conducción de la electricidad.....	25
III. RESULTADOS	
3.1. Rotor con 3 palas	26
3.2. Rotor con 6 palas	27
3.3. Rotor con 8 palas	27
3.4. Rendimiento energético del aerogenerador	35
3.5. El viento y su energía	36
3.6. Modelo teorico de Betz	39
IV. DISCUSIÓN.....	43
V. CONCLUSIONES.....	46
VI. RECOMENDACIONES.....	47
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXOS	50

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Datos de iluminación con un foco LED de 3 W y 12 voltios.....	35
Tabla 2. Datos de iluminación con un foco LED de 3 W y 12 voltios	35
Tabla 3. Datos de iluminación con dos focos LED de 3 W y 12 voltios cada uno y un receptor de radio de 1,5 W	36

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Componentes de un sistema de aerogeneración de electricidad.....	4
Figura 2. Aerogenerador con rotor tipo Savonius	6
Figura 3. Aerogenerador con rotor tipo Darrieux H (35 m de diámetro, 300 kW), de eje vertical	6
Figura 4. Fuerzas que se presentan en las palas	7
Figura 5. Turbina de baja potencia (6,5 m de diámetro, 5 kW)	8
Figura 6. Aerogenerador de imanes permanentes.....	9
Figura 7. Aerogenerador con alternador de automóvil)	10
Figura 8. Aerogenerador de 7,5 MW, cada pala 60 m de largo, con eje a 138 m de altura, de la empresa ENERCON. Magdeburgo Alemania	12
Figura 9. Curvas de comportamiento típicas de diversas maquinas eólicas	13
Figura 10. Potencia de los artefactos y equipos eléctricos más utilizados en el hogar.	14
Figura 11. Potencia generada por un aerogenerador de 100 W, en función a la velocidad del viento.....	15
Figura 12. Voltaje de corriente alterna (AC), continua (DC) y potencia generada en función a las rpm del rotor del aerogenerador de 1000W	15
Figura 13. Ubicación adecuada de un aerogenerador	16
Figura 14. Perfiles NACA más empleados.....	17
Figura 15. Aspas para el aerogenerador.....	18
Figura 16. Rotor de tres palas.....	19
Figura 17. Tornamesa del aerogenerador.....	20
Figura 18. Base del tornamesa del aerogenerador	20
Figura 19. Colocación de la veleta del aerogenerador.....	21

Figura 20. Diseño de la pala y rotor de 6 palas	22
Figura 21. Rotor de 8 palas.....	23
Figura 22. Acople del tornamesa a la torre y anclaje de la torre en el terreno.....	24
Figura 23. Templador de la torre para estabilidad.....	24
Figura 24. Aplicaciones del aerogenerador.....	25
Figura 25. Aerogenerador de corriente continua y sus aplicaciones	26
Figura 26. Rotor de 3 palas modificado	27
Figura 27. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 1.....	28
Figura 28. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 2.....	28
Figura 29. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 3.....	29
Figura 30. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 4.....	29
Figura 31. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 5.....	30
Figura 32. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 6.....	30
Figura 33. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 7.....	31
Figura 34. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 8.....	31
Figura 35. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 9.....	32
Figura 36. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 10.....	32
Figura 37. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 11.....	33
Figura 38. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 12.....	33
Figura 39. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 13.....	34
Figura 40. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 14.....	34
Figura 41. Potencia versus diámetro de un aerogenerador	38
Figura 42. Extracción de energía eólica	40

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO 1. FORMATOS DE EVALUACIÓN PARA EL RENDIMIENTO DEL AEROGENERADOR.....	51
ANEXO 2. FOTOS DEL DESARROLLO DE LA INEVSTIGACIÓN.....	66
ANEXO 3. PLANOS DEL AEROGENERADOR.....	70

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo determinar el rendimiento de un aerogenerador con alternador de automóvil para generar electricidad y atender la demanda mínima de una vivienda en zonas aisladas de la red de abastecimiento de energía eléctrica. Esta iniciativa surgió con el propósito de aprovechar el recurso eólico de la localidad, considerando el potencial energético que posee la Región Amazonas y las innumerables posibilidades de aplicación. El tornamesa del aerogenerador consistió en una plancha de hierro en la que se empernó dos chumaceras de 1" para facilitar el giro del eje de 1"; en un extremo del eje se fijó el rotor y en el otro extremo una polea de 20", en este mismo lado del tornamesa se colocó la veleta para que oriente el rotor siempre a barlovento. En la base inferior de la plancha se soldó un tubo de 2" que sirvió como guía eje del tornamesa, cuyos toques impedían que gire más de 360°. La polea de 20" se conectó con faja a la polea de 2,5" del alternador de automóvil fijado con un perno al tubo guía del tornamesa, este sistema funcionó como multiplicador de velocidad en la relación de 1 a 8. El tornamesa se empernó en el tope de una columna de tubos de hierro de ½" y de 6 m de altura para aprovechar mejor el viento. Inicialmente se evaluó un rotor de tres palas con el perfil NACA 4412, pero no fue capaz de aprovechar el viento y no podía hacer que el alternador de automóvil genere electricidad, por lo que a cada aspa se le atornilló canales de 1 m de largo con arco de 90° hechos de tubo de PVC de 6"; a pesar de ello, las rpm del rotor siguieron siendo insuficientes para el funcionamiento del alternador. Se hizo un rotor de 6 palas de tubo de PVC de 6" con un nuevo diseño de pala, con el que se incrementó las rpm pero no suficientes para generar electricidad. Un rotor de 8 palas, tomando como base un ventilador de radiador de tractor, cuyas palas se alargaron con canales de tubo de PVC de 8" de 1 m de largo y con arco de 90°; este rotor tuvo un diámetro de 2,8 m con el que se logró que el alternador genere en promedio 12 voltios y 1 amperio, con lo que se cargó una batería de 12 V que abasteció a dos focos LED de 12 V x 3 W y un receptor de radio de 12 V x 1,5 W, durante un tiempo promedio de 5,5 horas. El aerogenerador evaluado tuvo un rotor de 8 palas, con un área de 6,16 m² y cuando la velocidad del viento fue de 5,5 m/s se obtuvo una potencia de 627,73 W.

Palabras claves: aerogenerador con alternador, multiplicador de velocidad.

ABSTRACT

The present research aimed to determine the performance of a wind turbine with automobile alternator to generate electricity and meet the minimum demand of housing in off-grid power supply areas. This initiative was created in order to take advantage of the wind resource of the town, considering the potential energy has the Amazon Region and countless application possibilities. The wind turbine turntable consisted of an iron plate in which two bearings bolted 1" to facilitate rotation of the shaft 1", at one end of the shaft is fixed the rotor and the other end pulley 20", in this side of the turntable vane to orient the rotor always placed upwind. In the lower base of the iron plate an iron pipe 2" which served as a guide axis turntable, which stops prevented over 360° turn was welded. The pulley 20" belt connected with the automobile alternator pulley 2,5" with a bolt attached to the guide tube turntable, this system worked like overdrive in the ratio of 1 to 8. The turntable is bolted on top of a column of iron tubes of ½ " and 6 m in height to get more wind. Initially, a three-bladed rotor was evaluated with the NACA 4412 profile, but was not able to harness the wind and could not make the automobile alternator to generate electricity, so that each blade is screwed channels 1 m long with 90° arc made of PVC pipe 6", despite this, the rotor rpm remained insufficient for the alternator. An rotor with six blades PVC pipe 6" with a new blade design, with the rpm was increased but not enough to generate electricity is made. A rotor with eight blade, based on a tractor radiator fan, whose blades elongated channels PVC pipe 8" and 1 m with 90° arc, the rotor has a diameter of 2,8 m was achieved with the alternator generates on average 12 volts and 1 amp, with a 12 V battery that supplied two LED bulbs 12 V x 3 W and a radio receiver 12 V x 1,5 W, for an average of 5,5 hours. The evaluated turbine had a bladed rotor 8, with an area of 6,16 m², and when the wind speed was 5,5 m/s, the power obtained was 627,73 W.

Keywords: wind turbine alternator, overdrive.

I. INTRODUCCIÓN

Las fuentes de energía primaria disponibles para uso, frecuentemente se clasifican como renovables o no renovables. Sin embargo, también se pueden dividir de acuerdo con la descripción propuesta por Putnam (1953), quien utilizó las frases “ingreso energético” y “capital energético”. El ingreso energético, o recursos energéticos renovables, comprende aquellos bienes que se renuevan continuamente a causa de la presencia de fuerzas físicas como marea, viento, agua que cae, gradientes térmicos en el océano, calor geotérmico, aportación solar directa, o la generación de materia vegetal y animal.

El capital energético, recursos energéticos no renovables, se refiere principalmente a combustibles fósiles depositados en la tierra hace cientos de millones de años, o a minerales radioactivos que estaban presentes cuando el planeta se formó. Cuando estos materiales se explotan, el capital energético se reduce. En la actualidad, los combustibles fósiles se están reponiendo en la naturaleza tan despacio en la escala del desarrollo humano que resulta insignificante. Por tanto, en un sentido práctico el petróleo, el gas natural y el carbón se pueden considerar como no renovables. Los combustibles radioactivos uranio y torón, tampoco se están reponiendo. De hecho, en un largo periodo, de miles de millones de años, se están transformando en elementos estables por procesos de desintegración radiactiva (Henry y Heinke, 1999).

Las energías renovables se han convertido en una de las mejores opciones para el suministro complementario en países desarrollados y se está iniciando su uso en países en vías de desarrollo. Acorde a los recursos del país, una de las mejores alternativas es el uso de la energía eólica, siendo esta de especial interés por el gran potencial actual y a futuro, las ventajas de producir energía eólica son muchas, algunas de las cuales pueden ser: que es un tipo de energía renovable, la producción de la energía es limpia, que retrasa el agotamiento de los combustibles fósiles, que puede instalarse en lugares donde se requiera (Hernández, 2010).

La energía eólica es una consecuencia de la energía solar. El sol crea un calentamiento diferencial de masas de aire, ya sea por diferencias en relieve o en el terreno. Las diferencias térmicas y los desequilibrios de temperatura provocan cambios de densidad en las masas de aire que se traducen en variaciones de presión. Durante el día, el sol calienta el aire sobre tierra firme, más que el que está sobre el mar. El aire continental se

expande y eleva, disminuyendo así la presión sobre el terreno, provocando que el viento sople desde el mar hacia las costas. La rotación terrestre, la diferencia de temperatura y la presión atmosférica tienen influencia en la dirección del viento. Se puede comparar la tierra a una inmensa máquina térmica en la que el fluido activo, la atmósfera, circula entre las zonas frías y calientes (Campos, 1996; Oliveros, 2002).

La velocidad del viento se mide en nudos, millas por hora o metros por segundo. Muchas estaciones meteorológicas reportan este parámetro a tres horas del día (observaciones sinópticas) a las 7, 13 y 20 horas y toman el promedio del viento a estas tres horas como representativo del día. Este valor no es muy preciso y para efectos de la utilización del recurso, es preferible trabajar con promedios horarios (Oliveros, 2002).

El Perú se caracteriza por poseer un potencial energético eólico distribuido a lo largo de sus subregiones andinas y costeras rurales. Contrariamente, también es característico de estas zonas la baja densidad poblacional y su alta dispersión interhabitacional, lo cual favorece a una aislada y precaria condición socioeconómica. El aprovechamiento eléctrico de esta energía limpia e inagotable, en la actualidad es prácticamente testimonial. Para este escenario, la oferta energética de los sistemas eléctricos interconectados o grandes aislados (de origen mercantilista privado) no pueden llegar, debido fundamentalmente a los altos costos del servicio que demanda y al bajo poder adquisitivo del habitante. En consecuencia, la forma estratégica en que se debe aplicar la aerogeneración en el Perú es mediante pequeños aerogeneradores para solución socioeconómica de lugares dispersos y aislados; o parques eólicos con unidades normalizadas en el mercado, como sistemas competitivos técnica y económicamente rentables, integrados al sistema eléctrico interconectado nacional (González, 2012).

La energía eólica tiene los siguientes beneficios:

- Genera electricidad barata.
- Accesible en ubicaciones remotas.
- Más tranquilo que un generador diesel.
- Energía no contaminante.
- No genera CO₂.
- El usuario controla su propio suministro de energía.

El aerogenerador es un conjunto de componentes dispuestos de una determinada manera para extraer la máxima energía posible del viento y transformarla en energía útil. En la mayor parte de los casos prácticos, esta energía útil es eléctrica (Figura 1). A continuación se describen los componentes del aerogenerador.

Rotor. Conjunto de palas, cuyo extremo se fija en un disco central llamado cubo. Sirve para transformar la energía cinética del viento, en energía mecánica, en el eje del rotor.

Veleta y tornamesa. Dispositivo que permite al rotor colocarse siempre frente al viento.

Torre. Estructura metálica que permite ubicar al rotor a una altura adecuada, generalmente a 6 m del suelo, donde puede recibir viento con mayor velocidad.

Generador eléctrico. Es el dispositivo que convierte la energía mecánica del eje del rotor, en energía eléctrica.

Transmisión de electricidad. La transferencia de corriente eléctrica es a lo largo de cables que van del generador a un regulador o controlador eléctrico.

Regulador. Emplea la energía que obtiene del aerogenerador para cargar baterías y emplear esa energía en el consumo eléctrico del usuario. Mientras las baterías estén descargadas y las condiciones climatológicas lo permitan, el regulador dirigirá la energía a las baterías o acumuladores. En el momento en el que las baterías estén cargadas al valor pre programado, el regulador hará que el aerogenerador se frene, evitando sobrecargar las baterías.

Batería. Dispositivo que almacena la energía eléctrica generada con el viento, para ser utilizada en los momentos en que baja la intensidad del viento o se detiene.

Inversor. Convierte la energía eléctrica alterna, en continua de 220 voltios, para ser usada en el funcionamiento de focos ahorradores o electrodomésticos en la vivienda.

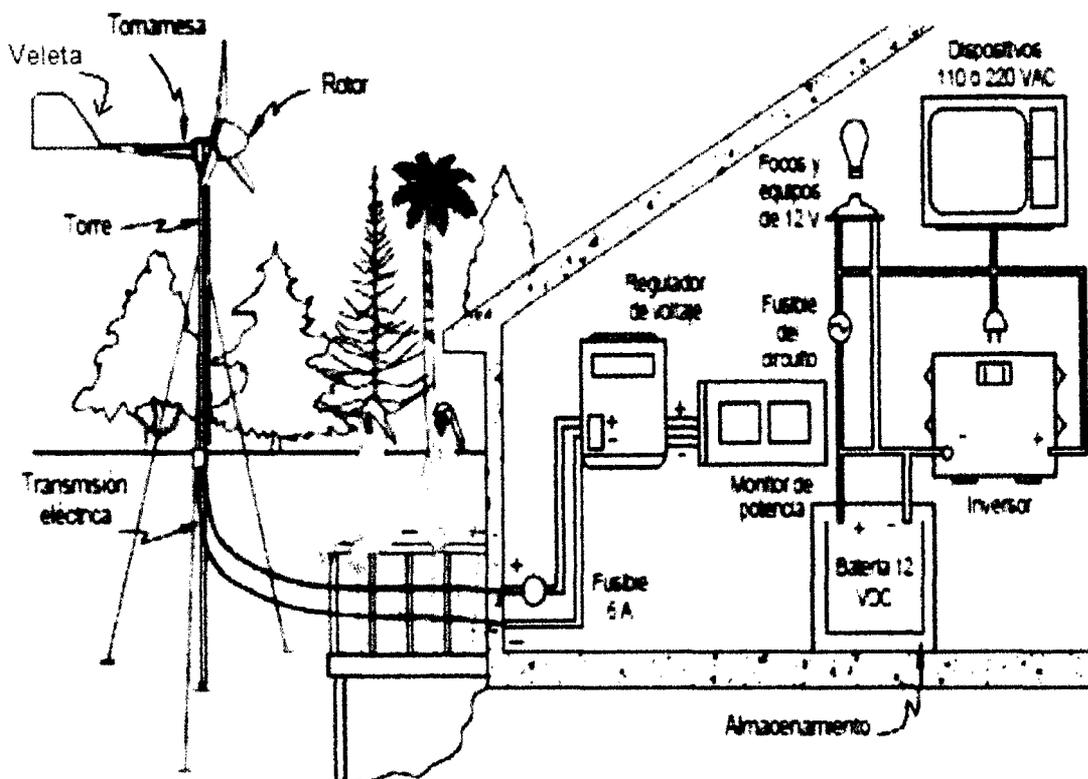


Figura 1. Componentes de un sistema de aerogeneración de electricidad.

Perú es uno de los países latinoamericanos de menor electrificación: Alrededor de 7 millones de peruanos, 25 % de toda la población, todavía no tienen electricidad en su casa. La mayoría vive en zonas rurales, muchas veces muy apartado de redes eléctricas existentes y en forma muy dispersa. Desde hace varios años existen programas agresivos de electrificación rural vía extensión de la red eléctrica. El costo de conectar una familia rural a la red eléctrica supera en muchos casos los US\$ 1800 (Horn, 2009).

Para muchas regiones la única forma de suministrarles electricidad en forma económicamente viable es por generación local en base a energías renovables, preferiblemente de energía hidráulica o eólica, si existen estos recursos localmente.

El costo anual de un equipo pequeño para suministrar con energía eléctrica una vivienda rural debe ser menor que el gasto que un campesino sin electricidad hace anualmente para iluminación (velas, etc.) y telecomunicación (pilas para radio, baterías y su recarga para televisor, etc.).

Si bien la normativa actual conduce a un gran avance energético expansivo de nuestro país utilizando las energías renovables, la eficiencia energética y la protección del medio ambiente; todavía quedan grandes acciones por desarrollar dentro de la política energética espacial y temporal, atendiendo a aquellos lugares remotos. El D.L. 1002 (01 de mayo de 2008), promueve la inversión para la generación de electricidad con el uso de energías renovables. Escala de generación en alta potencia, minihidráulica, solar, eólica y biomásica. La Ley 28749, Ley General de Electrificación Rural, promueve el desarrollo eficiente y sostenible de la electrificación de zonas rurales, localidades aisladas y de frontera del país, siempre que califiquen.

Las tecnologías limpias satisfacen las necesidades humanas de producción o servicios a la par que prevén no afectar el medio ambiente, de una manera simple, genérica y replicable en cualquier proceso de cierta similitud. Esto conlleva a asumir la prevención no solo como un costo para las empresas, sino como generadora de beneficios sociales para la comunidad que las rodea. En el marco de las tecnologías limpias, el desarrollo de las energías renovables en los pequeños y en los grandes sistemas puede contribuir enormemente a solucionar el problema del calentamiento global (Oliveros, 2002).

1.1. Clasificación de los aerogeneradores

Los aerogeneradores se pueden clasificar de dos maneras: a) con respecto al tipo de eje, son de eje horizontal o de eje vertical; b) según su aplicación, son de baja, mediana y gran potencia.

1.1.1. Según el tipo de eje del aerogenerador

Los de **eje horizontal** o paralelo a la dirección del viento, son los más habituales y en ellos se ha centrado el mayor esfuerzo de diseño en los últimos años. Se les denomina de eje horizontal o también llamados “HAWTs”, que corresponde a las siglas de “Horizontal Axis Wind Turbines”, y dentro de estos se tiene con el rotor al frente (posición a barlovento, Figura 4), que es una de las más usadas en los distintos tamaños de los aerogeneradores, o colocado posterior al eje (posición sotavento) que es menos usada.

Los de eje vertical, se clasifican en rotores por resistencia o por sustentación. En el primero la fuerza motriz que se utiliza para generar potencia en el aerogenerador, tiene la dirección del viento y en el segundo esta fuerza motriz es perpendicular a la dirección del viento. En este último grupo destacan dos diseños, el rotor tipo Savonius (Figura 2), que tiene una sección recta en forma de S y la acción del viento sobre ella genera un par de fuerzas resultantes; y el rotor tipo Darrieux (Figura 3), el cual está compuesto por varias palas verticales unidas a una sección recta que es el eje vertical.

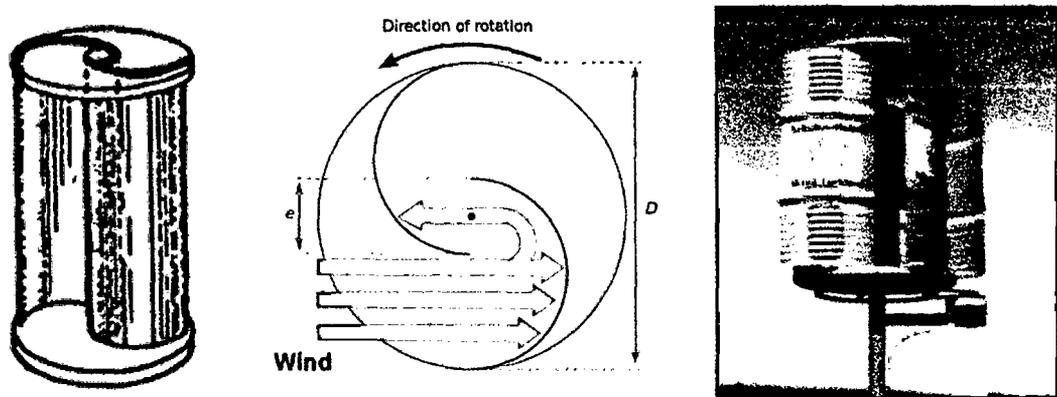


Figura 2. Aerogenerador con rotor tipo Savonius.

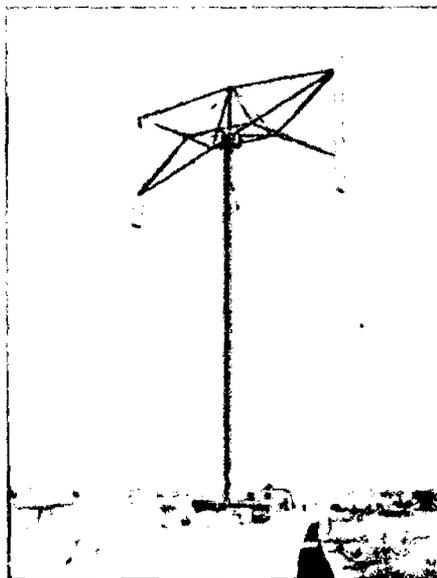


Figura 3. Aerogenerador con rotor tipo Darrieux H (35 m de diámetro, 300 kW), de eje vertical.

1.1.2. Según la aplicación del aerogenerador

Los aerogeneradores de baja potencia son capaces de suministrar una potencia inferior a los 100 kW, los de media potencia suministran algunos cientos de kW y los de gran potencia son capaces de suministrar el rango unitario del megavatio.

En la Figura 4, se observa la distribución en las palas de la fuerza de sustentación y de resistencia que son representadas en un perfil aerodinámico, sujeto a la carga del viento. En el cual el flujo crea un gradiente de presiones entre ambas superficies, de las cuales se obtiene una fuerza resultante (F) de las fuerzas concentradas antes mencionadas.

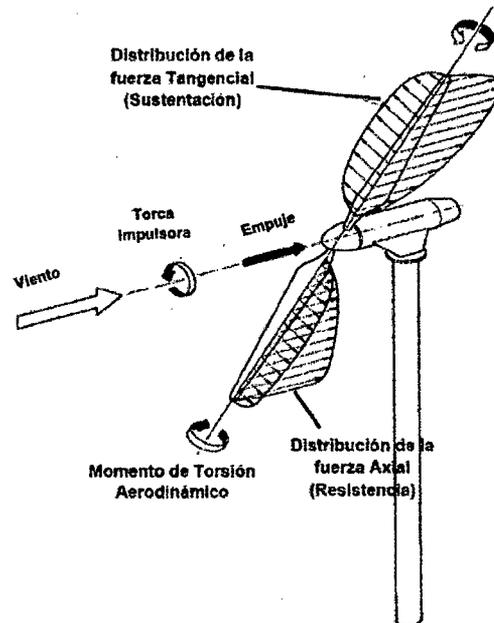


Figura 4. Fuerzas que se presentan en las palas.

1.1.2.1. Aerogeneradores de baja potencia

Este tipo de aerogeneradores son pequeños y generalmente son instalados en lugares aislados donde no se tiene alimentación de la red eléctrica. Estos se combinan con bancos de baterías para poder almacenar la electricidad y de esta manera poderla utilizar cuando

sea requerida; estos sistemas se ofrecen en la actualidad con capacidad unitaria de 500 W a 100 kW.

En la Figura 5, se aprecia un aerogenerador de baja potencia que tiene una capacidad de 5 kW. Además de utilizar este tipo de aerogeneradores para la acumulación de la energía eléctrica en baterías, también se pueden utilizar para sistemas en bombeo de agua, en lugares remotos donde la red eléctrica es difícil de implementar. Se pueden construir parques eólicos para suministro de energía, como puede ser en comunidades rurales y ciudades pequeñas. Estos sistemas (aerogeneradores de baja potencia) están constituidos por un menor número de elementos que los encontrados en un aerogenerador de gran potencia, es decir, solo los elementos esenciales para el correcto funcionamiento del aerogenerador. El número de elementos puede aumentar o disminuir en base al tamaño y potencia deseada, así como la inversión a realizar.

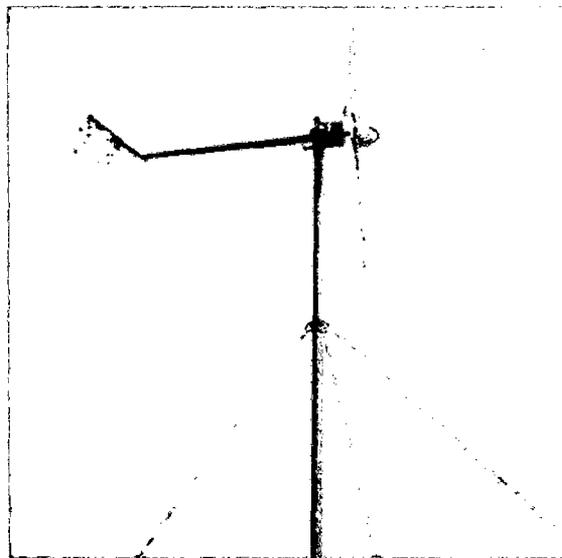


Figura 5. Turbina de baja potencia (6,5 m de diámetro, 5 kW)

1.1.2.1.1. Aerogenerador de imanes permanentes

El generador eléctrico utiliza imanes permanentes de alta potencia tipo NdFeB con un estator sumamente eficiente,

que garantiza un buen desempeño con vientos bajos (Manual Aerogenerador Bornay 600).

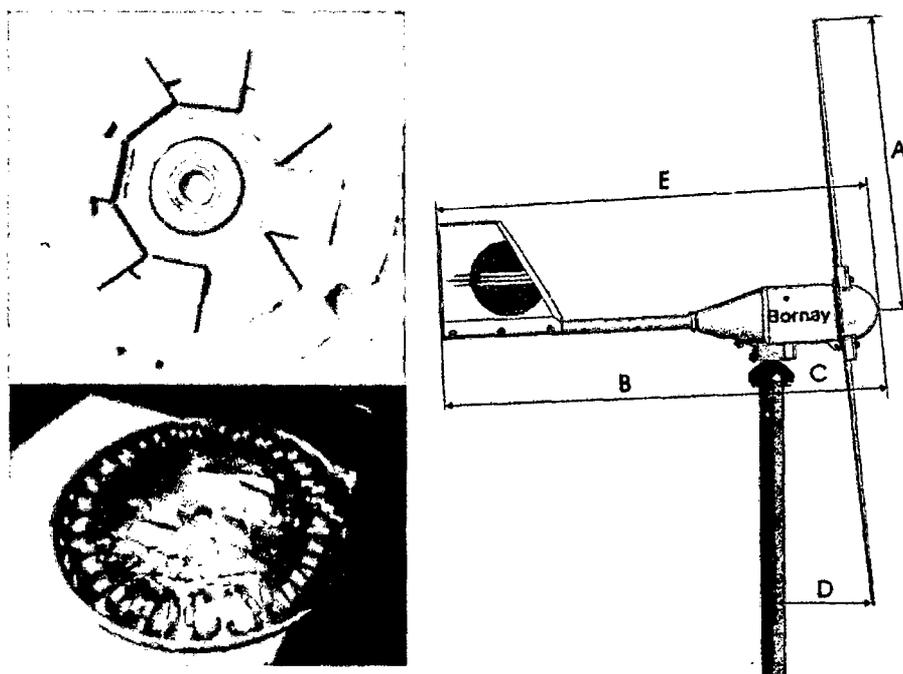


Figura 6. Aerogenerador de imanes permanentes.

El empleo de imanes permanentes permite lograr la generación de energía desde bajas velocidades de giro, como se muestra en la Figura 6, permitiendo así un acoplamiento directo a una turbina generador (Chiroque *et al.*, 2008).

El rotor está compuesto por un conjunto de imanes permanentes de alta calidad, distribuidos geoméricamente alrededor de dos discos de hierro y colocados de forma paralela entre sí, cuyos apoyos son dos rodamientos, uno en cada placa. El estator es la parte donde se encuentran las bobinas, las cuales están totalmente cubiertas de resina. Estas bobinas son dimensionadas adecuadamente para la potencia de la máquina. El estator consta de un eje hueco por donde salen los cables al exterior. La generación de corriente alterna (AC) trifásica es luego transformada a

corriente continua (DC) a través de diodos rectificadores, con el fin de lograr un mejor aprovechamiento de la energía producida por el aerogenerador para ser almacenada en baterías (Chiroque *et al.*, 2008).

1.1.2.1.2. Aerogenerador con alternador de automóvil

El eje principal (horizontal) está asegurado con dos rodamientos en chumaceras; en la parte delantera está unido al rotor con palas, las que empujadas por el viento generan un movimiento rotativo en sentido antihorario, como se muestra en la Figura 7; en la parte posterior tiene una polea que transmite (con faja trapezoidal) la rotación al eje del alternador de automóvil a una mayor velocidad (funciona como multiplicador de velocidad). Todo el conjunto, más la veleta, van montados en una platina que, acoplada en su centro al eje vertical (tornamesa), le permite orientarse en dirección al viento (<http://www.tecverde.mex.tl>).

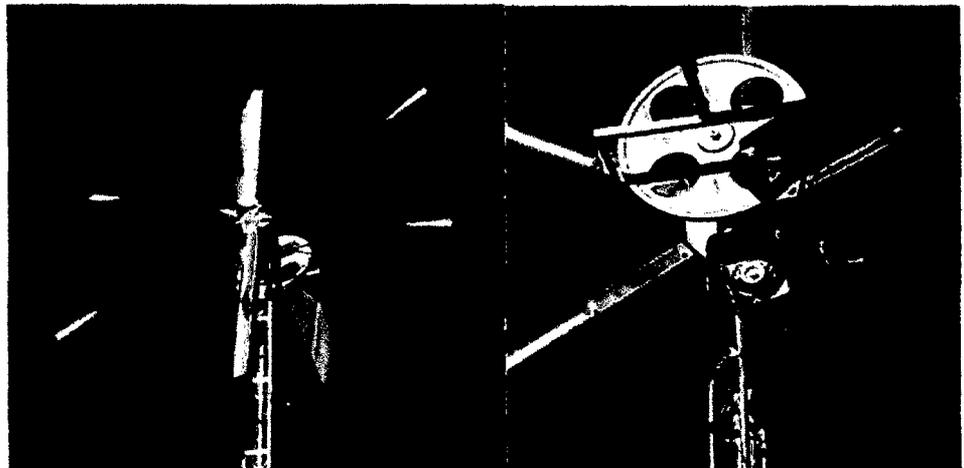


Figura 7. Aerogenerador con alternador de automóvil.

Este aerogenerador producirá corriente eléctrica continua para cargar una batería de 12 voltios, la que alimentará a los focos de

12 voltios para iluminación de la vivienda y funcionamiento de un receptor de radio portátil.

1.1.2.2. Aerogeneradores de mediana potencia

La potencia que pueden generar esta alrededor de 100 kW en adelante y cercano a los 1000 kW. En este caso, como la generación es mayor se pueden conectar a la red eléctrica principal o también se puede utilizar junto con un motor diesel, para la iluminación eléctrica de una red local. Normalmente, estas turbinas eólicas son de eje horizontal tipo Danés, estos aerogeneradores poseen cualidades de los de baja potencia y gran potencia, ya que pueden generar potencias eléctricas relativamente grandes con tamaño contenido, sin embargo, dichos aerogeneradores pueden llegar a tener costos cercanos a los de gran potencia.

1.1.2.3. Aerogeneradores de gran potencia

Los aerogeneradores de gran potencia pueden generar entre 800 kW y 7500 kW, como se muestra en la Figura 8. Debido a la gran capacidad de generación eléctrica de estos aerogeneradores, se conectan a la red de distribución principal sin ningún problema. Aunque en la actualidad existen varios prototipos de aerogeneradores de gran potencia, el que hasta hoy en día tiene más desarrollo tecnológico es el de eje horizontal; los grandes parques eólicos están constituidos principalmente de este tipo de aerogeneradores de gran potencia.

Los aerogeneradores de eje vertical, tienen su eje principal perpendicular al suelo, con la ventaja fundamental de que captan el viento en cualquier dirección, por lo que no necesitan control de orientación. El enlace con los multiplicadores y generadores se realiza en el suelo, lo que supone una mayor sencillez, por lo tanto, tienen una reducción de costos en el montaje en comparación con los aerogeneradores de eje horizontal de dimensiones aproximadas.

Sin embargo poseen una eficiencia más baja en comparación con los aerogeneradores tipo HAWT.

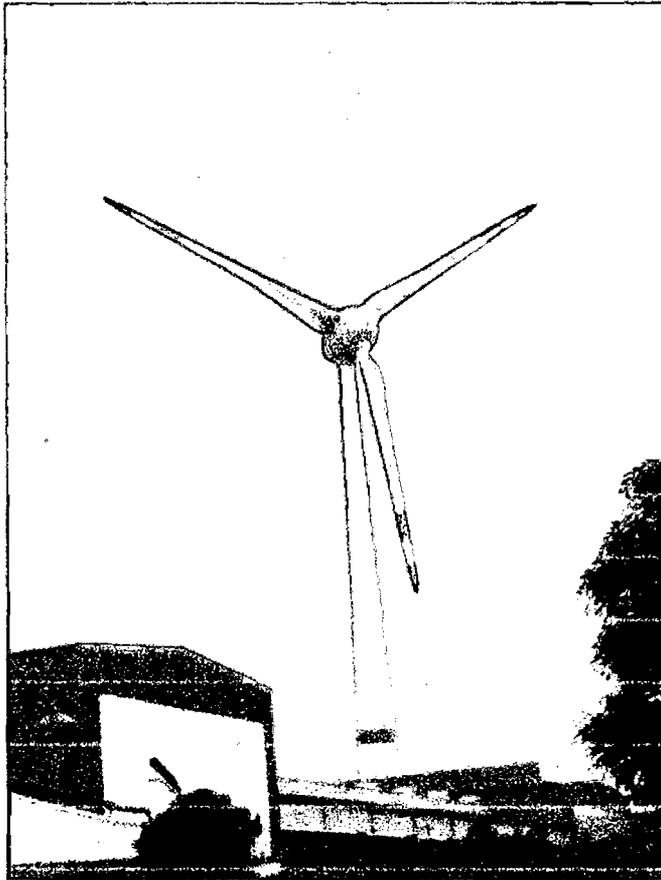


Figura 8. Aerogenerador de 7,5 MW, cada pala de 60 m de largo, con eje a 138 m de altura, de la empresa ENERCON. Magdeburgo, Alemania.

En la Figura 9, se puede ver una comparación de rendimientos de varios tipos de aerogeneradores de eje vertical y horizontal. Se observa que los de eje horizontal (bipala y tripala) poseen mayores rendimientos en comparación con los demás, incluso que los de eje horizontal multipala. Como se ha comentado antes, se puede también observar que los aerogeneradores de eje vertical como el rotor Savonius o el rotor Darrieux poseen los rendimientos más bajos del grupo.

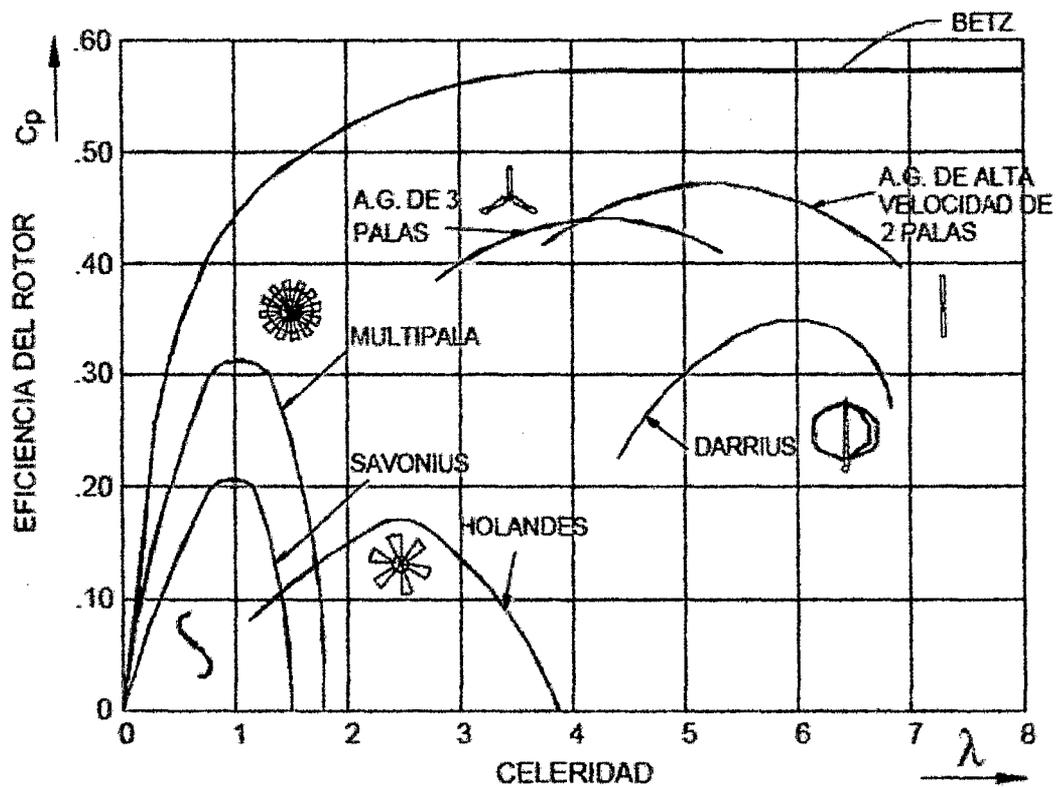


Figura 9. Curvas de comportamiento típicas de diversas máquinas eólicas.
 Fuente: Usos de la energía eólica para generar energía en bajas potencias, (EDEVVI) 2004.

Con la información de la Figura 10 y en base a un aerogenerador que produzca 500 W, se podrá hacer funcionar a la vez en un hogar los siguientes artefactos: cinco focos ahorradores de 20 W cada uno, una radiograbadora de 30 W, un televisor de 20" de 100 W y un DVD de 20 W. De acuerdo a los datos de la Figura 10 se puede hacer funcionar un equipo solo o una combinación de ellos, de manera que no se pase la potencia generada.

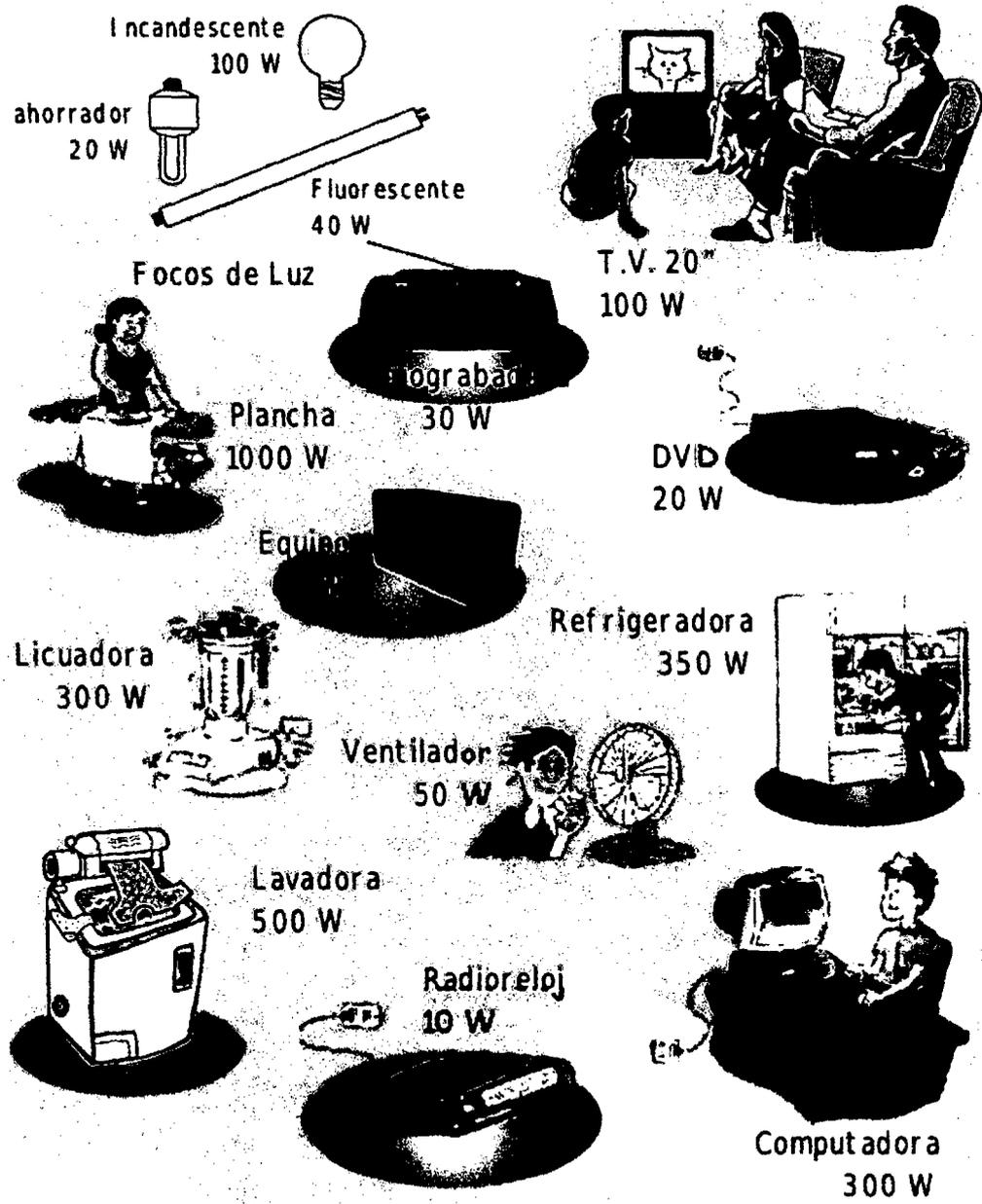


Figura 10. Potencia de los artefactos y equipos eléctricos más utilizados en el hogar. Fuente: Guía para calcular el consumo eléctrico doméstico. OSINERG.

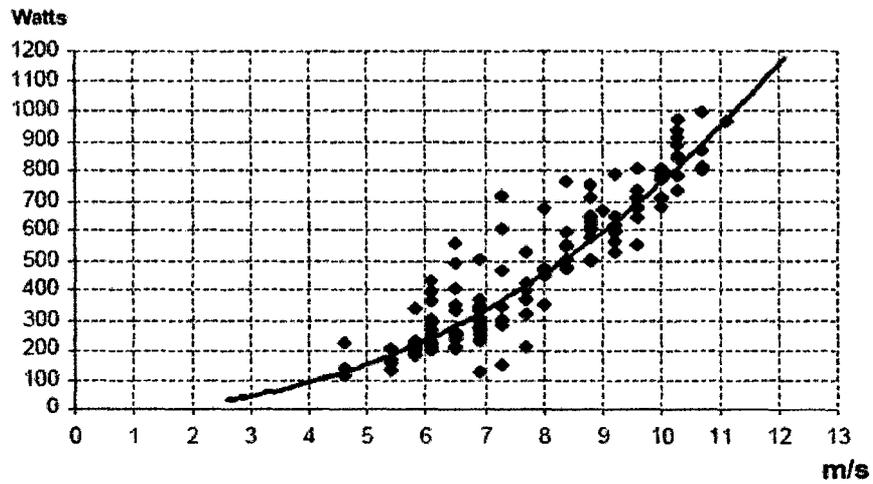


Figura 11. Potencia generada por un aerogenerador de 1000 W, en función a la velocidad del viento. Fuente: Gonzáles, 2008.

Los aerogeneradores domésticos están en el rango de 100 a 1000 W. La potencia generada está en función de la velocidad del viento en el lugar donde se instale, como se aprecia en la Figura 11. En la Figura 12 se muestra el voltaje y la potencia en función a las rpm del generador.

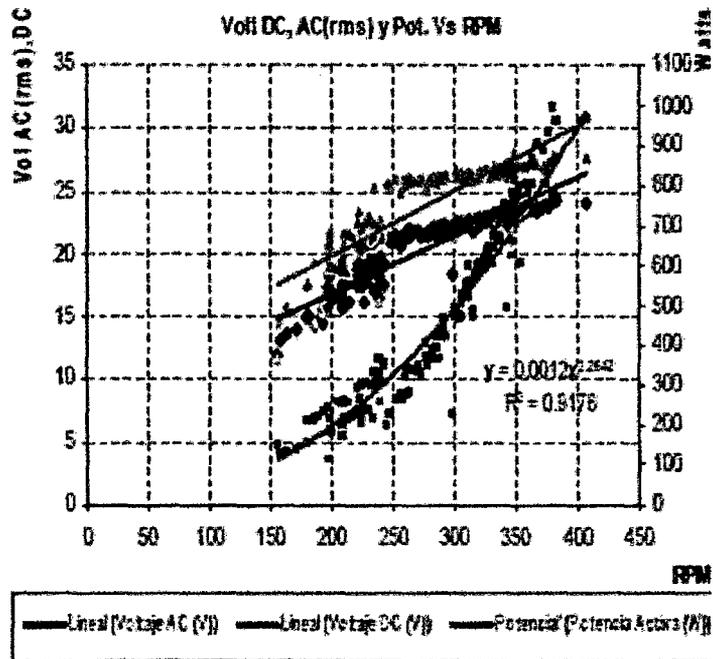


Figura 12. Voltaje de corriente alterna (AC), continua (DC) y potencia generada en función a las rpm del rotor de aerogenerador de 1000W. Fuente: Gonzáles, 2008.

1.2. Selección del sitio de ubicación del aerogenerador

El sitio para la instalación del aerogenerador (Figura 13) debe cumplir las siguientes características (Manual Aerogenerador Bornay 600):

- Instalar el aerogenerador en un lugar donde el viento sople con la mayor velocidad y constancia posibles.
- La velocidad del viento depende en gran medida del terreno sobre el que se mueve el aire; la vegetación, tipo de terreno, construcciones cercanas, etc., frenan el viento y producen turbulencias.
- El lugar idóneo para un aerogenerador, es una zona libre de obstáculos, y lo más alto posible respecto de los obstáculos.

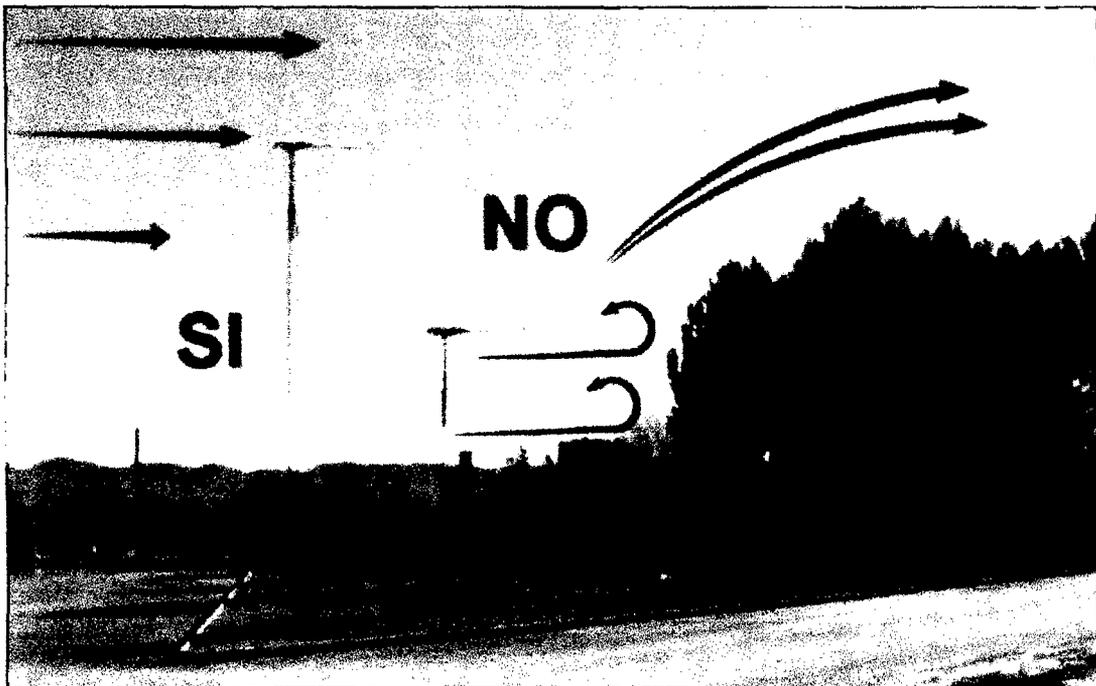


Figura 13. Ubicación adecuada de un aerogenerador. Fuente: Manual Aerogenerador Bornay 600.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

La Figura 9 muestra que el rotor de tres palas para un aerogenerador es el más eficiente para generar energía eléctrica, por lo que inicialmente se construyó un rotor de este tipo según se describe a continuación.

2.1. Aspas para el aerogenerador

Los perfiles más comúnmente utilizados en palas o aspas de aerogeneradores son los mismos que se utilizan en la construcción de las alas de los aviones y palas de helicópteros como los tipos SELIG y NACA, algunos ejemplos de estos últimos pueden verse en la Figura 16. En el presente trabajo de investigación se eligió el perfil NACA 4412 por tener la cara inferior plana lo que facilita su construcción y según Chiroque *et al.* (2008), le da excelentes características de torque y rendimiento.

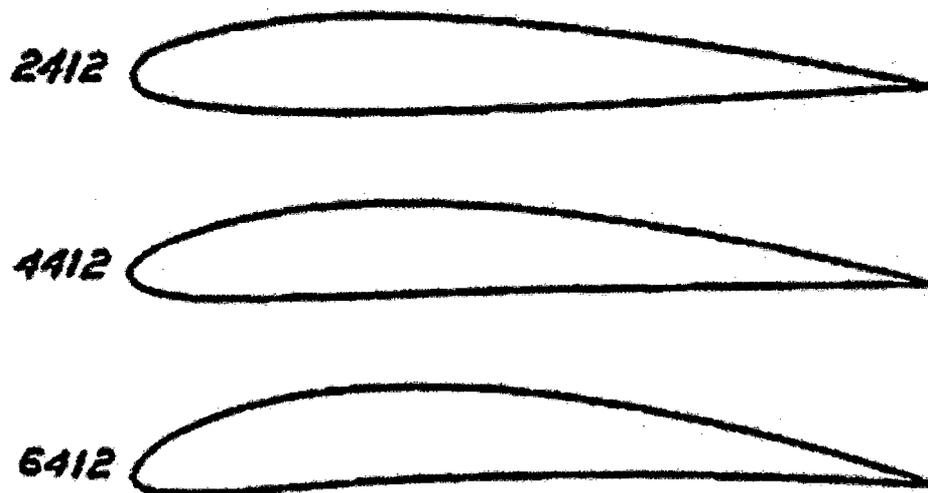


Figura 14. Perfiles NACA más empleados.

Cada una de las tres aspas necesarias se hicieron con madera de cedro de 1,30 m de longitud por 0,15 m de ancho y un espesor de 0,05m. El tallado de las aspas se hizo en un taller de carpintería, siguiendo el perfil NACA 4412. El extremo de cada aspa que se empernará al rotor se cortó en ángulo de 120° para que encajen las tres aspas en forma de engranaje para mejorar su fijación. Las aspas y su perfil se muestran en la Figura 15.

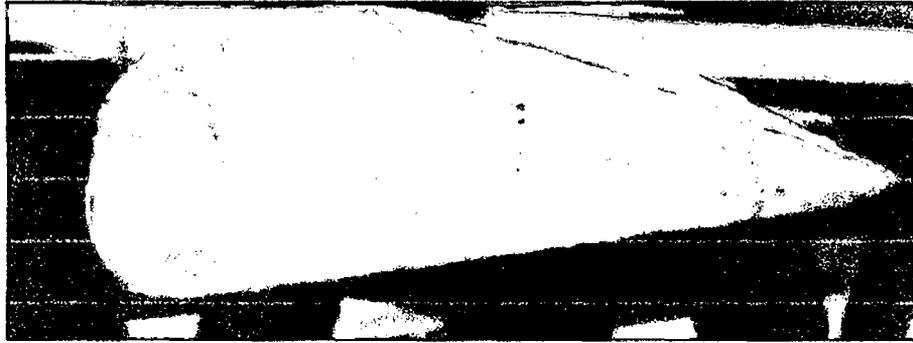


Figura 15. Aspas para el aerogenerador.

2.2. Rotor de 3 palas

Se hizo dos bases de plancha de hierro de $\frac{1}{4}$ " de espesor, en forma de Y con sus ramas separadas un ángulo de 120° , cada rama de 30 cm de largo x 15 cm de ancho. Se colocó una de estas bases abajo y otra sobre las aspas, para fijarlas se empleó dos pernos para cada aspa (Figura 16). El diámetro de este rotor fue de 2,6 m.



Figura 16. Rotor de tres palas.

2.3. Alternador

Se empleó un alternador marca Mitsubishi de automóvil, de 12 voltios, que genera carga para la batería a partir de las 750 revoluciones por minuto (rpm); el que se conectó con una faja de jebe de sección en V o trapezoidal, con la polea de 20" montada en el eje del rotor (Figura 18).

2.4. Tornamesa del aerogenerador

La tornamesa del aerogenerador se hizo de una plancha de fierro 25 cm x 15 cm x $\frac{1}{4}$ " de espesor, en la que fijó con pernos dos chumaceras para soporte del eje de fierro de 1" x 58 cm de largo. En el extremo del eje que dará cara al viento se fijó un disco de fierro de 12 cm de diámetro x $\frac{1}{2}$ " de espesor, con tres perforaciones dispuestas en arreglo de triángulo equilátero, al que se empernará el rotor. En el otro extremo de este eje se fijó con pernos tipo prisionero, una polea de aluminio de 20" de diámetro. En éste mismo lado de la plancha de fierro se soldó un marco de tubo de fierro cuadrado de $\frac{1}{2}$ " en el que se fijó la veleta (Figura 17 y 18).

En el centro de la parte inferior de la plancha del tornamesa se soldó un tubo de fierro de 3" de diámetro x 0,5 m, en cuyo interior se soldó dos rodajes guía para el tubo de fierro de 2" de diámetro x 16 cm de largo, que permitirá girar al tornamesa debido a que la veleta siempre colocará al rotor frente al viento. Este sistema tiene

un tope para evitar que el giro del tornamesa sea mayor a 360° . A 1" del borde inferior del tubo de 3" se soldó un perno de $1/8"$ x 12 cm de largo, para fijar el alternador. En el extremo libre del tubo de 2" se soldó un disco de fierro de 6" de diámetro x $1/4"$ de espesor, con tres orificios en arreglo de triángulo equilátero para empernar la tornamesa a la torre del aerogenerador (Figura 18).

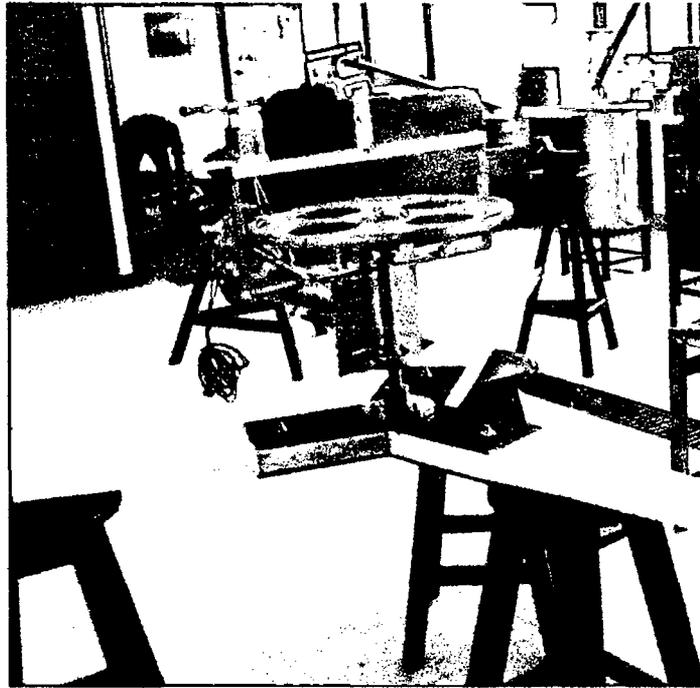


Figura 17. Tornamesa del aerogenerador.



Figura 18. Base del tornamesa del aerogenerador.



Figura 19. Colocación de la veleta del aerogenerador.

2.5. Multiplicador de velocidad

La polea de 20" montada en el eje del rotor del aerogenerador se conectó con una faja de jebe a la polea de 2,5" del alternador (Figura 18). De esta manera, cuando la polea de 20" de una vuelta completa, la polea del alternador dará 8 vueltas ($20/2,5$). Este mecanismo permitirá al aerogenerador un mayor aprovechamiento del viento.

Debido a que el rotor de tres palas no aprovechaba bien el viento y solo conseguía girar unas pocas rpm, se decidió hacer rotores con seis y ocho palas de diseño diferentes, hasta lograr un número alto de rpm que permitan al alternador generar carga eléctrica para la batería.

2.6. Rotor de 6 palas

Cada pala se diseñó con las proporciones mostradas en la Figura 20, de manera que puedan ser empujadas de abajo hacia arriba por el viento y girar en sentido antihorario y en la bajada ofrezcan menos resistencia al viento. Para hacer las palas

se empleó un tubo PVC de 6" para desagüe, cortado longitudinalmente por la mitad; de manera que cada pala tuvo un arco de 180°, una longitud de 1,3 m y 0,36 m de ancho. Para cortar con una amoladora en la forma especificada, se hizo un molde de papel teniendo en cuenta las dimensiones de la Figura 20. Para fijar las seis aspas se hizo un disco de hierro de 0,32 m de diámetro x 1/4" de espesor, en el que se trazó seis líneas separadas 60° sobre las que se soldó platinas de 1" de ancho x 0,40 m de largo x 1/8" de espesor, con dos agujeros equidistantes para empernar las palas. Este rotor tuvo un diámetro de 2,7 m.

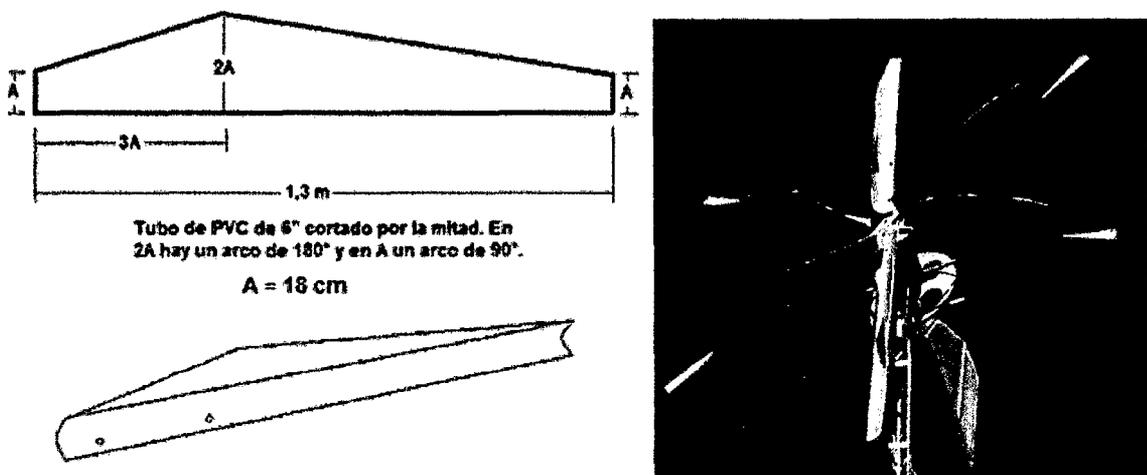


Figura 20. Diseño de la pala y rotor de 6 palas.

2.7. Rotor de 8 palas

Se tomó como base el rotor de un ventilador de tractor, cuyas palas de 32,5 cm de largo x 15 cm de ancho, se prolongaron con palas de 1 m de largo y del mismo ancho, hechas de tubo de PVC de 8" para desagüe. Esas prolongaciones se fijaron con tres pernos en cada pala original, conservando su misma forma, con lo que también se consiguió un giro antihorario del rotor, que finalmente tuvo un diámetro de 2,8 m (Figura 21).

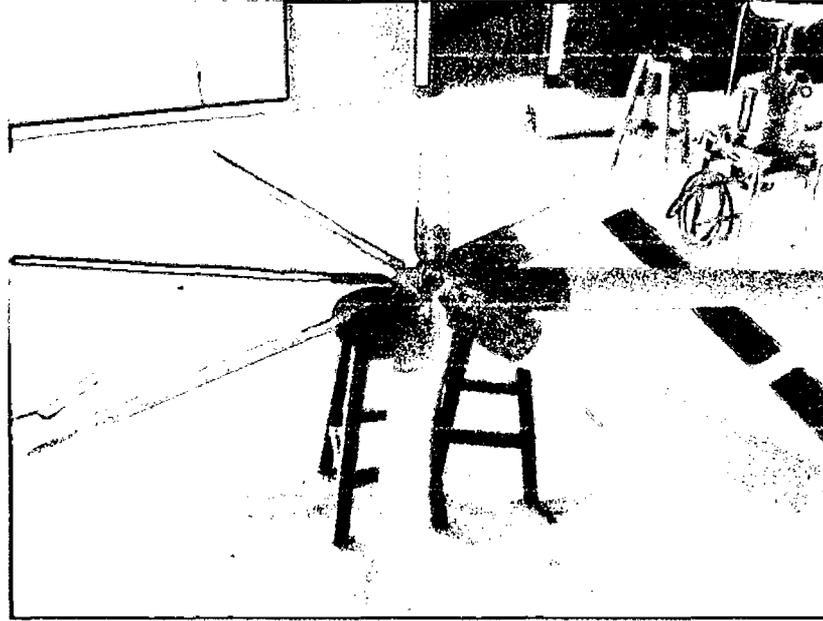


Figura 21. Rotor de 8 palas.

2.8. Torre del aerogenerador

La torre del aerogenerador tiene dos cuerpos de 3 m de largo cada uno, hechos de tubo de fierro galvanizado de $\frac{1}{2}$ " de sección triangular con refuerzos del mismo material. El acople de ambos cuerpos se fijó con seis pernos. En el tope de la torre se soldó un disco de fierro de 6" de diámetro x $\frac{1}{4}$ " de espesor, con tres orificios en arreglo de triángulo equilátero para empernar la tornamesa del aerogenerador (Figura 22). En el pie de la torre se soldó un tubo de fierro de 3" x 1,0 m de largo, con dos orificios de $\frac{1}{4}$ " separados 15 cm entre ellos.

Para soportar la torre en el lugar donde se instaló, se hizo un dado de concreto de 0,90 m x 0,90 m x 1,0 m de profundidad en el que se fijó una estructura reforzada en forma de U de 0,50 m de largo x 3" de abertura, con dos orificios también separados 15 cm entre ellos como en el tubo del pie de la torre.

Se colocó el pie de la torre en la estructura en U anclada en el dado de concreto y se los hizo coincidir en el orificio de más abajo por el que pasó un perno de $\frac{1}{4}$ " que sirvió de eje para parar la torre y el segundo como seguro para mantenerla en posición vertical (Figura 23). Para estabilizar la torre, se le colocó cinco templadores de cable de acero de $\frac{1}{8}$ " que se aseguraron al suelo con estacas de varilla de fierro de $\frac{3}{8}$ " x 1 m de largo, enterradas 0,80 m (Figura 23).

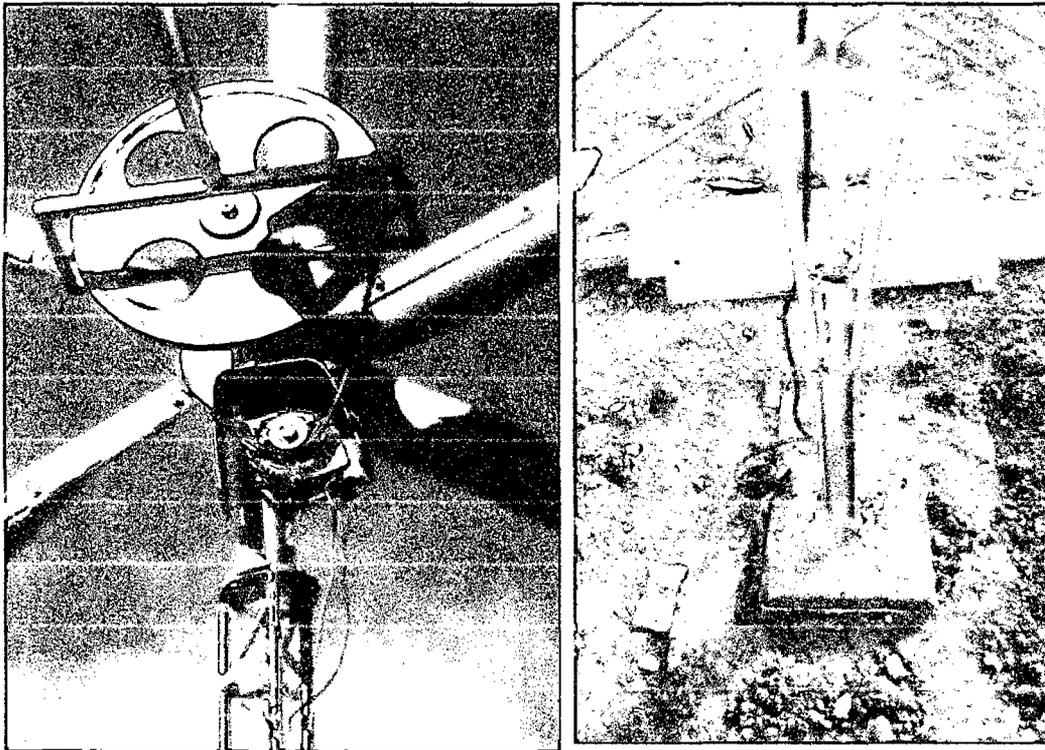


Figura 22. Acople del tornamesa a la torre y anclaje de la torre en el terreno.

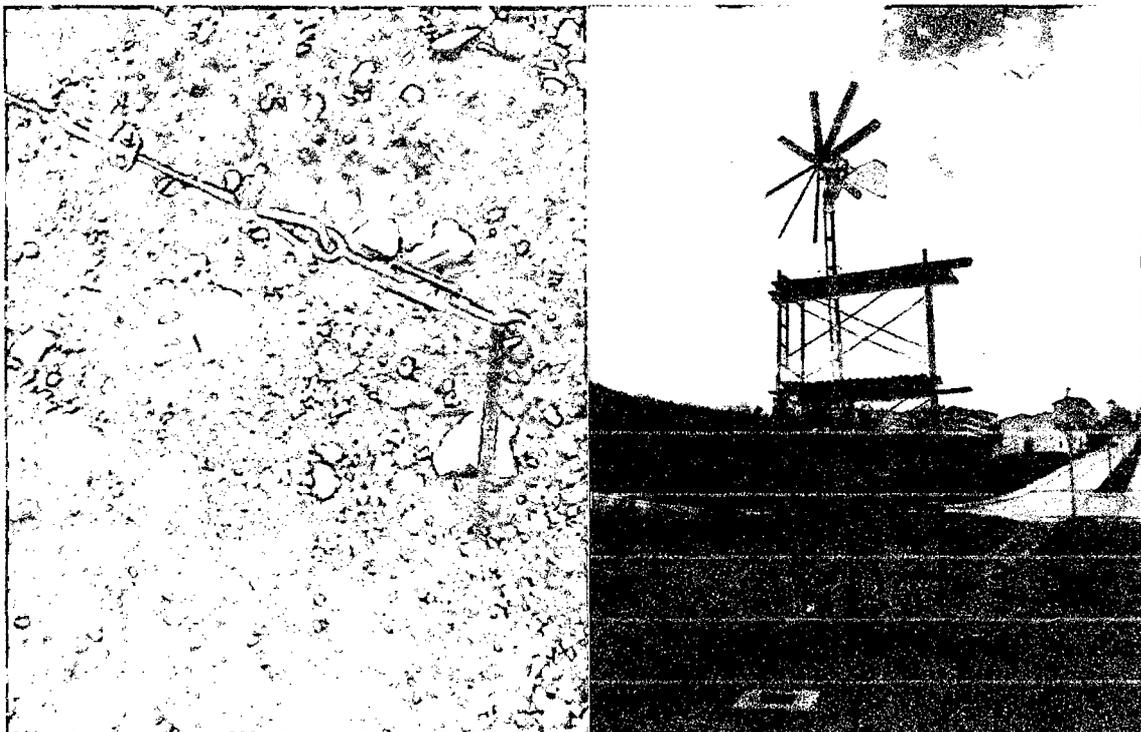


Figura 23. Templador de la torre para estabilidad.

2.9. Sistema de conducción de la electricidad

El sistema eléctrico se hizo con cable de cobre N° 10 desde el alternador hasta los dos bornes de la batería y la lámpara piloto con mica roja (Figura 24-d), la que si estaba encendida indicaba que no llega carga eléctrica a la batería y cuando estaba apagada indicaba que la batería está recibiendo carga del alternador. A una altura de 3 m, en la torre se fijó una tabla con 2 focos de automóvil de luz amarilla de 21W y 2 focos LED de luz blanca de 3W (Figura 24-b), y dos pernos como salidas (+) y (-) para el funcionamiento de un receptor de radio de 3 voltios (Figura 24-d).

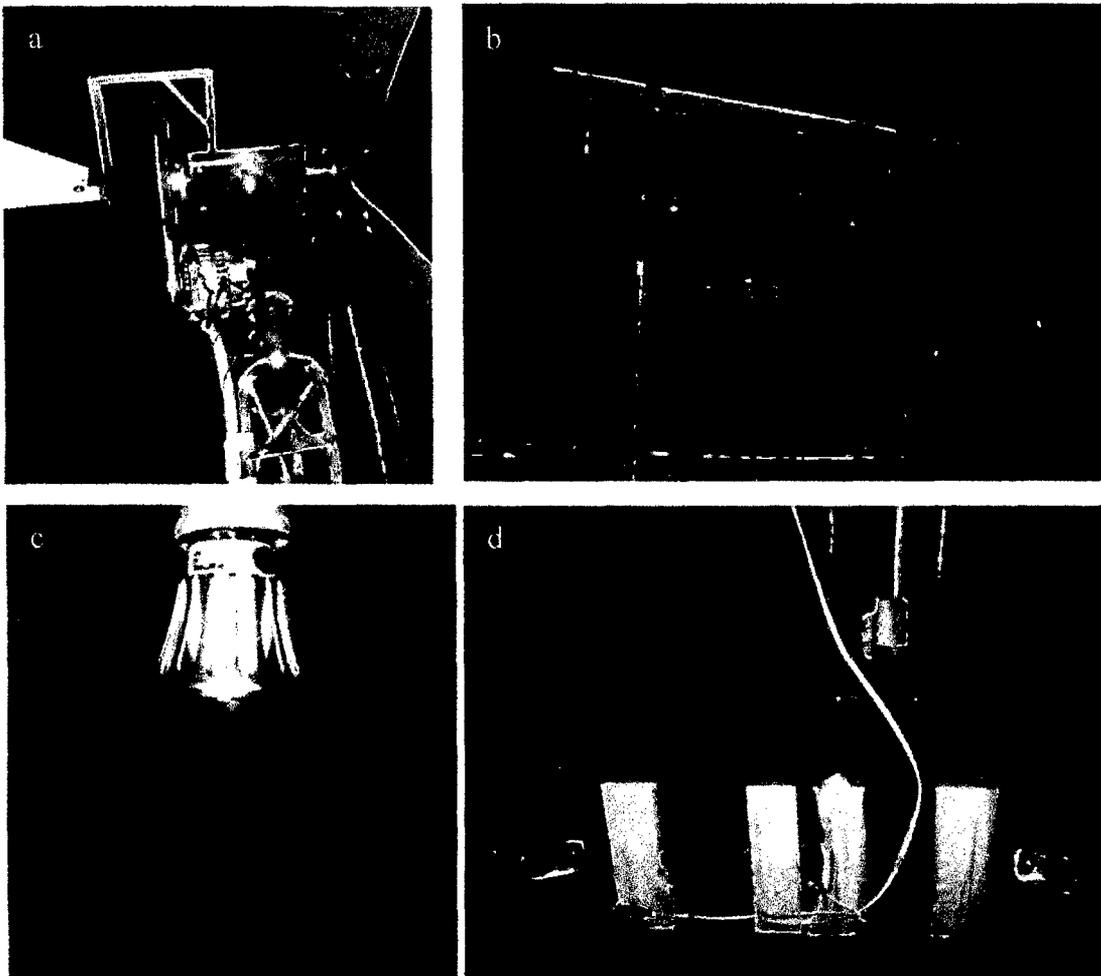


Figura 24. Aplicaciones del aerogenerador.

III. RESULTADOS

En la presente investigación únicamente se aplicó el circuito de corriente continua mostrado en la Figura 25, puesto que no se cuenta con trabajos previos en esta zona del país que demuestren el rendimiento de un aerogenerador con alternador de automóvil.

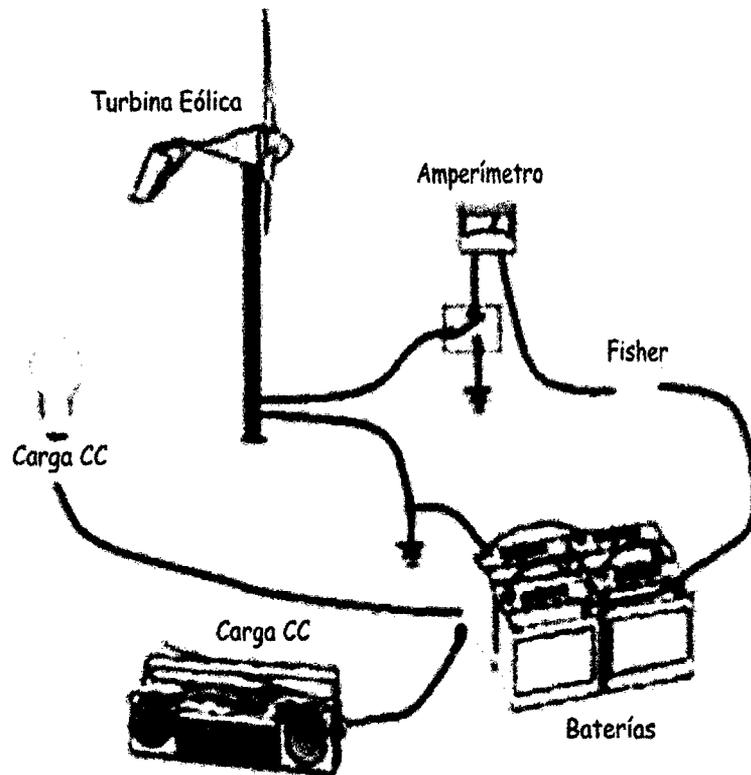


Figura 25. Aerogenerador de corriente continua y sus aplicaciones.

3.1. Rotor con 3 palas

El rotor de tres palas con perfil NACA 4412 no fue capaz de aprovechar el viento. Giraba muy lento y el eje sólo alcanzó 30 rpm, con lo cual no podía hacer que el alternador de automóvil genere electricidad. Era necesario que el rotor de por lo menos 80 rpm para que el alternador gire a 640 rpm (8 veces más) y pueda generar electricidad para cargar la batería.

Para lograr que el rotor capte más viento e incrementar sus rpm, se fijó con tornillos, a lo largo de cada pala un perfil curvo hecho de 1 m de tubo de PVC de

6", cortado a lo largo en cuatro partes (Figura 26). Sin embargo, las rpm del rotor siguieron siendo insuficientes para el funcionamiento del alternador.

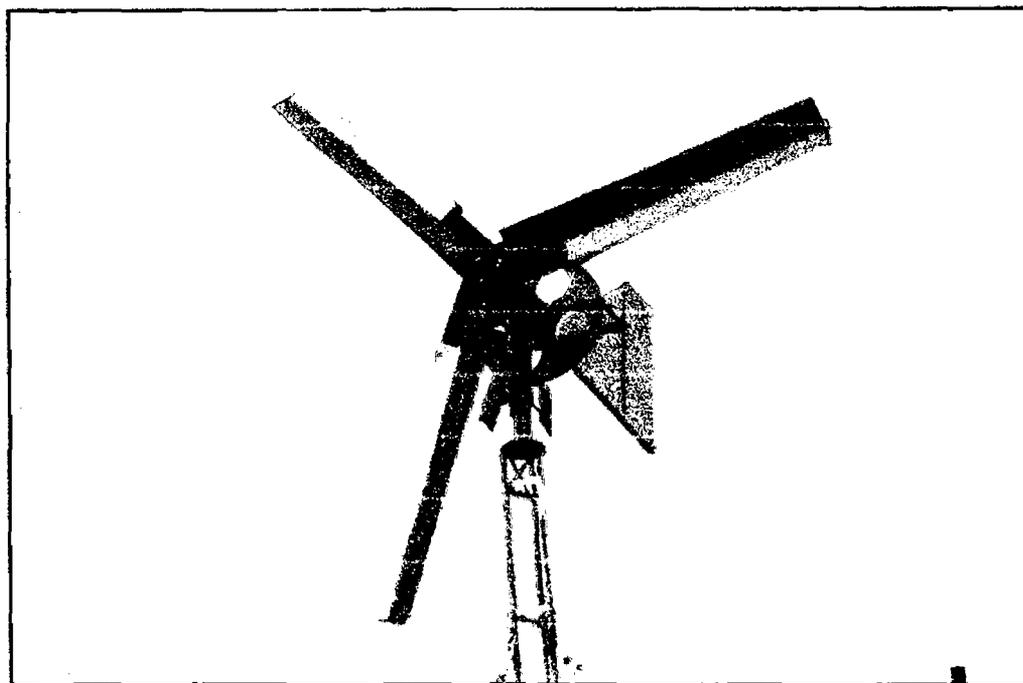


Figura 26. Rotor de 3 palas modificado.

3.2. Rotor con 6 palas

Este rotor aprovechó más el viento que el de 3 palas y permitió que la polea grande gire a 110 rpm, con lo que el alternador giraba a 880 rpm (8 veces más) y generaba electricidad para cargar la batería. Con este resultado, se observó que si el rotor tiene más palas podrá aprovechar el viento de una mejor manera, por lo que se decidió hacer un rotor de 8 palas.

3.3. Rotor con 8 palas

Con este rotor se obtuvieron los mejores resultados, ya que aprovechaba muy bien la intensidad del viento, de manera que la polea grande giraba a un promedio de 130 rpm y el alternador a 1040 rpm, esto permitió generar mayor electricidad para cargar la batería. Los resultados se muestran en las Figuras 27 al 40.

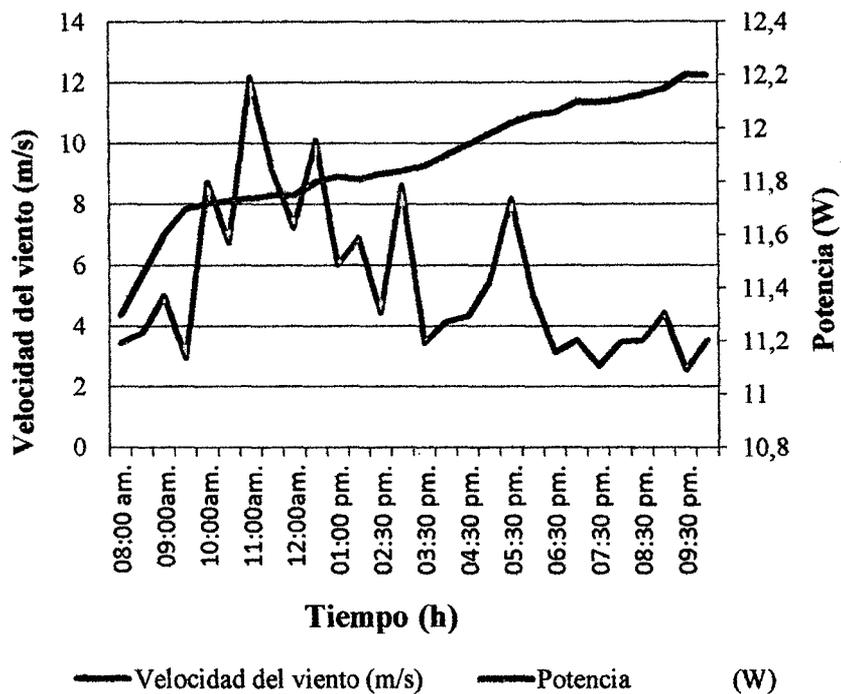


Figura 27. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 1.

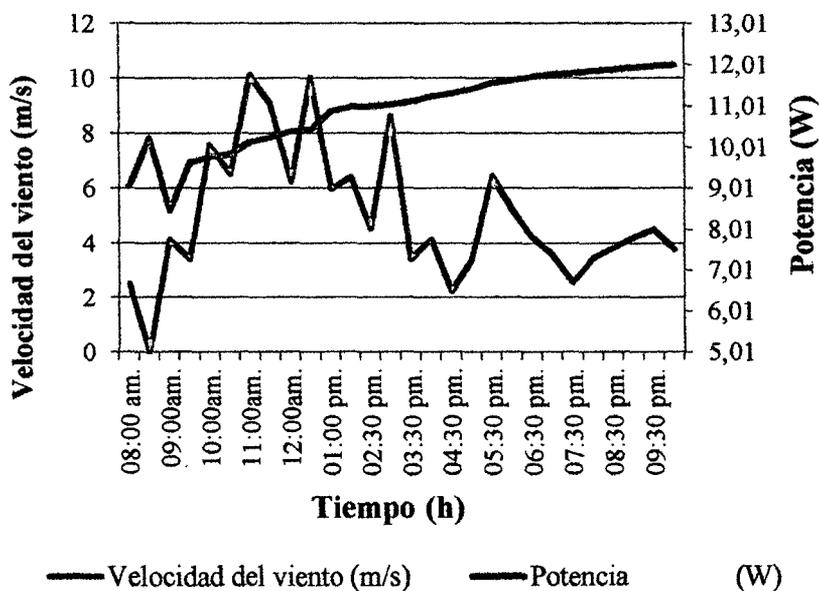


Figura 28. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 2.

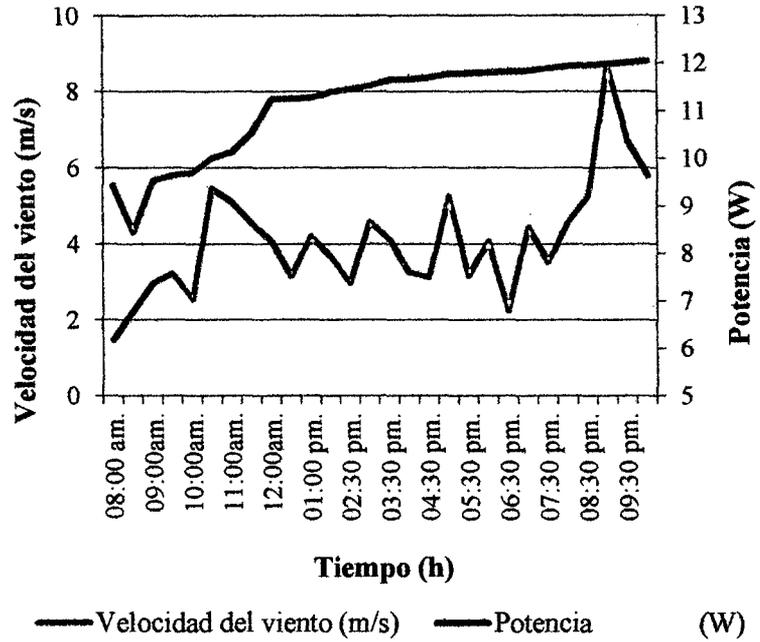


Figura 29. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 3.

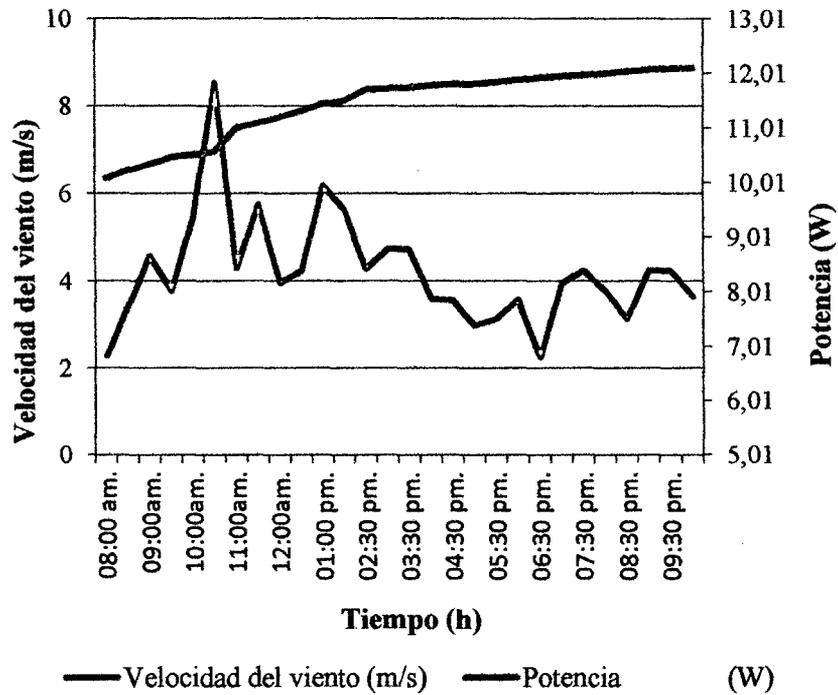


Figura 30. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 4.

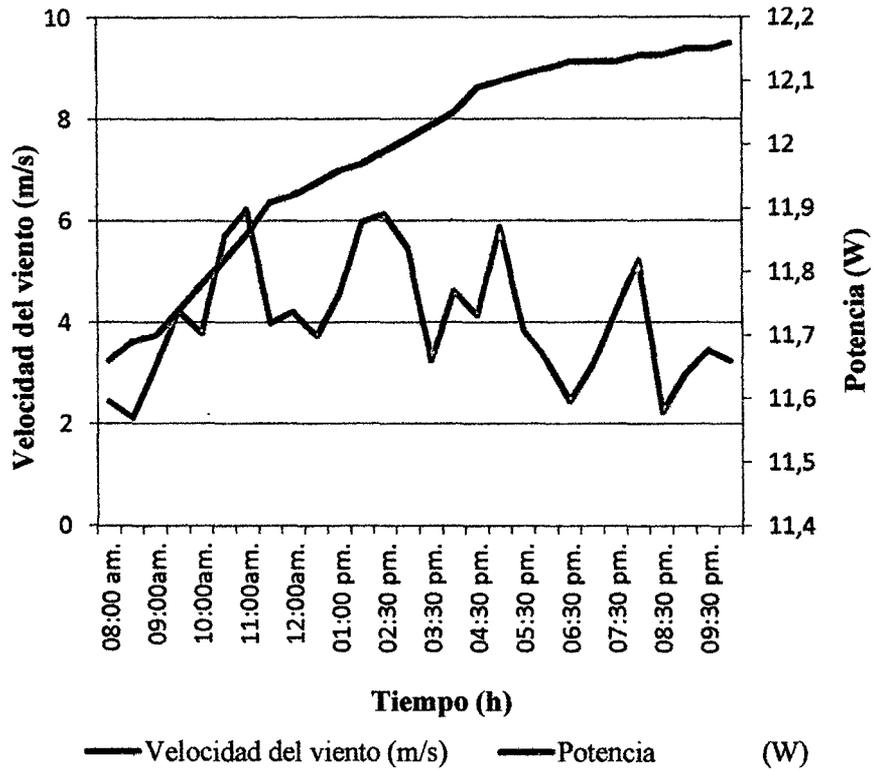


Figura 31. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 5.

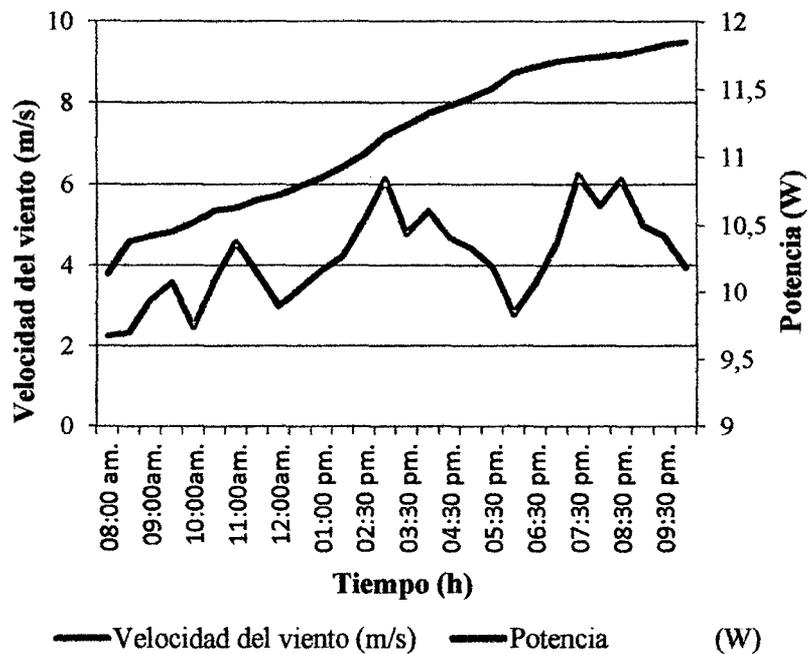


Figura 32. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 6.

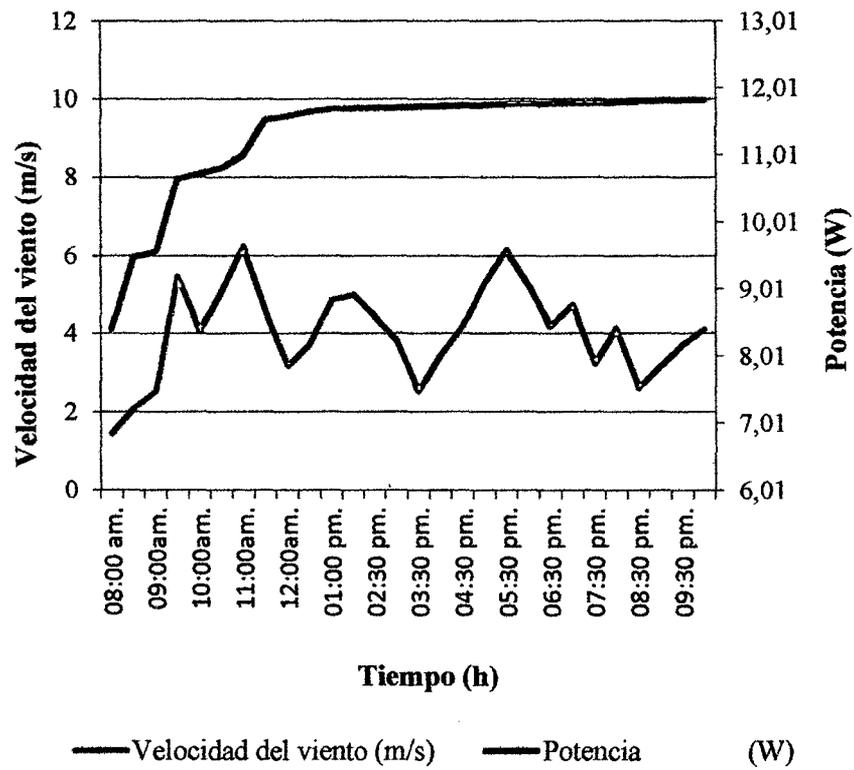


Figura 33. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 7.

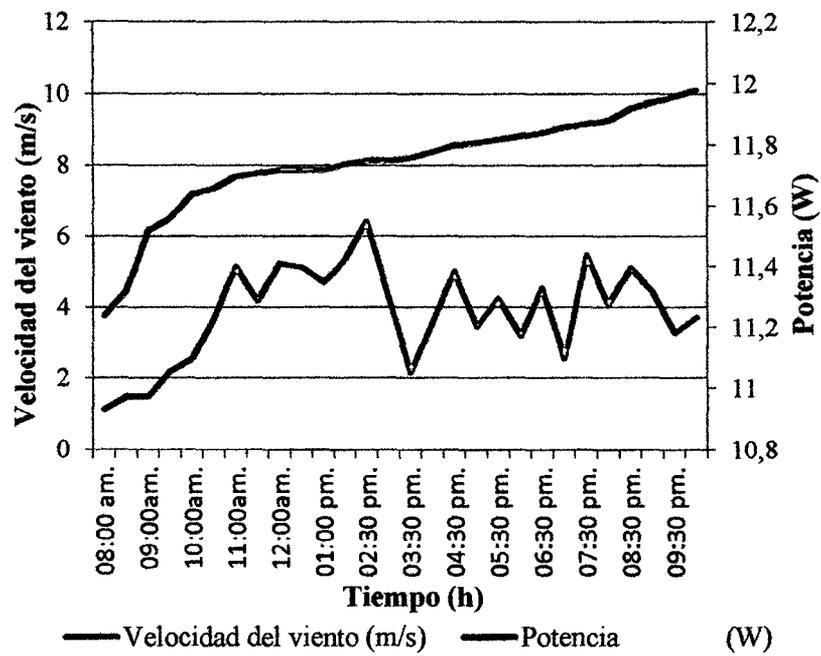


Figura 34. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 8.

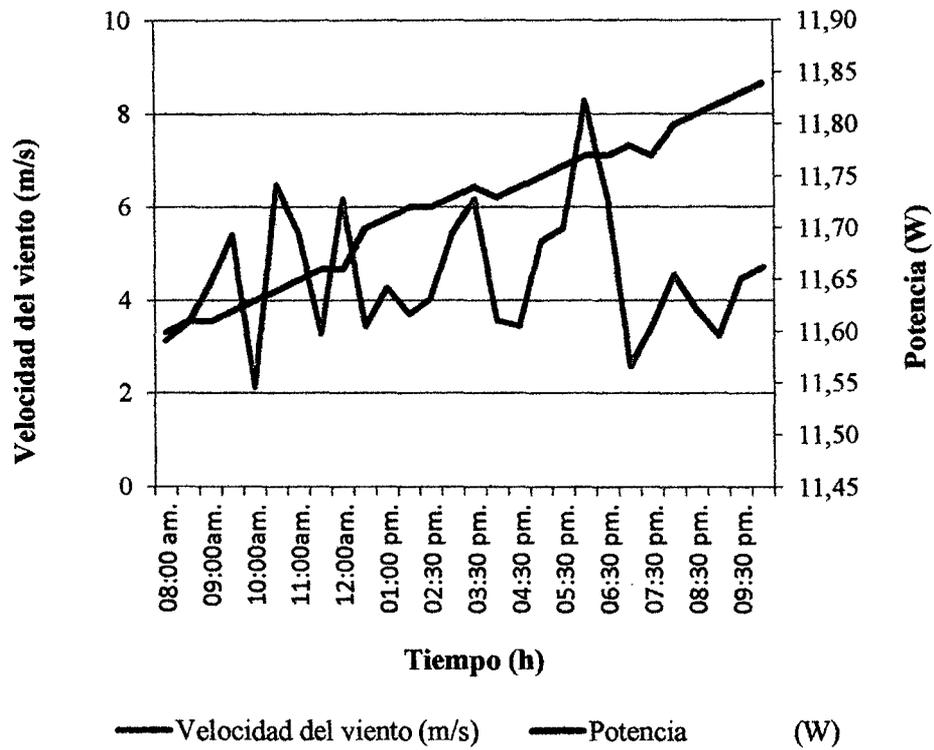


Figura 35. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 9.

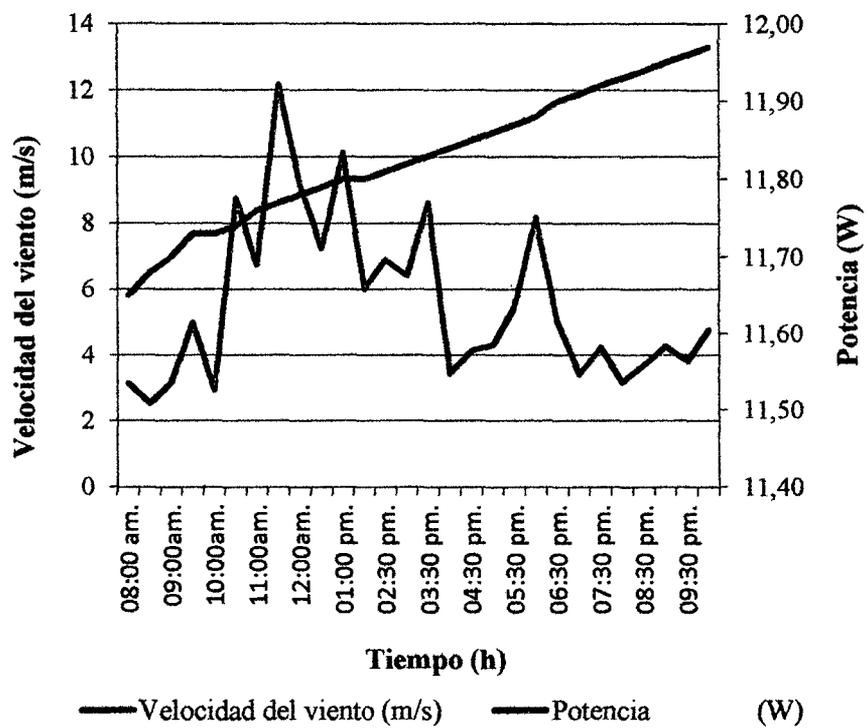


Figura 36. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 10.

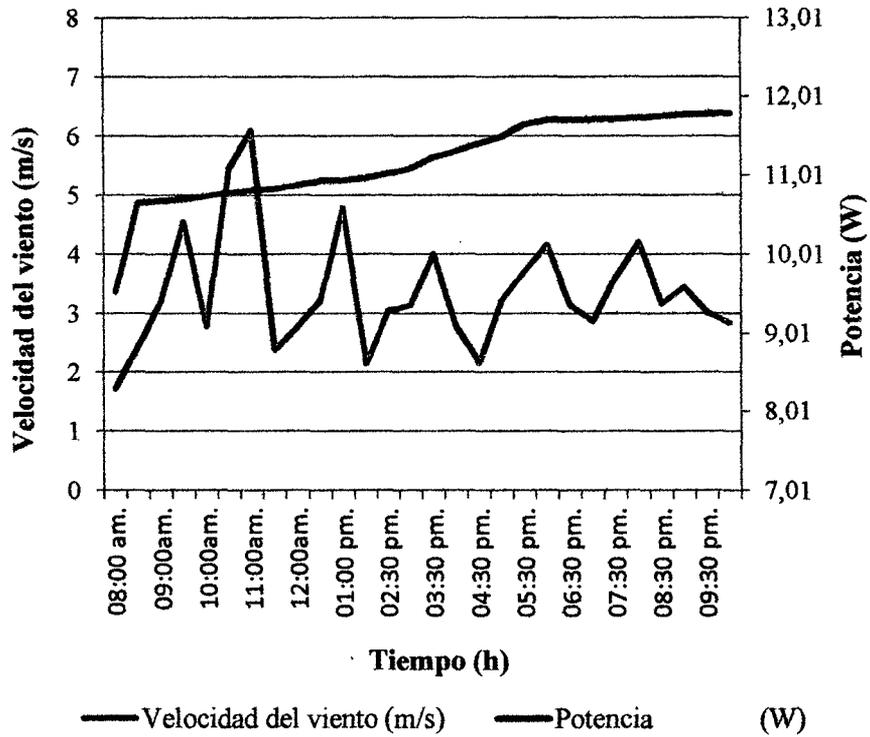


Figura 37. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 11.

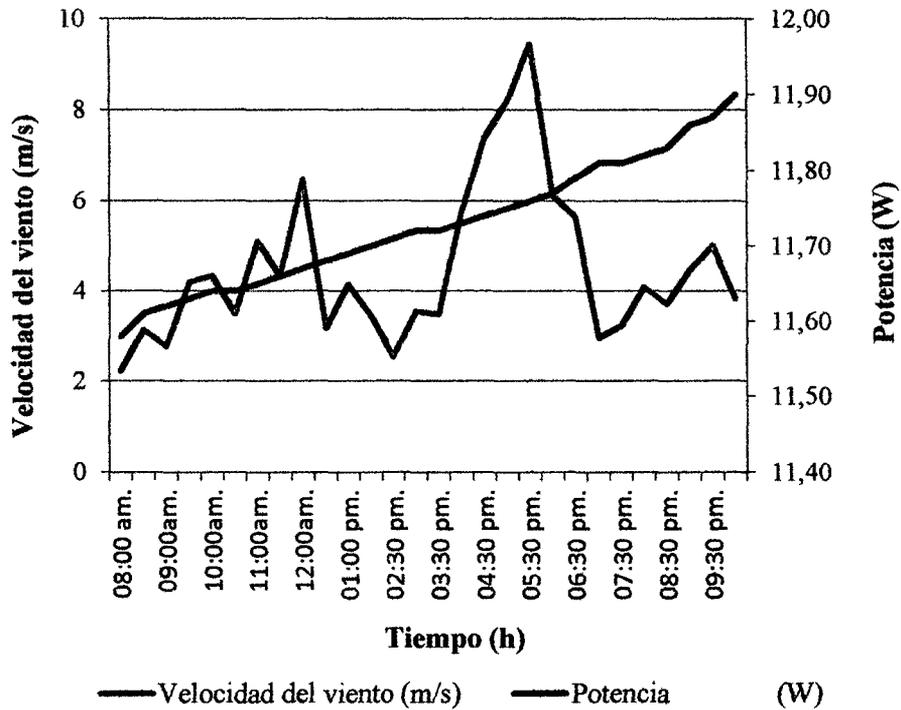


Figura 38. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 12.

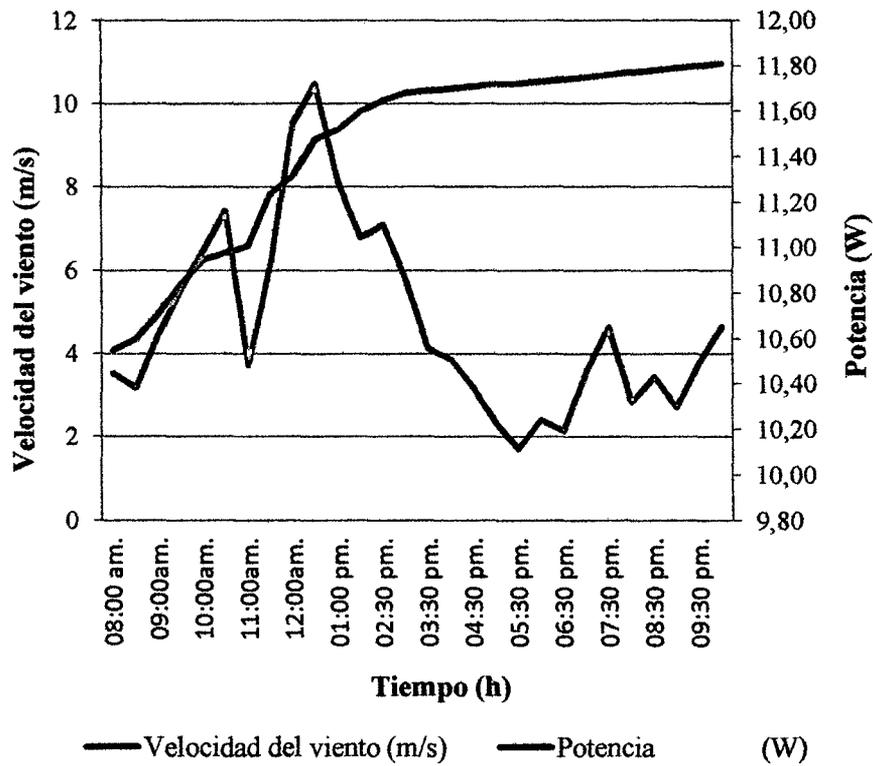


Figura 39. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 13.

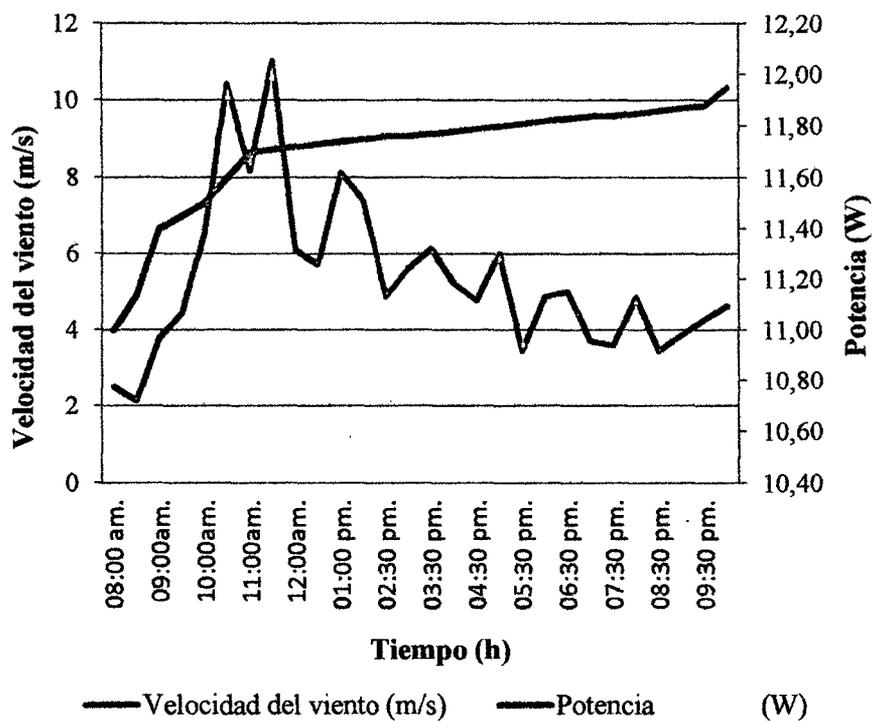


Figura 40. Velocidad del viento y potencia generada en función al tiempo. Día 14.

3.4. Rendimiento energético del aerogenerador

Con la batería cargada completamente (12 voltios), se procedió a determinar el tiempo de suministro de energía eléctrica para un foco LED de 3 W y 12 voltios, luego para 2 focos de ese mismo tipo; finalmente, para el funcionamiento de un receptor de radio de 1,5 W. Los datos se muestran en las Tablas 2 a la 4.

Tabla 1. Datos de iluminación con un foco LED de 3 W y 12 voltios.

Día de la semana	Voltaje inicial de la batería	Voltaje final de la batería	Tiempo de funcionamiento (h)
1	11,60	9,49	5
2	11,78	10,36	6
3	11,72	10,12	6
4	11,80	10,01	6
5	11,85	9,63	6

Tabla 2. Datos de iluminación con dos focos LED de 3 W y 12 voltios.

Día de la semana	Voltaje inicial de la batería	Voltaje final de la batería	Tiempo de funcionamiento (h)
1	11,72	8,49	5
2	11,46	7,74	5
3	11,66	8,14	5
4	11,52	8,15	4,5
5	11,72	7,63	5

Tabla 3. Datos de iluminación con dos focos LED de 3 W y 12 voltios cada uno y un receptor de radio de 1,5 W.

Día de la semana	Voltaje inicial de la batería	Voltaje final de la batería	Tiempo de funcionamiento (h)
1	11.75	7.42	5
2	11.60	6.84	5
3	11.72	7.05	5
4	11.52	6.98	5
5	11.80	7.44	5

3.5. El viento y su energía

La secuencia de cálculo que se muestra a continuación corresponde a Antezana (2004), sabiendo que el viento es una masa de aire en movimiento y considerando la energía cinética asociada:

$$E_{cin} = \frac{1}{2} \cdot m_{aire} \cdot v^2 \quad (1)$$

E_{cin} : energía cinética del viento en [J].

m_{aire} : masa del aire en [kg].

v : velocidad del viento en [m/s]

De la ecuación anterior se puede definir la potencia del viento como:

$$P [W] = \frac{dE_{cin}}{dt} = \frac{1}{2} \cdot \frac{dm_{aire}}{dt} \cdot v^2 \quad (2)$$

P : potencia del viento en [W].

La potencia es definida respecto a la cantidad de aire (masa) que circula por un determinado sector del espacio.

A su vez la masa puede ser expresada por:

$$m_{\text{aire}} [\text{kg}] = \rho \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \cdot V [\text{m}^3] \quad (3)$$

ρ : densidad del aire en $[\text{kg}/\text{m}^3]$: A 15°C y presión normal la densidad del aire es de $1,225 \text{ kg}/\text{m}^3$

V : volumen de aire $[\text{m}^3]$

Pero definir la variación de masa en el tiempo lleva una variación del volumen de aire que circula por el mismo sector:

$$\frac{dm_{\text{aire}}}{dt} = \rho \cdot \frac{dV_{\text{aire}}}{dt} \quad (4)$$

A su vez el flujo está definido como:

$$F \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = \frac{dV_{\text{aire}}}{dt} \quad (5)$$

F : flujo de aire $[\text{m}^3/\text{s}]$

También es válida la siguiente igualdad:

$$F \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] = A [\text{m}^2] \cdot v \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (6)$$

A : sección ortogonal al vector de velocidad del aire en m^2 . Superficie cubierta por el rotor del aerogenerador.

Se puede definir la variación de volumen en el tiempo como:

$$\frac{dV_{\text{aire}}}{dt} = A [\text{m}^2] \cdot v \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] \quad (7)$$

Sustituyendo la ecuación 7 en la ecuación 4 se obtiene:

$$\frac{dm_{aire}}{dt} = \rho \cdot A [m^2] \cdot v \left[\frac{m}{s} \right] \quad (8)$$

Luego, sustituyendo la ecuación 8 en la ecuación 2, se obtiene la ecuación que define el comportamiento de la potencia de una masa de aire (viento) que se desplaza con una cierta velocidad por unidad de superficie:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \quad (9)$$

Se puede notar que los factores que definen esta potencia son:

A : superficie [m²]. Superficie cubierta por el rotor del aerogenerador.

ρ : densidad del aire [kg/m³] (varía con la temperatura, la altura y la humedad)

v : velocidad del viento [m/s]

La ecuación 9 expresa la potencia en función del cubo de la velocidad del viento y proporcional a la superficie de la sección o área del rotor. Se puede afirmar que la potencia sigue un comportamiento cuadrático respecto al diámetro del aerogenerador si se considera la velocidad del viento como constante.

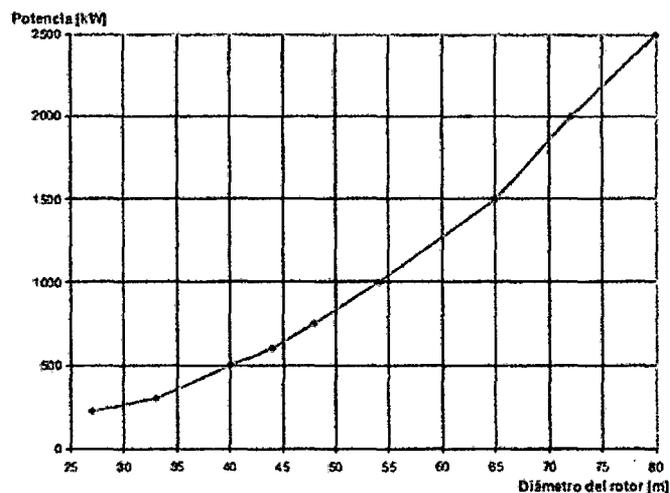


Figura 41. Potencia versus diámetro de un aerogenerador.

Se aprecia que la potencia crece proporcionalmente con el cubo de la velocidad y al cuadrado respecto al radio del aerogenerador (superficie).

El aerogenerador evaluado tiene un rotor de 8 palas con un diámetro de 2,8 m. El área que cubre el rotor será: $A = \pi.D^2/4$; $A = 6,16 \text{ m}^2$.

La velocidad promedio del viento en Chachapoyas fue de 5,5 m/s.

$$P_{\text{viento}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$P_{\text{viento}} = (1/2)(1,225 \text{ kg/m}^3)(6,16 \text{ m}^2)(5,5 \text{ m/s})^3 = 627,73 \text{ W}$$

3.6. Modelo teórico de Betz

La ley de Betz es un modelo teórico para calcular la potencia máxima que se puede obtener de una turbina de viento; fue desarrollada en 1919 por el físico alemán Albert Betz. Según esta Ley, la turbina de viento no puede capturar más del 59,3 por ciento de la energía cinética del viento de entrada, esto es que la eficiencia máxima (también llamada coeficiente de potencia C_p) de la turbina de viento es el cociente de la potencia máxima obtenida del viento y la potencia total disponible en el viento (Gijs y Kuik, 2007).

Considerando que la energía eólica se puede extraer y transformar mediante el rotor del aerogenerador, se ha supuesto que antes de cruzar el rotor, el aire posee una velocidad V_1 en la sección transversal A_1 , que es la velocidad del viento sin perturbar. Enseguida se encuentra la hélice, que se supone está inmersa en una corriente de aire de velocidad V con una sección transversal A y que, cuando pasa el rotor, posee una velocidad V_2 diferente a cero con una sección transversal A_2 , lo que permite suponer que no es posible la transformación y recuperación de toda la energía del viento en otra forma de energía. En el plano que contiene la hélice, la sección transversal es un disco imaginario de sección A , siendo V la velocidad útil del viento en la misma.

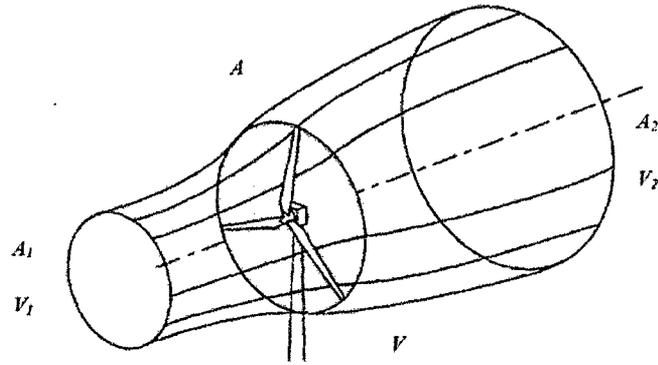


Figura 42. Extracción de energía eólica.

La hélice se supone como un disco de diámetro “d” que capta la energía del aire en movimiento que llega a él. Si el disco fuese capaz de captar toda la energía cinética del viento, el aire estaría en reposo y, por lo tanto, la velocidad de salida sería ($V_2 = 0$).

Suponiendo que el gasto másico \dot{m} de aire que circula por el tubo es constante se tiene que:

$$\dot{m} = \rho A_1 V_1 = \rho A_2 V_2 \quad (10)$$

De la ecuación 1, la variación de la energía cinética del viento en la unidad de tiempo es:

$$E_c = E_{c1} - E_{c2} = \frac{\dot{m}}{2} (V_1^2 - V_2^2) = \frac{\rho A V}{2} (V_1^2 - V_2^2) \quad (11)$$

Considerando que la fuerza “F” ejercida por el viento en la unidad de tiempo es $\Delta t = 1$, sobre el área “A” barrida por la hélice, es igual a la variación de la cantidad de movimiento del aire que la atraviesa:

$$F = \frac{\dot{m} \Delta V}{\Delta t} = \rho A V (V_1 - V_2) \quad (12)$$

Por lo que el trabajo generado por esta fuerza “F” en la unidad de tiempo, es la potencia $P_{\text{útil}}$:

$$P_{\text{útil}} = FV = \rho AV^2(V_1 - V_2) \quad (13)$$

donde:

$$V = \frac{V_1 - V_2}{2} \quad (14)$$

Si se hace el cambio $2V = b$, V_1 con $(0 < b < 1)$ y combinando las ecuaciones 8 y 7, resulta:

$$P_{\text{útil}} = \frac{\rho A(V_1 - V_2)}{4}(V_1^2 - V_2^2) = \frac{\rho AV_1^3}{4}(1 + b)(1 + b^2) \quad (15)$$

El valor máximo de $P_{\text{útil}}$ se obtiene $\frac{dP_{\text{útil}}}{db}$ derivando , resultando:

$$(1 + b^2) + (1 + b)(-2b) = 0 \quad (15 \text{ a})$$

o sea:

$$(1 + b)(1 - 3b) = 0 \quad (15 \text{ b})$$

Las soluciones posibles son $b = -1$, pero no cumple con la condición $0 < b < 1$ y $b = 1/3 = V_1/V_2$; $V_1 = V_3$. Tomando la segunda solución se puede encontrar la potencia máxima suministrada por el rotor:

$$P_{\text{útil máxima}} = \frac{\rho AV_1^3}{4} \left(1 + \frac{1}{3}\right) \left(1 - \frac{1}{9}\right) = \frac{8}{27} \rho AV_1^3 \quad (16)$$

Para el aerogenerador evaluado:

$$P_{\text{útil máxima}} = (8/27) (1,225 \text{ kg/m}^3)(6,16 \text{ m}^2)(5,5 \text{ m/s})^3 = 371,99 \text{ W.}$$

Retomando las ecuaciones 9 y 16 se puede obtener el rendimiento aerodinámico máximo que es el límite teórico o coeficiente de Betz, resultado que ninguna máquina eólica, por muy sofisticada que sea, puede superar.

$$C_{Betz} = \frac{P_{util\ maxima}}{P_{viento}} = \frac{\frac{8}{27} \rho AV^3}{\frac{1}{2} \rho AV^3} = \frac{16}{27} \quad (17)$$

Para el aerogenerador evaluado:

$$C_{Betz} = 371,99 \text{ W} / 627,73 \text{ W} = 0,59$$

La ecuación de Betz (17) proporciona el límite máximo de energía cinética del viento que un aerogenerador es capaz de extraer por medio del rotor, sin embargo no considera todos los factores que influyen en este mecanismo como son:

- La resistencia aerodinámica de las palas
- La pérdida de energía por la estela generada en la rotación
- La compresibilidad del fluido
- La interferencia de las palas, etc.

IV. DISCUSIÓN

El enorme desarrollo durante el siglo veinte en gran parte del mundo era acompañado por un consumo creciente de energías fósiles, especialmente del petróleo. Sin embargo, esta fuente de energía, disponible en gran cantidad, fácil de almacenar, de transportar y de transformar en otras energías secundarias útiles (calor, electricidad, energía mecánica, etc.) es agotable, su uso genera cambios climáticos desastrosos y muchos países no disponen de reservas naturales, resultando en tensiones geopolíticas y aumento creciente y volátil de su costo (Horn, 2009). El desarrollo y el bienestar de una sociedad humana son estrechamente vinculados con la disponibilidad y uso de energía. Por esto, países en desarrollo, como el Perú, requieren aumentar sustancialmente la disponibilidad y uso de energía si quieren salir del subdesarrollo. Una alternativa amigable con el medio ambiente es la aplicación de las energías renovables en base al potencial de cada lugar.

La generación de energía eléctrica a pequeña escala, aprovechando la velocidad del viento, constituye una alternativa para las zonas rurales aisladas y dispersas que cuenten con este recurso. Sin embargo, el desarrollo tecnológico de los equipos de generación eólica a pequeña escala no ha tenido el mismo grado de desarrollo que los equipos para mediana y gran escala, donde la tecnología está consolidada. Para el caso del Perú, se definieron las características técnicas y se tomaron en cuenta una serie de recomendaciones para las condiciones existentes, tales como la elaboración de diseños para bajas velocidades de viento -que son las predominantes en el Perú- así como desarrollar las capacidades locales que permitan garantizar la operación y mantenimiento, y el abastecimiento de repuestos. Todas estas sugerencias estuvieron dirigidas a lograr una máquina que tenga una larga vida útil (Chiroque *et al.*, 2008).

La investigación y el desarrollo tecnológico en aerogeneración en el Perú fue iniciada y promovida por el ITINTEC, cuyos primeros equipos empleaban alternadores de vehículos que trabajaban a altas velocidades de giro (1 800 rpm) para generar 12 voltios; estos trabajos no fueron culminados debido a la desactivación de dicha institución. Investigadores de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) trabajaron entre el año 2000 y el 2003 en el diseño de un sistema para generar hasta 300 W con la operación de un alternador de vehículo (Chiroque y Dávila, 2008).

En el primer semestre del 2008 se inauguró el primer sistema colectivo de aerogeneración a pequeña escala para electrificación rural en el Perú, instalado en el caserío de El Alumbre, a más de 3 800 metros sobre el nivel del mar, en el distrito y provincia de Bambamarca, en la región Cajamarca. Este sistema consta de 35 microaerogeneradores de 100 W modelo IT-PE-100. Con este sistema se benefician las 35 familias de El Alumbre, así como más de 150 familias de caseríos aledaños que ahora pueden cargar baterías para sus viviendas o incluso las baterías de sus teléfonos celulares en este caserío (Chiroque y Dávila, 2008).

En la Ciudad Universitaria de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, ubicada en la ciudad de Chachapoyas, capital de la Región Amazonas, a 2350 msnm, se instaló y realizó las evaluaciones del aerogenerador de la presente investigación, durante agosto y setiembre del año 2013, en que se tuvo velocidades del viento con picos máximos de 12 m/s (días 1 y 10), mínimos de 2 m/s (en casi los 14 días de evaluación) y una velocidad promedio de 5,5 m/s; habiéndose registrado los datos desde las 8:00 am hasta las 9:30 pm. Cada día se observó que la energía eléctrica suministrada por el alternador tenía un amperaje que se mantenía en 1 A y el voltaje subía desde 8 hasta 12,20 V en promedio, siempre con tendencia a subir a lo largo del tiempo de evaluación diario. Como el amperaje se mantenía constante en 1 A, es señal que la batería se estaba cargando.

El primer rotor evaluado en la presente investigación tenía tres palas con perfil NACA 4412, pero giraba despacio por lo que no lograba que el alternador genere electricidad. El siguiente rotor evaluado tenía seis palas y giraba a una mayor velocidad que el rotor de tres palas; sin embargo, el tercer rotor evaluado pudo aprovechar mejor el viento al tener ocho palas, siendo el definitivo para el aerogenerador.

El aerogenerador con multiplicador de velocidad en la relación de 1 a 8 para el funcionamiento del alternador de automóvil, ubicado sobre una torre a 6 m del suelo, evaluado en la presente investigación, ha logrado, durante el día, cargar la batería de 12 voltios con una intensidad de corriente eléctrica de 1 amperio. Esta batería suministró energía eléctrica para el funcionamiento de dos focos LED de 3 W y 12 voltios cada uno y un receptor de radio de 1,5 W, durante 5 horas por día. Con este resultado podemos asegurar que un aerogenerador de este tipo permitirá disponer de iluminación en dos habitaciones de la vivienda y a través del receptor de emisoras de radio tener

entretenimiento y noticias. Con esto se estará contribuyendo a mejorar la calidad de vida del poblador rural.

El multiplicador de velocidad empleado debe modificarse en el sentido de lograr que el alternador supere siempre las 1000 rpm, aunque la velocidad del viento sea baja. El actual tiene una relación de 1 a 8; es decir, si la polea de 20" da una vuelta, la polea del alternador dará 8 vueltas. Para que la relación sea de 1 a 64, se debe montar en un mismo eje otra polea de 20" junto a una polea de 2,5" como la del alternador para que giren solidarias. La polea de 20" montada en el eje del rotor se conectará con faja a la polea de 2,5" de las poleas solidarias, hasta aquí tendremos una relación de giro de 1 a 8. Como esta polea de 2,5" está unida en el mismo eje con la polea de 20", ambas darán simultáneamente una vuelta, pero al iniciarse la rotación en la polea de 20" del eje del rotor, este conjunto estará dando 8 vueltas. Si ahora se conectan con una faja esta polea de 20" (del par solidario) con la polea del alternador de 2,5", esta última alcanzará a girar 8 veces más, llegando a 64 vueltas cuando la polea de 20" del rotor de una vuelta. De esta manera se habrá construido un multiplicador de velocidad en la relación de 1 a 64 que permitirá incrementar la eficiencia del aerogenerador.

La velocidad del viento en la ciudad de Chachapoyas se incrementa en agosto y setiembre, el resto del año la velocidad es baja. Entonces, para que el aerogenerador con alternador de automóvil siga operativo, se debe modificar el multiplicador de velocidad que tiene ahora, por el descrito en el párrafo anterior, con lo que operará en la relación de 1 a 64.

El futuro de la generación eólica es considerado como un futuro en desarrollo dinámico. Los estudios sugieren que a lo ancho del mundo, el potencial eólico es más grande que el consumo eléctrico. Actualmente un gran número de parques eólicos están en proceso de planeación y aprobación. El porcentaje de potencia a ser instalado para el consumo de energía, se espera ser incrementado en los próximos años, ya sea con generación puramente eólica y/o combinada con otras fuentes alternativas (Whinter, 2010).

V. CONCLUSIONES

- 1- La industria eólica es de suma importancia en la actualidad por lo que se debe saber aprovechar al máximo el recurso. La mejora de la tecnología moderna (sobre todo en la electrónica) ha impulsado a los aerogeneradores a constituirse en una solución adecuada para generación eléctrica.
- 2- El aerogenerador con rotor de 8 palas de 1 m cada una, multiplicador de velocidad en la relación de 1 a 8 para el funcionamiento del alternador de automóvil, ubicado sobre una torre a 6 m de altura con respecto al suelo, evaluado en la presente investigación, cargó diariamente una batería de 12 voltios con una intensidad de corriente eléctrica de 1 amperio. Esta batería suministró energía eléctrica para el funcionamiento de dos focos LED de 3 W y 12 voltios cada uno y un receptor de radio de 1,5 W, durante 5 horas por día.
- 3- Las energías renovables en sus diversas formas representan oportunidades inmensas para el progreso e innovación tecnológicos.
- 4- La comunidad de ciencia y tecnología, junto con el público en general, juegan un rol crítico para encontrar soluciones energéticas sostenibles, y debe ser involucrada eficazmente.
- 5- Se requiere un programa riguroso de formación de capacidades focalizado en energías renovables, dirigido a todos los niveles de educación, desde la escuela primaria hasta ciencia e ingeniería profesional; este programa debe iniciarse inmediatamente.

VI. RECOMENDACIONES

- 1- Difundir los beneficios del aerogenerador, ya que en la región Amazonas se cuenta con potencial eólico, que puede ser aprovechado para mejorar la calidad de vida de los pobladores de difícil acceso a las redes eléctricas.
- 2- Para obtener un mejor aprovechamiento de la velocidad del viento, se debe hacer un aerogenerador con un multiplicador de rpm de 1 a 64, de manera que aunque la velocidad del viento sea baja, el alternador supere las rpm mínimas para que genere carga.
- 3- En base a los resultados alentadores obtenidos, en otra investigación debe incluirse un inversor para convertir la corriente continua en corriente alterna, de manera que se pueda emplear la electricidad generada para el uso de otro tipo de luminarias y/o equipos.
- 4- Hacer el mapa eólico de la Región Amazonas para conocer los lugares con buen potencial de aplicación de la energía eólica.
- 5- El gobierno regional y las municipalidades deben brindar apoyo a los proyectos de energías renovables porque son sostenibles, los beneficios ambientales son considerables y favorecen la inclusión social.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Antezana Núñez, Juan Cristóbal. 2004. Diseño y construcción de un prototipo de generador eólico de eje vertical. Memoria para optar el título de Ingeniero Civil Electricista. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Eléctrica.
- Campos Paiz, Julio César. 1996. Energía Eólica y su Aplicación a las telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Chiroque, José y Dávila, Celso. 2008. Microaerogenerador IT-PE-100 para electrificación rural. — Lima: Soluciones Prácticas - ITDG; ISBN N° 978-9972-47-151-3
- Chiroque, José; Sánchez, Teodoro y Dávila, Celso. 2008. Microaerogeneradores de 100 y 500 W. Modelos IT PE-100 y SP -500. Lima: Soluciones Prácticas – ITDG.
- González Chávez, Salomé. 2008. Diseño, construcción y validación de un nuevo aerogenerador de 500 W con generador de imanes permanentes para la provisión de energía limpia y de bajo costo para las zonas rurales pobres del Perú. Primer Encuentro de Proyectos Exitosos de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. CONCYTEC.
- Guía para calcular el consumo eléctrico doméstico. OSINERG.
- Guy, Cuntly 1981; "Aeromotores y aerogeneradores"; Ediciones Marzo 80; Barcelona.
- Gijs A.M. van Kuik, (2007) The Lanchester Betz Joukowsky Limit, Wind Energ. Capitulo III
- Henry, J. Glynn y Heinke, Gary W. 1999. Ingeniería ambiental. 2da. Edición. Editorial Pearson, México.

- Hernández, N. 2010 "Energía Renovable" Publicado por Noel A. Hernández; Venezuela.
- Horn Mutschler, Manfred. 2009. Matriz energética en el Perú y contribución de las energías renovables. Fundación Friedrich Ebert. Lima.
- <http://www.tecverde.mex.tl>. Acceso 07 marzo de 2013
- Manual del Usuario. Aerogenerador Bornay 600. www.bornay.com. Acceso: 07 marzo de 2013.
- Oliveros Donohue, Alfredo. 2003. El potencial de las energías limpias en el Perú. Capítulo 5 de El Medio Ambiente en el Perú Año 2002. Instituto Quanto y USAID.
- Putnam, P.C. 1953. Energy in the future. Nueva York: Van Nostrand.
- Usos de la energía eólica para generar energía en bajas potencias. 2004. Ministerio de Energía y Minas; ONG Energía, Desarrollo y Vida (EDEVI)
- Whinter, W. 2010 "Towards a Successful Integration of Large Scale Wind Power Into European Electricity Grids (European Wind Integration Study EWIS)", Brussels, Belgium.

ANEXOS

ANEXO 1

**FORMATOS DE EVALUACIÓN PARA EL RENDIMIENTO DEL
AEROGENERADOR**

Tabla 4. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 1

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	3.42	11.30	1	11.30
08:30am.	3.78	11.45	1	11.45
09:00am.	5.00	11.60	1	11.60
09:30am.	2.94	11.70	1	11.70
10:00am.	8.75	11.72	1	11.72
10:30am.	6.75	11.73	1	11.73
11:00am.	12.18	11.74	1	11.74
11:30am.	9.15	11.75	1	11.75
12:00am.	7.25	11.75	1	11.75
12:30am.	10.12	11.80	1	11.80
01:00 pm.	6.02	11.82	1	11.82
02:00 pm.	6.92	11.81	1	11.81
02:30 pm.	4.44	11.83	1	11.83
03:00 pm.	8.62	11.84	1	11.84
03:30 pm.	3.45	11.86	1	11.86
04:00 pm.	4.15	11.90	1	11.90
04:30 pm.	4.33	11.94	1	11.94
05:00 pm.	5.44	11.98	1	11.98
05:30 pm.	8.18	12.02	1	12.02
06:00 pm.	5.01	12.05	1	12.05
06:30 pm.	3.12	12.06	1	12.06
07:00 pm.	3.54	12.10	1	12.10
07:30 pm.	2.68	12.10	1	12.10
08:00 pm.	3.46	12.11	1	12.11
08:30 pm.	3.54	12.13	1	12.13
09:00 pm.	4.44	12.15	1	12.15
09:30 pm.	2.54	12.20	1	12.20
10:00 pm.	3.54	12.20	1	12.20

Tabla 5. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 2

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	2,54	4,54	2	9,08
08:30am.	3,78	5,12	2	10,24
09:00am.	4,16	8,48	1	8,48
09:30am.	3,42	9,65	1	9,65
10:00am.	7,58	9,78	1	9,78
10:30am.	6,54	9,84	1	9,84
11:00am.	10,14	10,15	1	10,15
11:30am.	9,1	10,25	1	10,25
12:00am.	6,25	10,39	1	10,39
12:30am.	10,02	10,45	1	10,45
01:00 pm.	5,98	10,89	1	10,89
02:00 pm.	6,42	10,99	1	10,99
02:30 pm.	4,54	11	1	11
03:00 pm.	8,65	11,05	1	11,05
03:30 pm.	3,42	11,12	1	11,12
04:00 pm.	4,16	11,25	1	11,25
04:30 pm.	2,24	11,32	1	11,32
05:00 pm.	3,38	11,42	1	11,42
05:30 pm.	6,46	11,58	1	11,58
06:00 pm.	5,25	11,63	1	11,63
06:30 pm.	4,24	11,72	1	11,72
07:00 pm.	3,56	11,78	1	11,78
07:30 pm.	2,56	11,80	1	11,80
08:00 pm.	3,45	11,86	1	11,86
08:30 pm.	3,82	11,89	1	11,89
09:00 pm.	4,24	11,94	1	11,94
09:30 pm.	4,52	11,98	1	11,98
10:00 pm.	3,76	12,01	1	12,01

Tabla 6. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 3

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	1,48	4,72	2	9,44
08:30am.	2,25	8,46	1	8,46
09:00am.	2,98	9,54	1	9,54
09:30am.	3,24	9,65	1	9,65
10:00am.	2,56	9,71	1	9,71
10:30am.	5,47	10,01	1	10,01
11:00am.	5,11	10,14	1	10,14
11:30am.	4,54	10,54	1	10,54
12:00am.	4,08	11,25	1	11,25
12:30am.	3,16	11,26	1	11,26
01:00 pm.	4,21	11,28	1	11,28
02:00 pm.	3,68	11,4	1	11,4
02:30 pm.	2,98	11,46	1	11,46
03:00 pm.	4,59	11,53	1	11,53
03:30 pm.	4,13	11,65	1	11,65
04:00 pm.	3,26	11,66	1	11,66
04:30 pm.	3,14	11,7	1	11,7
05:00 pm.	5,25	11,78	1	11,78
05:30 pm.	3,18	11,79	1	11,79
06:00 pm.	4,08	11,8	1	11,8
06:30 pm.	2,24	11,82	1	11,82
07:00 pm.	4,45	11,84	1	11,84
07:30 pm.	3,53	11,9	1	11,9
08:00 pm.	4,58	11,94	1	11,94
08:30 pm.	5,25	11,96	1	11,96
09:00 pm.	8,71	11,98	1	11,98
09:30 pm.	6,72	12,01	1	12,01
10:00 pm.	5,81	12,05	1	12,05

Tabla 7. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 4

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	2,28	10,09	1	10,09
08:30am.	3,42	10,24	1	10,24
09:00am.	4,58	10,35	1	10,35
09:30am.	3,78	10,48	1	10,48
10:00am.	5,45	10,52	1	10,52
10:30am.	8,54	10,59	1	10,59
11:00am.	4,29	11,02	1	11,02
11:30am.	5,75	11,11	1	11,11
12:00am.	3,96	11,21	1	11,21
12:30am.	4,25	11,33	1	11,33
01:00 pm.	6,18	11,46	1	11,46
02:00 pm.	5,63	11,52	1	11,52
02:30 pm.	4,28	11,71	1	11,71
03:00 pm.	4,74	11,73	1	11,73
03:30 pm.	4,72	11,75	1	11,75
04:00 pm.	3,59	11,79	1	11,79
04:30 pm.	3,56	11,81	1	11,81
05:00 pm.	2,99	11,82	1	11,82
05:30 pm.	3,14	11,85	1	11,85
06:00 pm.	3,58	11,89	1	11,89
06:30 pm.	2,24	11,93	1	11,93
07:00 pm.	3,96	11,96	1	11,96
07:30 pm.	4,25	11,98	1	11,98
08:00 pm.	3,78	12,01	1	12,01
08:30 pm.	3,14	12,05	1	12,05
09:00 pm.	4,25	12,08	1	12,08
09:30 pm.	4,23	12,10	1	12,10
10:00 pm.	3,64	12,11	1	12,11

Tabla 8. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 5

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	2,45	11,66	1	11,66
08:30am.	2,12	11,69	1	11,69
09:00am.	3,14	11,70	1	11,70
09:30am.	4,25	11,74	1	11,74
10:00am.	3,78	11,78	1	11,78
10:30am.	5,7	11,82	1	11,82
11:00am.	6,24	11,86	1	11,86
11:30am.	3,99	11,91	1	11,91
12:00am.	4,21	11,92	1	11,92
12:30am.	3,74	11,94	1	11,94
01:00 pm.	4,56	11,96	1	11,96
02:00 pm.	5,98	11,97	1	11,97
02:30 pm.	6,14	11,99	1	11,99
03:00 pm.	5,45	12,01	1	12,01
03:30 pm.	3,24	12,03	1	12,03
04:00 pm.	4,63	12,05	1	12,05
04:30 pm.	4,14	12,09	1	12,09
05:00 pm.	5,89	12,10	1	12,10
05:30 pm.	3,84	12,11	1	12,11
06:00 pm.	3,26	12,12	1	12,12
06:30 pm.	2,45	12,13	1	12,13
07:00 pm.	3,18	12,13	1	12,13
07:30 pm.	4,21	12,13	1	12,13
08:00 pm.	5,23	12,14	1	12,14
08:30 pm.	2,24	12,14	1	12,14
09:00 pm.	2,98	12,15	1	12,15
09:30 pm.	3,45	12,15	1	12,15
10:00 pm.	3,24	12,16	1	12,16

Tabla 9. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 6

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	2,25	10,14	1	10,14
08:30am.	2,34	10,38	1	10,38
09:00am.	3,14	10,42	1	10,42
09:30am.	3,58	10,45	1	10,45
10:00am.	2,45	10,52	1	10,52
10:30am.	3,64	10,61	1	10,61
11:00am.	4,59	10,63	1	10,63
11:30am.	3,78	10,69	1	10,69
12:00am.	2,98	10,72	1	10,72
12:30am.	3,45	10,79	1	10,79
01:00 pm.	3,89	10,85	1	10,85
02:00 pm.	4,24	10,93	1	10,93
02:30 pm.	5,12	11,02	1	11,02
03:00 pm.	6,14	11,16	1	11,16
03:30 pm.	4,79	11,24	1	11,24
04:00 pm.	5,36	11,32	1	11,32
04:30 pm.	4,71	11,38	1	11,38
05:00 pm.	4,44	11,44	1	11,44
05:30 pm.	3,96	11,51	1	11,51
06:00 pm.	2,78	11,62	1	11,62
06:30 pm.	3,58	11,67	1	11,67
07:00 pm.	4,57	11,71	1	11,71
07:30 pm.	6,24	11,73	1	11,73
08:00 pm.	5,47	11,74	1	11,74
08:30 pm.	6,14	11,76	1	11,76
09:00 pm.	5,01	11,79	1	11,79
09:30 pm.	4,73	11,83	1	11,83
10:00 pm.	3,94	11,85	1	11,85

Tabla 10. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 7

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	1,45	8,42	1	8,42
08:30am.	2,10	9,50	1	9,50
09:00am.	2,54	9,58	1	9,58
09:30am.	5,47	10,66	1	10,66
10:00am.	4,08	10,74	1	10,74
10:30am.	5,11	10,82	1	10,82
11:00am.	6,25	11,01	1	11,01
11:30am.	4,56	11,54	1	11,54
12:00am.	3,18	11,60	1	11,6
12:30am.	3,72	11,66	1	11,66
01:00 pm.	4,86	11,70	1	11,70
02:00 pm.	5,01	11,71	1	11,71
02:30 pm.	4,44	11,71	1	11,71
03:00 pm.	3,83	11,72	1	11,72
03:30 pm.	2,54	11,73	1	11,73
04:00 pm.	3,46	11,74	1	11,74
04:30 pm.	4,18	11,75	1	11,75
05:00 pm.	5,29	11,76	1	11,76
05:30 pm.	6,14	11,77	1	11,77
06:00 pm.	5,24	11,77	1	11,77
06:30 pm.	4,18	11,78	1	11,78
07:00 pm.	4,74	11,78	1	11,78
07:30 pm.	3,24	11,79	1	11,79
08:00 pm.	4,14	11,80	1	11,80
08:30 pm.	2,62	11,81	1	11,81
09:00 pm.	3,18	11,82	1	11,82
09:30 pm.	3,71	11,83	1	11,83
10:00 pm.	4,11	11,84	1	11,84

Tabla 11. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 8

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	1,14	11,24	1	11,24
08:30am.	1,48	11,32	1	11,32
09:00am.	1,5	11,52	1	11,52
09:30am.	2,18	11,56	1	11,56
10:00am.	2,55	11,64	1	11,64
10:30am.	3,7	11,66	1	11,66
11:00am.	5,15	11,7	1	11,7
11:30am.	4,18	11,71	1	11,71
12:00am.	5,24	11,72	1	11,72
12:30am.	5,14	11,72	1	11,72
01:00 pm.	4,7	11,72	1	11,72
02:00 pm.	5,36	11,74	1	11,74
02:30 pm.	6,43	11,75	1	11,75
03:00 pm.	4,3	11,75	1	11,75
03:30 pm.	2,15	11,76	1	11,76
04:00 pm.	3,6	11,78	1	11,78
04:30 pm.	5,01	11,8	1	11,8
05:00 pm.	3,46	11,81	1	11,81
05:30 pm.	4,25	11,82	1	11,82
06:00 pm.	3,18	11,83	1	11,83
06:30 pm.	4,55	11,84	1	11,84
07:00 pm.	2,54	11,86	1	11,86
07:30 pm.	5,47	11,87	1	11,87
08:00 pm.	4,08	11,88	1	11,88
08:30 pm.	5,12	11,92	1	11,92
09:00 pm.	4,46	11,94	1	11,94
09:30 pm.	3,28	11,96	1	11,96
10:00 pm.	3,72	11,98	1	11,98

Tabla 12. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 9

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	3,14	11,65	1	11,65
08:30am.	2,54	11,68	1	11,68
09:00am.	3,16	11,70	1	11,70
09:30am.	5,00	11,73	1	11,73
10:00am.	2,94	11,73	1	11,73
10:30am.	8,75	11,74	1	11,74
11:00am.	6,75	11,76	1	11,76
11:30am.	12,18	11,77	1	11,77
12:00am.	9,15	11,78	1	11,78
12:30am.	7,25	11,79	1	11,79
01:00 pm.	10,12	11,80	1	11,80
02:00 pm.	6,02	11,80	1	11,80
02:30 pm.	6,92	11,81	1	11,81
03:00 pm.	6,44	11,82	1	11,82
03:30 pm.	8,62	11,83	1	11,83
04:00 pm.	3,45	11,84	1	11,84
04:30 pm.	4,15	11,85	1	11,85
05:00 pm.	4,33	11,86	1	11,86
05:30 pm.	5,44	11,87	1	11,87
06:00 pm.	8,18	11,88	1	11,88
06:30 pm.	5,01	11,90	1	11,90
07:00 pm.	3,42	11,91	1	11,91
07:30 pm.	4,24	11,92	1	11,92
08:00 pm.	3,18	11,93	1	11,93
08:30 pm.	3,71	11,94	1	11,94
09:00 pm.	4,28	11,95	1	11,95
09:30 pm.	3,82	11,96	1	11,96
10:00 pm.	4,78	11,97	1	11,97

Tabla 13. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 10

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	3,14	11,60	1	11,60
08:30am.	3,52	11,61	1	11,61
09:00am.	4,35	11,61	1	11,61
09:30am.	5,42	11,62	1	11,62
10:00am.	2,13	11,63	1	11,63
10:30am.	6,48	11,64	1	11,64
11:00am.	5,46	11,65	1	11,65
11:30am.	3,28	11,66	1	11,66
12:00am.	6,18	11,66	1	11,66
12:30am.	3,45	11,70	1	11,70
01:00 pm.	4,28	11,71	1	11,71
02:00 pm.	3,71	11,72	1	11,72
02:30 pm.	4,03	11,72	1	11,72
03:00 pm.	5,45	11,73	1	11,73
03:30 pm.	6,18	11,74	1	11,74
04:00 pm.	3,58	11,73	1	11,73
04:30 pm.	3,45	11,74	1	11,74
05:00 pm.	5,28	11,75	1	11,75
05:30 pm.	5,55	11,76	1	11,76
06:00 pm.	8,29	11,77	1	11,77
06:30 pm.	6,16	11,77	1	11,77
07:00 pm.	2,59	11,78	1	11,78
07:30 pm.	3,49	11,77	1	11,77
08:00 pm.	4,56	11,80	1	11,80
08:30 pm.	3,81	11,81	1	11,81
09:00 pm.	3,25	11,82	1	11,82
09:30 pm.	4,47	11,83	1	11,83
10:00 pm.	4,72	11,84	1	11,84

Tabla 14. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 11

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	2,24	11,60	1	11,58
08:30am.	3,14	11,61	1	11,61
09:00am.	2,78	11,62	1	11,62
09:30am.	4,20	11,63	1	11,63
10:00am.	4,34	11,64	1	11,64
10:30am.	3,49	11,64	1	11,64
11:00am.	5,10	11,65	1	11,65
11:30am.	4,34	11,66	1	11,66
12:00am.	6,48	11,67	1	11,67
12:30am.	3,17	11,68	1	11,68
01:00 pm.	4,15	11,69	1	11,69
02:00 pm.	3,45	11,70	1	11,70
02:30 pm.	2,54	11,71	1	11,71
03:00 pm.	3,55	11,72	1	11,72
03:30 pm.	3,48	11,72	1	11,72
04:00 pm.	5,72	11,73	1	11,73
04:30 pm.	7,40	11,74	1	11,74
05:00 pm.	8,19	11,75	1	11,75
05:30 pm.	9,44	11,76	1	11,76
06:00 pm.	6,14	11,77	1	11,77
06:30 pm.	5,64	11,79	1	11,79
07:00 pm.	2,96	11,81	1	11,81
07:30 pm.	3,24	11,81	1	11,81
08:00 pm.	4,08	11,82	1	11,82
08:30 pm.	3,72	11,83	1	11,83
09:00 pm.	4,46	11,86	1	11,86
09:30 pm.	5,01	11,87	1	11,87
10:00 pm.	3,82	11,89	1	11,90

Tabla 15. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 12

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	1,73	9,54	1	9,54
08:30am.	2,45	10,66	1	10,66
09:00am.	3,21	10,69	1	10,69
09:30am.	4,54	10,71	1	10,71
10:00am.	2,78	10,75	1	10,75
10:30am.	5,45	10,79	1	10,79
11:00am.	6,10	10,83	1	10,83
11:30am.	2,38	10,84	1	10,84
12:00am.	2,78	10,89	1	10,89
12:30am.	3,23	10,94	1	10,94
01:00 pm.	4,78	10,95	1	10,95
02:00 pm.	2,14	10,98	1	10,98
02:30 pm.	3,04	11,04	1	11,04
03:00 pm.	3,14	11,10	1	11,10
03:30 pm.	4,01	11,24	1	11,24
04:00 pm.	2,78	11,32	1	11,32
04:30 pm.	2,16	11,42	1	11,42
05:00 pm.	3,23	11,50	1	11,50
05:30 pm.	3,72	11,66	1	11,66
06:00 pm.	4,16	11,71	1	11,71
06:30 pm.	3,14	11,71	1	11,71
07:00 pm.	2,87	11,72	1	11,72
07:30 pm.	3,62	11,73	1	11,73
08:00 pm.	4,21	11,74	1	11,74
08:30 pm.	3,17	11,76	1	11,76
09:00 pm.	3,45	11,78	1	11,78
09:30 pm.	3,02	11,79	1	11,79
10:00 pm.	2,84	11,80	1	11,80

Tabla 16. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 13

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	1,73	9,54	1	9,54
08:30am.	2,45	10,66	1	10,66
09:00am.	3,21	10,69	1	10,69
09:30am.	4,54	10,71	1	10,71
10:00am.	2,78	10,75	1	10,75
10:30am.	5,45	10,79	1	10,79
11:00am.	6,10	10,83	1	10,83
11:30am.	2,38	10,84	1	10,84
12:00am.	2,78	10,89	1	10,89
12:30am.	3,23	10,94	1	10,94
01:00 pm.	4,78	10,95	1	10,95
02:00 pm.	2,14	10,98	1	10,98
02:30 pm.	3,04	11,04	1	11,04
03:00 pm.	3,14	11,10	1	11,10
03:30 pm.	4,01	11,24	1	11,24
04:00 pm.	2,78	11,32	1	11,32
04:30 pm.	2,16	11,42	1	11,42
05:00 pm.	3,23	11,50	1	11,50
05:30 pm.	3,72	11,66	1	11,66
06:00 pm.	4,16	11,71	1	11,71
06:30 pm.	3,14	11,71	1	11,71
07:00 pm.	2,87	11,72	1	11,72
07:30 pm.	3,62	11,73	1	11,73
08:00 pm.	4,21	11,74	1	11,74
08:30 pm.	3,17	11,76	1	11,76
09:00 pm.	3,45	11,78	1	11,78
09:30 pm.	3,02	11,79	1	11,79
10:00 pm.	2,84	11,80	1	11,80

Tabla 17. Potencia (voltaje x amperaje) suministrado por el aerogenerador con 8 palas, en función a la velocidad del viento. Día 14

Tiempo (h)	Velocidad del viento (m/s)	Voltaje (V)	Amperaje (Amp)	Potencia (W)
08:00 am.	3,54	10,55	1	10,55
08:30am.	3,18	10,60	1	10,60
09:00am.	4,45	10,71	1	10,71
09:30am.	5,52	10,84	1	10,84
10:00am.	6,48	10,95	1	10,95
10:30am.	7,44	10,98	1	10,98
11:00am.	3,72	11,01	1	11,01
11:30am.	6,14	11,24	1	11,24
12:00am.	9,54	11,32	1	11,32
12:30am.	10,49	11,48	1	11,48
01:00 pm.	8,14	11,52	1	11,52
02:00 pm.	6,79	11,60	1	11,60
02:30 pm.	7,10	11,65	1	11,65
03:00 pm.	5,81	11,68	1	11,68
03:30 pm.	4,14	11,69	1	11,69
04:00 pm.	3,89	11,70	1	11,70
04:30 pm.	3,18	11,71	1	11,71
05:00 pm.	2,34	11,72	1	11,72
05:30 pm.	1,72	11,72	1	11,72
06:00 pm.	2,41	11,73	1	11,73
06:30 pm.	2,14	11,74	1	11,74
07:00 pm.	3,59	11,75	1	11,75
07:30 pm.	4,64	11,76	1	11,76
08:00 pm.	2,84	11,77	1	11,77
08:30 pm.	3,45	11,78	1	11,78
09:00 pm.	2,71	11,79	1	11,79
09:30 pm.	3,78	11,80	1	11,80
10:00 pm.	4,66	11,81	1	11,81

ANEXO 2
FOTOS DEL DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN

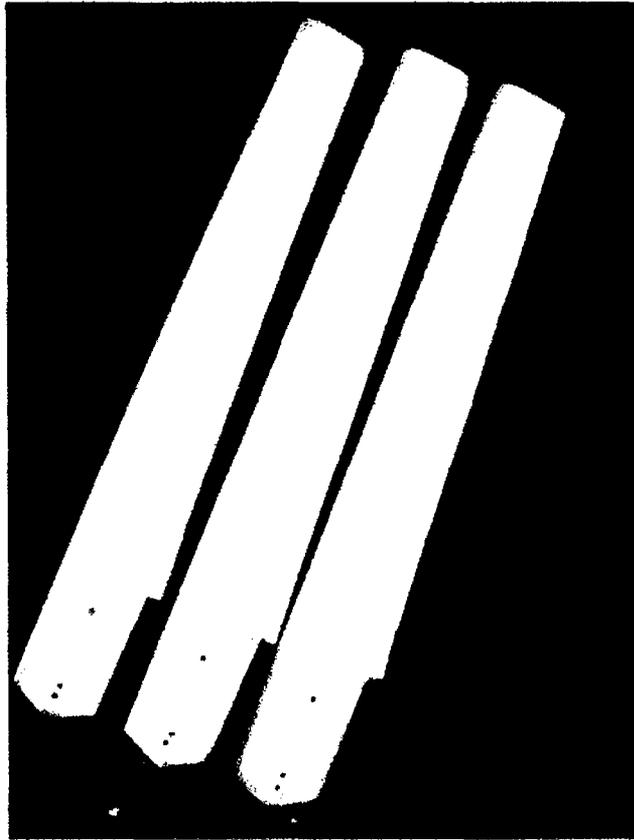


Figura 1. Pintado de las palas perfil NACA 4412.

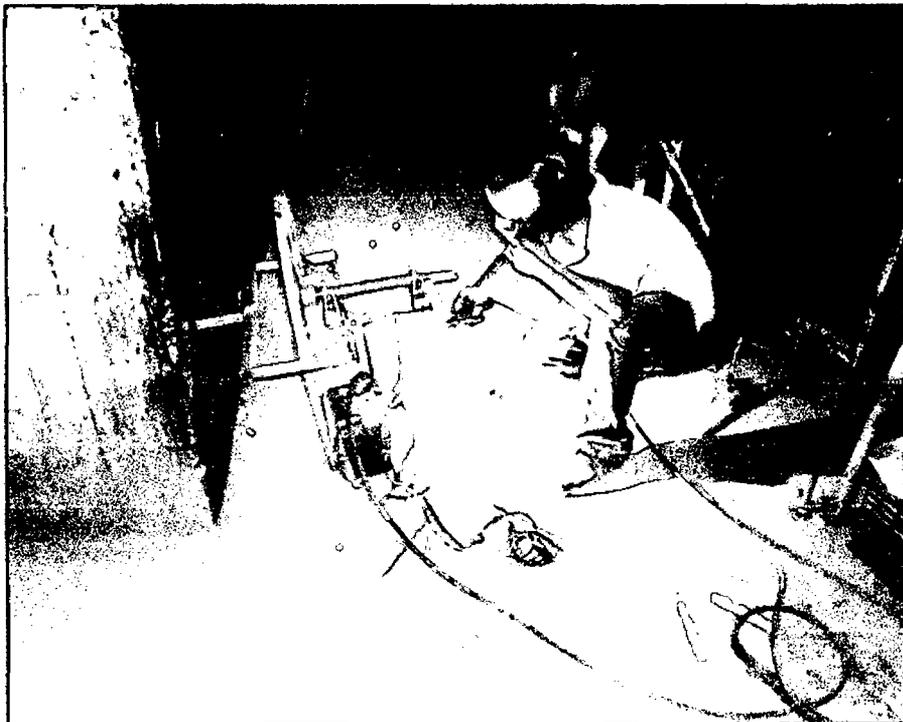


Figura 2. Armado del tornamesa.



Figura 3. Rotor de tres palas.

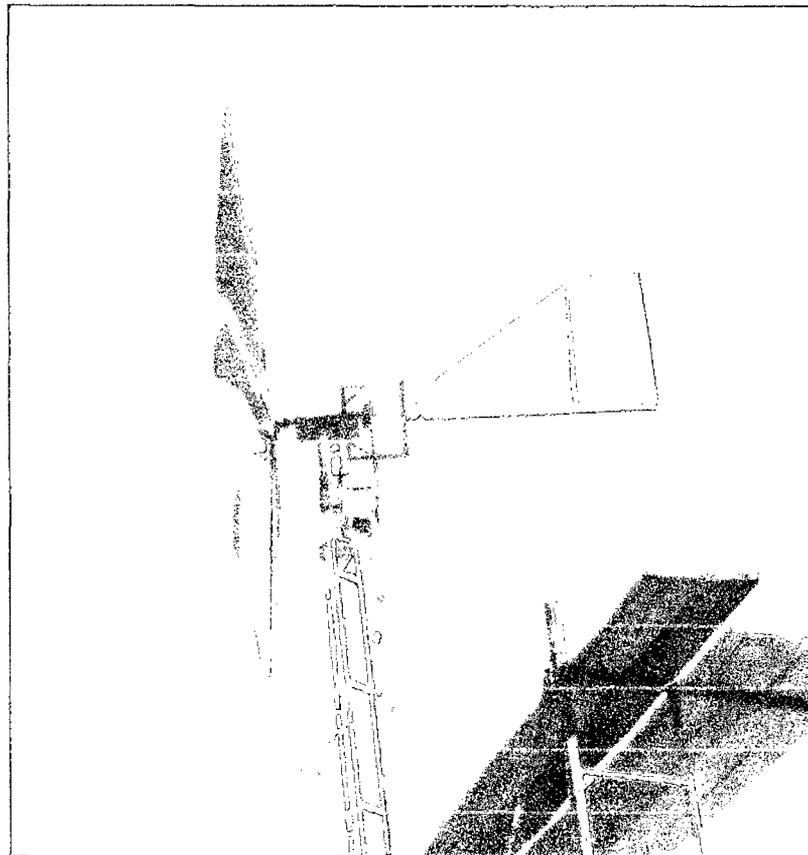


Figura 4. Aerogenerador de 6 palas en funcionamiento.

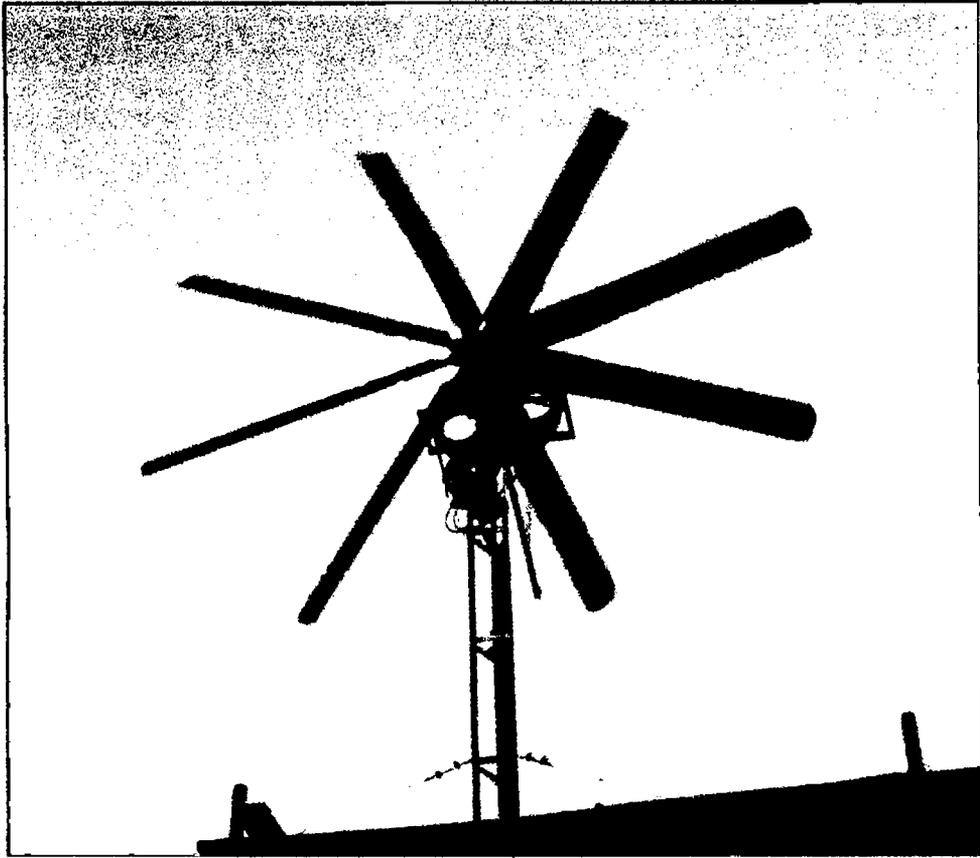


Figura 5. Aerogenerador de 8 palas en funcionamiento.

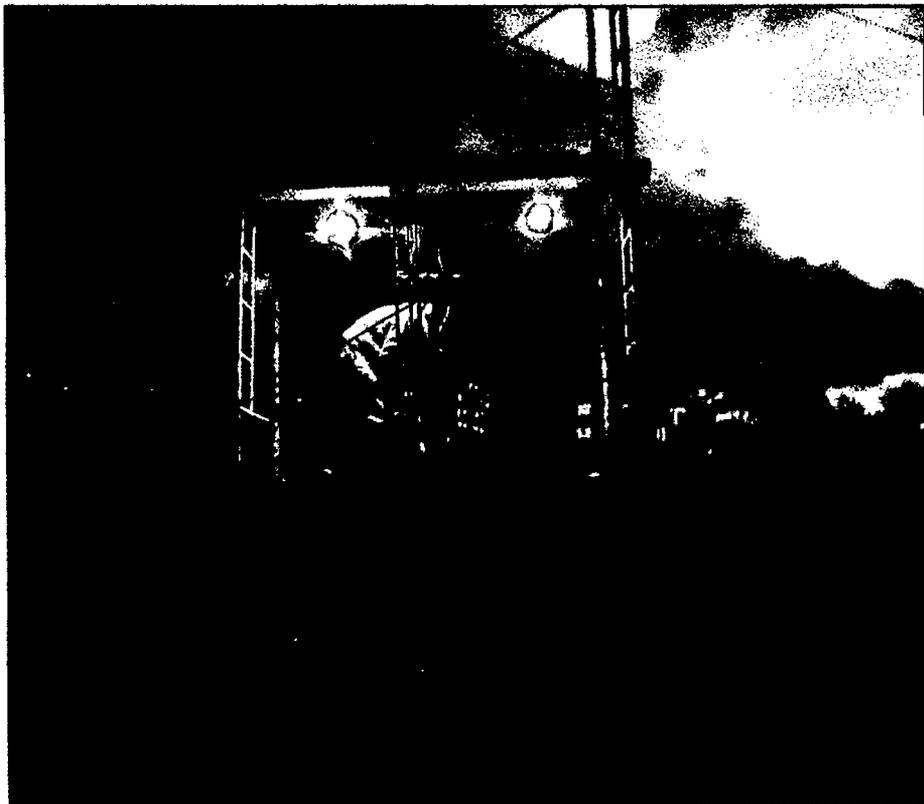
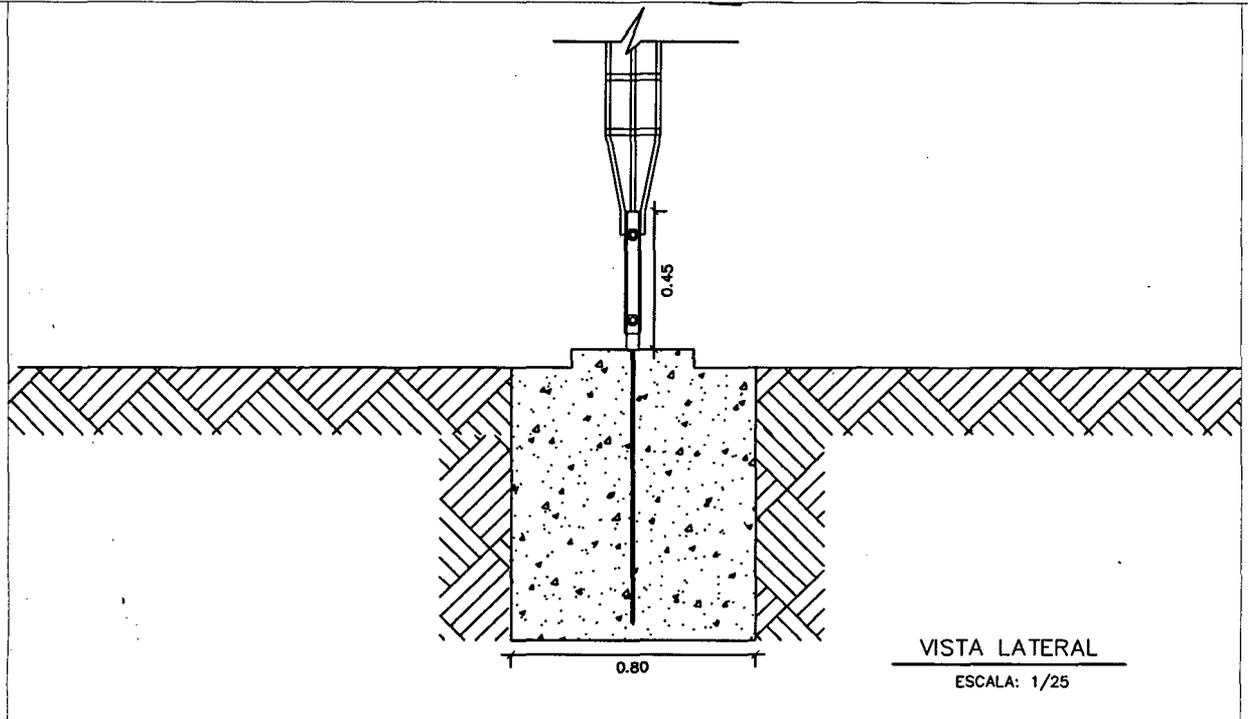
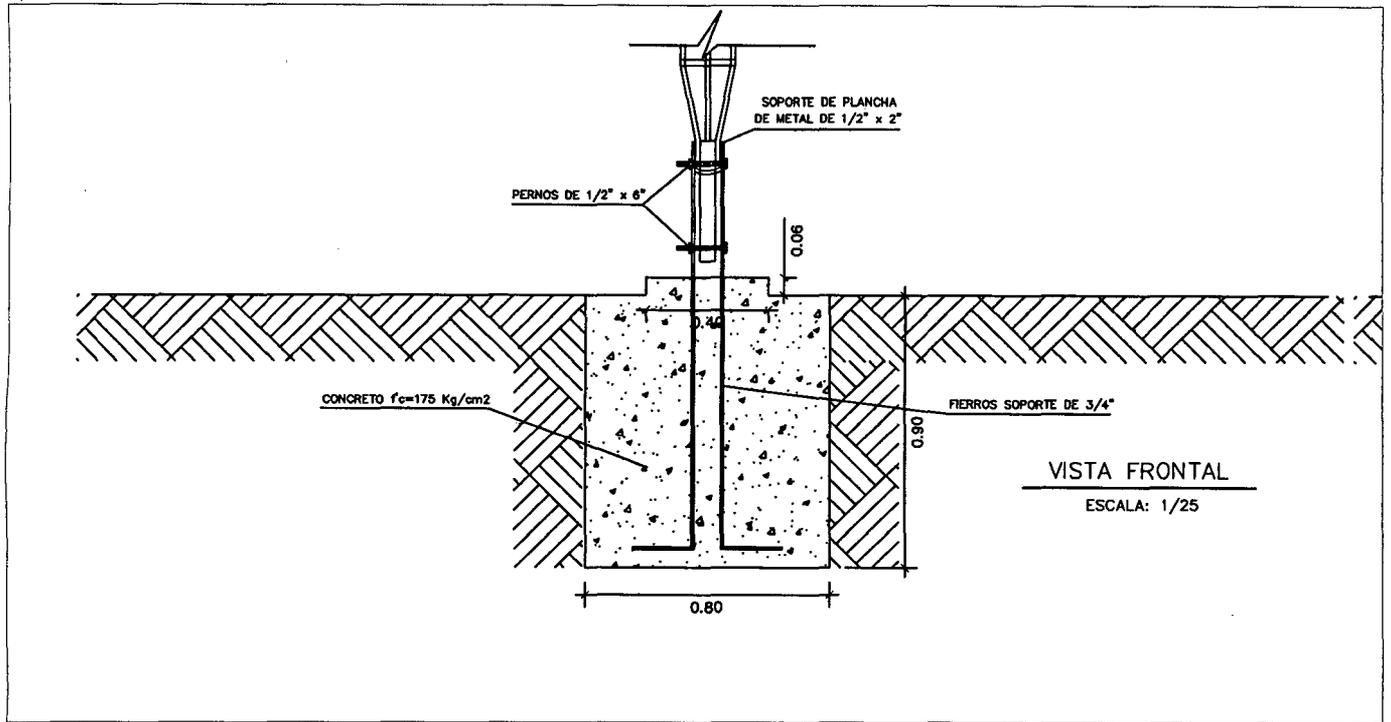
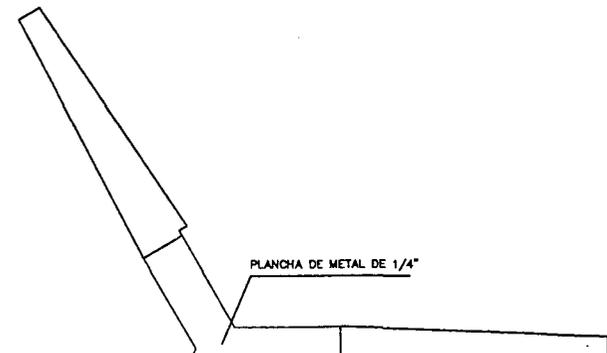
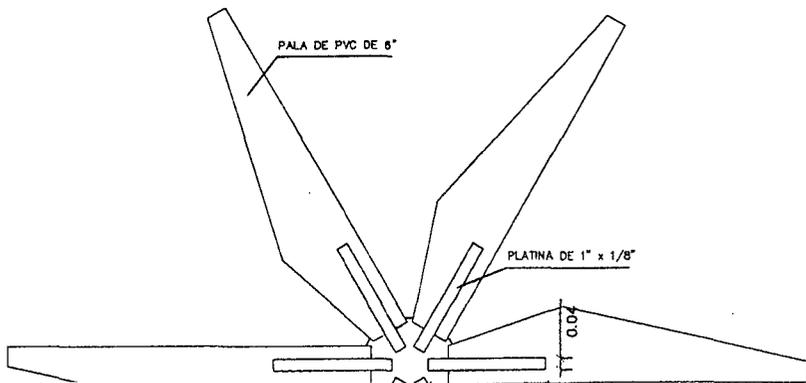
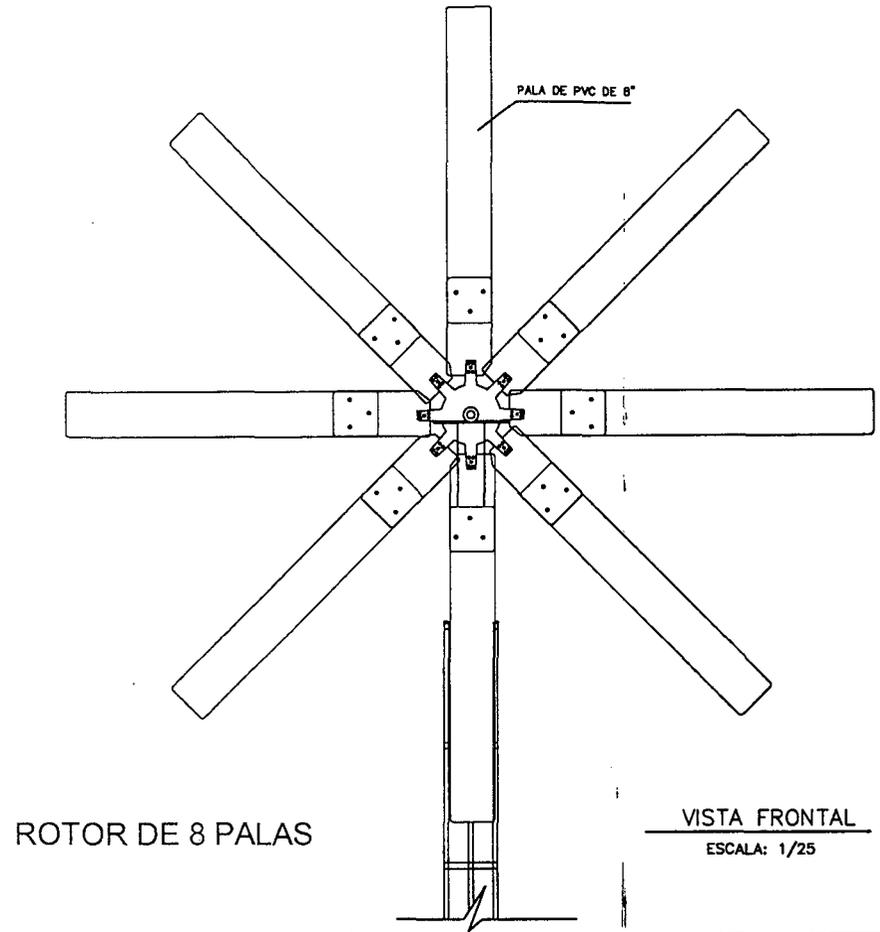
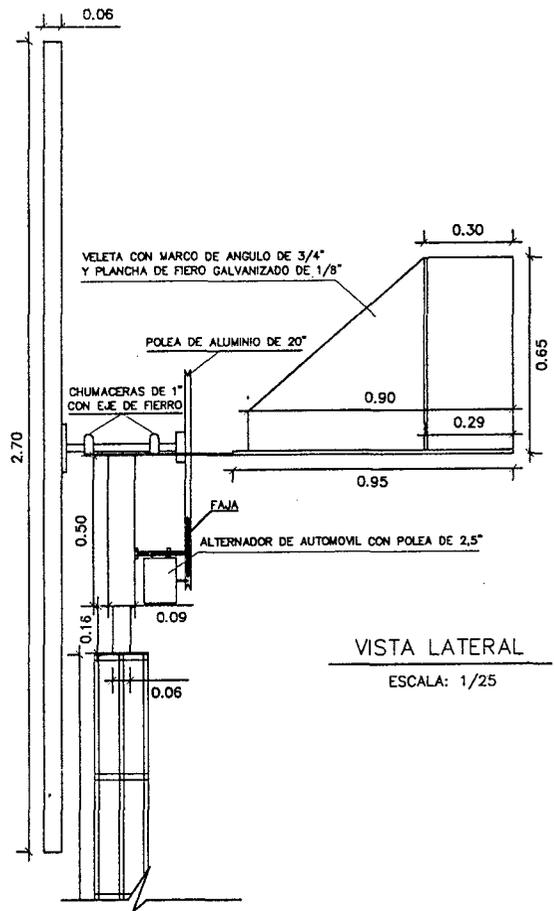


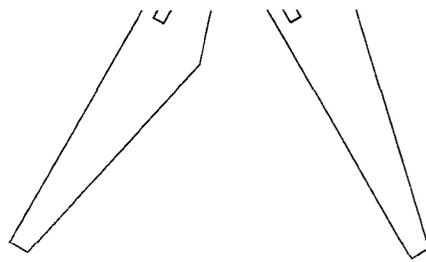
Figura 6. Aplicaciones del aerogenerador.

ANEXO 3
PLANOS DEL AEROGENERADOR



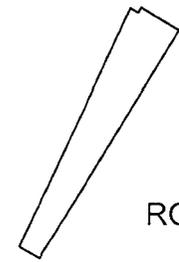
 <p>" UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS "</p>	PROYECTO DE TESIS: " RENDIMIENTO DE UN AEROGENERADOR CON ALTERNADOR DE AUTOMOVIL PARA GERAR ELECTRICIDAD "		LAMINA A-02
	PLANO: CIMENTACIÓN - DADOS DE CONCRETO		
TESISTAS: AQUINO OCAMPO Julio Cesar. RUIZ FERNANDEZ Dilger Roney	REGIÓN : AMAZONAS PROVINCIA : CHACHAPOYAS DISTRITO : CHACHAPOYAS		FECHA NOVIEMBRE - 2013
ASESOR: Dr. BARRENA GURBILLON Miguel Angel.	LEV OCAMPO-CAD	CAD: OCAMPO-CAD	





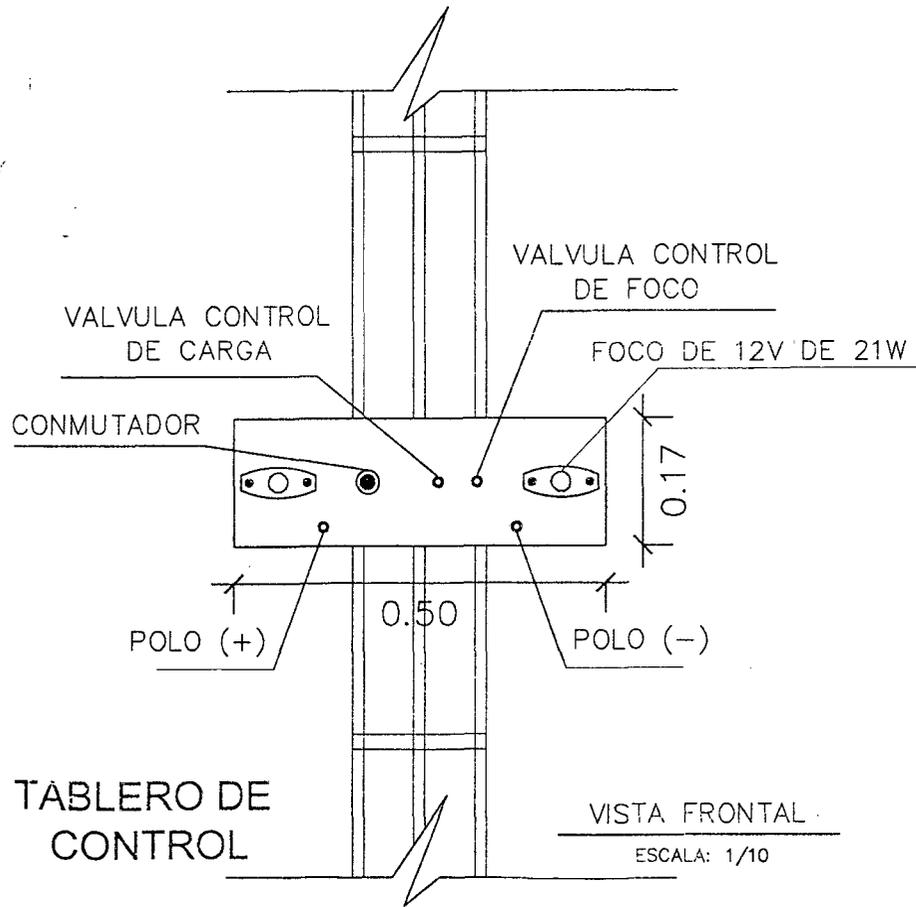
VISTA FRONTAL
ESCALA: 1/25

ROTOR DE 6 PALAS DE PVC



VISTA FRONTAL
ESCALA: 1/25

ROTOR DE 3 PALAS PERFIL
NACA 4412



TABLERO DE
CONTROL

VISTA FRONTAL
ESCALA: 1/10

 <p>" UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRIGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS "</p>	PROYECTO DE TESIS: " RENDIMIENTO DE UN AEROGENERADOR CON ALTERNADOR DE AUTOMOVIL PARA GERAR ELECTRICIDAD "	
	PLANO: VISTAS DEL AEROGENERADOR	
TESISISTAS: AQUINO OCAMPO Julio Cesar. RUIZ FERNANDEZ Dilger Roney	REGIÓN : AMAZONAS PROVINCIA : CHACHAPOYAS DISTRITO : CHACHAPOYAS	LAMINA A-01
ASESOR: Dr. BARRENA GURBILLON Miguel Angel.	ESCALA INDICADA FECHA NOVIEMBRE - 2013	
LEV OCAMPO-CAD	CAD: OCAMPO-CAD	