



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
EXTENSIÓN LATACUNGA**

**“ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE ENERGÍA EÓLICA, PARA DISMINUIR
LOS COSTOS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS
INSTALACIONES DE SINCHAGUASÍN Y OTRAS UNIDADES MILITARES
CON CARACTERÍSTICAS SIMILARES”**

***PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE TECNÓLOGOS EN
ELECTRÓNICA E INSTRUMENTACIÓN***

**CBOP DE COM. BARRIGA FLORES SAÚL ADÁN
CBOS DE IM. CALDERÓN FLORES WASHINGTON EDUARDO**

**DIRECTOR: ING GALO ÁVILA
CODIRECTOR: ING. JULIO ACOSTA**

LATACUNGA, ABRIL 2011

CERTIFICADO

ING. GALO ÁVILA (DIRECTOR)

ING. JULIO ACOSTA (CODIRECTOR)

CERTIFICAN:

Que el trabajo titulado “**ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE ENERGÍA EÓLICA, PARA DISMINUIR LOS COSTOS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS INSTALACIONES DE SINCHAGUASÍN Y OTRAS UNIDADES MILITARES CON CARACTERÍSTICAS SIMILARES** ” realizado por los señores BARRIGA FLORES SAÚL ADÁN Y CALDERÓN FLORES WASHINGTON EDUARDO, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la ESPE, en el reglamento de estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional, **SI** recomiendan su publicación.

ING. GALO ÁVILA
DIRECTOR

ING. JULIO ACOSTA
CODIRECTOR

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTESIÓN LATACUNGA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

NOSOTROS:

CBOP DE COM. BARRIGA FLORES SAÚL ADÁN
CBOS DE IM. CALDERÓN FLORES WASHINGTON E.

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado denominado “**ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE ENERGÍA EÓLICA, PARA DISMINUIR LOS COSTOS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS INSTALACIONES DE SINCHAGUASÍN Y OTRAS UNIDADES MILITARES CON CARACTERÍSTICAS SIMILARES** ” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, cuyas fuentes se incorporan a la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Abril del 2011

BARRIGA F SAÚL A.
CI.0502345796

CALDERÓN F WASHINGTON E.
CI. 1718458470

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTESIÓN LATACUNGA
JEFATURA DE INVESTIGACIÓN Y VINCULACIÓN CON LA
COLECTIVIDAD**

AUTORIZACIÓN

NOSOTROS:

CBOP DE COM. BARRIGA FLORES SAÚL ADÁN

CBOS DE IM. CALDERÓN FLORES WASHINGTON E.

Autorizamos a la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la biblioteca virtual de la institución del trabajo “**ANÁLISIS DE UN SISTEMA DE ENERGÍA EÓLICA, PARA DISMINUIR LOS COSTOS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN LAS INSTALACIONES DE SINCHAGUASÍN Y OTRAS UNIDADES MILITARES CON CARACTERÍSTICAS SIMILARES**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Abril del 2011

BARRIGA F SAÚL A.

CI.0502345796

CALDERÓN F WASHINGTON E

CI. 1718458470

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos profundamente a nuestros seres queridos por su comprensión y apoyo incondicional, por ser ellos los dueños de nuestra inspiración y móviles del deseo de desarrollo profesional en el esfuerzo de contribuir a la creación del pensamiento.

Agradecemos también a nuestros colaboradores especialistas en el tema tratado, los cuales han permitido el ahondar en los conocimientos técnicos necesarios para poder elaborar con éxito este proyecto

Finalmente dedicamos un espacio especial para expresar nuestro sentimiento de profundo agradecimiento a los Srs. asesores de este esfuerzo académico, al Ing. Galo Ávila e Ing. Julio Acosta, quienes con su paciencia, dedicación han sabido orientarnos por el camino del estudio estratégico, influyendo sustancialmente en nuestro desarrollo profesional y personal.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado a Dios nuestro creador ya que él con su bondad a sabido dar sabiduría a los hombres.

A toda mi familia, a mi querida madrecita quien con su esfuerzo a sabido llevarme por el camino del bien a mi hijo Santiaguito quien es ahora mi única fuente de inspiración para superarme y salir adelante te amo hijito mío.

Saúl Barriga

DEDICATORIA

El esfuerzo de una persona no sería posible sin el apoyo de más personas que están a tu lado acompañándote y dándote una palabra de aliento en cada paso que se da en la vida, por este motivo dedico mi esfuerzo y sacrificio a todas aquellas personas que durante este tiempo me supieron dar ese granito de arena para que pueda seguir con mi anhelo de superación.

A mis padres que gracias a ellos encontré la guía en mi camino, la comprensión y el empuje para poder salir en los esos momentos de flaqueo, desaliento, así gracias a ello pude fortalecerme para seguir adelante.

A mis hermanos ya que gracias a sus palabras de aliento he sabido seguir adelante sin retroceder y poder cumplir mis objetivos.

También dedico mi esfuerzo a una de las personas más especiales en mi vida, ya que gracias a su apoyo incondicional, comprensión y aliento, ella me ha ayudado a superar cualquier obstáculo enseñándome que si se puede seguir adelante cuando uno se quiere.

Washington Calderón

RESUMEN

Los altos costos de combustible y las altas tarifas de energía eléctrica convencional han optado por buscar nuevas alternativas de energía eléctrica, por esta razón la importancia de este proyecto el cual radica en los beneficios que tienen las energías alternativas.

Los sistemas de energía eólica permiten obtener alternativas de conservar el medio ambiente por medio de la producción de energía limpia y renovable que no contamine el planeta, además de abaratar los costos de consumo de energía eléctrica, permitiendo ahorrar dinero los cuales pueden ser utilizados en nuevos elementos que ayuden a mejorar los servicios de la Fuerza Terrestre, por ello el proyecto desarrollado toma como referencia el centro de eventos Sinchaguasín.

El centro de eventos Sinchaguasín cuenta con un importante potencial eólico, ya que mediante las pruebas y mediciones se pudo constatar que puede llegar a alcanzar en algunos momentos velocidades promedio de 4 metros por segundo (m/s).

El sistema eólico que se podría proporcionar en este centro de eventos sería de eje vertical por las características del viento, este sistema implementado podría abastecer de energía limpia y renovable a este centro de eventos Sinchaguasín y con proyectos a futuro se podría convertir en un parque eólico con más capacidad para abastecer al cantón Pujilí o a nivel provincial .

ABSTRACT

High fuel costs and high electricity rates have opted to seek conventional alternatives of electricity, for this reason the importance of this project which lies in the benefits that alternative energy.

Wind energy systems can obtain alternatives to preserve the environment by producing clean, renewable energy that does not pollute the planet, as well as reduce the costs of electricity consumption, saving money which can be used in new elements that help to improve services for the Land Forces, so the project developed draws on the events center Sinchaguasín.

Sinchaguasín events center has a large wind potential, as measured by evidence and were aware that it can reach average speeds at times of 4 meters per second (m / s).

The wind system that could be provided in the center of events would be vertical axis wind characteristics, the implemented system could supply clean, renewable energy in this center Sinchaguasín events and future projects could become a wind farm better able to cater to the district or provincial level Pujilí.

ÍNDICE

INTRODUCCION.....	1
-------------------	---

CAPÍTULO I

1.1 Definición y descripción de un sistema eólico.....	3
1.2 Funcionamiento de un sistema eólico.....	4
1.3 Energía eólica utilizada en Lattino América	9
1.4 Tipos de sistemas eólicos	13
1.4.1 Análisis.....	14
1.4.2 Características	14

CAPÍTULO II

2.1 Estudio de los diferentes sistemas eólicos.....	17
2.1.1 Sistemas eólicos de eje horizontal.....	18
2.1.2 Sistemas eólicos de eje vertical	22
2.1.3 Capacidades	24
2.1.4 Formas de conduccion de energía.....	25
2.2 Maneras de distribuir una energía eólica	27
2.3 Análisis de la aplicabilidad de un sistema eólico.....	29

2.3.1 Alcances	30
2.3.6 Limitaciones	31

CAPÍTULO III

3.1 Análisis de la aplicabilidad de un sistema eólico en FF.TT	32
3.1.1 Ventajas	33
3.1.2 Desventajas	34
3.2 Aplicabilidad de un sistema eólico en FF.TT.....	36
3.3 Aplicabilidad de un sistema en Sinchaguasín	36
3.4 Desarrollo de un prototipo.....	47
3.5 Pruebas y análisis de resultados	49
3.6 Alcances y limitaciones.....	51
3.6.1 Alcances	51
3.6.2 Limitaciones	51

CAPÍTULO IV

4.1 Conclusiones	53
4.2 Recomendaciones	55

GLOSARIO DE TÉRMINOS	57
----------------------------	----

ENLACES BIBLIOGRÁFICOS.....	58
-----------------------------	----

INDICE DE GRÁFICOS

Figura 2.1 Partes de un sistema eólico.....	18
Figura 2.2 Configuración típica de conversión eólica horizontal	19
Figura 2.3 Configuración típica de conversión eólica vertical.....	23
Figura 2.4 Conexión de un sistema eólico	28
Figura 3.1 Estadísticas del viento	37
Figura 3.2 Sistema de eje vertical recomendado	42
Figura 3.3 Conexión típica de un sistema de eje vertical	43
Figura 3.4 Ejemplo de conexión de baterías en paralelo	44
Figura 3.5 Ejemplo de conexión de baterías en serie	45
Figura 3.6 Ejemplo de conexión de baterías en forma mixta (serie/paralelo)	45
Figura 3.7 Banco de baterías.....	46
Figura 3.8 Anemómetro instalado en el centro de eventos Sinchaguasín	47
Figura 3.9 Torre eólica del prototipo	50

INDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Muestreo de veocidades del viento en el centro de eventos Sinchaguasín, diez días de medición.....	37
Tabla 3.2 Potencia máxima en el centro de eventos Sinchaguasín.....	38
Tabla 3.3 Potencia aproximada de demanda diaria.....	39
Tabla 3.4 Valores medidos del prototipo.....	50

INTRODUCCIÓN

Durante décadas el entorno en el que vivimos ha sido objeto de diversos cambios y avances tecnológicos, de los cuales los seres humanos nos hemos habituado llevándolos a ser parte de un estilo de vida agradable pero costoso al mismo tiempo, el consumo de energía eléctrica es uno de los motivos por los cuales se eleva el costo de vida, ya que por la gran demanda de electricidad se han producido crisis energéticas a nivel mundial elevando así el precio de producción de esta, provocando de esta manera la búsqueda de nuevas alternativas a fin de poder abastecer y abaratar los costos que se producen en la utilización de este tipo de tecnología a base de electricidad.

Por este motivo, atendiendo las necesidades de la ESPE-L, se ha planteado el presente trabajo de investigación como solución a los requerimientos que hemos observado en nuestra institución, como soldados técnicos y futuros tecnólogos, de la Fuerza Terrestre (FF.TT).

El presente trabajo de investigación se presenta en cuatro capítulos.

El capítulo I, indica toda la fundamentación teórica y los diferentes tipos de sistemas eólicos existentes a nivel mundial.

El capítulo II, se encuentra un análisis de la forma de conducción de los diferentes tipos de energía eólica y sus posibles aplicaciones.

El capítulo III, trata de la aplicabilidad de un sistema eólico en el centro de eventos Sinchaguasín y en otras unidades de similares características,

además del desarrollo de un prototipo que simula el funcionamiento de la energía eólica.

El capítulo IV, se indican las conclusiones y recomendaciones finales obtenidas de la presente investigación desarrollada en la Escuela Politécnica del Ejército Extensión Latacunga con la colaboración del cuerpo docente y administrativo.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

1.1 DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DE UN SISTEMA EÓLICO.

Energía eólica es la energía obtenida del viento, o sea, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas. La energía eólica se origina por medio del movimiento simple de masa de aire, es decir del viento, que es transformado en otras formas útiles para las actividades humanas.

El término eólico viene del latín Aeolicus, perteneciente o relativo a Eolo, dios de los vientos en la mitología griega. La energía eólica ha sido aprovechada desde la antigüedad para mover los barcos impulsados por velas o hacer funcionar la maquinaria de molinos al mover sus aspas.

La energía eólica es abundante, renovable, ampliamente distribuida, limpia y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de fósiles-derivados, por ello la convierte en un tipo de energía verde. Sin embargo, el principal inconveniente es su intermitencia.

La energía cinética del viento puede transformarse en otras formas energéticas, como energía mecánica o energía eléctrica, ya que el origen del viento es complejo, en la tierra el movimiento de las masas de aire se deben principalmente a la diferencia de presiones existentes en distintos lugares de

esta, moviéndose de alta a baja presión, este tipo de viento se llama viento geoestrófico.

Para la generación de energía eléctrica a partir de la energía del viento se analiza zonas más específicas del planeta, estos vientos son los llamados vientos locales, entre estos están las brisas marinas que son debida a la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra, también están los llamados vientos de montaña que se producen por el calentamiento de las montañas y esto afecta en la densidad del aire y hace que el viento suba por la ladera de la montaña o baje por esta dependiendo si es de noche o de día.

En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante aerogeneradores. A finales de 2007, la capacidad mundial de los generadores eólicos fue de 94.1 GWatts. En 2009 la energía eólica generó alrededor del 2% del consumo de electricidad mundial, cifra equivalente a la demanda total de electricidad en Italia, la séptima economía mayor mundial. En España la energía eólica produjo un 11% del consumo eléctrico en 2008, y un 13.8% en 2009.

1.2 FUNCIONAMIENTO DE UN SISTEMA EÓLICO.

Energía obtenible del viento

La energía máxima teórica que puede ser extraída de una masa de aire en movimiento está dada por la expresión:

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2 \quad \text{Ec.1.1}$$

Donde E_c = energía cinética [joule/s]

m = flujo de aire [kg/s]

V = velocidad del viento [m/s]

Si suponemos una área de captación A (o área barrida por las palas) perpendicular a la dirección del viento, el flujo de aire circulante que la atraviesa será:

$$m = d A V \quad \text{Ec.1.2}$$

siendo:

d = densidad del aire [kg/m³]

A = área de captación [m²]

La energía teórica máxima por unidad de tiempo y de área ($A=1$) que podremos extraer de una masa de aire en movimiento, será entonces:

$$P_m = \frac{1}{2} d V^3 \quad \text{Ec.1.3}$$

A esta energía se la denomina potencia meteorológica y se la expresa en W/m^2 ,

Como la velocidad del viento, luego de atravesar la superficie de captación, no es nula, la potencia dada por la expresión anterior no será totalmente aprovechable. Betz demostró que la máxima energía recuperable,

con un aerogenerador ideal, es igual a 16/27 (»60%) de la energía total. Tomando en cuenta que ningún rotor es ideal, para caracterizarlo es necesario conocer su eficiencia o rendimiento h . La potencia obtenible por unidad de área de rotor, medida en W/m^2 , puede expresarse entonces como:

$$P_a = \frac{1}{2} h d V^3 \quad \text{Ec.1.4}$$

Y la potencia total para el área descrita por las palas al girar,

$$A = pR^2 = pD^2 /4, \text{ en } W/m^2 \quad \text{Ec.1.5}$$

Queda como:

$$P_t = \frac{1}{2} h d (pD^2 /4) V^3 \quad \text{Ec.1.6}$$

Siendo: D y R = diámetro y radio del rotor expresado en metros

Por lo tanto, podemos expresar la potencia obtenible de una máquina eólica, tomando el diámetro en metros y la velocidad en metros por segundo, como:

$$P = \frac{1}{2} h V^3 \quad \text{Ec.1.7}$$

El rendimiento h depende del tipo de máquina y de las condiciones de operación. Referidos a la relación entre la velocidad de la punta de las palas en los rotores de eje horizontal (o del punto más alejado del eje de rotación en el caso de los rotores de eje vertical tipo Darrieus y Savonius) y la

velocidad del viento. Conociendo las características de una turbina eólica y la velocidad del viento en un instante dado, es sencillo determinar la potencia útil.

El problema radica en que la velocidad del viento no es constante y, por lo tanto, es necesario conocer su evolución temporal para estimar la energía útil que una turbina eólica es capaz de entregar en un período determinado. Lamentablemente, las mediciones que se realizan con fines climatológicos no tienen, por lo general, el grado de detalle que requieren ciertos proyectos eólicos. En el caso de instalaciones de pequeña potencia, o para analizar la pre factibilidad de instalaciones de potencias altas, existen métodos estadísticos que permiten, a partir de las características de un lugar y la velocidad media del viento, determinar la distribución de velocidades horarias a lo largo de, por ejemplo, todo un año y estimar la energía útil anual obtenible.

Cuando se trate de instalaciones de mayor potencia será inevitable la realización de mediciones especiales, como frecuencia y velocidad máxima de ráfagas, que contribuyan a la selección de las máquinas y a un cálculo más preciso de la rentabilidad del proyecto.

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que se desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales al gradiente de presión.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer las variaciones diurnas y nocturnas y estacionales de los vientos, la variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo, la entidad de las ráfagas

en espacios de tiempo breves, y valores máximos ocurridos en series históricas de datos con una duración mínima de 20 años.

Es también importante conocer la velocidad máxima del viento. Para poder utilizar la energía del viento, es necesario que éste alcance una velocidad mínima que depende del aerogenerador que se vaya a utilizar pero que suele empezar entre los 3 m/s (10 km/h) y los 4 m/s (14,4 km/h), velocidad llamada "cut-in speed", y que no supere los 25 m/s (90 km/h), velocidad llamada "cut-out speed".

La energía del viento es utilizada mediante el uso de máquinas eólicas (o aeromotores) capaces de transformar la energía eólica en energía mecánica de rotación utilizable, ya sea para accionar directamente las máquinas operatrices, como para la producción de energía eléctrica. En este último caso, el sistema de conversión, (que comprende un generador eléctrico con sus sistemas de control y de conexión a la red) es conocido como aerogenerador.

En estos la energía eólica mueve una hélice y mediante un sistema mecánico se hace girar el rotor de un generador, normalmente un alternador, que produce energía eléctrica. Para que su instalación resulte rentable, suelen agruparse en concentraciones denominadas parques eólicos, en donde el viento que sopla gira las cuchillas de una turbina de viento como un molino. Este dispositivo se llama una turbina de viento y no un molino de viento.

Las palas de la turbina están unidos a un eje que se acopla en un eje de giro. El eje pasa por una caja de engranajes de transmisión, donde se

aumenta la velocidad de giro. La transmisión se une a un eje de alta velocidad que hace girar un generador que produce electricidad.

Si el viento es demasiado alto, la turbina tiene un freno que mantendrá las cuchillas girando a una velocidad constante no muy rápida evitando así que se dañe. Aún queda el problema de qué hacer cuando el viento no sopla. En esos momentos, otros tipos de plantas de energía deben ser utilizadas para producir electricidad.

Para que una turbina de viento pueda trabajar de manera eficiente, la velocidad del viento por lo general debe estar por encima de 12-14 millas por hora. El viento tiene que ser de esta velocidad para girar las turbinas lo suficientemente rápido como para generar electricidad.

1.3 ENERGÍA EÓLICA UTILIZADA EN LATINO AMÉRICA.

La energía eólica como fuente para producir electricidad va poco a poco ganando terreno en América Latina, Los países latinoamericanos tienen el espacio y las ráfagas de gran alcance necesarios para que la energía eólica sea un éxito.

América Latina a lo largo de su extensión, desde México hasta la Patagonia, pasando por Centro y Sur América, es una región con una inmensa riqueza en recursos naturales aprovechables para la producción de energía, sitios de excelente irradiación solar, recursos hídricos a lo largo del continente, zonas de fuertes vientos y gran generación de biomasa. Con esto Latino América exhibe una posición envidiable respecto a otros continentes; sin embargo esto hasta ahora no se ha visto reflejado en un aprovechamiento vasto de todas las posibilidades existentes.

Las energías renovables en América Latina, aunque ya han dado pasos importantes para su desarrollo, se encuentran aún en una etapa incipiente en cuanto a capacidad instalada de tecnologías no convencionales se refiere. Sin embargo, si sumamos las grandes hidroeléctricas de las que depende más de la mitad del consumo de energía eléctrica en la región, La energía hidroeléctrica ha tenido este amplio desarrollo en la región como consecuencia directa del gran potencial y los bajos precios de generación comparados con otras fuentes de energía.

El potencial de generación eólica es inmenso en América latina; sólo basta con mencionar que la región posee dos de los mejores lugares del mundo para la generación de energía eólica: la Patagonia, en el sur del continente, y el Istmo de Tehuantepec, en México, zonas comparables con los vientos que se producen en el Mar del Norte. Sin embargo, no sólo estos lugares cuentan con un excelente recurso eólico. Las estimaciones de potencial para toda la región hacen soñar con un futuro impulsado por el poder del viento. Estimaciones previas hablan de un potencial que podría superar los varios cientos de miles de MW de generación eólica técnicamente viables.

América Latina, con crecimientos económicos sostenidos superando el 5% en los últimos años, alcanzando algunos países incluso cifras de 10%, las necesidades energéticas crecen a un ritmo similar, con el agravante de que en varios países no se han hecho a tiempo las inversiones necesarias para atender la demanda. En nuestro país crecen las amenazas de crisis, los racionamientos esporádicos y la preocupación por la búsqueda de soluciones para impedir que la falta de energía detenga el crecimiento de la región.

Para atender momentáneamente sus severas falencias de energía, varios países han puesto sus esperanzas en la añorada integración energética regional, con lo cual hemos visto cómo fluye de manera tímida la energía eléctrica entre fronteras y donde el suministro del preciado gas natural ha tomado un papel importante. Sin embargo, también es claro que cada país lucha por su independencia energética y por evitar poner su futuro en las manos de las en ocasiones políticas inestables.

Cabe resaltar que las naciones que poseen el mayor recurso de hidrocarburos, poseen a la vez las políticas más inciertas a largo plazo, a excepción de Brasil.

A todo esto hay que sumarle otros factores que pesan bastante por estos días, los altos precios de los combustibles fósiles y la amenaza mundial de cambio climático.

Las opciones de energías renovables o energía nuclear, sin embargo el uso de esta última aún despierta muchas dudas y pocos países lo consideran como una opción viable a corto plazo por razones tecnológicas y de generación de residuos. Teniendo en cuenta las necesidades energéticas de la región, sumado al interesante potencial en energías renovables, todo apunta hacia un despliegue definitivo de estas tecnologías en la región, sin embargo todavía hay un camino importante que recorrer en cuanto a marco regulatorio.

Aunque casi todos los países han tomado algún tipo de medida para la promoción de las energías renovables, la mayoría de ellas son aún tímidas y requieren de modificaciones para que logren sus objetivos rápidamente. Destacan programas de incentivo serios como el PROINFA en el Brasil, que

permitió la activación del mercado de las energías renovables, apoyando la inversión e incentivando el uso de las energías renovables; mientras que Chile optó por políticas de fomento en su recién promulgada Ley de Energías Renovables la cual contiene metas de crecimiento en energías renovables establecidas, 15% para el 2010, la cuales ya están viendo resultados con nuevos proyectos de parques eólicos entre ellos uno de 500MW, que promete convertirse en el más grande de Latino América.

Con el anterior panorama, se percibe un ambiente favorable para las energías renovables en América Latina, ahora es necesario garantizar el acceso a la tecnología, otro de los puntos débiles en los que será necesario trabajar a corto plazo. Aunque América Latina tiene un buen recurso de mano de obra para la fabricación de estas tecnologías, se presenta una falencia de personal calificado para el desarrollo de tecnología, instalaciones, operación y mantenimiento y en general toda la cadena tecnológica.

América Latina se proyecta como una tierra de oportunidades para las energías renovables, en particular la eólica.

No puede pasarse por alto que, más allá de la crisis financiera global, América Latina tiene previsto seguir creciendo con mayor cantidad de proyectos vinculados a la energía eólica. Se continuarán impulsando proyectos energéticos, tanto eólicos como térmicos e hidroeléctricos.

Es indiscutible que en lo que se refiere a la energía eólica, muchos países de América Latina han demostrado un gran despliegue durante estos años.

Tal como decíamos al comienzo, hasta el momento la potencia eólica con 769 MW representaba quizás algo menos del 0,5% a nivel mundial. No obstante, si se realizan estos nuevos proyectos de la Asociación Latinoamericana de Energía Eólica, durante este año se sumarán más de 1.200 MW y otros 1.500 MW durante el próximo año. El crecimiento de energía eólica en América Latina, evidentemente, será muy significativo.

1.4 TIPOS DE SISTEMAS EÓLICOS.

Desde los comienzos de la utilización de la energía eólica se han desarrollado gran cantidad de máquinas de los tipos más variados. Se dice que los pedidos de patentes superan a las de cualquier otro dispositivo que se haya ideado. De todos ellos, son relativamente pocos los que se generalizaron y alcanzaron escala de Producción Comercial.

Se acostumbra clasificar las máquinas eólicas según la posición del eje de rotación con respecto a la dirección del viento, pudiéndolos dividir en dos categorías principales:

- Molinos de eje horizontal.
- Máquinas eólicas en las cuales el eje de rotaciones paralelo a la dirección del viento.
- Molinos de eje vertical.
- Máquinas eólicas en las cuales el eje de rotación es perpendicular a la Superficie terrestre y a la dirección del viento.

1.4.1 ANÁLISIS

Como señalamos en la introducción, la toma de conciencia sobre la ágotabilidad de los recursos energéticos no renovables (o de los renovables no debidamente utilizados), la creciente preocupación por el impacto sobre el medio ambiente de los combustibles fósiles y la energía nuclear, y las bruscas alzas de los precios del petróleo ocurridos, intensificaron la búsqueda de alternativas de abastecimiento energético, renaciendo el interés por el recurso eólico.

Los países industrializados focalizaron sus desarrollos en el abastecimiento de energía eléctrica. Los logros alcanzados en el plano de la investigación y desarrollo y, más aún, en las tecnologías de producción de turbinas eólicas, han hecho que, en el presente, el recurso eólico haya dejado de ser una potencial alternativa de abastecimiento para convertirse en una realidad. Las turbinas eólicas son hoy una opción más en el mercado de la generación eléctrica.

1.4.2.- CARACTERÍSTICAS

- Tamaño reducido
- Fácil instalación
- Bajo costo
- Independiente de estructuras existentes para la instalación
- Estructura de molino y soporte en el exterior donde haya viento fluido.

La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático.

Es una de las fuentes más baratas, puede competir su rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de Carbón (considerado tradicionalmente como el combustible más barato), las centrales de combustible e incluso con la energía nuclear.

El generar energía eléctrica sin que exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica supone, desde el punto de vista medio ambiental, un procedimiento muy favorable por ser limpio, Exento de problemas de contaminación, etc. Se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación, transporte y combustión, lo que beneficia a la atmósfera, el suelo, el agua, la fauna, la vegetación.

La utilización de la energía eólica para la generación de electricidad presenta nula incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosión, ya que no se produce ningún contaminante que incida sobre este medio, ni tampoco vértigos o grandes movimientos de tierras.

Al contrario de lo que puede ocurrir con las energías convencionales, la energía eólica no produce ningún tipo de alteración sobre los Acuíferos ni por consumo, ni por contaminación por residuos.

La generación de electricidad a partir del viento no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero, ni destruye la capa de ozono, tampoco crea lluvia ácida. No origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes.

La electricidad producida por un aerogenerador evita que se quemem diariamente miles de litros de petróleo y miles de kilogramos de lignito negro en las centrales térmicas. Ese mismo generador produce idéntica cantidad de energía que la obtenida por quemar diariamente 1.000 Kg. de petróleo. Al no quemarse esos Kg. de carbón, se evita la emisión de 4.109 Kg. de CO₂, lográndose un efecto similar al producido por 200 árboles. Se impide la emisión de 66 Kg. de dióxido de azufre -SO₂- y de 10 Kg. de óxido de nitrógeno - principales causantes de la lluvia ácida.

La energía eólica es independiente de cualquier política o relación comercial, se obtiene en forma mecánica y por tanto es directamente utilizable. En cuanto a su transformación en electricidad, esta se realiza con un rendimiento excelente.

CAPÍTULO II

ANÁLISIS DE SISTEMAS EÓLICOS

2.1 ESTUDIO DE LOS DIFERENTES SISTEMAS EÓLICOS.

Los sistemas fotovoltaicos, por lo general, son muy parecidos unos con otros, o son prácticamente iguales, los pequeños aerogeneradores se caracterizan por su gran variedad, con diferentes formas y tamaños. Sin embargo, en los últimos tiempos han ido cambiando hacia una configuración común. Si bien pueden parecer distintos, en realidad son muy similares.

Muchos pequeños aerogeneradores trabajan aislados de la red. Antes que todo, hay que recordar que la tecnología de los aerogeneradores que trabajan aisladamente es diferente a la tecnología que se emplea para las turbinas eólicas conectadas a la red, las diferencias entre ambas tecnologías afectan todas las partes o subsistemas.

Los pequeños aerogeneradores no conectados a la red se emplazan donde existe una cierta necesidad de energía eléctrica y la demanda que se debe satisfacer está dada por la aplicación para la cual ha sido seleccionado el aerogenerador.

Para los aerogeneradores conectados a la red se selecciona el mejor emplazamiento factible y no hay limitación en la energía generada, excepto alguna limitación de potencia impuesta por la misma red eléctrica.

“En un trabajo realizado en el 2006, en el Nordic Folkecenter for Renewable Energy, de Dinamarca, se llegó a la conclusión de que hay 218

modelos de pequeños aerogeneradores presentes en el mercado, producidos por 88 fabricantes de 27 países.

De los pequeños aerogeneradores analizados en dicho estudio, el aerogenerador de mayor potencia es de 40 000 W y 12 m de diámetro. El más pequeño es de 5 W y 0,53 m de diámetro. Los más grandes también se ofertan para ser conectados a la red.”

2.1.1 SISTEMAS EÓLICOS DE EJE HORIZONTAL

La mayoría de los aerogeneradores presentes en el mercado son de eje horizontal de cara al viento (reciben el viento de frente) y poseen los siguientes subsistemas: rotor, generador eléctrico, sistema de frenado, sistema de orientación, sistema de regulación de velocidad de giro y torre soportante (fig.2.1).

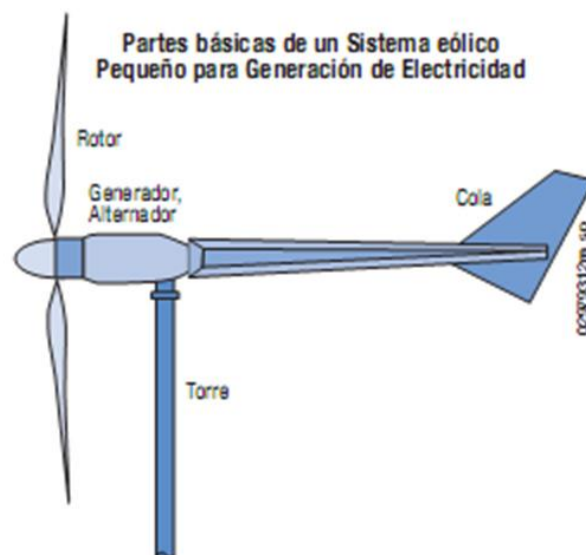


Figura 2.1 Partes de un sistema eólico

El rotor es de tipo hélice, en la tecnología actual el rotor más frecuente es el de dos y tres palas, aunque existe de tres, cuatro y cinco palas.

Es decir, la mayoría de los modelos existentes son tripalas y bipalas. La única ventaja de los rotores bipalas es que el precio inicial es más bajo, pero los tripalas trabajan más uniformemente y por consecuencia duran más. Mayores números de palas se corresponden con turbinas eólicas de potencia nominal menor de 250 W (fig.2.2). La mayoría de los pequeños aerogeneradores emplean materiales compuestos para la fabricación de las palas. El material más usado es la fibra de vidrio reforzada con poliéster. Una última tendencia es el uso de la fibra de carbón. Algunas se fabrican de madera.

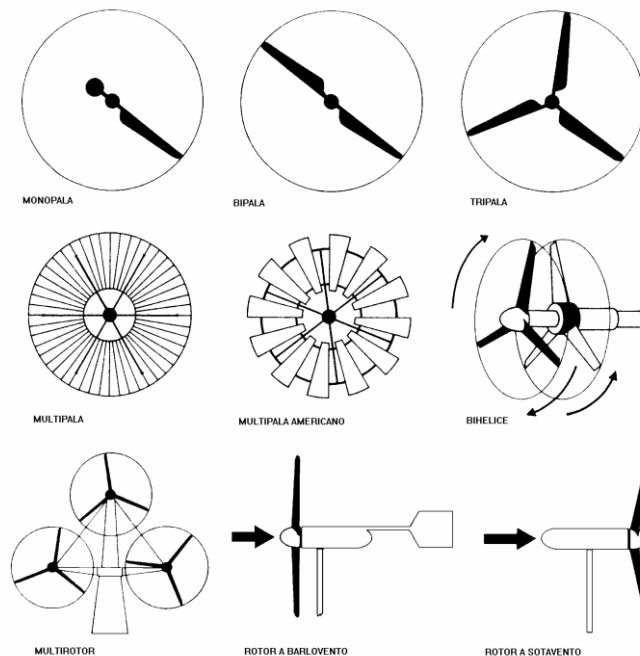


Figura 2.2 Configuración típica de sistemas de conversión de energía eólica de eje horizontal

La mayoría de los modelos existentes emplean conexión directa entre el rotor y el generador eléctrico, es decir no poseen caja multiplicadora, aunque no están ausentes en la totalidad de los modelos.

Es común el uso del diseño invertido, en el cual la carcasa gira por fuera del estator unida al rotor.

Existen modelos que emplean los generadores de inducción, presentes en los grandes aerogeneradores conectados a la red.

El sistema de orientación de todos los aerogeneradores de eje horizontal tienen una guía de aluminio el cual gira y se coloca de frente al viento. A la línea vertical que pasa por esta guía se le conoce como eje de orientación. Debido a las pequeñas dimensiones, los pequeños aerogeneradores no tienen espacio para instalar los mecanismos de transmisión y los motores eléctricos que orientan al rotor de frente al viento, presentes en los grandes aerogeneradores. Por esto, el sistema de orientación de estos pequeños aerogeneradores es por veleta de cola.

La veleta se coloca al final de un brazo. Ésta captura el viento y aparece una fuerza lateral resultante sobre la veleta, que actúa sobre el brazo que hace girar la máquina sobre el eje de orientación para colocarla de frente al viento. El momento producido por la veleta es simplemente la fuerza lateral multiplicada por la longitud del brazo. La fuerza lateral depende del área de la veleta y de la velocidad del viento al cuadrado. Como regla simple se puede asumir que la longitud del brazo debe ser igual a la longitud de la pala del rotor. El área de la veleta no debe ser menor que 3% del área de barrido del rotor

El sistema de frenado para el aerogenerador debe estar diseñado para que trabaje todo el tiempo mientras el viento sea capaz de moverlo. Es suficiente con aceptar que el aerogenerador no trabajará en los períodos de baja velocidad (calma). El problema es que puede aparecer una pérdida de balance del rotor o un fallo eléctrico y en esos casos se necesita una parada de emergencia.

También cuando se necesita desmontar la turbina de la torre en un que exista exceso de viento, el rotor debe ser detenido. Entonces, todo aerogenerador debe poseer un subsistema que asegure la parada del rotor. Este subsistema consiste en un mecanismo capaz de reducir la velocidad del rotor hasta detenerlo totalmente a una velocidad del viento máxima, que es especificada por el fabricante.

Un sistema de regulación de la velocidad de giro no resulta económico instalar un gran generador eléctrico que sea capaz de convertir en electricidad toda la potencia contenida en las altas velocidades del viento. Entonces, esta potencia que no puede ser absorbida provoca sobre velocidades de giro que traen como resultado excesivas fuerzas centrífugas, indeseables ruidos y vibraciones; en fin, condiciones de trabajo peligrosas. Si el rotor tiene un diámetro mayor que un metro, esta sobre velocidad debe evitarse.

Por lo general, todos los aerogeneradores, tanto grandes como pequeños, poseen un medio para controlar el rotor expuesto a fuertes vientos, es decir, todos poseen algún medio para prevenir que se supere la velocidad límite de rotación de diseño y lo mantenga dentro de los límites de diseño.

Las torres más encontradas son las autoportantes y las atirantadas o con tensores. Los tensores son generalmente indeseables por ser vulnerables a accidentes y daños; además, no son agradables a la vista. Las torres autoportantes son las más preferidas, pero están sometidas a mayores tensiones, son más pesadas y más caras que las atirantadas.

Finalmente, la más frecuente es la tubular con tensores. Estas deben ser capaces de resistir las fuerzas máximas que aparecen durante el montaje y las tormentas que soportaría.

2.1.2 SISTEMAS EÓLICOS DE EJE VERTICAL

Entre las aeroturbinas de eje vertical se pueden distinguir tres tipos principalmente: Savonius, Darrieus y ciclo giro. Las de menor eficiencia son las Savonius que presentan una gran superficie de contacto al viento siendo por ello de más baja velocidad y precio inicial muy alto.

Un rotor Savonius consta de dos mitades de un cilindro partido verticalmente de arriba hacia abajo, unidas de tal modo que en un corte horizontal forman una especie de S (fig. 2.3).

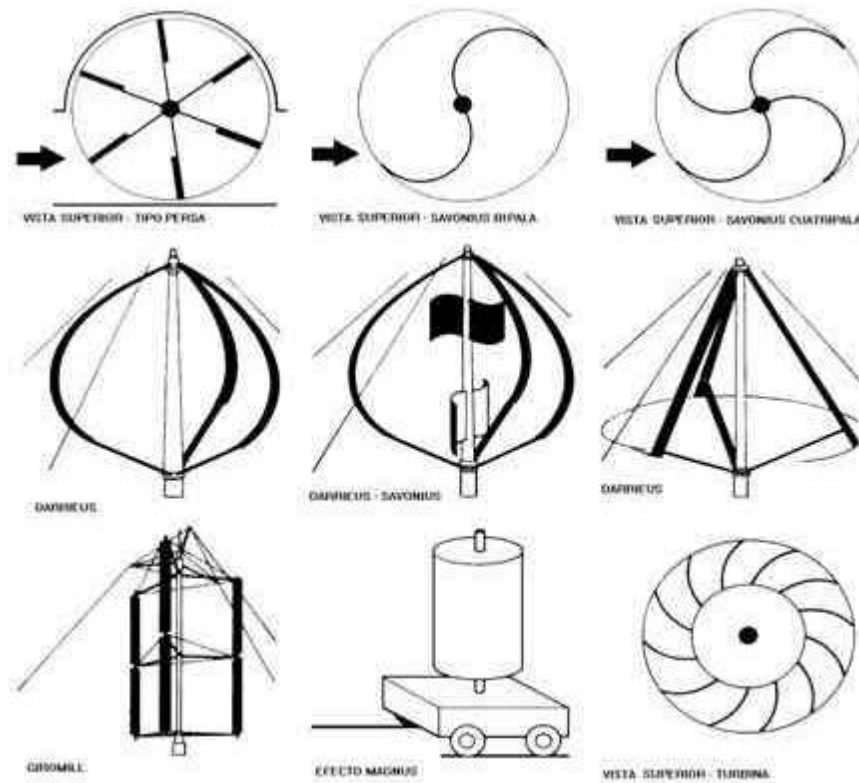


Figura 2.3 Configuración típica de sistemas de conversión de energía eólica de eje vertical

Las aeroturbinas más utilizadas son las de rotor Darrieus, cuyas aspas semejan alas de un batidor. Normalmente tienen de dos a tres aspas soportadas en la parte superior o inferior de la flecha. Estas máquinas requieren de una potencia inicial, no eólica, para arrancar, a lo mismo que los generadores modernos de eje horizontal y de potencias superiores a los 60 kW. Algunos prototipos de Darrieus emplean pequeños rotores Savonius para iniciar su operación.

El tercer tipo de turbinas es el ciclo giro, muy semejante al Darrieus solo que las aspas son rectas y sus aspas y su orientación se modifica

constantemente. La potencia pico predicha para este tipo de turbinas es más alta que para cualquier otro.

Las aeroturbinas de eje vertical tienen ciertas ventajas sobre las de eje horizontal, las primeras no requieren de una orientación ni sistema de control para la orientación de las aspas, esto último puede ser también una desventaja ya que no siempre tienen la mejor orientación con respecto al viento.

2.1.3 CAPACIDADES

Las capacidades de las máquinas eólicas depende de la intensidad del viento, la igualdad de diámetro de las palas, al aumentar la velocidad del viento, la potencia teóricamente extraíble aumenta de manera más que proporcional.

Por lo tanto, antes de decidir instalar un sistema eólico es indispensable conocer bien las características del viento en el lugar en el que se piensa instalar los aerogeneradores. Estos conocimientos se obtienen realizando preventivamente un atento estudio de la frecuencia, de la velocidad, de la duración y de la dirección del viento.

La intensidad del viento depende de las características orográficas del terreno. Una circunstancia fundamental es la rugosidad del terreno: en llanura o en el mar el viento sopla con intensidad mayor que en el campo o en los alrededores de las ciudades. Otro elemento a tener en cuenta es la altura del terreno: cuanto más se sube mayor es la velocidad del viento

Las máquinas eólicas funcionan dentro de parámetros mínimos y máximos de la velocidad del viento. En línea general:

Pueden ser activados con viento variable de 2 a 4 m/s (velocidad de cut-in)

Cuando el viento alcanza la velocidad de 10–14 m/s (velocidad de corte o nominal), se activa un dispositivo de control de la potencia.

Se paran cuando la velocidad del viento supera los 20-25 m/s (velocidad de cut-off).

2.1.4 FORMAS DE CONDUCCIÓN DE ENERGÍA

Para la conducción de la energía eólica, la línea está dividida eléctricamente en cuatro tramos según las necesidades y la naturaleza de la corriente: un primer tramo en corriente alterna mediante sistema trifásico de 230 V. Un segundo tramo en corriente continua, tras realizar la conveniente transformación mediante el rectificador trifásico. Un tercer tramo en corriente alterna trifásica de 200V, tras la etapa de salida del inversor trifásico. Y por último, el cuarto tramo en corriente alterna trifásica de 400 V, tras pasar por el transformador trifásico.

Como norma general los conductores serán de cobre y tendrán la sección adecuada para asegurar caídas de tensión inferiores al 1.5%, tanto para el tramo de continua como para el tramo de alterna.

El primer tramo, entre aerogenerador y rectificador es una línea trifásica, cuyo voltaje será de 230V. Lo que ocurre, es que debido a la no constancia de velocidad del viento, la producción eléctrica será variable y proporcional a las rachas de viento. Por este motivo, la tensión generada se rectifica dando lugar al segundo tramo de corriente continua. De esta manera se procede a la conversión a corriente alterna a través del inversor trifásico, logrando el nivel de tensión estable de 230 V mediante sistema trifásico. Y finalmente aparece el cuarto tramo, donde mediante transformador trifásico se cambia el nivel de voltaje, es decir, se elevan los 200 V a 400 V, con lo cual se adapta la energía eléctrica generada a los valores de distribución del edificio para poder proceder a su interconexión.

El primer tramo va desde el generador, descendiendo la torre, y canalizado de forma subterránea hasta el armario de control y protecciones, donde se ubica el cuadro que contiene el rectificador trifásico y en inversor. Por tanto, el segundo tramo, esta cableado en el propio armario. Del inversor sale la línea trifásica convertida a 200V hasta llegar a la toma de baja del transformador. Finalmente sale la línea trifásica por la toma de alta del transformador hasta el punto de conexión a red.

Tanto para la línea tetra polar de corriente alterna (3 fases + conductor de tierra) como para la línea tri-polar de corriente continua (positivo, negativo y conductor de tierra) se emplearán conductores flexibles de cobre de doble aislamiento cuya sección se calcula a continuación.

Para la determinación reglamentaria de la sección de un cable, se tendrán en cuenta los 3 criterios siguientes:

1. Criterio de Intensidad Máxima Admisible: La temperatura del conductor del cable, trabajando a plena carga y en régimen permanente no deberá superar en ningún momento la temperatura máxima admisible de los materiales que se utilizan para el aislamiento.
2. Criterio de la Caída de Tensión: La circulación de corrientes a través de los conductores ocasiona una pérdida de potencia entre las tensiones origen y extremo de la canalización. Esta caída debe ser menor a los límites marcados por el reglamento en cada parte de la instalación.
3. Criterio de la Intensidad de Cortocircuito: La temperatura que puede alcanzar el conductor del cable como consecuencia de un cortocircuito o sobre intensidad de corta duración no deberá sobrepasar la temperatura máxima admisible por cada uno de los materiales utilizados en el aislamiento del cable.

Este criterio, no es determinante en instalaciones de baja tensión, ya que las protecciones de sobre intensidad limitan la duración del cortocircuito a tiempos muy breves y además las impedancias de los cables hasta el punto de cortocircuito limitan la intensidad de cortocircuito.

2.2 MANERAS DE DISTRIBUIR UNA ENERGÍA EÓLICA.

La canalización está dividida físicamente en tres tramos, el primer tramo corresponde a la instalación vertical desde el aerogenerador hasta el terreno.

El segundo tramo corresponde a la instalación enterrada entre la base de la torre y la arqueta de registro. Y el tercer tramo corresponde a la

conducción enterrada desde la arqueta de registro hasta el armario de control y protecciones (fig 2.4).

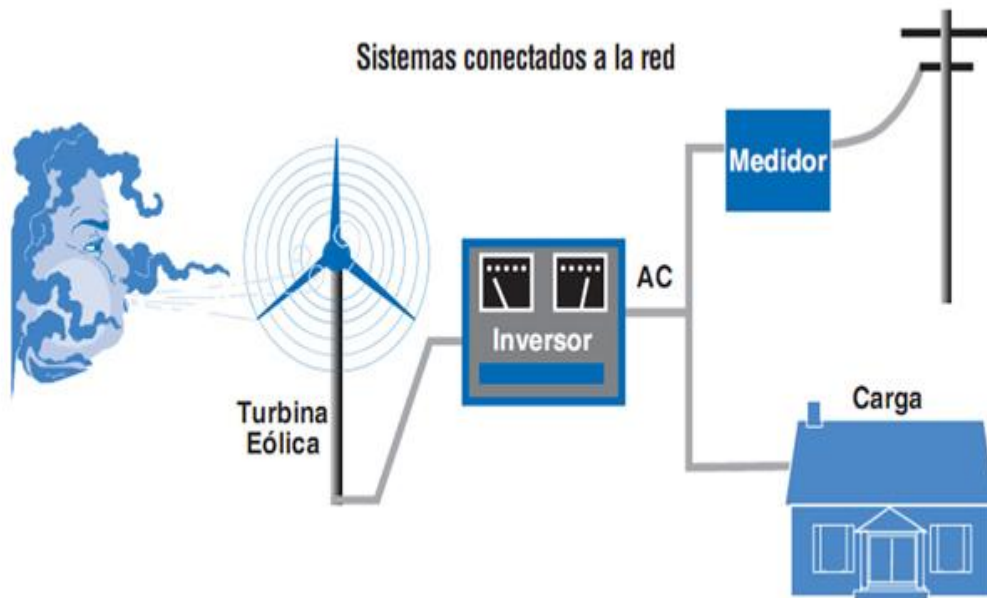


Figura 2.4 conexión de un sistema eólico

La canalización vertical de la torre se realizará mediante tubo de acero de 110 mm, montaje superficial aéreo, amarrado interiormente por la estructura metálica de la torre, intercalando las necesarias abrazaderas de sujeción para fijar dicho tubo. Dichas abrazaderas serán metálicas y fijación mediante tornillería métrica esparrago-arandela tuerca.

Los dos tramos de canalización enterrada se efectuarán a través de una zanja, la misma tendrá una anchura y una profundidad de 0.60 y 0.80 metros, respectivamente, según lo establecido en el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.

La excavación de la zanja se ejecutará de forma que no resulten dañadas posibles instalaciones existentes, ni arboles cercanos al recorrido. A unos 40 metros de la base de la torre, se intercalará una arqueta de registro.

Realizada la zanja, se colocará una primera capa de arena cribada de unos 10 cm y se compactará. Seguidamente se colocará un tubo corrugado de 110 mm para la conducción establecida, manteniendo su posición en el centro de la zanja, el tubo corrugado contendrá un alambre para facilitar el paso de los cables posteriormente. A partir de aquí se empezará a rellenar la zanja hasta unos 10 cm por encima del tubo corrugado, y se volverá a compactar.

Después se colocarán las placas de identificación de instalaciones enterradas, y finalmente se acabará de rellenar la zanja con la tierra sobrante de la primera excavación.

2.3 ANÁLISIS DE LA APLICABILIDAD DE UN SISTEMA EÓLICO.

Se debe tomar varios aspectos para verificar la aplicabilidad de un sistema eólico, como por ejemplo, existen dos métodos básicos de evaluación económica de sistemas aislados de generación eléctrica, de forma que cualquier otro método será una variante de ellos.

El primer método calcula el coste total del sistema. Puede ser empleado en el caso de comparar tecnologías que buscan satisfacer una demanda determinada y no producir más o menos energía.

El segundo divide el resultado del primer método por la energía producida, es decir, calcula el coste del kWh producido a lo largo de toda la vida del sistema, permitiendo evaluar la viabilidad económica de un sistema aislado determinado y discriminar entre distintos sistemas para una aplicación concreta.

2.3.1 ALCANCES

- La potencia instalada depende de forma general de la capacidad de los receptores y la simultaneidad en su empleo, además hay que tener en cuenta la corriente de arranque de las cargas de potencia elevada, hay que tener en cuenta la simultaneidad entre los consumos.
- Para dimensionar el alcance de la instalación eólica el parámetro clave es la duración máxima de los períodos de calma, dicha información sobre este parámetro debe tenerse en cuenta, si no la hay puede tomarse un valor aproximado de otras instalaciones con similares características o realizar estudios exhaustivos sobre este tema.
- En los casos de turbinas eólicas que generen corriente alterna es necesario el empleo de un equipo rectificador para cargar la batería de acumulación. La potencia nominal del rectificador viene dada por la potencia del aerogenerador o del grupo, y debe satisfacer las características de la acumulación. La potencia del inversor se establece en función de la potencia máxima demandada por la carga, debiendo tener en cuenta también el valor medio de ésta y las características de la acumulación.

2.3.2 LIMITACIONES

- La red eólica debe estar equipada con relés de tensión y frecuencia para la desconexión automática en caso de tensiones y frecuencias fuera de rango. Los relés deben ajustarse de acuerdo a la región y al sistema.
- Cada aerogenerador o parque eólico debe soportar, sin desconexión, la carga de secuencia negativa debida al despeje de la falta por una protección de respaldo.
- Para evitar operación aislada, los parques eólicos deben desconectarse ante las siguientes condiciones:
 - Frecuencia por encima de 52 Hz durante más de 2 s.
 - Frecuencia por debajo de 47 Hz durante más de 2 s.
 - Tensión en el punto de conexión por debajo del 80 % durante más de 2 s.
 - Tensión en el punto de conexión por encima del 120 % durante más de 2 s.

CAPÍTULO III

APLICACIÓN

3.1 ANÁLISIS DE LA APLICABILIDAD DE UN SISTEMA EÓLICO EN LA FUERZA TERRESTRE

Para el correcto funcionamiento es fundamental determinar la intensidad del viento en el lugar donde se pretende montar la instalación eólica. La elección del lugar debería basarse en datos objetivos, como los datos anemométricos disponibles en áreas contiguas, la utilización de mapas del territorio o en datos militares. De todos modos, la evaluación final de la viabilidad o menos del proyecto debe provenir de una fiable campaña de medición anemométrica.

Los generadores eólicos actuales necesitan una velocidad media anual no inferior a los 4 metros por segundo, y preferiblemente superior a los 6.

A la hora de elegir el lugar del aerogenerador es importante tener en cuenta los fenómenos de turbulencia que se crean en los alrededores por la presencia de construcciones, árboles u obstrucciones de diferente naturaleza, que puedan provocar una disminución del rendimiento de las máquinas.

Debe ponerse especial atención en la instalación de máquinas en las lomas, donde la orografía del terreno puede influir mucho sobre la distribución del viento.

3.1.1 VENTAJAS

1. La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles, contribuyendo a evitar el cambio climático ya que no existe proceso de combustión ni transformación térmica de ningún tipo. Es una tecnología de aprovechamiento totalmente madura y puesta a punto.
2. La energía eólica no produce emisiones que produzcan gases de efecto invernadero.
3. Se suprime el impacto originado por el transporte de combustible. Reduce el tráfico marítimo y terrestre cerca de las centrales, suprime el riesgo de accidentes tales como los vertidos de crudo, residuos nucleares, etc.
4. Se evita la instalación de canalizaciones a las refinerías o a las centrales de gas, etc.
5. No presenta incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo ya que no produce ningún contaminante que incida sobre él.
6. No produce alteración sobre los acuíferos ni por consumo ni por vertido.
7. Puede instalarse en espacios no aptos para otros fines, por ejemplo en zonas desérticas, en laderas áridas, etc. Puede convivir con otros usos del suelo, por ejemplo prados para uso ganadero o cultivos bajos como maíz, trigo, etc.

8. La energía eólica se obtiene de forma mecánica, por lo tanto es directamente utilizable, su transformación tiene un rendimiento excelente, ya que no depende de relaciones termodinámicas. Representa una fuente adicional de ingresos en la comunidad en la que se instalan los parques.

3.1.2 DESVENTAJAS

- 1 La energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral). La implantación de la energía eólica a gran escala puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización.
- 2 Los parques eólicos se localizan preferentemente en áreas de montaña, por lo que su instalación puede afectar a los recursos naturales, paisajísticos o culturales de la zona. En estas áreas el grado de conservación natural suele ser bueno y a veces presentan un alto valor paisajístico.
- 3 Las acciones del proyecto que generan mayor impacto son los referidos a obra civil: viales, zanjas, edificio de control y subestación. No obstante, en la mayoría de los casos el acceso principal lo constituyen carreteras ya existentes y los accesos interiores a las líneas de aerogeneradores se construyen aprovechando el trazado de pistas forestales.
- 4 El ruido producido tanto mecánica como aerodinámicamente por los componentes en rotación depende tanto de la calidad de los mecanizados y tratamientos superficiales como de los materiales que

constituyen las palas. Las mejoras en estos aspectos permiten que, en ausencia de barreras orográficas, los niveles de ruido no superen los impactos sobre la fauna, principalmente en los vertebrados, se manifiestan durante la fase de obra con desplazamientos temporales, pero se ha comprobado que vuelven una vez ha finalizado esta fase. Las aves son las más afectadas por el riesgo de colisión con las palas, torres, tendidos eléctricos, etc.

- 5 La instalación de un parque eólico está precedida por un Estudio de Impacto Ambiental que debe ser aprobado por las autoridades correspondientes con el objetivo de obligar al promotor de la instalación a tomar las medidas necesarias para minimizar los posibles impactos negativos que pudieran producirse.
- 6 Cuando ocurre una falta en el sistema, la tensión en el punto de falta cae prácticamente a cero voltios, y el flujo de corriente hacia la falta hace que tensión disminuya a lo largo de la red. Este efecto es el que comúnmente se denomina hueco de tensión.
- 7 Cuando se produce un hueco de tensión se produce la desconexión de los generadores que no tengan la capacidad de continuar suministrando potencia durante el hueco de tensión. Una vez despejada la falta, el sistema necesitará una reserva de generación suficiente para cubrir la generación desconectada durante el hueco, ya que durante las perturbaciones en la red, la estabilidad del sistema depende de la generación conectada al sistema para restaurar su operación normal.

3.2 APLICABILIDAD DE UN SISTEMA EÓLICO EN FUERZA TERRESTRE.

La energía eólica proporciona varias aplicabilidades dentro del ámbito eléctrico y agrícola por lo cual sería factible utilizar esta tecnología en la Fuerza Terrestre, puesto que sus unidades y destacamentos se encuentran a nivel nacional tanto en la costa, sierra y oriente.

Al igual que con los sistemas Fotovoltaicos, los sistemas eólicos permiten generar electricidad ya sea para autoconsumo o inyección hacia la red de suministro eléctrico, como está indicado en los capítulos I y II.

El bombeo de agua a través de sistemas eólicos es una solución viable para lugares en donde la red eléctrica convencional no tiene acceso y se garantice un flujo de viento mínimo para la operación de los aerogeneradores.

Es necesario un estudio de carga que necesita un reparto, destacamento, brigada para poder dimensionar el sistema eólico de generación eléctrica.

3.3 APLICABILIDAD DE UN SISTEMA EÓLICO EN SINCHAGUASÍN

El centro de eventos Sinchaguasín cuenta con un importante potencial eólico, llegando a alcanzar en algunos momentos velocidades promedio de 4 metros por segundo (m/s) (fig. 3.1 y tab. 3.1), estos valores son más que suficientes para garantizar la rentabilidad de proyectos de esta naturaleza.

Tabla 3.1. Muestreo de velocidades del viento en el centro de eventos Sinchaguasín 10 días de medición

FECHA	HORA	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
01/03/2011	0:00	0,4
01/03/2011	12:00	8,5
02/03/2011	0:00	4,5
02/03/2011	12:00	3,1
03/03/2011	0:00	3,6
05/03/2011	0:00	3,1
05/03/2011	12:00	0,9
05/03/2011	14:00	10,7
06/03/2011	0:00	1,8
06/03/2011	12:00	2,2
07/03/2011	0:00	4,9
07/03/2011	12:00	2,2
08/03/2011	0:00	1,3
08/03/2011	12:00	3,1
09/03/2011	0:00	2,7
09/03/2011	12:00	2,7
10/03/2011	0:00	2,2
10/03/2011	10:00	2,7

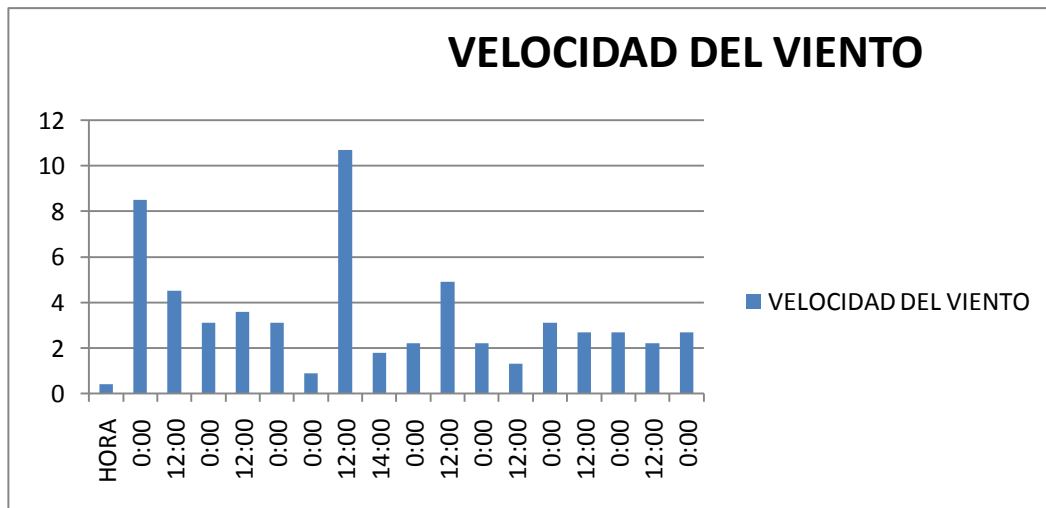


Figura 3.1. Estadísticas del viento

La capacidad de carga instalada en el centro de eventos Sinchaguasín es de 52.4 Kw (tab. 3.2), claro que se debe tomar en cuenta que esta cantidad de potencia que se consume es de todas las instalaciones puesta a la mayor carga posible e incluso conectando todos los artefactos eléctricos que tiene el centro para la utilización y administración de este.

Tabla 3.2 Potencia máxima en el centro de eventos Sinchaguasín

POTENCIA AL MAXIMO DE CARGA					
	CANT	KW	PORCENTAJE DE USO (%)	POTENCIA INSTALADA	POTENCIA DEMANDA
FOCOS	150	0,020	100	3 Kw	3 Kw
TOMA CORRIENTES NORMALES	92	0,450	100	41,4 Kw	41,4 Kw
TOMA CORRIENTES ESPECIALES	4	2,000	100	8 Kw	8 Kw
TOTAL POTENCIA				52,4 Kw	52,4 Kw

Si bien es cierto que la potencia instalada es la máxima que puede abastecer el centro de eventos Sinchaguasín utilizando todos los artefactos eléctricos disponibles (luces, toma corrientes normales y especiales), esta no es la capacidad que consume diariamente esta instalación, para establecer dicho consumo utilizamos el factor de potencia, el cual está dado en normas internacionales que permiten aproximar una demanda de energía, a fin de establecer el tipo de energía que se debe utilizar y como se puede abastecer una instalación cualquiera, entonces tendríamos que la potencia de demanda es de 23,69 Kw (tab. 3.3) lo cual si podríamos alimentar este centro de eventos con energía eólica.

Tabla 3.3 Potencia aproximada de demanda diaria

POTENCIA DEMANDA NOMINAL					
	CANT	KW	PORCENTAJE DE USO (%)	POTENCIA INSTALADA	POTENCIA DEMANDA
FOCOS	150	0,020	40	3 Kw	1,2 Kw
TOMA CORRIENTES NORMALES	92	0,450	35	41,4 Kw	14,49 Kw
TOMA CORRIENTES ESPECIALES	4	2,000	100	8 Kw	8 Kw
TOTAL POT.				52,4 Kw	23,69 Kw
TOT POT. (KVA)				53,47 KVA	24,17 Kw

$$P_{in} = n * P \quad \text{Ec.3.1}$$

$$P_{dem} = F_p * P_{in} \quad \text{Ec.3.2}$$

$$KVA = \frac{P_t}{F_p} = \frac{52.4KW}{0.98} = 53.47KVA \quad \text{Ec.3.3}$$

De donde:

Pin. Potencia instalada

Pdem. Potencia demanda

N= número de focos

P.=Potencia

Fp= Factor de potencia

Pt=Potencia total.

Para este tipo de potencia de demanda requerida en el centro de eventos Sinchaguasín, podemos instalar un aerogenerador de eje vertical ya que estos trabajan desde 3 m/s en adelante, no necesitan un eje de dirección de viento, el inconveniente de utilizar estos aerogeneradores es que su potencia administrada es baja por lo cual necesitaremos instalar varios

equipos eólicos, pero esto no implica mucho problema ya que el tamaño de estos aerogeneradores son de mínimas longitudes.

La potencia que requiere el centro de eventos Sinchaguasín es de 24,17Kw, adicionando un 25% al valor antes mencionado, puesto que necesitamos un porcentaje de referencia para tener un rango de seguridad en los equipos conectados a la red, esto con lleva a que instalemos cinco aerogeneradores de eje vertical ya que cada uno de ellos proporciona una potencia de 5 Kw, para cumplir este tipo de demanda debe cumplir con algunas características específicas:

1. Están compuestas de tres aspas o pala de material compuesto de aleaciones metálicas con forma helicoidal ya que cualquier viento a partir de 3m/s impacta en el ángulo ascendente y pasa por el perfil aerodinámico perpendicularmente (fig. 3.2).
2. Debe componerse de un rotor con sistema de rodamiento fuerte y compacto de dimensiones de 2200mm x 2650mm (fig. 3.2).
3. El generador eléctrico tiene que estar compuesto de un imán sincrónico permanente de tres fases, con tensión nominal de 250v, el cual convierte la energía cinética a energía eléctrica (fig. 3.2).
4. Necesitamos un anemómetro para medir las señales, velocidad y dirección del viento, las cuales son utilizadas para el control de arranque del aerogenerador y frenado del sistema si los vientos superan los 55 m/s (fig. 3.2).

5. Para la torre se debe utilizar en función de la altura necesaria en cada proyecto (fig. 3.2), las mediciones recomendadas para cubiertas es de cinco a seis metros y para tierra, jardines o sitios de parqueo es de siete a doce metros.

6. Se debe incluir un sensor de vibración que se puede instalar sobre el mástil, ya que este rastrea posibles vibraciones fuera de los rangos establecidos producido por condiciones meteorológicas, si este se activa da una señal al freno de emergencia(fig. 3.2).

7. Este inversor es un componente de cuatro cuadrantes, dos para corriente alterna y dos para corriente directa, con una tensión de salida de 220v a 240v con una frecuencia de 60Hz, este inversor es utilizado para la generación de la energía eólica y bidireccionalmente para la alimentación de las celdas de recolección de energía o baterías (fig. 3.2).

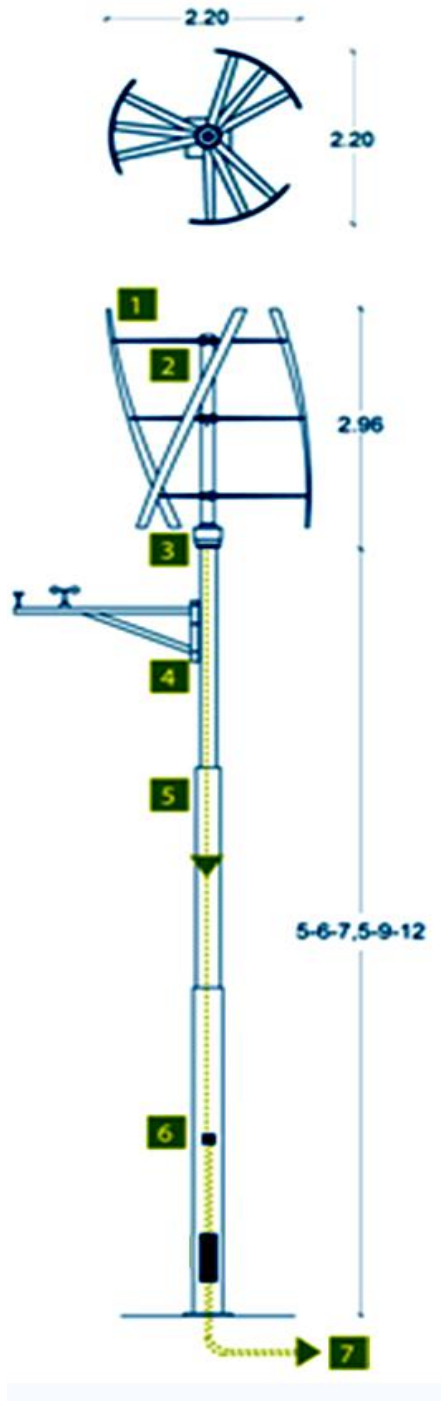


Figura 3.2 Sistema de eje vertical recomendado

Una vez obtenido este tipo de aerogenerador con las características específicas en la parte anterior, se procede a realizar la conexión típica (fig. 3.3) la cual esta detallada en el capítulo II.

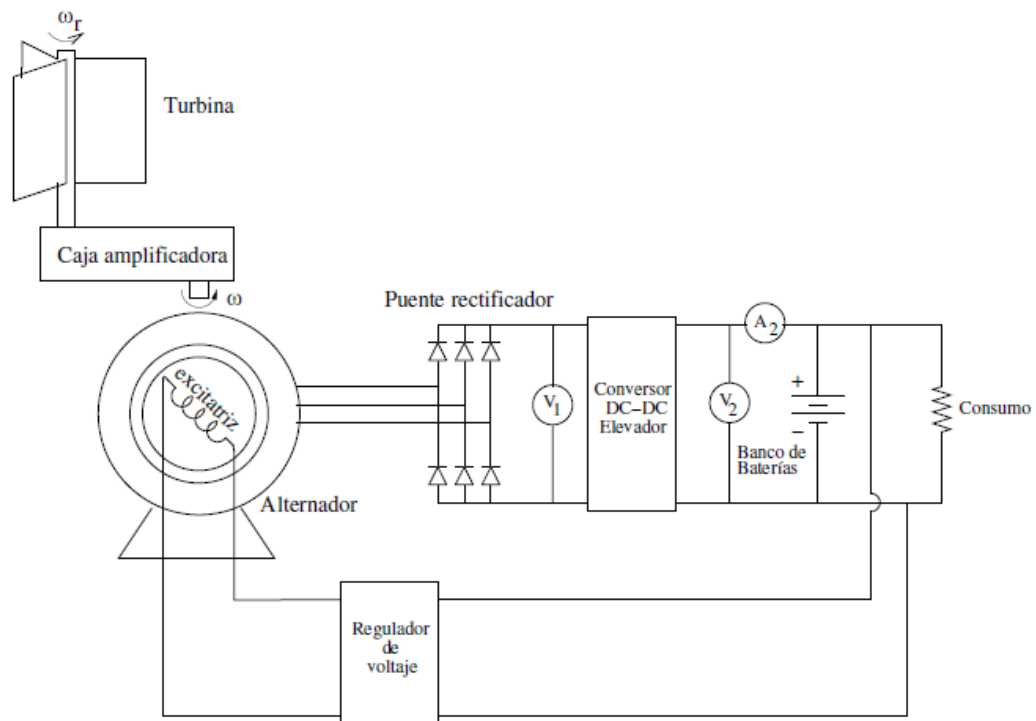


Figura 3.3 Conexión típica de un sistema de eje vertical

Dado que una característica esencial del viento es su discontinuidad en el tiempo, se han realizado diversos estudios destinados a desarrollar sistemas que permitan almacenar la energía producida por el viento, a fin de restituir la energía demandada en parte o la mayor posible, durante los días de calma.

Este tipo de baterías, basadas en sulfuro de sodio, ya se han utilizado en varias aplicaciones, pero también se puede aplicar a la energía eólica, soporta una intensa totalidad de descarga y un largo ciclo de vida (muchos

ciclos de recarga), proveen altas aplicaciones de energía (110-200 watts-hora), además de no emitir CO₂.

Mediante la conexión de varias baterías basadas en sulfuro de sodio se puede obtener varios MW almacenados en el sistema que puede ser fácilmente construido, como por ejemplo en paralelo (fig 3.4), serie (fig. 3.5) o mixta (fig. 3.6), el área requerida para la instalación es de aproximadamente la tercera parte de que se puede utilizar instalando un sistema de baterías basadas en plomo (fig 3.7).

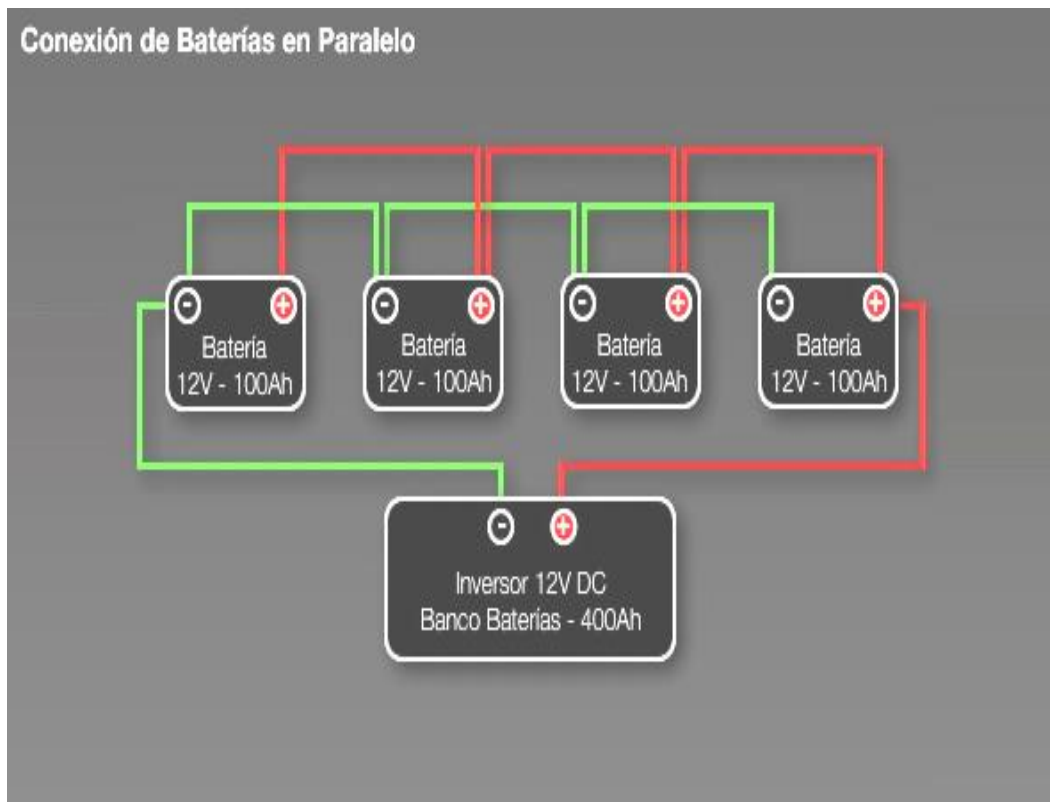


Figura 3.4 Ejemplo de conexión de baterías en paralelo

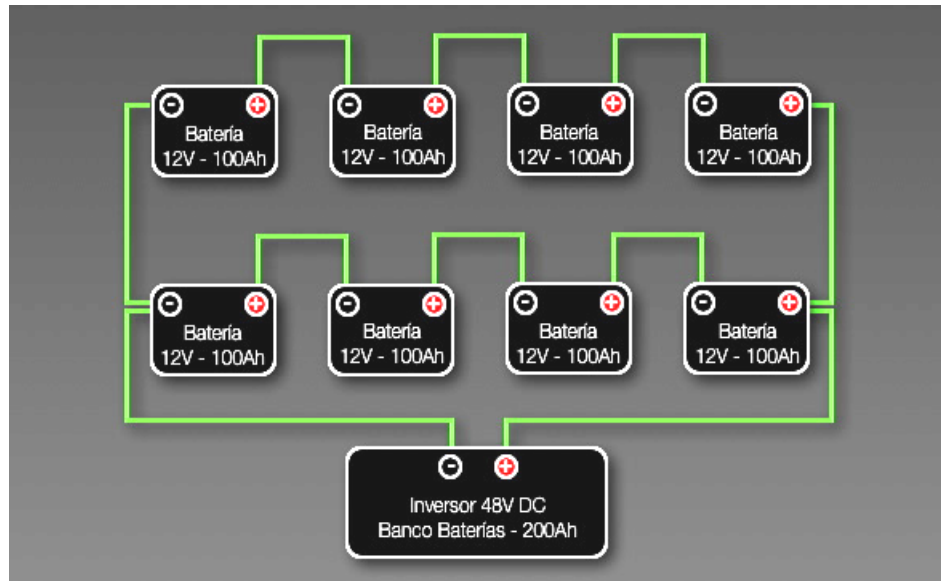


Figura 3.5 Ejemplo de conexión de baterías en serie

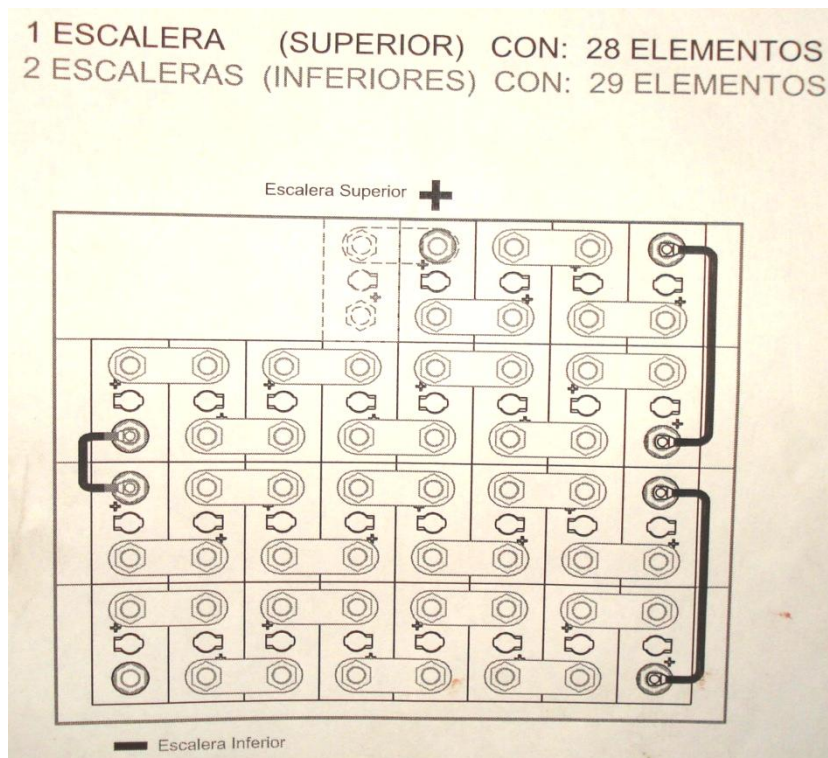


Figura 3.6 Ejemplo de conexión de baterías en forma mixta (serie/paralelo)



Figura 3.7 Banco de baterías

Para el centro de eventos Sinchaguasín se podría tomar en cuenta como lugar a instalar el proyecto del sistema de energía eólica en la parte donde se instaló el anemómetro, la cual consta con una área aproximada de $30m^2$, la misma que está ubicada en la parte Nor-Oeste del centro de eventos (fig. 3.8), lo cual es factible la instalación de este proyecto y las mediciones (anexo A) que se ha venido haciendo en este mismo sector.



Figura 3.8 Anemómetro instalado en el centro de eventos Sinchaguasín

3.4 DESARROLLO DE UN PROTOTIPO

Una vez realizado el estudio teórico del funcionamiento de un sistema eólico, es momento de proceder con el desarrollo del prototipo, para así poder dar posibles soluciones con energías alternativas.

Lo que se pretende es que a partir del movimiento de las hélices genere un voltaje cd (corriente directa) que sea capaz de encender varios leds simultáneamente, y la energía sobrante se almacene en unos condensadores simulando bancos de baterías utilizadas en escala real.

Para realizar el prototipo utilizamos diversos materiales los cuales detallaremos a continuación:

- Motor de corriente directa (dínamo)
- Hélices de 150mm
- Multímetro
- Cautín
- Estaño
- Juego de destornilladores
- Juegos de brocas
- Tornillos
- Cables
- Leds
- Batería recargable de 4.5vdc
- Base con pedestal
- Interruptor

Una vez obtenidos los materiales, empezamos la elaboración de la maqueta, empezamos por armar el sistema eólico el cual consta con el dínamo y las hélices, las cuales que sirven para girar los engranajes y estos a su vez mueven el rotor del dínamo, para que se genere la corriente eléctrica.

Con el multímetro medimos el voltaje que envía el dínamo una vez que las hélices empiezan a girar, si está bien elaborado envía el voltaje que esperamos obtener de dicha prueba.

Al verificar su conexión procedemos a instalar las baterías en forma paralela a la salida del voltaje generado por el dínamo, para que el banco de baterías se carguen a lo que este sistema eólico empiece a recibir viento, pero también tomamos en cuenta que al conectar las baterías estas hacen girar las hélices, entonces como debe de ser lo contrario la electricidad debe ser suministrada por el aerogenerador procedimos a colocar un diodo el cual deja que fluya el voltaje desde el dinamo hacia las baterías y no al contrario.

Ya instalado el banco de baterías procedemos a realizar las conexiones de los leds, a fin se pueda simular una conexión eléctrica real y esta simule a su vez la carga y descarga del banco de baterías si no existe el fluido eólico necesario para hacer girar las hélices del aerogenerador.

3.5 PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El prototipo que se ha construido está elaborado en base a un sistema eólico real, por lo tanto los resultados que se pueden obtener en este diseño pueden variar de acuerdo al sistema real, puesto que no tiene todas las características que se emplea en un sistema eólico de generación eléctrica nominal, pero si nos proporciona una noción del funcionamiento de un sistema eólico y su forma de almacenamiento.

Para las pruebas se ha utilizado un secador de cabello a fin de simular el viento (fig.3.9), proporcionando movimiento a las hélices que hacen girar el rotor, así con esto generar el voltaje que se almacenará en la batería, y al mismo tiempo se encenderán los leds que simulan los focos normales del centro de convenciones Sinchaguasín.

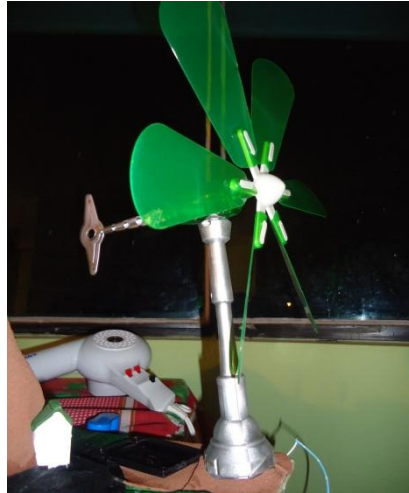


Figura 3.9 Torre eólica del prototipo

Los resultados obtenidos de este diseño han sido favorables ya que se ha podido constatar un correcto funcionamiento de un sistema basado en energías eólicas y su almacenamiento.

Tabla 3.4. Valores medidos del prototipo

VELOCIDADES	VALOR DE VOLTAJE CD
RAPIDO	4.5v
MEDIO	2.3v
LENTO	0.8v

3.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

3.6.1 ALCANCES

- El voltaje generado en el prototipo fue de 2.5 voltios cd (corriente directa), cabe recalcar que esta potencia puede variar de acuerdo al motor que se emplee para realizar las pruebas de generación eléctrica.
- Para dimensionar el alcance del diseño eólico, el parámetro clave es la duración del sistema de almacenamiento y el consumo de las cargas instaladas en el diseño.
- En los casos de utilizar dinamos que generen corriente alterna es necesario el empleo de un equipo rectificador para cargar la batería de acumulación.

3.6.2 LIMITACIONES

- En el diseño a escala no se puede simular el sistema de frenado que debe tener un sistema eólico, además de algunas partes más complejas que existen en una generación de energía eólica, ya que su construcción se la realiza a gran escala y sería inútil un sistema de frenado en una maqueta, además que el viento que está expuesto el prototipo no superan las especificaciones del fabricante del dínamo.

- No se puede medir el viento que envía el secador de cabello, ya que se necesitaría un anemómetro portátil para medir impulsos diminutos, así que no se puede verificar con exactitud cuanta velocidad necesitan las hélices para generar el voltaje.
- La operación de las baterías de bajo voltaje son limitadas puesto que no almacenan mucha tensión, esto impide que se quede mucho tiempo prendidos los leds, a diferencia de los sistemas eólicos reales que utilizan celdas alcalinas de almacenamiento.

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES.

- En el presente trabajo realizamos un análisis completo y dirigido a la aplicación de un sistema de energías eólicas para aplicaciones futuras en algunas unidades militares. Ahora, nosotros hemos realizado un prototipo para poder utilizar este sistema de una manera muy general, de tal forma que se podría utilizarlo en la mayoría de instalaciones militares que reúnan características similares a la del centro de eventos Sinchaguasín.
- Para una mejor idea de todo lo que conlleva implementar un proyecto de este tipo, se realizó un estudio incluyendo todo lo que se debe conocer para, en caso de planificar un proyecto como este, se lo realice con el conocimiento suficiente. Existen muchas empresas que ofrecen el servicio de instalación y mantenimiento de estos sistemas, pero resulta mucho más económico que sólo se adquiriera la tecnología y la implementación lo haga un técnico propio de la Fuerza Terrestre, y para ello este trabajo sería una guía (ver anexo A).
- El centro de eventos Sinchaguasín cuenta con un importante potencial eólico, llegando a alcanzar en algunos momentos velocidades promedio de 4 metros por segundo (m/s), estos valores son suficientes para garantizar la rentabilidad de proyectos de esta naturaleza, puesto que la capacidad de carga de demanda es de 23,69 Kw lo cual si

podríamos alimentar este centro de eventos con esta velocidad del viento.

- Para este tipo de potencia podemos instalar un aerogenerador de eje vertical el cual trabaja con vientos desde 3 m/s en adelante, para referencia podemos tomar en cuenta los 24,17KVA, adicionando un 25% a la potencia de demanda, a fin de tener un rango de seguridad en los equipos conectados a la red.
- La batería que se está estudiando actualmente podría almacenar energía eólica hasta 7,2 megavatios/hora, ya que está compuesto por 20 módulos de 50 kilovatios cada uno siendo el inconveniente su gran tamaño.
- Se podría utilizar otro tipo de baterías, basadas en sulfuro de sodio, ya que tiene un largo ciclo de vida (muchos ciclos de recarga), no emiten CO₂. Mediante la conexión de varias baterías se puede obtener varios MW almacenados en el sistema, pueden ser fácilmente construidos, ya sea en paralelo, serie o mixta, el área requerida es menor a las baterías basadas en plomo.
- Se puede tomar en cuenta como lugar de referencia para instalar el sistema de energía eólica la parte donde se instaló el anemómetro, la cual consta con una área aproximada de 30m², la misma que está ubicada en la parte Nor-Oeste del centro de eventos.

- Por último podemos decir que el sistema de energías eólicas es la tecnología más sencilla y económica para montar un proyecto de energías alternativas gracias a que disponemos de gran cantidad de viento que se emanan en el pacifico oeste y de los páramos céntricos de nuestras serranías ecuatorianas.
- El prototipo diseñado a escala no es suficiente prueba para saber si es o no viable proporcionar un sistema eólico real en el centro de eventos Sinchaguasín, ya que este solo simula el funcionamiento de un sistema de generación eólica y la forma de almacenaje.

4.2. RECOMENDACIONES

- Para poder implementar este tipo de proyectos se debe tener datos recolectados de por lo menos un año, además buscar los pronósticos meteorológicos de un centro de datos especializado en ello, por ejemplo, el Instituto Geográfico Militar (I.G.M.).
 - Es de vital importancia que los estudios a realizarse para la implementación de un proyecto de este tipo, sean dirigidos también hacia la compensación del valor para lo cual va dirigido. Por ejemplo si tenemos una unidad militar, tal es el caso de las unidades de oriente donde no existe el viento necesario para hacer girar turbinas eólicas, no implementaremos un proyecto de generación eólica ya que sería sub utilizado, si más bien ocuparíamos el proyecto en otro lugar y propósito en donde sí valga la pena utilizarlo.

- Se debe tomar en cuenta que estos equipos, deben y serán usados por personas con conocimientos técnicos, también es necesario realizar un estudio previo a la ubicación de los diferentes dispositivos tomando en cuenta lo siguiente:
 - Ubicación geográfica
 - Dirección del viento
 - Fuerza del viento
 - Gravedad
 - Ubicación del terreno
 - Alcances
 - Limitaciones
 - Reacción eficaz entre cualquier situación de vientos muy elevados o viceversa.

- Todas las jurisdicciones tienen leyes y regulaciones específicas en cuanto al uso de este sistema de energías. Antes de utilizar cualquier sistema eléctrico para cualquier propósito, el operador o técnico tiene la responsabilidad de enterarse de cuáles son las ventajas y desventajas que prohíben o limitan el uso de energías eólicas y cumplir con las leyes y regulaciones que apliquen.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Eólico.- Proviene del latín Aeolicus, perteneciente o relativo a Eolo, Díos de los vientos en la mitología griega.

Energía eólica.- Energía cinética del aire, es producida por los vientos y se aprovecha en los molinos de viento en los aerogeneradores. También se utiliza para la generación de electricidad en las centrales eólica. Generación de energía eléctrica debido al movimiento de las aspas de los generadores por la velocidad del viento.

Generador.- Es un dispositivo usado para convertir energía mecánica en energía eléctrica por medio de la inducción electromagnética. Costa de dos partes: rotor y estator.

Turbina.- Máquina destinada a transformar en electricidad el movimiento giratorio de una rueda de paletas por medio de la presión de un fluido.

Convertidor.- Son uniones entre la técnica de la corriente continua y alterna. En instalaciones eólicas aisladas, los convertidores permiten la explotación de consumidores de corriente alterna convencionales.

Aspa.- Parte plana y saliente de una pieza rotatoria; impulsa la circulación de un fluido o es impulsada por él.

Anemómetro.- Aparato para medir la velocidad o intensidad del viento que consiste, usualmente, de cuatro copas hemisféricas de cobre montadas en los extremos exteriores de cuatro varillas colocadas en ángulo recto con otra varilla que giran en torno a un eje vertical.

ENLACES BIBLIOGRÁFICOS.

- www.merkasol.com/Aerogenerador-de-eje-vertical-4Kw-UGE-4K
- www.urbangreen.com
- <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno03/alternativa.htm>
- <http://erenovable.com/2009/01/07/kilovatio-hora-megavattios-de-potencia/>
- <http://erenovable.com/2008/12/11/cmo-funciona-un-aerogenerador-o-turbina-eolica/>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Kilovatio-hora>
- <http://www.ammonit.com/es/informacion-eolica/energia-eolica>
- www.shopmania.es
- <http://web.ing.puc.cl/~power/alumno03/alternativa.htm>
- <http://www.infoeolica.com/>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica
- <http://roble.pntic.mec.es/csoto/eolica.htm>
- <http://www.tecnun.es/asignaturas/ecologia/trabajos/energias/eolica.htm>

- <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/119/img/fig22.gif>
- <http://www.makerwiki.com/images/Aerogenerador.jpg>
- <http://usinfo.state.gov/journals/itgic/0605/ijge/windpower.jpg>
- <http://www.skf.com/cmimages/237634.jpg>
- <http://www.vdnberlin>
- <http://www.eon-netz.com>
- <http://www.nationalgrid.com.uk>
- <http://www.energinet.dk>
- <http://www.eon-netz.com>

ANEXOS

Latacunga, Abril del 2011

ELABORADO POR:

**Barriga F. Saúl A.
Cbop. de COM.**

**Calderón F. Washington E
Cbos. de I.M.**

APROVADO POR:

**Ing. Armando Álvares Salazar
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA DE ELECTRÓNICA E
INSTRUMENTACIÓN**

CERTIFICADO POR:

**Dr. Eduardo Vásquez A.
SECRETARIO ACADÉMICO**