

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO
SEDE LATACUNGA



CARRERA DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA

**ESTUDIO PARA LA OBTENCIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA PARA EL
SISTEMA DE COMUNICACIÓN DEL CALE.F.T.**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
TECNÓLOGO ELECTRÓNICO.**

Cbos. De Com. Andrade Estévez José Ignacio
Cbos. De Com. Andrango Quisaguano Wilmer Patricio

LATACUNGA, MARZO del 2009

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo de graduación fue desarrollado en su totalidad por los señores: CBOS. DE COM. ANDRADE ESTÉVEZ JOSÉ IGNACIO Y CBOS. DE COM. ANDRANGO QUISAGUANO WILMER PATRICIO.

Ing. Mario Jiménez

DIRECTOR

Ing. Galo Ávila

CODIRECTOR

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mis más sinceras muestras de agradecimiento:

Al Señor Jesucristo, mi Señor y Dios, por enseñarme el camino correcto de la vida, guiándome y fortaleciéndome cada día con su Santo Espíritu. A mi querida Esposa e hijo, por su amor, paciencia, comprensión y motivación, sin lo que hubiese sido imposible lograr terminar estos estudios. A mis Padres, Hermanos y Hermanas por creer y confiar siempre en mí, apoyándome en todas las decisiones que he tomado en la vida. A mis maestros, en especial al Ing. Mario Jiménez y el Ing. Galo Ávila por sus consejos y por compartir desinteresadamente sus amplios conocimientos y experiencias. A mis compañeros y compañeras de clases, por el apoyo y motivación que de ellos he recibido.

José

DEDICATORIA

Dedico este proyecto y toda mi carrera universitaria a Dios por ser quien ha estado a mi lado en todo momento dándome las fuerzas necesarias para continuar luchando día tras día y seguir adelante rompiendo todas las barreras que se me presenten, a mi madre a mi padre a mi esposa y a mi hijo, ya que gracias a ellos soy quien soy hoy en día, fueron los que me dieron ese cariño y calor humano necesario, son los que han velado por mi salud, mis estudios, mi educación alimentación entre otros, son a ellos a quien les debo todo, horas de consejos , de regaños, de reprimendas de tristezas y de alegrías de las cuales estoy muy seguro que las han hecho con todo el amor del mundo para formarme como un ser integral y de las cuales me siento extremadamente orgulloso, también dedico a mis compañeros las cuales han estado a mi lado, han compartido todos esos secretos y aventuras que solo se pueden vivir entre compañeros y que han estado siempre alerta ante cualquier problema que se me ha presentado.

José

AGRADECIMIENTO

Dios, por enseñarme el camino correcto de la vida, guiándome y fortaleciéndome cada día. A mí querido hijo, por su amor, sin lo que hubiese sido imposible lograr terminar estos estudios. A mis Padres, hermanos por creer y confiar siempre en mí, apoyándome en todas las decisiones que he tomado en la vida. A mis profesores, en especial al Ing. Mario Jiménez y el Ing. Galo Ávila por sus consejos y por compartir desinteresadamente sus amplios conocimientos y experiencias. A mis compañeros, por el apoyo y motivación que de ellos he recibido.

Patricio

DEDICATORIA

Le dedico este trabajo especial de grado, ante todo, a Dios, a los santos y a toda la orden celestial, los cuales me han acompañado a lo largo de toda mi vida pero, en este caso esta dedicatoria es por escucharme y ayudarme ante todos mis gritos de auxilio, dándose fuerza y serenidad en aquellos momentos que tenía ganas de tirar la toalla, por darme salud y creatividad.

A mi madre y mi padre ay a mi hijo, ya que gracias a ellos soy quien soy hoy en día, fueron los que me dieron ese cariño y calor humano necesario, son los que han velado por mi salud, mis estudios, mi educación alimentación entre otros, son a ellos a quien les debo todo, horas de consejos, de regaños, de reprimendas de tristezas t de alegrías de las cuales estoy muy seguro que las han hecho con todo el amor del mundo para formarme como un ser integral y de las cuales me siento extremadamente orgulloso.

Patricio

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	Pág.
CAPITULO I	
LA ENERGÍA EÓLICA	
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 SISTEMAS DE AEROGENERADORES	8
1.3 TIPOS DE AEROGENERADORES ⁴	9
1.3.1 POR EL TIPO DE EJE	9
1.3.2 POR LA ORIENTACIÓN CON RESPECTO AL VIENTO	15
1.3.3 POR EL NÚMERO DE PALAS	17
1.3.4 POR LA ADECUACIÓN DE LA ORIENTACIÓN DEL EQUIPO....	18
1.3.5 POR EL CONTROL DE POTENCIA.....	18
1.4 INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN EL PAÍS	19
1.4.1 TIPOS DE VIENTO	20
1.4.2 ASPECTOS MEDIO AMBIENTALES	21
1.5 BENEFICIOS DE LA ENERGÍA EÓLICA.....	22
1.6 APLICACIONES DE LA ENERGÍA EÓLICA	25
1.6.1 REPETIDORAS DE RADIO	25
1.6.2 ELECTRIFICACIÓN DOMÉSTICA	26
1.6.3 BOMBEO DE AGUA.....	27
1.6.4 REFRIGERACIÓN.....	27
1.7 FUTURO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EL PAÍS	28

CAPITULO II

ASPECTOS CONTRUCTIVOS

2.1	LOS AEROGENERADORES	31
2.1.1	El rotor	32
2.1.2	Palas	32
2.1.3	Multiplicador	33
2.1.4	Eje principal	33
2.1.5	Buje	34
2.1.6	Torre.....	34
2.1.7	La góndola.....	34
2.1.8	El generador eléctrico.....	34
2.1.9	El controlador electrónico	35
2.1.10	La unidad de refrigeración.....	35
2.1.11	El anemómetro y la veleta.....	35
2.2	SISTEMAS DE FRENADO MECÁNICO	35
2.3	VELOCIDAD DE ROTACIÓN	37
2.3.1	Regulación por desorientación	37
2.3.2	Regulación por cabeceo.....	38
2.3.3	Regulación por cambio de paso	38
2.3.4	Regulación por pérdida aerodinámica	38
2.3.5	Sin regulación.....	38
2.4	PARÁMETROS ELÉCTRICOS	39
2.4.1	LOS GENERADORES	39
2.4.2	SISTEMA DE CONTROL	44
2.4.3	SISTEMA DE RECTIFICACIÓN	56
2.4.4	CONTROLADORES ELECTRÓNICOS.....	60
2.4.5	ELEMENTOS PERIFÉRICOS	61

CAPITULO III

APLICACIÓN

3.1	INTRODUCCIÓN	69
3.2	FACTORES PARA LA SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO.....	71
3.2.1	MAPA EÓLICO DEL ECUADOR	72
3.2.2	VELOCIDAD DE OPERACIÓN DEL GENERADOR EÓLICO	72
3.3	CARGA A SER INSTALADA.....	73
3.3.1	RADIO PRO5100	73
3.3.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ALIMENTACIÓN	75
3.4	CÁLCULOS DE POTENCIA PARA EL GENERADOR EÓLICO	76
3.5	GENERADOR EÓLICO AIR 403	81
3.5.1	CARACTERISTICAS TÉCNICAS ¹⁷	82
3.5.2	VENTAJAS	82
3.6	ACUMULACIÓN.....	83
3.6.1	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EÓLICA	83
3.7	CABLEADO	96

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1	CONCLUSIONES	98
4.2	RECOMENDACIONES.....	100

ANEXOS

ANEXO A

ANEXO B

ANEXO C

ANEXO D

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1.- Molinos pertenecientes a la civilización Persa.....	1
Figura 1.2.- El primer aerogenerador.....	2
Figura 1.3.- El primer aerogenerador de corriente alterna.....	4
Figura 1.4.- El aerogenerador más grande del mundo.....	6
Figura 1.5.- Darrieus de 5[m] de diámetro.....	10
Figura 1.6.- Eole VAWT (aerogeneradores de eje vertical).....	12
Figura 1.7.- Giromill vista superior.....	12
Figura 1.8.- Rotor Savonius.....	13
Figura 1.9.- Detalle del rotor Savonius.....	14
Figura 1.10.- Dos aerogeneradores de eje horizontal y tres palas.....	15
Figura 1.11.- Repetidor con energía eólica.....	26
Figura 1.12.- Vivienda alimentada por energía eólica.....	26
Figura 1.13.- Sistema de bombeo.....	27
Figura 1.14.- Mapa San Cristóbal.....	29
Figura 2.1.- El aerogenerador.....	31
En la figura 2.2. Freno mecánico de una turbina alojado en el eje.....	37
Figura 2.3.- Diagrama de un alternador conectado a red continua.....	41
Figura 2.4.- Diagrama de un generador de imán permanente.....	41
Figura 2.5.- Esquema general de la variable del sistema.....	45
Figura 2.6.- Divisor de tensión más seguidor de voltaje.....	46
Figura 2.7.- Fuente de voltaje del inductor controlado por un PIC.....	47
Figura 2.8.- Onda sinusoidal generada en cada enrollado del estator.....	51
Figura 2.9.- Orientación mediante timón de cola.....	52
Figura 2.10.- Orientación mediante rotores auxiliares.....	52
Figura. 2.11.- Métodos basados en palas fijas.....	54
Figura 2.12.- Métodos basados en palas orientables.....	54
Figura 2.13.- Regulación de calaje de las aspas.....	55
Figura.2.14.- Rectificador.....	58
Figura.2.15.- Rectificación de media onda.....	58

Figura.2.16.- Rectificación de la onda completa con transformador con toma central.....	59
Figura.2.17.- Rectificación de la onda completa con puente de graetz.....	59
Figura.2.18.- El puente de hitg puede tener también los siguientes esquemas.....	60
Figura.2.19.- Batería de plomo ácido WP7-12.....	65
Figura.2.20.- Inversor de voltaje.....	66
Figura.2.21.- Conexión de batería en paralelo.....	68
Figura.2.22.- Conexión de batería en serie.....	68
Figura 3.1.- Radio PRO5100.....	74
Figura 3.2.- Baterías de plomo – ácido.....	88
Figura 3.3.-Circuito equivalente de una batería.....	89
Figura 3.4.-Constitución de una batería plomo-ácido.....	90
Figura 3.5 Cables N° 12 recubierto.....	97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.- Necesidad de frío en algunas aplicaciones.....	28
Tabla 3.1 Corriente de cada equipo.	76
Tabla 3.2 Potencia de cada equipo.....	77
Tabla 3.3 Energía diaria de cada uno de los equipos.....	78
Tabla 3.4. Potencia total en 15 horas de viento al día.....	80
Tabla. 3.5.- Potencia generada en función del viento.....	81
Tabla. 3.6.-Características técnicas del generador AIR 403.....	82
Tabla. 3.7.-Corriente diaria de cada equipo	93

INTRODUCCIÓN

La 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 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 un recurso abundante, renovable, limpio y ayuda a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero al reemplazar termoeléctricas a base de combustibles fósiles, lo que la convierte en un tipo de energía verde.

En nuestro proyecto, la energía eólica es utilizada principalmente para producir energía eléctrica mediante un aerogenerador que alimenta un sistema de equipos de comunicación, como son las repetidoras que dispone el COMANDO DE APOYO LOGISTICO ELECTRONICO DE LA FUERZA TERRESTRE CALE.F.T.

El proyecto se encuentra dividido en cuatro capítulos, el primer y el segundo capítulo conforman el marco teórico que sirvió como fundamento para el posterior desarrollo de los capítulos siguientes.

En el primer capítulo se define la energía eólica, beneficios, investigación, desarrollo tecnológico, el futuro de la energía eólica en el país, sistemas y tipos de aerogeneradores.

En el segundo capítulo se estudia los aspectos constructivos de los aerogeneradores, sistemas de frenado mecánico, velocidad de rotación y los parámetros eléctricos del generador eólico.

En el tercer capítulo se realiza la aplicación de energía eólica en el CALEFT utilizando el generador AIR 403, los factores para la selección, ubicación, la carga a ser instalada, cableado, acumulación, cálculos de potencia y baterías.

Finalmente en el capítulo cuarto se indican las conclusiones y recomendaciones en base al trabajo realizado

De esta manera estamos ayudando a satisfacer las necesidades primordiales de la fuerza terrestre como son las comunicaciones e incentivando a la población ecuatoriana y al mundo para tomar alternativas diferentes de no contaminación con nuestro planeta y evitando de alguna manera el efecto invernadero o mejor conocido como "El calentamiento global".

CAPITULO I

LA ENERGÍA EÓLICA

1.1 INTRODUCCIÓN

El viento es una fuente de energía gratuita, limpia e inagotable. Ha sido ocupada desde siglos para impulsar barcos y mover molinos; para bombear agua y moler trigo.

Aunque el aprovechamiento de la energía eólica data de las épocas más remotas de la humanidad (los egipcios ya navegaban a vela en el año 4.500 [A.C.]), la primera noticia que se tiene sobre el uso del viento mediante un molino proviene de Heron de Alejandría que construyó una estructura en el siglo 2 [A.C.].

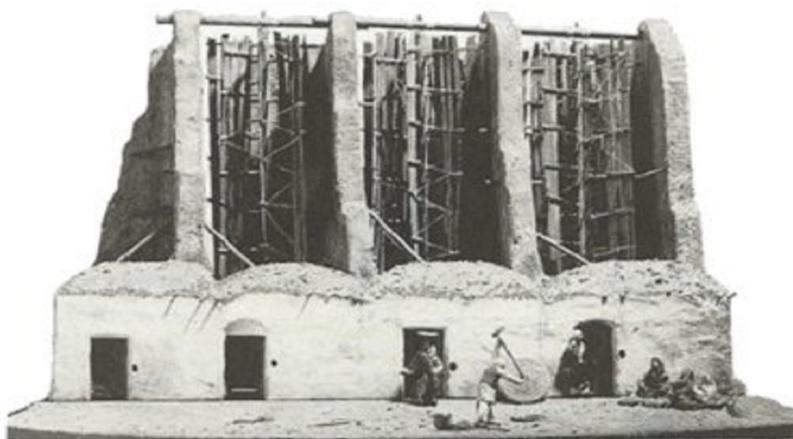


Figura 1.1.- Molinos pertenecientes a la civilización Persa.

A partir del siglo XIII, los molinos aparecieron y se extendieron por toda Europa, sobre todo en Bélgica y los Países Bajos. Los molinos de Holanda tienen 4 aspas de lona, mientras que los de Baleares y Portugal tienen 6 y los de Grecia 12.

El desarrollo de los molinos de viento se interrumpe con la revolución industrial. Se hace masiva la utilización del vapor, aparece la electricidad y los combustibles fósiles como fuentes de energía motriz. Es, sin embargo, en la segunda mitad del siglo XIX cuando tiene lugar uno de los más importantes avances en la tecnología del aprovechamiento del viento: la aparición del popular modelo “multipala americano”. Este modelo, utilizado para bombeo de agua prácticamente en todo el mundo, habría de sentar las bases para el diseño de los modernos generadores eólicos¹.

El primer aerogenerador capaz de generar corriente continua fue fabricado por Charles Brush en los años 1886-87. Tenía un rotor de 17 [m] de diámetro y estaba constituido por 144 palas de madera (múltipla americano). Podía generar hasta 12[Kw] de potencia. Como se muestra en la siguiente figura.

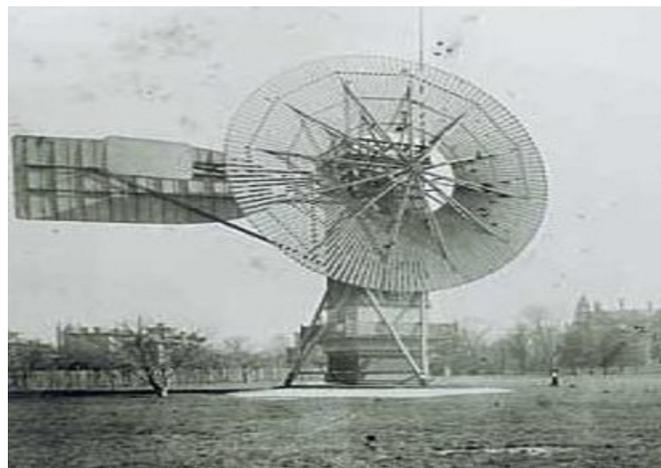


Figura 1.2.- El primer aerogenerador.

¹http://146.83.6.25/literatura/memorias_tesis/AEROGENERADOR-MEMORIA-FINAL.pdf

Fue entre las guerras mundiales cuando los aerogeneradores empezaron a aparecer con mayor frecuencia, como consecuencia de los progresos técnicos de las hélices de aviación y con ellas los proyectos de grandes aerogeneradores de dos o tres palas.

La primera tendencia fue construir bipalas, ya que resultaban más económicos; incluso se pensó en utilizar una única pala equilibrada con un contrapeso.

Actualmente predominan los molinos tripalas. Estos aerogeneradores giran más rápidamente que los multipalas americanos, lo que constituye una ventaja cuando se trata de alimentar máquinas de gran velocidad de rotación como los alternadores eléctricos. Adicionalmente los estudios aerodinámicos revelaron que el tripala es adecuado en cuanto a precio y estabilidad en la rotación del rotor.

Como ya se ha mencionado, los aerogeneradores de eje vertical derivan indirectamente del primer molino de viento utilizado por la civilización persa en el año 600[d.C.]. En 1925, J. Savonius fue el primero en utilizar este concepto para estructurar su homónimo rotor vertical en la generación eléctrica. En la actualidad es una solución interesante sobre todo en la conversión a energía mecánica².

Más exitoso que el anterior fue el rotor de eje vertical patentado en 1931 en EEUU por el ingeniero francés Darrieus y luego cayó en un olvido casi total. Su estudio volvió a iniciarse en Canadá en 1973 y en Estados Unidos a partir de 1975 ya que estas máquinas, de 1 a 60 [Kw], podían construirse a precios inferiores al de los molinos de viento clásicos de eje horizontal.

²http://146.83.6.25/literatura/memorias_tesis/AEROGENERADOR-MEMORIA-FINAL.pdf

En Crimea (Rusia), frente al mar muerto, en 1931 se puso en funcionamiento un aerogenerador de 30 metros, que tenía que proporcionar 100[Kw] a la red de Sebastopol.

En 1941 la NASA construyó una bipala de 53 [m] de diámetro, previsto para una potencia máxima de 1250 [Kw] que se instaló en Vermont, en el nordeste de EEUU. Las primeras pruebas, iniciadas en octubre de 1941, continuaron durante unos 15 meses.

Un pequeño accidente en 1943 bloqueó la máquina durante dos años, debido a que las dificultades ligadas a la guerra retrasaron la fabricación de piezas nuevas, retornó a funcionar el aerogenerador proporcionando energía al sector durante veintitrés días, luego se rompió una de las palas y se abandonó el proyecto.

En 1956, en Dinamarca, se construyó el primer aerogenerador de corriente alterna como se ilustra en la siguiente figura, el Gedser. Tenía muchas innovaciones tecnológicas, no sólo en lo que concierne a la generación de electricidad, sino también en el campo de la aerodinámica y sistema de control (frenos aerodinámicos y regulación por pérdida de velocidad).



Figura 1.3.- El primer aerogenerador de corriente alterna.

En 1975 se pusieron en servicio los aerogeneradores Mod-0 con unas palas de metal con un diámetro de 38 [m], produciendo 100 [Kw]. En 1977 se construyó el Mod- 0A que tenía 200 [Kw]. La General Electric terminó el bipala Mod-1 en 1978 que con un diámetro de 60 [m] acciona un alternador de 2[MW].

El bajo precio del petróleo determinó entonces la suspensión total de los grandes proyectos en todo el mundo. Pero en la década de los setenta, coincidiendo con la primera crisis del petróleo, se inició una nueva etapa en el aprovechamiento de la energía eólica.

Las aplicaciones de las modernas tecnologías, y en especial de las desarrolladas para la aviación, dieron como resultado la aparición de una nueva generación de máquinas eólicas muy perfeccionadas que permitieron su explotación, bajo criterios de rentabilidad económica.

En aquel momento se estimaba, en efecto, que esta energía renovable podría proporcionar energía a las redes eléctricas a un precio igual o inferior al de las centrales térmicas. Ello sería pronto una realidad con la puesta en servicio de grandes aerogeneradores que producirían potencias eléctricas comprendidas entre 2 y 5 [MW]. Hay que considerar que eran tiempos en que se empezaba a tomar en serio el hecho de que los yacimientos petrolíferos no durarían eternamente.

Hasta la fecha el aerogenerador instalado más grande es el E-112 de la empresa alemana Enercon. Es un aerogenerador de eje horizontal con un rotor de 112[m] de diámetro y puede generar una potencia de 4,5[MW]. Su generador es de tipo sincrónico especialmente dimensionado para evitar la utilización de una caja mecánica amplificadora de RPM. Evitar esta componente mecánica es ventajoso por la mejora sustancial de la eficiencia global del aerogenerador en la conversión de energía. En la figura siguiente se ilustra este tipo de generador.



Figura 1.4.- El aerogenerador más grande del mundo

Agregando las actuales protestas ambientalistas, las soluciones energéticas tradicionales de fuerte impacto ambiental y las impopulares centrales nucleares han sido frenadas en la construcción de nuevas instalaciones por parte de la población.

Como se verá a continuación, estos factores medioambientales están definiendo la tendencia de la política energética mediante tratados globales como el de Kyoto, el cual intenta reducir las emisiones de gases responsables del sobre calentamiento del globo terrestre.

El tratado de Kyoto es un acontecimiento clave en el desarrollo de la energía eólica por la fuerte preocupación del sobre calentamiento global. En la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC) de 1992 se definió la legislación internacional relacionada con los Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL), los cuales se basan en reducir emisiones o captura carbono.

En 1997 se realizó la tercera conferencia de las partes de CMCC, la cual tuvo lugar en Kyoto, donde se especificó el marco jurídico aplicable y se incluyen las decisiones adoptadas por las diferentes partes, que contemplan guías técnicas y de procedimiento.

Este fenómeno tiene como responsable a los gases invernadero que crean una capa capaz de retener radiaciones y por ende generar un aumento de la temperatura promedio de la tierra. El sobrecalentamiento es responsable de cambios climáticos que conllevan desastres colosales en todo el mundo. Establecido en 1997, el Protocolo de Kyoto es un tratado internacional cuyo objetivo principal es lograr que entre los años 2008 y 2012 los países disminuyan sus emisiones de gases de efecto invernadero a un 5% menos del nivel de emisiones del año 1990.

Si bien en sus inicios el Protocolo carecía de especificidades, a partir de las reuniones negociadoras de Marruecos a fines del año 2001, se definieron cinco puntos principales:

- Compromisos legalmente vinculantes para países desarrollados.
- Métodos de implementación del Protocolo diferentes de la reducción de emisiones (implementación conjunta).
- Minimización de impacto en países en desarrollo (incluyendo asistencia en diversificar sus economías).
- Reportes y revisiones por un equipo de expertos y cumplimiento evaluado por un comité.

El gas más importante, por lo menos considerando volumen de emisión, es el dióxido de carbono. La relación entre las emisiones y la generación de energía reside en el hecho que todas las centrales térmicas, exceptuando la geotérmica y la nuclear, emiten grandes cantidades de CO₂.

Tomando muy seriamente la ratificación del tratado de Kyoto, la CEE ha invertido mucho esfuerzo en la tarea de reducción de emisiones instalando aerogeneradores para explotar el recurso eólico.

EEUU sigue siendo uno de los países con una importante potencia instalada en aerogeneradores pero no tiene particular incidencia considerando la magnitud de la Comunidad Económica Europea de su sistema interconectado.

Respecto a las otras energías renovables, la que se obtiene del viento es la que ha tenido mayor éxito en cuanto a su aplicación y expansión. Se sigue invirtiendo en investigación y siguen apareciendo aerogeneradores siempre más grandes.

Se resuelven problemas técnicos de contaminación acústica y se implementan granjas eólicas de centenares de [MW] de potencia en el mar (donde se encuentran condiciones de viento más favorables), donde no se sacrifica superficie continental y la contaminación visual no agrede a la población.

La tecnología que envuelve la generación eólica es la que ha tenido el más rápido crecimiento dentro de las energías renovables.

1.2 SISTEMAS DE AEROGENERADORES

Los aerogeneradores están compuestos de los siguientes sistemas³:

a. **Orientación.-** Mantiene el rotor cara al viento, minimizando los cambios de dirección del rotor con los cambios de dirección de viento; Estos cambios de dirección provocan pérdidas de rendimiento y genera grandes esfuerzos con los cambios de velocidad. (Ver anexo A, figura 5)

³<http://www.wikiciencia.org/tecnologia/energia/eolica/index.php>

- b. **Regulación.-** Controla la velocidad del rotor y el par motor en el eje del rotor, evitando fluctuaciones producidas por la velocidad del viento.
- c. **Transmisión.-** Utilizados para aumentar la velocidad de giro del rotor, para poder accionar un generador de corriente eléctrica, es un multiplicador, colocado entre el rotor y el generador.
- d. **Generador.-** Para la producción de corriente continua (DC) dínamo y para la producción de corriente alterna (AC) alternador, este puede ser síncrono o asíncrono.

1.3 TIPOS DE AEROGENERADORES⁴

1.3.1 POR EL TIPO DE EJE

1.3.1.1 Eje Vertical

También conocidos como VAWT, que proviene de las siglas en inglés (vertical axis wind turbines), Su principal característica es que el eje de rotación se encuentra en posición perpendicular al suelo y a la dirección del viento.

Su principal ventaja es la eliminación de los complejos mecanismos de direccionamiento y las fuerzas a las que se someten las palas ante los cambios de orientación del rotor, y no tienen que desconectarse con velocidades altas de viento.

En cambio como desventaja presenta una capacidad pequeña de generar energía. Tipos:

⁴http://www.solarpedia.es/index.php/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica#Por_el_tipo_de_eje.

a. Darrieus

Patentado por Darrieus en 1931, este modelo es el más popular de los aerogeneradores de eje vertical.

Nace por la necesidad de evitar la construcción de hélices sofisticadas como las que se utilizan en los aerogeneradores de eje horizontal. Permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, pero no alcanza a las de un rotor de eje horizontal.

Fue redescubierto por los ingenieros en los años setenta. Laboratorios Sandia fue el que más trabajo al respecto y construyó, en 1974, un primer prototipo de 5[m] de diámetro. Un Generador de este tipo, se ilustra en la figura siguiente.



Figura 1.5.- Darrieus de 5[m] de diámetro

El rotor Darrieus consta de unas finas palas con forma de ala de avión simétricas, que están unidas al eje sólo por los dos extremos, con una curva especial diseñada para un máximo rendimiento entre las dos uniones del eje. El modelo de curva más utilizado es el denominado Troposkien, aunque también se utiliza la catenaria.

Como los otros aerogeneradores de eje vertical, el Darrieus no necesita de un sistema de orientación. Esta característica de captación omnidireccional le permite ser instalado en cualquier terreno sin necesidad de levantar altas torres, lo cual se traduce en un ahorro sustancial.

Al poseer una forma parecida a una cuerda para saltar, hace que los alerones del Darrieus experimenten una alta fuerza centrífuga. Al trabajar en pura tensión hace que los alerones sean simples y económicos.

Este rotor presenta el problema que no puede arrancar por sí mismo, teniendo que emplearse un sistema de arranque secundario, aunque una vez en marcha es capaz de mantenerse gracias a la aerodinámica de sus palas. Muchas veces se aplica al diseño de este aerogenerador, rotores Savonius para facilitar su partida. La otra forma es usar un sistema eléctrico para la partida.

Usualmente se ocupa un generador de inducción conectado a la red. Una vez que el Darrieus se encuentra en velocidad de operación empieza a otorgar potencia. Este tipo de generador es simple, robusto y barato respecto a los otros tipos utilizados en generación eólica.

También Canadá ha invertido en estos aerogeneradores. Hace unos años el más grande aerogenerador era justamente uno de este tipo (ver figura 1.6) y fue construido en Quebec en 1987 con 64[m] de diámetro y una altura de 96[m].

Con una potencia nominal de 4[MW] fue el primer Darrieus en tener este orden de magnitud en potencia generada y tal como la turbinas hidroeléctricas no necesitaba de caja de cambio.

El generador tenía 162 polos y globalmente otorgaba potencia a la red de Quebec con un sistema AC-DC-AC. Para asegurar una vida útil más larga se le hizo trabajar a 2,5[MW].



Figura 1.6.- Eole VAWT (aerogeneradores de eje vertical)

b. Darrieus tipo H o Giromill

La patente de Darrieus también cubrió las turbinas con alerones verticales de eje recto llamadas Giromills. Como se ilustra en la siguientes figuras, una variante del Giromill es la Cycloturbine, con alerones orientado mecánicamente con el fin de cambiar el ángulo de ataque. Este tipo de turbina fue investigada por el NREL (National Renewable Energy Laboratory).

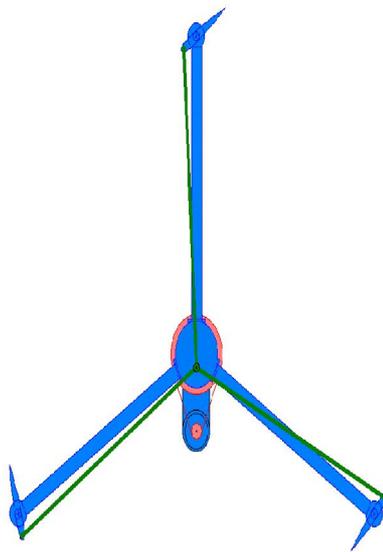


Figura 1.7.- Giromill vista superior

c. Savonius

El modelo de rotor Savonius es el más simple. Consiste en un cilindro hueco partido por la mitad, como se muestra en la siguiente figura, en el cual sus dos mitades han sido desplazadas para convertirlas en una S. Las partes cóncavas de la S captan el viento, mientras que los reversos presentan una menor resistencia al viento, por lo que girarían en el sentido que menos resistencia ofrezcan.

Este sistema tiene el inconveniente de presentar una sobre presión en el interior de las zonas cóncavas al no poder salir el aire, perjudicando el rendimiento; el sistema queda mejorado separando ambas palas y dejando un hueco entre ambas para que se exista un flujo de aire. Como se indica en la siguiente figura.

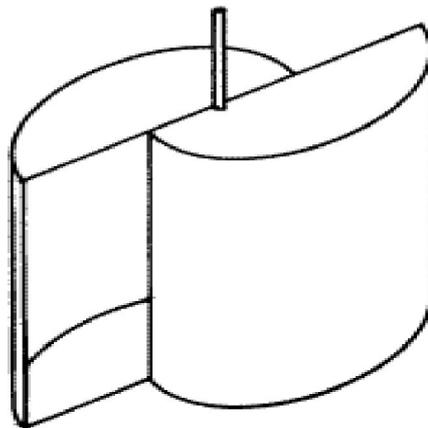


Figura 1.8.- Rotor Savonius

Debido a la gran resistencia al aire que ofrece este tipo de rotor, sólo puede ser utilizado a bajas velocidades. El uso para generación de energía eléctrica precisaría de multiplicadores de giro que reducirían el rendimiento. Es por tanto útil para aplicaciones de tipo mecánico, como el bombeo de agua. Como se ilustra en la figura siguiente.

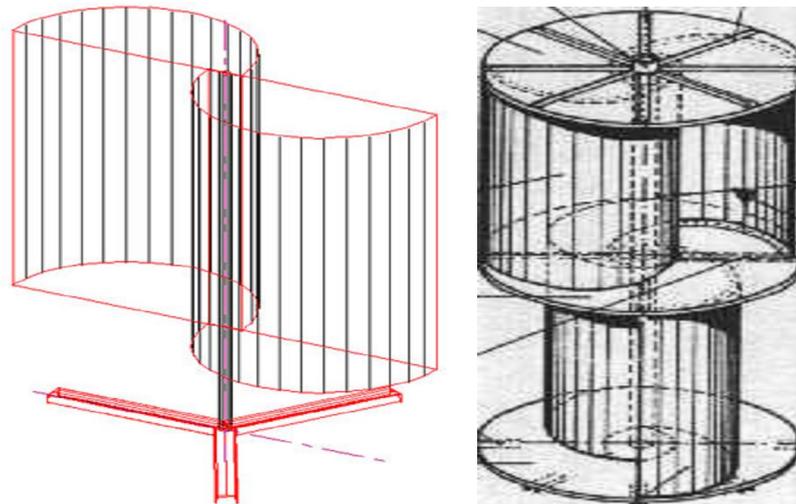


Figura 1.9.- Detalle del rotor Savonius

1.3.1.2 Eje Horizontal

También conocidos como HAWT, que proviene de las siglas en inglés (horizontal axis wind turbines), Son los más habituales y en ellos se ha centrado el mayor esfuerzo de diseño e investigación en los últimos años.

Su característica principal es que el eje de rotación se encuentra paralelo al suelo y a la dirección del viento. Su principal ventaja es, que al estar a una altura de entre 40 y 60 metros del suelo, aprovecha mejor las corrientes de aire.

Todos los mecanismos para convertir la energía cinética del viento en otro tipo de energía están ubicados en la torre y la góndola, además de tener una eficacia muy alta.

Como desventaja tenemos el transporte por sus grandes dimensiones (torres de 60 metros y palas de 40 metros), la fuerza que tiene que resistir las palas y

en velocidades altas de viento, más de 100 Km/h deben de ser parados para evitar daños estructurales. Como se muestra en la siguiente figura.



Figura 1.10.- Dos aerogeneradores de eje horizontal y tres palas.

1.3.2 POR LA ORIENTACIÓN CON RESPECTO AL VIENTO

Por la orientación con respecto al viento los aerogeneradores se clasifican en dos grandes grupos.

1.3.2.1 A barlovento

También denominado a proa. La mayoría de los aerogeneradores tienen este tipo de diseño.

Las máquinas corrientes arriba tienen el rotor de cara al viento. La principal ventaja de los diseños corriente arriba es que se evita el abrigo del viento tras la torre. Con mucho la mayoría de los aerogeneradores tienen este diseño.

Por otro lado, también hay algo de abrigo enfrente de la torre, es decir, el viento empieza a desviarse de la torre antes de alcanzarla, incluso si la torre es redonda y lisa. Así pues, cada vez que el rotor pasa por la torre, la potencia del aerogenerador cae ligeramente.

El principal inconveniente de los diseños corriente arriba es que el rotor necesita ser bastante inflexible, y estar situado a una cierta distancia de la torre. Además una máquina corriente arriba necesita un mecanismo de orientación para mantener el rotor de cara al viento.

1.3.2.2 A sotavento

También denominado a popa, son poco comunes.

Las máquinas corrientes arriba tienen el rotor de cara al viento. La principal ventaja de los diseños corriente arriba es que se evita el abrigo del viento tras la torre. Con mucho la mayoría de los aerogeneradores tienen este diseño.

Por otro lado, también hay algo de abrigo enfrente de la torre, es decir, el viento empieza a desviarse de la torre antes de alcanzarla, incluso si la torre es redonda y lisa. Así pues, cada vez que el rotor pasa por la torre, la potencia del aerogenerador cae ligeramente.

El principal inconveniente de los diseños corriente arriba es que el rotor necesita ser bastante inflexible, y estar situado a una cierta distancia de la torre. Además una máquina corriente arriba necesita un mecanismo de orientación para mantener el rotor de cara al viento.

1.3.3 POR EL NÚMERO DE PALAS

1.3.3.1 De una pala

Al tener una sola pala necesitan de un contrapeso. Su velocidad de giro es muy elevada, lo que supone un inconveniente ya que introduce en el eje unos esfuerzos muy variables, lo que supone un acortamiento de la vida de la instalación.

1.3.3.2 De dos palas

Los diseños bipala de aerogeneradores tienen la ventaja de ahorrar el coste de una pala y, por supuesto, su peso. Sin embargo, suelen tener dificultades para penetrar en el mercado, en parte porque necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida. Esto supone una desventaja tanto en lo que respecta al ruido como al aspecto visual.

1.3.3.3 De tres palas

La mayoría de los aerogeneradores modernos tienen este diseño, con el rotor mantenido en la posición corriente arriba, usando motores eléctricos en sus mecanismos de orientación.

Este diseño tiende a imponerse como estándar al resto de los conceptos evaluados. La gran mayoría de las turbinas vendidas en los mercados mundiales poseen este diseño.

1.3.3.4 Multipala

Con un número superior de palas o multipalas. Se trata del llamado modelo americano, debido a que una de sus primeras aplicaciones fue la extracción de agua en pozos de las grandes llanuras de este continente.

1.3.4 POR LA ADECUACIÓN DE LA ORIENTACIÓN DEL EQUIPO.

1.3.4.1 Mediante conicidad

Mediante un motor eléctrico y una serie de engranajes permiten el giro de todo el sistema, dejando perfectamente orientado el aerogenerador a la dirección del viento.

1.3.4.2 Mediante una veleta

Se emplea en equipos pequeños y de tamaño no muy grande, siendo el método más sencillo para orientar los aerogeneradores.

1.3.4.3 Mediante molinos auxiliares

Sistema no demasiado utilizado, y que consiste en instalar a ambos lados de la góndola dos rotores, los cuales son movidos por la propia fuerza del viento.

1.3.5 POR EL CONTROL DE POTENCIA

1.3.5.1 Sistemas de paso variable

Consiste en que las palas varían su ángulo de incidencia con respecto al viento, de esta forma cuando la potencia del viento es excesiva, se disminuye la resistencia de las palas con respecto al viento, evitando posibles daños estructurales. El mecanismo que rige este sistema funciona de forma hidráulica.

1.3.5.2 Diseño de las palas

También conocido como diseño de regulación por pérdidas aerodinámicas. En este diseño la pala está ligeramente curvada a lo largo de su eje longitudinal,

de esta forma la pala pierde la sustentación de forma paulatina y gradual, en vez de hacerlo bruscamente, cuando la velocidad del viento alcanza valores críticos.

Los diseños de bipalas tienen la ventaja de ahorro en cuanto a coste y peso, pero por el contrario necesitan una velocidad de giro más alta para producir la misma cantidad de energía.

1.3.5.3 Regulación activa por pérdida aerodinámica

En este caso se aumenta el ángulo de paso de las palas para llevarlas hasta una posición de mayor pérdida de sustentación, y poder consumir de esta forma el exceso de energía del viento. Sus principales ventajas son que la producción de potencia puede ser controlada de forma más exacta que con la regulación pasiva, y que puede funcionar a la potencia nominal con casi todas las velocidades de viento.

1.4 INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO TECNOLÓGICO EN EL PAÍS

La energía eólica proviene del movimiento de masas de aire, es decir del viento, para realizar instalaciones eólicas, se necesita hacer un estudio del recurso eólico de la región, como ejemplo podemos decir se, cuenta con una estación de parque eólico ubicado en Cerro Negro en la provincia de Tulcán y con proyección a instalar varios proyectos eólicos.

Para el sistema de comunicación de las repetidoras del Comando de Apoyo Logístico Electrónico de la Fuerza Terrestre, es necesario recoger datos de diferentes lugares de grandes y pequeñas elevaciones que disponemos en nuestro país, dichos datos son recogidos periódicamente y procesados en el laboratorio de energía alternativa.

También debemos tener en cuenta el funcionamiento de un aerogenerador en una estación meteorológica, lo cual permite determinar el promedio de velocidad del viento, si es 3m/s o mayor.

El aerogenerador funciona y si a esto se le agrega que la velocidad mínima del viento para el arranque de éste es de 5m/s, estas cifras nos llevan a concluir que a menor velocidad del viento para el arranque, mayor energía eólica será aprovechada o convertida en electricidad.

La producción de la energía eólica en nuestro país ha brindado soluciones principalmente a la Fuerza Terrestre para los destacamentos, gracias a las zonas remotas se limitan a los sistemas de menos de 50 [kW] y en fincas o casas a los de menos de 3 [kW]⁵.

En la zona de la costa o en las montañas de la Sierra se podría instalar parques eólicos con aerogeneradores grandes pero no mayores de 1 [MW] integrados a la red eléctrica nacional, se disminuye de la dependencia de los combustibles fósiles y de la creación de puestos de trabajo.

1.4.1 TIPOS DE VIENTO

Entre los tipos de viento que existe en nuestro país son:

Los vientos locales.- entre estos están las brisas marinas que son debidas a la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra.

Los 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.

⁵http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_espacial

Caracterización del terreno.- Cuando se quiere instalar un parque eólico se busca fundamentalmente que la energía obtenida sea máxima.

La fuente de la energía eléctrica puede comenzar con una comparación de los aspectos más generales que características del viento y que las cargas turbulentas que deben soportar a los aerogeneradores en su vida útil.

1.4.2 ASPECTOS MEDIO AMBIENTALES

El análisis de las repercusiones medio ambientales del uso de la energía eólica la distingue de otras energías alternativas de generación de energía eléctrica, la energía eólica es frente a los combustibles fósiles una fuente inagotable, contribuye al autoabastecimiento energético nacional y esmeros perjudicial para el medio ambiente, evitando los efectos de uso directo (contaminación atmosférica, lluvia ácida, efecto invernadero, etc.).

A continuación se menciona algunos efectos de las principales repercusiones.

1.4.2.1 Clima

La generación de la energía eléctrica directamente a partir del sol no requiere ningún tipo de combustión, por lo tanto no se produce polución térmica directa ni emisiones de CO₂ (dióxido de carbono), que favorezca el efecto invernadero.

1.4.2.2 Hidrologías

No se produce alteraciones de los acuíferos o de las aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos.

1.4.2.3 Suelos

La incidencia sobre la erosionabilidad es nula ya que no se produce contaminación, vertidos, movimientos de tierra, etc.

1.4.2.4 Vegetación o fauna

Es nula, y se evita la repercusión que los postes y tendidos eléctricos pueden producir sobre las aves.

1.4.2.5 Paisaje

Las distintas posibilidades de instalación de energía eólica, hace de estos un elemento fácil de emplear y armonizar en diferentes tipos de estructura, minimizando su impacto visual.

1.4.2.6 Ruidos

Es absolutamente silencioso, esto representa una clara ventaja para electrificación de viviendas aisladas.

1.5 BENEFICIOS DE LA ENERGÍA EÓLICA

Es una energía limpia pues para generar esa electricidad que no origina productos secundarios y peligrosos para el hombre, tierra y atmósfera, que no contamina y sobre todo, que es inagotable, procede indirectamente del sol, pues se nutre única y exclusivamente del viento para generar una electricidad limpia.

También podemos decir la generación de electricidad a partir del viento evita la producción de gases tóxicos que contribuyan al efecto invernadero y a la lluvia ácida.

Como podemos indicar en el siguiente ejemplo, la capacidad de limpieza que alberga en la generación de electricidad y como evita residuos como se produce con las energías tradicionales.

En 1[kw/h] de electricidad generada por energía eólica en lugar de la utilización de carbón para la generación de ese mismo Kwh, evita la emisión de:

- 0,60 kilogramos de CO₂ (dióxido de carbono) a la atmósfera.
- 1,33 gramos de SO₂ (dióxido de azufre).
- 1,67 gramos de NO_x (óxido de nitrógeno).

Los datos indicados en el ejemplo mencionado, que hacen pensar que con un sólo aerogenerador (molino que convierte la energía cinética que existe en el viento en energía eléctrica), se podrían evitar los miles de kilogramos de lignito negro que se queman diariamente en una central térmica y cortar de raíz las emisiones a la atmósfera⁶.

También la energía eólica es una de las energías renovables que proceden del viento más barato. La rentabilidad es mucho mayor con respecto a otras fuentes energéticas tradicionales como las Térmicas de carbón.

El hecho de generar electricidad sin que exista un proceso de combustión, visto con respecto al medio ambiente, se suprime los impactos originados por los combustibles por su extracción, transformación y combustión, beneficia a la atmósfera, movimientos de suelos, vegetación etc.

La generación de energía eléctrica mediante la energía eólica se realiza mayormente por grupos de aerogeneradores, tiene prácticamente una nula erosionabilidad del suelo ya que la implantación de los parques eólicos no supone grandes movimientos de tierras, ni produce elementos contaminantes.

⁶<http://usuarios.lycos.es/ama/texto.htm>

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 a la presión.

Los vientos son generados a causa del calentamiento no uniforme de la superficie terrestre por parte de la radiación solar, entre el 1 y 2% de la energía proveniente del sol se convierte en viento, en el día las masas de aire sobre los océanos, los mares y los lagos se mantienen frías con relación a las áreas vecinas situadas sobre las masas continentales.

Los continentes absorben una menor cantidad de luz solar, por lo tanto el aire que se encuentra sobre la tierra se expande, y se hace por lo tanto más liviana y se eleva, el aire más frío y más pesado que proviene de los mares, océanos y grandes lagos se pone en movimiento para ocupar el lugar dejado por el aire caliente.

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 tiene una duración mínima de 20 años (del sistema de generador eólico). Es también importante conocer la velocidad máxima del viento.

También podemos observar en la actualidad que se utiliza 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 de parques eólicos, como ejemplo más típico la instalación de energía eólica ubicado en la Isla San Cristóbal del Archipiélago de Galápagos, actualmente se está realizando la producción de energía en beneficio al Ecuador.

1.6 APLICACIONES DE LA ENERGÍA EÓLICA

Entre las principales aplicaciones que se da a la energía eólica, por estar fuera de las áreas alejadas de la red eléctrica son las siguientes:

- Repetidoras de radio.
- Electrificación doméstica.
- Bombeo de agua.
- Refrigeración.
- Electricidad domiciliaria.

1.6.1 REPETIDORAS DE RADIO

Estas instalaciones suelen encontrarse en lugares de difícil acceso, hasta los cuales es complejo, y en muchas veces antieconómico, acercar una línea eléctrica. Uno de los sistemas más empleados para la electrificación de estas estaciones repetidoras era el empleo de baterías que eran sustituidas periódicamente, pero presentar, dos inconvenientes principales:

- Obligaban a frecuentes visitas a la estación para hacer el cambio de acumuladores.
- La vida media de los acumuladores se veía limitada al trabajar con ciclos de descarga muy acentuados.

En este caso, la energía eólica ha servido para mejorar la fiabilidad de los sistemas, y reducir drásticamente los costos de operación, haciendo necesarias únicamente las visitas rutinarias de mantenimiento como se indica en la siguiente figura.



Figura 1.11.- Repetidor con energía eólica.

1.6.2 ELECTRIFICACIÓN DOMÉSTICA

La electrificación doméstica es actualmente una de las aplicaciones más importantes de la energía eólica. En la que un único generador eólico, alimenta a todos los quipos de consumo eléctrico en la vivienda, por ejemplo como indica en la figura de viviendas.



Figura 1.12.- Vivienda alimentada por energía eólica

1.6.3 BOMBEO DE AGUA

El desarrollo rural tiende, esencialmente, a dar a las poblaciones del campo la posibilidad de satisfacer sus necesidades de subsistencia elementales y de asegurar por el cultivo y la artesanía local la vida económica de los pueblos.

Este desarrollo está acompañado muchas veces de problemas de abastecimiento de agua, ya sea para el uso doméstico (eventualmente, después de la depuración y la desalinización) ya sea para el uso industrial agrícola mediante redes de distribución y canales de riego.

Estos problemas son particularmente importantes en las regiones muy soleadas y a menudo secas, frecuentemente acompañadas por dificultades de transporte (debidas a vías de comunicación precarias o inexistentes).

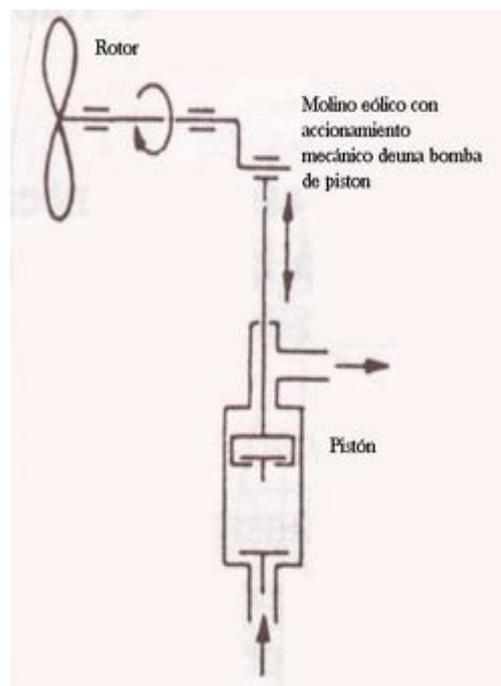


Figura 1.13.- Sistema de bombeo.

1.6.4 REFRIGERACIÓN

La obtención de frío mediante el empleo energía eólica, es posible. Sin embargo son numerosos los problemas técnicos y especialmente económicos a resolver antes de que estas aplicaciones comiencen hacer efectivamente comerciales.

Precisamente en lugares en donde existe demasiado calor hay la necesidad de refrigeración ambiental y especialmente la conservación de alimentos se hace más patente, como se muestra en la tabla.

Aplicación	Temperatura °C
Refrigeración de alimentos	5 a 0
Conservación a corto plazo	0 a 15
Conservación duradera	15 a 18
Congelación	Interior a 18

Tabla 1.1.- Necesidad de frío en algunas aplicaciones.

1.7 FUTURO DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EL PAÍS

Como anteriormente mencionamos, en el parque eólico San Cristóbal, ubicado en las Islas de Galápagos, se instaló tres aerogeneradores con una potencia instalada de capacidad de 2.4 MW, de 80 [m] de altura, el cual se inauguró oficialmente el 18 de marzo de 2008, por la necesidad de ayudar a reducir el consumo de combustibles fósiles en un ecosistema tan frágil como el del archipiélago Galápagos.

Por lo tanto el trabajo realizado por el gobierno en alianza con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), se desarrolla la energía eólica en nuestro país mostrando un futuro brillante, de tener una capacidad para

producir 2.400 kilovatios de electricidad limpia, a través del viento, porque no es contaminante y no agresiva con el medio ambiente.

La implementación del parque tuvo un costo de 10 millones de dólares y es beneficioso para un ecosistema como el de Galápagos porque la energía eólica se renueva en forma continua y está libre de gases tóxicos que provocan el efecto invernadero.

El Ministro de Energía señaló un nuevo parque eólico que el país aspira a tener la mayor cantidad de energía renovable y propia en las Islas Encantadas, con un costo aproximado de 10 millones de dólares y generará 2.5 megavatios de energía, con lo que se reducirá casi el 50% el consumo de combustible en el archipiélago, como se muestra indica en la figura.

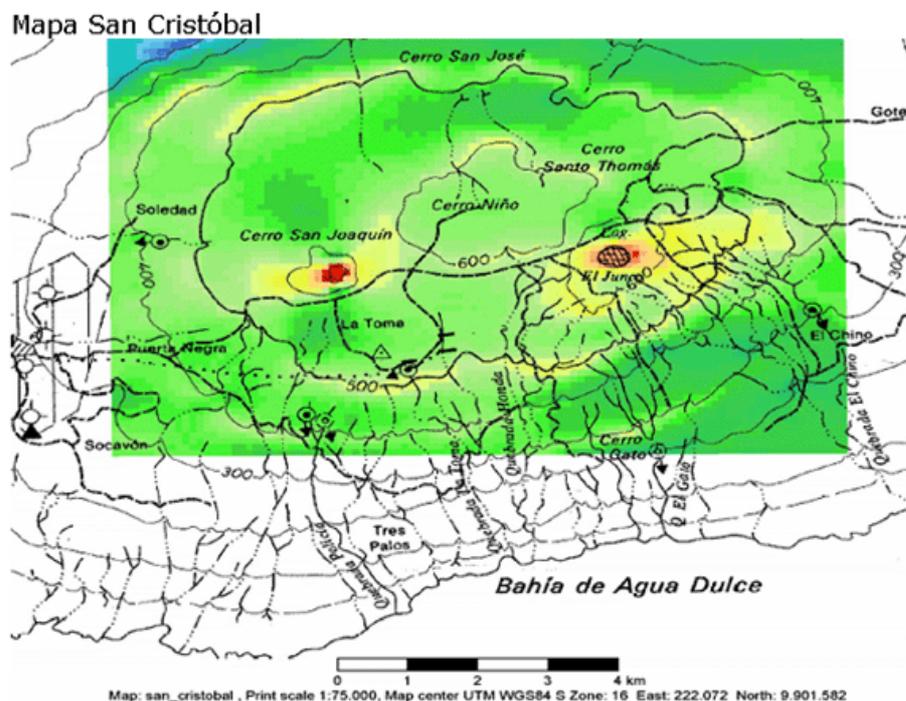


Figura 1.14.- Mapa San Cristóbal

La Fuerza Terrestre conjuntamente con el CALEFT, viendo la necesidad de establecer comunicaciones con los destacamentos del Batallón de Infantería BI-39, realizó la instalación de un generador eólico en Cerro Negro, el 2 de

Marzo de 2008, por no contar en las inmediaciones del sector con una red eléctrica.

Teniendo en cuenta las características del terreno y la condición meteorológica, se optó que exista suficiente la corriente del viento para el funcionamiento del generador eólico⁷.

Con estos antecedentes y por la magnífica aceptación que tuvo este proyecto el CALEFT se ha visto obligado a invertir en proyectos de energías alternativas (energía fotovoltaica y energía eólica) para abastecer de electricidad a los cerros y destacamentos de la Costa, Sierra y Oriente, que no cuentan con una red eléctrica en sus alrededores, de las tres regiones.

En el anexo B, presentamos en la tabla 1 los costos y la energía que se genera en este parque eólico.

Se estima que dentro de los 20 años siguientes el 90%, de los equipos de comunicación, iluminación, etc van ser alimentados por sistemas híbridos, (energía fotovoltaico y energía eólica).

⁷<http://www.ecuadorciencia.org/noticias.asp?id=2951&fc=20071001>

CAPITULO II

ASPECTOS CONSTRUCTIVOS

2.1 LOS AEROGENERADORES

Un aerogenerador es una máquina que produce un movimiento de rotación aprovechando la fuerza del viento, como se indica en la siguiente figura.

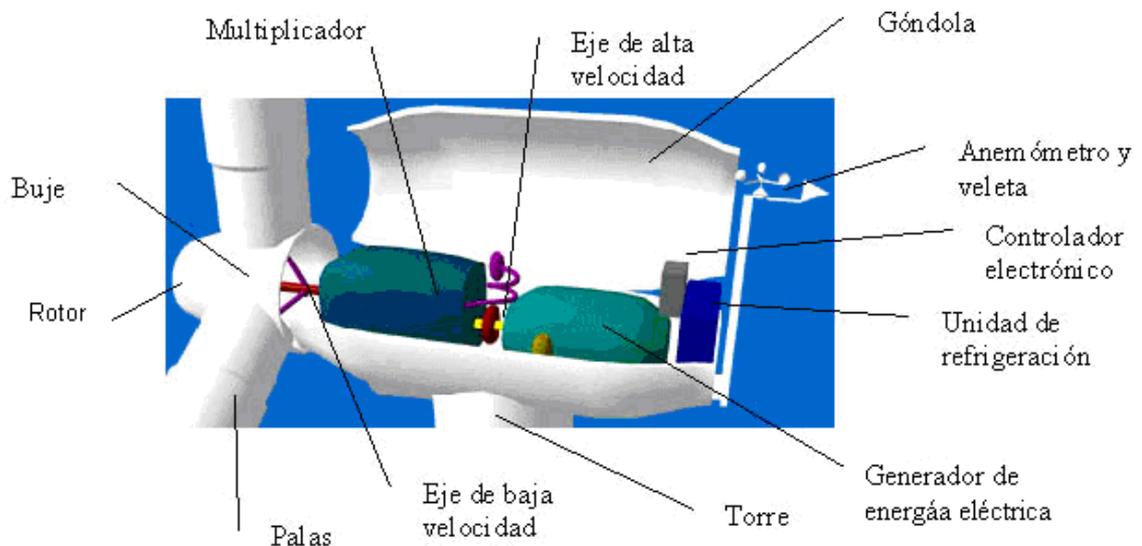


Figura 2.1.- El aerogenerador

El aerogenerador está compuesto de los siguientes elementos que son:

2.1.1 El rotor

Es el elemento que transforma la energía del viento en energía mecánica. A su vez, el rotor se compone de tres partes fundamentales: las palas, el eje (que transmite el movimiento giratorio de las palas al aerogenerador) y el buje (que fija las palas al eje).

Los rotores se clasifican:

- a. Rotores con velocidad de giro constante.
- b. Rotores con velocidad de giro variable.

a. Rotores con velocidad de giro constante.- La velocidad de giro se regula mediante sistemas mecánicos, de forma que, al controlar la velocidad de giro, se regula la potencia⁸.

b. Rotores con velocidad de giro variable.- En este tipo de generadores hay una mayor adaptación al viento, ya que la velocidad de giro depende de la fuerza de éste.

2.1.2 Palas

Las palas son los elementos más importantes, pues son las que reciben la fuerza del viento y se mueven gracias a su diseño aerodinámico. Están fabricadas con resina de poliéster y fibra de vidrio sobre una estructura resistente, y su tamaño depende de la tecnología empleada y de la velocidad del viento.

⁸http://www.solarpedia.es/index.php/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica

Así, por ejemplo, si la longitud de las palas es muy grande, es mayor la superficie de captación del viento, pero el empuje de éste sobre los extremos de las palas puede frenar el movimiento del rotor.

Por tanto, el tamaño de las palas debe ser el óptimo para el rango de velocidades del viento que hay en el lugar donde está el aerogenerador.

2.1.3 Multiplicador

Es un elemento conectado al rotor que multiplica la velocidad de rotación del eje para alcanzar el elevado número de revoluciones que necesitan las dinamos y los alternadores.

Dentro de los multiplicadores se distinguen dos tipos:

- a. Multiplicadores de poleas dentadas.-** Se utilizan para rotores de baja potencia.

- b. Multiplicadores de engranaje.-** En este tipo de multiplicadores los engranajes están protegidos en cajas blindadas para evitar su desajuste y desengranaje, aunque la mayoría de los aerogeneradores tienen multiplicador, existen algunos rotores que no lo necesitan.

2.1.4 Eje principal

Este eje principal se clasifica en: Eje de baja velocidad y eje de alta velocidad.

Conecta el buje del rotor al multiplicador. En un aerogenerador moderno de 1500 kw el rotor gira muy lento, a unas 20 a 35 revoluciones por minuto (r.p.m.) El eje contiene conductos del sistema hidráulico para permitir el funcionamiento de los frenos aerodinámicos.

2.1.5 Buje

El buje del rotor está acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador.

2.1.6 Torre

La torre es el elemento de sujeción y el que sitúa el rotor y los mecanismos que lo acompañan a la altura idónea. Está construida sobre una base de hormigón armado y fijado a ésta con pernos.

La torre tiene forma tubular y debe ser suficientemente resistente para sportar todo el peso y los esfuerzos del viento, la nieve, etc. En su base está generalmente el armario eléctrico, a través del cual se actúa sobre los elementos de generación y que alberga todo el sistema de cableado que proviene de la góndola.

Respecto a la posición del eje, los aerogeneradores pueden ser de eje vertical (aerogenerador Darreius) o con los elementos de captación sujetos a un eje horizontal. Los sistemas que más se utilizan para aprovechar la energía eólica son los que cuentan con eje horizontal.

2.1.7 La góndola

Contiene los componentes clave del aerogenerador, incluyendo el multiplicador y el generador eléctrico. El personal de servicio puede entrar en la góndola desde la torre de la turbina.

2.1.8 El generador eléctrico

Suele ser un generador asíncrono o de inducción. En los aerogeneradores modernos la potencia máxima suele estar entre 500 y 2.000 kW.

2.1.9 El controlador electrónico

Es un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción automáticamente para el aerogenerador y llama al ordenador del operario encargado de la turbina a través de un enlace telefónico mediante módem.

2.1.10 La unidad de refrigeración.

Contiene un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además contiene una unidad refrigerante por aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador. Algunas turbinas tienen generadores refrigerados por agua.

2.1.11 El anemómetro y la veleta

Las señales electrónicas del anemómetro son utilizadas por el controlador electrónico del aerogenerador para conectarlo cuando el viento alcanza aproximadamente 5 m/s.

2.2 SISTEMAS DE FRENADO MECÁNICO

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 izar o desmontar la turbina de la torre en un día ventoso, 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.

Los sistemas de frenado más empleados son: mecánico, aerodinámico, pala a posición bandera, desorientación, cabeceo y cortocircuito de generador, la mayoría emplean doble sistema de frenado: el primero es de tipo mecánico o colocando la pala en posición bandera (paralela al viento), y el segundo freno generalmente es de tipo mecánico, aerodinámico o por cortocircuito eléctrico del generador.

La función principal del freno mecánico es mantener bloqueado el eje de giro durante las operaciones de puesta en marcha y mantenimiento del aerogenerador. Además del freno mecánico, es práctica habitual durante los periodos de reparación que impiden el giro del rotor eólico mediante unos pernos colocados entre este elemento.

Cuando el freno mecánico se diseña únicamente para bloquear el rotor, el par que debe soportar, es el transmitido por el rotor eólico puesto en bandera en condiciones de viento extremo y con el eje de giro bloqueado.

Además de la función de bloqueo, algunos diseños de frenos mecánicos se pueden emplear para contribuir al frenado dinámico del rotor eólico durante procesos de parada de emergencia. El freno mecánico se puede utilizar como freno secundario de apoyo al freno aerodinámico que incorpora todas las turbinas de cierta potencia.

La función de parada aerodinámica se realiza, o bien actuando sobre el control de paso girando la pala un ángulo cercano a 90° sobre su eje de giro (condiciones de puesta en bandera) cuando la turbina lleva incorporado un sistema de control de paso de pala, o bien activando los aerofrenos en el caso que el control aerodinámico de la turbina sea pasivo.

El empleo de freno mecánico para contribuir a los procesos de parada dinámica solo está justificado en turbinas de reducida o mediana potencia. Para máquinas de elevada potencia (cerca de 1 MW), el freno mecánico se utiliza solo para funciones de bloqueo ya que un diseño de este componente durante procesos de parada supondría unas dimensiones del disco de frenado excesivamente grandes, como se muestra en la figura.



En la figura 2.2. Freno mecánico de una turbina alojado en el eje.

2.3 VELOCIDAD DE ROTACIÓN

Existen varias soluciones para controlar la velocidad de giro en los pequeños aerogeneradores.

2.3.1 Regulación por desorientación

El rotor se pliega en el plano horizontal con respecto a la dirección del viento y el rotor gira hacia la cola. El flujo de viento a través del rotor se ve reducido por la disminución del área que enfrenta a éste al ponerse el rotor de lado.

De esta forma la potencia que se extrae del viento es reducida, este es el sistema empleado en los molinos de viento múltiples, usados en el bombeo de agua.

2.3.2 Regulación por cabeceo

El rotor se pliega igual al caso anterior, pero en el plano vertical, es decir, el rotor se mueve verticalmente. El efecto es el mismo; el área de enfrentamiento del rotor se reduce en función de la magnitud de la velocidad del viento.

En ambos casos, cuando la velocidad del viento aumenta, la fuerza de empuje axial sobre el rotor también aumenta; cuando esta fuerza alcanza el valor que hace activar el mecanismo de desorientación, el aerogenerador se ubica en una posición no perpendicular al viento, lo que limita la velocidad de giro y la potencia entregada, en un caso movimiento de rotor es horizontal y en el otro vertical (por cabeceo). (Ver anexo A, figura 1).

2.3.3 Regulación por cambio de paso

Es un sistema similar al empleado en los grandes aerogeneradores, pero con la diferencia de que los pequeños usan sistemas de cambio de paso pasivos, en los que la variación del ángulo de paso de las palas se produce mediante mecanismos centrífugos.

2.3.4 Regulación por pérdida aerodinámica

Este sistema es igual al utilizado en los grandes aerogeneradores.

2.3.5 Sin regulación

En este caso el aerogenerador se diseña para soportar las cargas que se produzcan en todas las condiciones de operación, incluidas las velocidades de giro que puedan presentarse en funcionamiento en vacío, es común ver esta solución en los aerogeneradores más pequeños. Los sistemas más comunes son por cabeceo de la turbina eólica y por cambio de paso pasivo.

2.4 PARÁMETROS ELÉCTRICOS

2.4.1 LOS GENERADORES

En la generación de electricidad a partir de la energía del viento se utilizan dos familias de máquinas:

Generadores de corriente continúa.

Generadores de corriente alterna.

2.4.1.1 Generadores con salida de corriente continúa

Los generadores de corriente continua (DC) puros, o dínamos, se utilizan en pequeños aerogeneradores ya que la estructura de delgas y múltiples enrollados los hace complejos y poco eficientes.

Al aumentar la potencia generada, aumentan las pérdidas que se generan en la transición de las escobillas sobre las delgas. Obtener corriente continua es factible también trabajando con máquinas alternas, gracias a los puentes rectificadores, compuestos por diodos en su forma más elemental.

Hay varias técnicas de control que aprovechan los parámetros eléctricos del alternador para poder manejar las fluctuaciones de la potencia y consecuentemente del voltaje.

a. Dínamos

En la actualidad, estos generadores han caído en desuso consisten en un inductor (embobinado alimentado con DC) colocado en el estator el cual tiene la tarea de generar un campo magnético constante (idealmente podría ser un imán permanente).

b. Alternador más rectificador

Los generadores anteriores han sido sustituidos por alternador que incluye rectificador silicio (diodos), que transforman la CA en DC en forma estática y con mayor rendimiento.

En el ámbito eólico, la tendencia es utilizar alternadores de múltiples imanes permanentes con igual número de embobinados de estator lo cual define un gran número de polos. El descubrimiento de materiales que manifiestan un poder magnético superior ha sido determinante en el desarrollo de pequeños y medianos generadores permitiendo disminuir considerablemente su tamaño sustituyendo los electroimanes.

Colocar un mayor número de imanes en el generador implica rebajar su rango de operación considerando revoluciones en el eje. Rebajar el rango de operación del alternador tiene el objetivo de evitar el uso de una caja mecánica amplificadora de RPM. Dejar de lado componentes mecánicos significa evitar pérdidas que comprometan la eficiencia global de la conversión energética.

En los últimos años se empezaron a construir enormes generadores con este mismo concepto para lograr una máxima eficiencia. Al tener rotores gigantescos, se ha optado por colocar innumerables electroimanes. La magnitud de esto se puede apreciar en el rotor del alternador que se muestra en la siguiente figura.

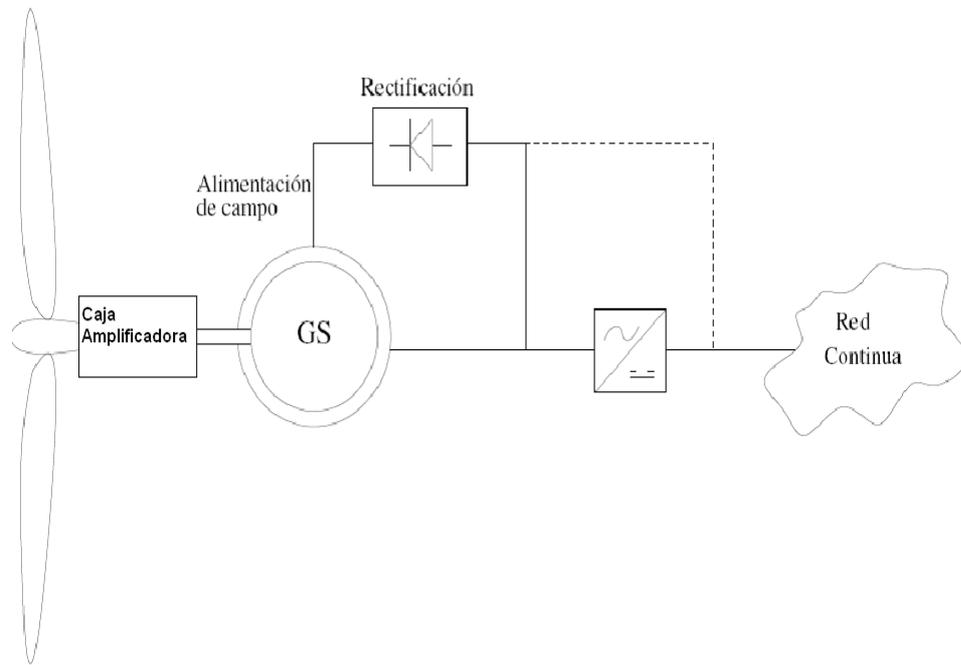


Figura 2.3.- Diagrama de un alternador conectado a red continúa.

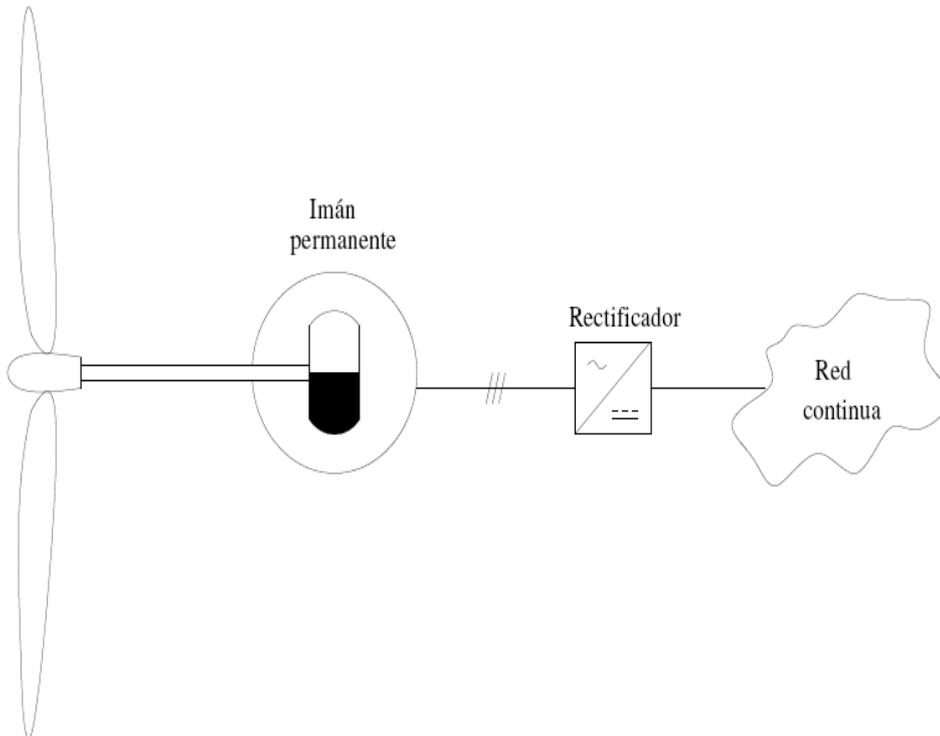


Figura 2.4.- Diagrama de un generador de imán permanente.

Como se puede apreciar en las figuras anteriores el sistema contempla una caja amplificadora de RPM. Si se diseña un alternador con un número de polos adecuado para que su velocidad de operación coincida con la velocidad rotacional de las aspas, entonces, se puede omitir la caja amplificadora.

Si se quisiera dotar al rotor de electroimanes manteniendo el número de polos, difícilmente se lograría mantener el diámetro de la máquina y se agregaría, de todas formas, una complejidad estructural importante.

Construir alternadores de múltiples polos con electroimanes es sustentable únicamente para generadores donde es posible concebir un rotor de diámetro muy grande.

2.4.1.2 Generadores con salida de corriente alterna

a. Generadores sincrónicos

Las máquinas sincrónicas tienen una velocidad de rotación rígidamente vinculada a la frecuencia de la red que alimenta el estator. Esta relación es definida por la ecuación.

$$n = \frac{60 * f}{p}$$

[2.1]

Donde:

n = Revoluciones por minuto [RPM]

f = Frecuencia de la red (en nuestro caso 60 [Hz])

P = Número de pares de polos en el estator

También denominadas alternadores, estas máquinas son ampliamente utilizadas en la generación de electricidad por la facilidad de manejar la magnitud y el tipo de potencia que se inyecta a la red, modificando la corriente de campo.

Manejando el punto de operación es posible determinar cuánta potencia activa y reactiva se está aportando a la red (o, consumiendo de la red). Esto permite al generador sincrónico ir ajustando el factor de potencia de forma fácil y rápida.

Hay varias configuraciones utilizadas en el ámbito eólico, sobre todo para grandes aerogeneradores que se conectan directamente a la red de un sistema interconectado.

El sincronismo dependería de la velocidad del rotor del generador, como define la ecuación el cual puede ser ajustado con medidas aerodinámicas, el control de la frecuencia y del nivel de voltaje puede ser efectuado únicamente con electrónica de potencia (rectificación e inversión) o en conjunto al control del ángulo de ataque de las aspas.

b. Generadores asincrónicos

Se basan en el fenómeno de campo magnético rotatorio resultante, al alimentar los embobinados de estator con voltajes sinusoidales trifásicos desfasados 120° entre sí. Se definen asincrónicos porque la velocidad del rotor no es la del sincronismo impuesto por la red.

La máquina más popular es claramente el motor de inducción de jaula de ardilla, el mismo que al ser conectado a la red eléctrica pública puede operar como generador. Generalmente estas máquinas se utilizan como motores trifásicos y no como generadores.

Los generadores de inducción son máquinas que se utilizan como generadores al estar conectados a la red trifásica manejando el deslizamiento⁹.

No necesitan control, salvo el manejo de la potencia mecánica y por su estructura de rotor de jaula de ardilla no tienen escobillas conectadas, lo cual libra de las mantenciones típicas que tienen las máquinas eléctricas de rotor bobinado.

También se utiliza un ciclo conversor en la salida que permite bajar el nivel de voltaje generado adaptándolo al nivel de la red, existe otra familia de máquinas de inducción que si utilizan embobinado de rotor, el cual puede estar en cortocircuito, para operar como jaula de ardilla.

La ventaja de tener embobinados de rotor es la posibilidad de controlar la magnitud de la corriente que circula por ellos y así modificar el deslizamiento favorablemente.

2.4.2 SISTEMA DE CONTROL

El sistema de control consiste en un algoritmo secuencial que actúa, junto a la adquisición de las variables proporcionadas por los distintos sensores (variables de entrada), actualizando las variables de salida que manejarán, la corriente de campo del alternador, la conmutación del conversor DC-DC y la resistencia de desahogo del sistema.

Una visión general de los componentes que constituyen el sistema, como muestra en la figura 2.5, dentro de este esquema se mencionan varias componentes eléctricas que son controladas o proporcionan información al sistema de control.

⁹http://146.83.6.25/literatura/memorias_tesis/AEROGENERADOR-MEMORIA-FINAL.pdf

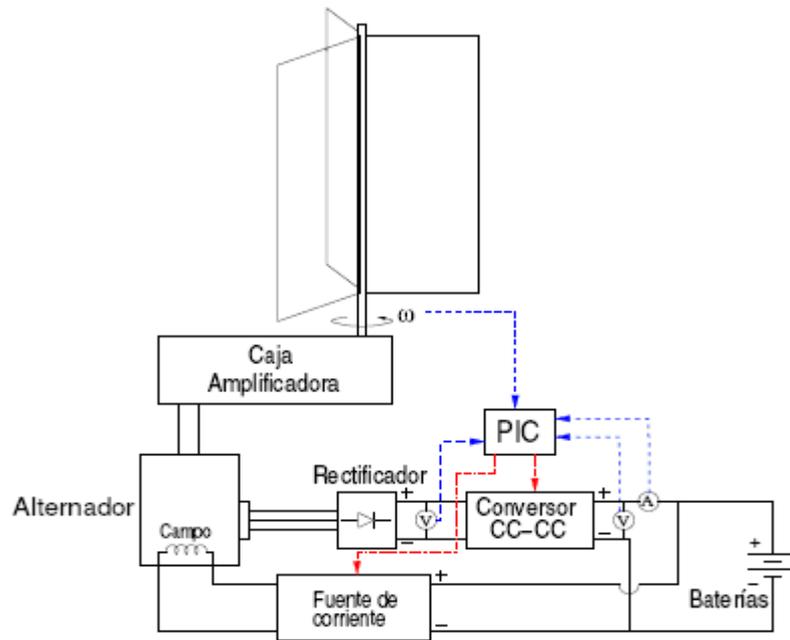


Figura 2.5.- Esquema general de la variable del sistema.

2.4.2.1 Variables de entrada

Estas variables son básicamente las señales, o información, proporcionadas por los distintos sensores del sistema. La mayoría son niveles de voltaje.

Nivel de voltaje en la salida del alternador.- Esta señal corresponde al nivel de voltaje generado por el alternador en sus bornes y también representa el voltaje de entrada del convertor DC-DC. Es necesario escalar este nivel de voltaje para que quede dentro del rango de operación del convertor analógico digital interno del microcontrolador.

Para esto, es necesario colocar una protección con el fin evitar que sobre voltajes dañen las compuertas del microcontrolador. Esto se logra, de manera práctica, con un atenuador (OPAMP). El atenuador se estructura tal como se puede observa en la siguiente figura.

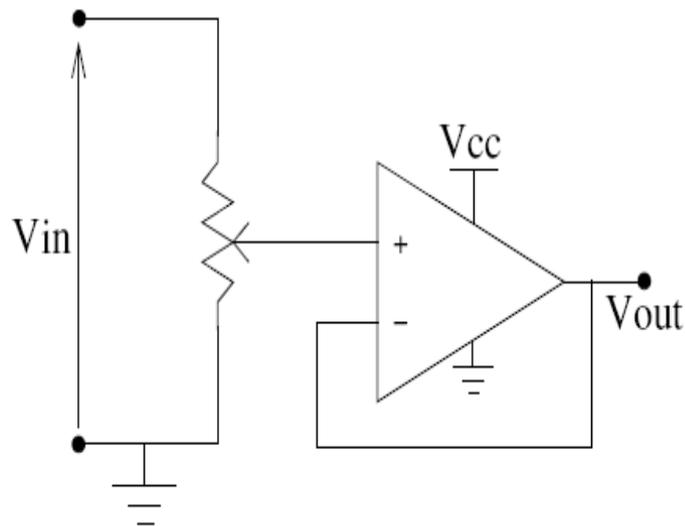


Figura 2.6.- Divisor de tensión más seguidor de voltaje.

Nivel de voltaje en la salida del conversor.- Este voltaje es el que se le aplica a la carga de las baterías y a los consumos en el caso de que estén directamente conectados. El voltaje tiene que ser acotado con un máximo valor de 13.8 [V] (en el caso que se cargue una batería o un arreglo de ellas en paralelo), voltaje que permite recargar las baterías.

Es costumbre proporcionar un voltaje de recarga levemente superior, denominado voltaje de igualación (o ecualización). Esta práctica no tiene como objeto recargar rápidamente el acumulador porque este voltaje es suficientemente alto para permitir hidrólisis en el acumulador.

Al utilizar un acumulador (carga y descarga sin entrar en hidrólisis), con el pasar del tiempo, el electrolito sufre una estratificación en distintas capas de densidad. Esto afecta el rendimiento electroquímico de la batería.

Para utilizar toda su capacidad es necesaria mezclar el electrolito y así deshacer la estratificación. Esto se logra aplicando el voltaje de igualación. La manipulación de la señal de este nivel de voltaje se obtiene gracias a la misma configuración descrita para el voltaje de salida del alternador.

Control de corriente de campo.- El control de la corriente por el embobinado de rotor se logra con el circuito 2.7, donde se monitorea la magnitud de la corriente y en conjunto con la velocidad del rotor, el microcontrolador decide qué voltaje aplicar al embobinado para lograr la máxima generación como se indica en la siguiente figura.

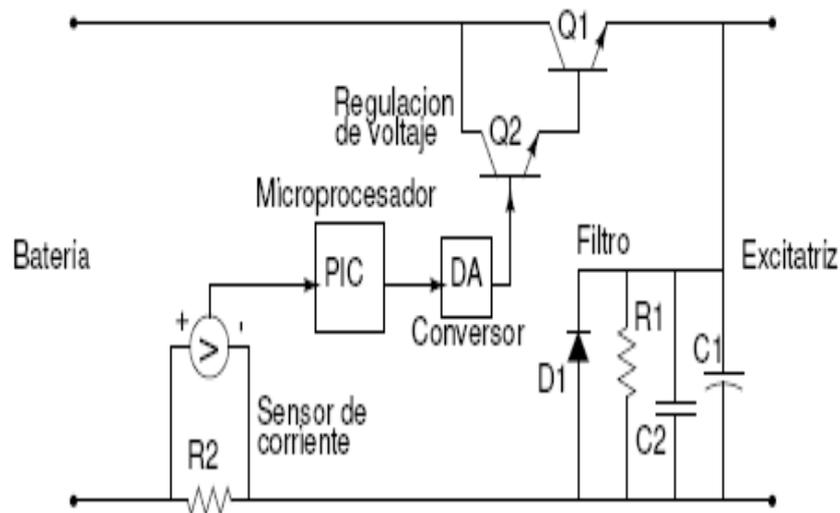


Figura 2.7.- Fuente de voltaje del inductor controlado por un PIC.

Corriente de campo del alternador.- Considerando el voltaje proporcionado por la batería (en este caso aproximadamente 12 [V]) y la resistencia del campo inductor del alternador se consigue una corriente entre los 2-3 [A]. La configuración Darlington, descrita en la figura 2.7, es manejada por un nivel de voltaje proporcionado por el microcontrolador como PWM y suavizada por un condensador adecuado.

De esta manera el microcontrolador puede variar la corriente mediante el ciclo de trabajo de este PWM. Esta solución tiene la ventaja de independizar al microcontrolador del voltaje aplicable al embobinado de rotor. Este voltaje varía a dependencia del estado de la batería.

El algoritmo de control maneja el ciclo de trabajo de este PWM en relación a las otras variables de entrada. Su operación dependerá absolutamente del nivel de voltaje de la batería.

Corriente de salida o de carga.- A diferencia del caso anterior, el nivel de corriente puede alcanzar los 25 [A]. Sigue siendo una opción de utilizar una resistencia Shunt para la medida, pero en esta oportunidad, conviene utilizar un sensor basado en el "Efecto Hall". Estos sensores son considerados no invasivos y el voltaje entregado es lineal con respecto a la corriente.

RPM del aerogenerador.- La velocidad rotacional es entregada al microcontrolador gracias a un tren de pulsos, generado por un disco perforado que al girar junto al eje, permite que un emisor infrarrojo estimule el respectivo receptor, cambiando el nivel de voltaje desde cero a un voltaje determinado, Claramente el número de pulsos por unidad de tiempo indica la frecuencia con la cual está girando el rotor del aerogenerador.

Este tren de pulsos es aplicado a un puerto del microcontrolador, que contará los cambios de nivel de voltaje (flancos de subida) y con un reloj interno, definirá la variable de frecuencia para el lazo de control.

2.4.2.2 Variables de salida

Las variables de salidas son básicamente las variables que actúan sobre los elementos encargados de la regulación de voltaje para la correcta carga de las baterías.

Nivel de voltaje para el manejo de la corriente de campo.- Para manejar la corriente de campo es necesario entregar un nivel de voltaje a la configuración darlington que la controla.

Sistemas de control de velocidad.- Uno de los grandes problemas de los aerogeneradores es su operación frente a la aleatoriedad del estímulo otorgado por el viento. Este puede ser muy fuerte o muy débil, constante o presentarse en forma de ráfagas, las exigencias climáticas que sufren los aerogeneradores son notables, estos problemas y otros más, hacen que la conversión energética sea una tarea compleja ya que las máquinas eléctricas necesitan algunas variables constantes como la velocidad de giro del rotor, la cual está directamente relacionada con la velocidad del viento.

Para lograr velocidad constante en el eje del generador se utilizan diversas soluciones que van desde la intervención mecánica en la relación de amplificación de RPM (caja de cambio) hasta la alteración del comportamiento aerodinámico del aerogenerador frente al viento.

Los más modernos aerogeneradores tienen sistemas de control mixtos que involucran la variación del ángulo de ataque de las aspas y adicionalmente sistemas de control sobre los parámetros eléctricos del generador.

La idea es que los métodos utilizados para controlar los aerogeneradores, tiendan a aumentar al máximo la eficiencia y sobre todo que logren un control total y efectivo de la operación del aerogenerador y su seguridad.

Sistemas de control aerodinámico.- El primer sistema de control aerodinámico utilizado es el que se aplicó en el Gedser y se denominó de “pérdida aerodinámica”.

Esencialmente se diseña el aspa de tal manera que al girar a una velocidad demasiado elevada se genera una discontinuidad en su aerodinámica que provoca una inmediata pérdida de velocidad debido a la turbulencia creada.

Los aerogeneradores ya no ocupan este método debido a que este diseño de aspa no es el óptimo en lo que concierne a conversión energética.

Por esto hoy en día se prefiere diseñar un perfil optimizado y luego dotarlo de movimiento axial longitudinal para cambiar la superficie de la aspa que enfrenta al viento.

Este método conocido como cambio de ángulo de ataque claramente permite manipular la velocidad del rotor frente a las perturbaciones de la velocidad del viento y en caso de necesidad se puede llegar a inmovilizar el aerogenerador aún estando dentro de una tormenta.

Sistemas de control eléctrico.- Las más notorias y variadas mejoras en la regulación de velocidad están ciertamente en la operación de las máquinas encargadas de la generación eléctrica, que son generadores de corriente continua, generadores de corriente alterna, existen generadores de distinta naturaleza.

Para aquellos que otorgan su energía a una red continua se podrá contar con el control de la corriente de campo (si se trata de alternadores de rotor bobinado y con rectificación). Esto es correcto considerando.

Que:

$$E = M * W * I_{campo} \quad [2.2]$$

Donde:

W = Regulación de velocidad.

E = Es el valor pico de la onda generada tal como se aprecia en la figura 2.8.

I_{campo} = Es la corriente que circula por el bobinado de rotor.

Es una constante que involucra el número de vueltas del embobinado de estator y el porcentaje de flujo magnético generado en el rotor que efectivamente excita el estator¹⁰.

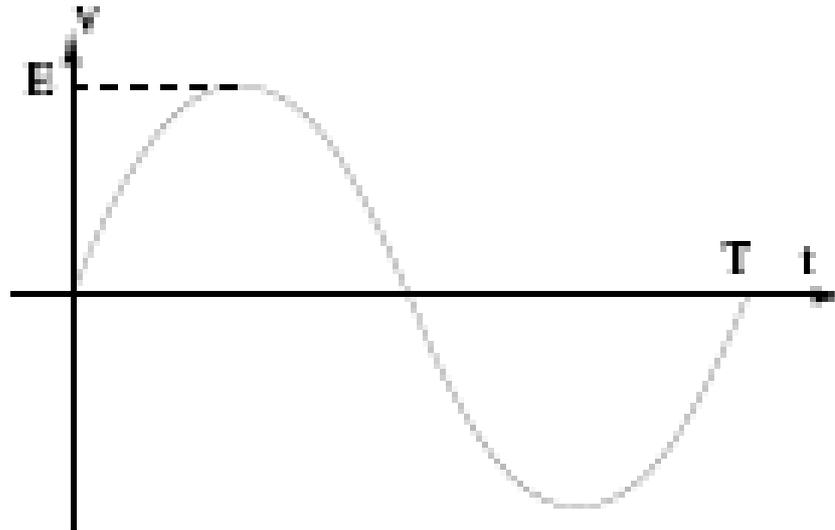


Figura 2.8.- Onda sinusoidal generada en cada enrollado del estator.

Sistema de orientación.- El aerogenerador deberá estar siempre situado en la dirección en la cual la velocidad del viento sea mayor, perpendicular a ésta. Para conseguirlo existen diversos métodos, unos más sencillos, en general mecánico y otros más sofisticados que aplican elementos activos (servomotores, etc.).

El método más utilizado actualmente es orientar mediante un servomotor, el motor de orientación podrá girar en los dos sentidos y será dirigido mediante una veleta y una dinamo tacométrica accionada por el mismo aerogenerador. La veleta sujeta a la góndola del aerogenerador envía una señal eléctrica al control que es proporcional a la orientación óptima.

¹⁰http://146.83.6.25/literatura/memorias_tesis/AEROGENERADOR-MEMORIA-FINAL.pd

La dinamo tacométrica envía también una señal eléctrica proporcional a la velocidad de rotación, mediante estas dos señales el control pondrá en marcha el servomotor en el sentido adecuado en el momento en que se detecte una velocidad mínima, parándose cuando la turbina esté exactamente en dirección al viento¹¹.

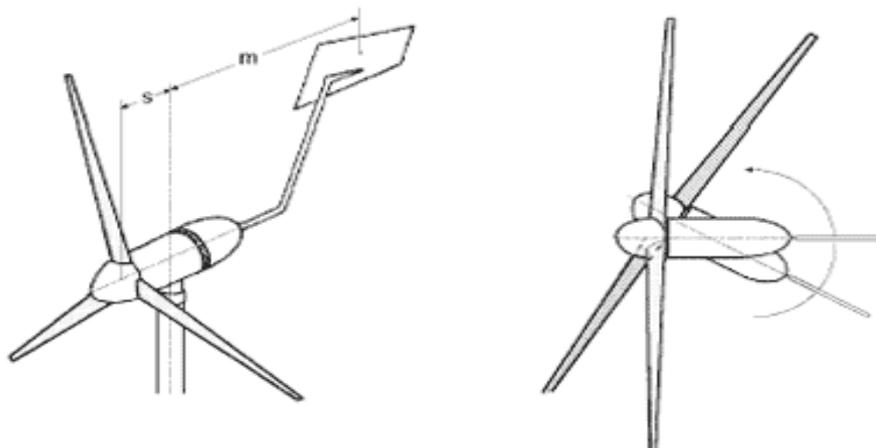


Figura 2.9.- Orientación mediante timón de cola.

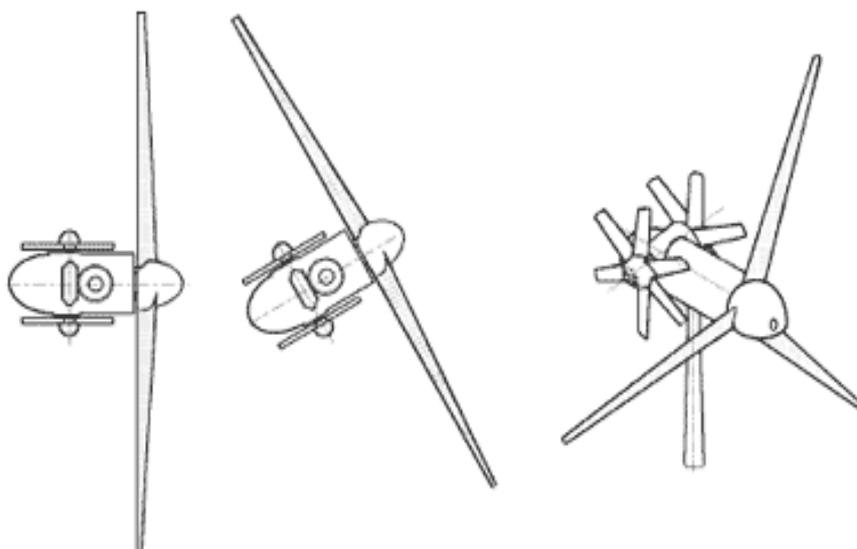


Figura 2.10.- Orientación mediante rotores auxiliares.

¹¹<http://www.soloenergia.com.ar/aprendamas/energiaeolica/asptecnicos.html>

Sistemas medidos o de regulación de velocidad.- La mayoría de los aerogeneradores actuales son de velocidad constante, la velocidad de giro de su rotor debe permanecer casi constante a pesar de la variación de la velocidad del viento, para limitar la potencia y proteger al aerogenerador de sobreesfuerzos en caso de fuertes vientos, se utiliza el sistema de regulación de velocidad.

Los métodos de regulación de velocidad se clasifican en dos: métodos basados en palas fijas y métodos basados en palas orientables, en la actualidad son muchos los aerogeneradores que efectúan la regulación de velocidad por paso fijo de manera que, por encima de la velocidad nominal, existen también técnicas adicionales de control de velocidad con palas fijas como son la aleta estabilizadora que gira al rotor en dirección paralela al viento.

En el siguiente método de regulación de velocidad basados en palas orientables, estos permiten la adaptación de las palas a diferentes condiciones de viento hasta el repliegue en caso de viento muy fuerte.

Son pocos los sistemas eólicos que tienen un sistema de regulación de velocidad orientable, mediante el cual el ángulo de paso está cambiando constantemente, la mayoría de los sistemas consideran a las palas fijas en un ancho margen de viento.

Estos métodos tienen múltiples ventajas que ayudan a arrancar el rotor, por tal consideración se efectúan el control de vueltas para que no se sobrecargue el generador y protegen a todo el sistema frente a daños debidos a una alta velocidad del viento, como se muestra en las siguientes figuras.

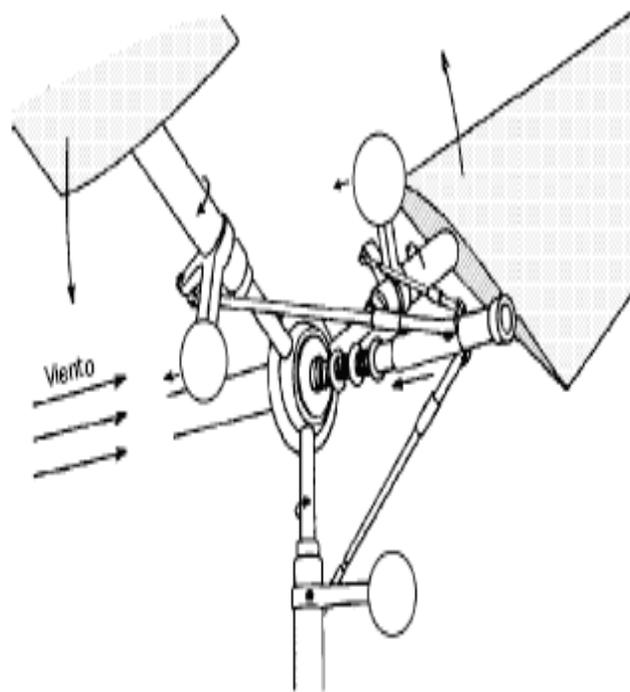


Figura. 2.11.- Métodos basados en palas fijas.

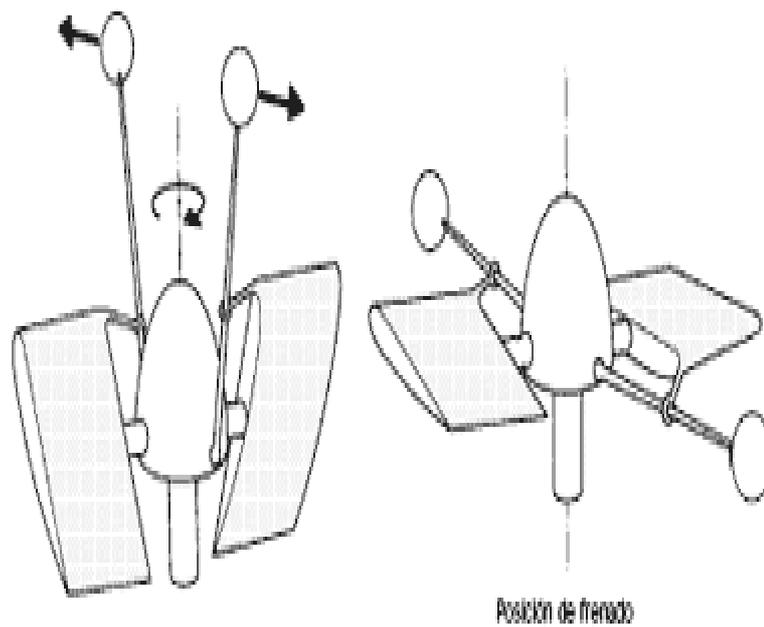


Figura 2.12.- Métodos basados en palas orientables.

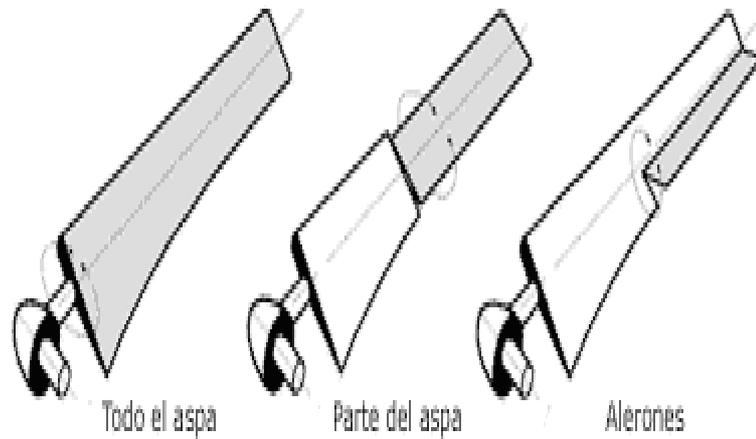


Figura 2.13.- Regulación de calaje de las aspas.

Regulación de Potencia.- Existen dos condiciones: la conexión del generador a la red cuando las vueltas del mismo están a velocidad de sincronismo, esta condición se da cuando no hay exceso de par y la potencia ni entra ni sale del generador. La otra es el control de velocidad del rotor, así no existe sobrepotencia en el generador (exceso de deslizamiento, par u otros parámetros) y no se causan daños en el sistema de generación.

2.4.2.3 Control en base a microprocesadores de generadores eólicos

En años anteriores los generadores eólicos no tenía incluido setpoint o inversor, quienes utilizaban fueron Alemania y España quienes fueron los pioneros en energías renovables, mediante lo cual tomaba mucho en cuenta la velocidad del viento como factor fundamental para el funcionamiento correcto.

Control en base a microprocesadores deberá ser diferente en función de generadores actuales del tamaño del aerogenerador. Para pequeñas máquinas, el control será simple y normalmente pasivo, por el contrario, para grandes máquinas - media y alta potencia, el sistema de control será más complicado debido a los múltiples parámetros a medir y el aumento de precisión requerido, pero representará un coste, que aunque alto, es pequeño comparado con el coste total. Así, los controles pasivos hacen sus medidas de la manera más simple posible y utilizan fuerzas naturales para actuar, mientras

que los sistemas de control activos utilizan sistemas eléctricos, mecánicos, hidráulicos y neumáticos o combinaciones de los anteriores para alcanzar su propósito.

Los objetivos principales:

- Obtener un funcionamiento automático del aerogenerador.
- Conseguir que la turbina funcione en consonancia con el viento (orientación, regulación de velocidad, etc.).
- Decidir la conexión / desconexión del generador.
- Maximizar el rendimiento del sistema.
- Señalizar posibles averías o funcionamientos incorrectos disminuyendo los costes de mantenimiento.
- Aumentar la vida útil del aerogenerador (minimizando y maximizando las cargas imprevistas que se pueden presentar).
- Proteger al sistema (sobrevelocidad, vibraciones, los costos de mantenimiento).

2.4.3 SISTEMA DE RECTIFICACIÓN

Valores más utilizados en el cálculo de sistema de Rectificación Monofásico

Carga.- Cualquier dispositivo o circuitos que se beneficiará de la tensión entregada por el sistema de rectificación (resistencias, motores, relés, amplificadores, etc).

Voltaje Eficaz (V_{ef}).- Voltaje eficaz que ingresa al sistema de rectificación, se utiliza para designar el voltaje en el secundario del transformador, con el cual se especificará el transformador a comprar.

Voltaje Pico (V_p).- Máximo tensión que ingresa al sistema de rectificación.

Voltaje Máximo (V_{max}).- Máxima tensión a la salida del sistema de rectificación.

Voltaje Medio (V_m).- Equivalente en corriente continua de la señal que aparece a la salida del sistema de rectificación y que se aplica a la carga.

Voltaje Directo (V_d).- Voltaje que retiene el diodo cuando conduce (0.6V a 0.7V para diodos de silicio y 0.2 V a 0.3V para diodos de germanio).

Voltaje Inverso (V_{inv}).- Máximo voltaje que se aparece en un diodo del sistema de rectificación cuando no está conduciendo, se utiliza para determinar el voltaje de ruptura que debe tener el diodo a diodos a comprar.

Intensidad Media (I_m).- Es la corriente resultante de aplicar el voltaje medio a la carga.

Intensidad promedio directa del diodo (I_d).- Corriente promedio que circula por el diodo cuando está conduciendo, se utiliza para especificar la corriente que deberá soportar el diodo a diodos a comprar.

Intensidad promedio del transformador (I_s).- Es la corriente promedio del secundario del transformador, es otro de los parámetros con el cual se debe comprar el transformador.

Potencia promedio consumida por la carga (P_c).- De acuerdo al lugar que se va instalar.

Potencia promedio entregada por el transformador (P_t).- Es el último parámetro con el cual se determina el transformador a comprar.

Rendimiento promedio del sistema de rectificación (η).- Es un valor porcentual que determina cuánto de la potencia entregada por el transformador es utilizada por la carga.

Los valores antes mencionados son los mínimos parámetros con los cuales se debe de analizar un sistema de rectificación monofásico, esto se puede comprobar al observar que solo se han tomado en cuenta valores, promedios en cálculos profesionales es necesaria la inclusión de valores eficaces debido a que las señales del sistema no son totalmente continuas.

Además, para evitar complejidades innecesarias, se supondrá que todas las cargas conectadas al sistema de rectificación son de tipo resistivas, es decir solo resistencias, en el caso de motores y relés de igual manera se supondrá que solo tienen componente resistiva, no se considera la parte inductiva.



Figura.2.14.- Rectificador

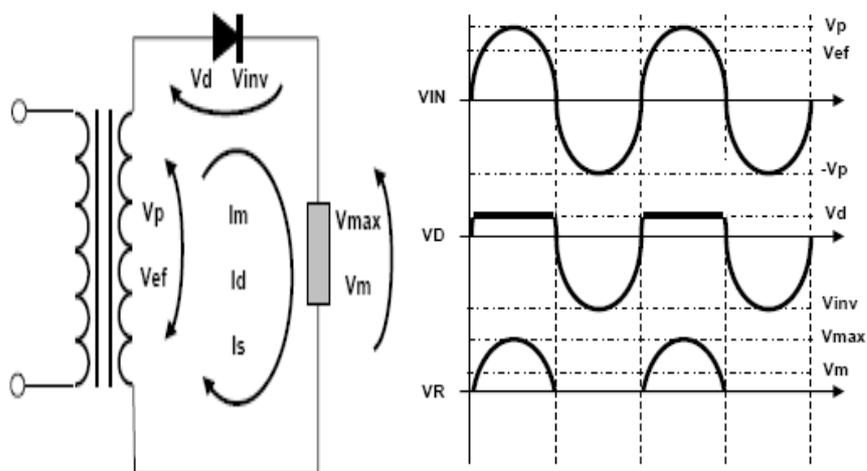


Figura.2.15.- Rectificación de media onda.

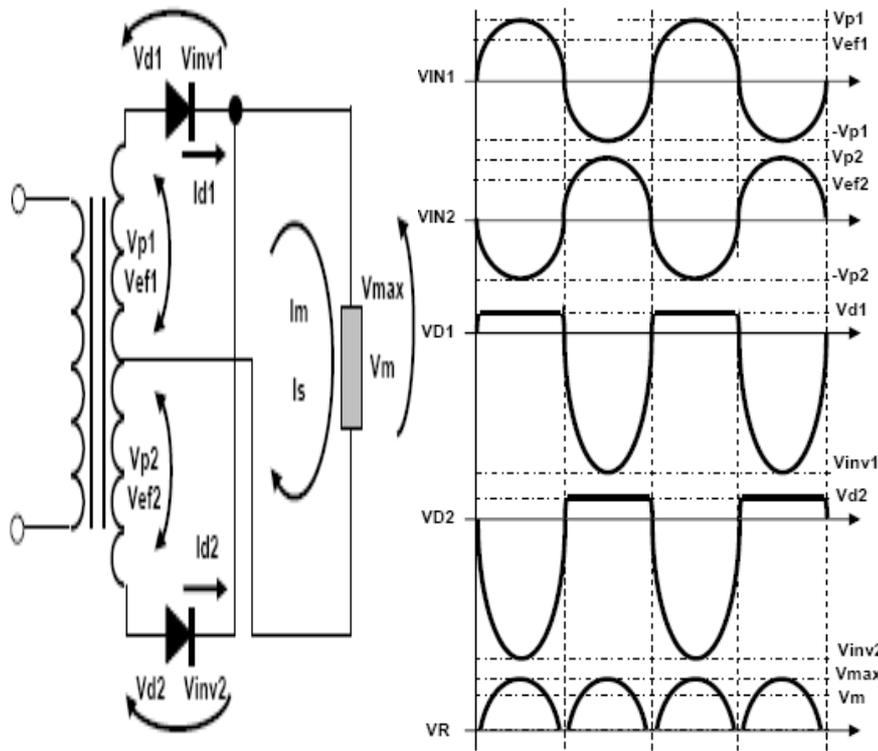


Figura.2.16.- Rectificación de la onda completa con transformador con toma central.

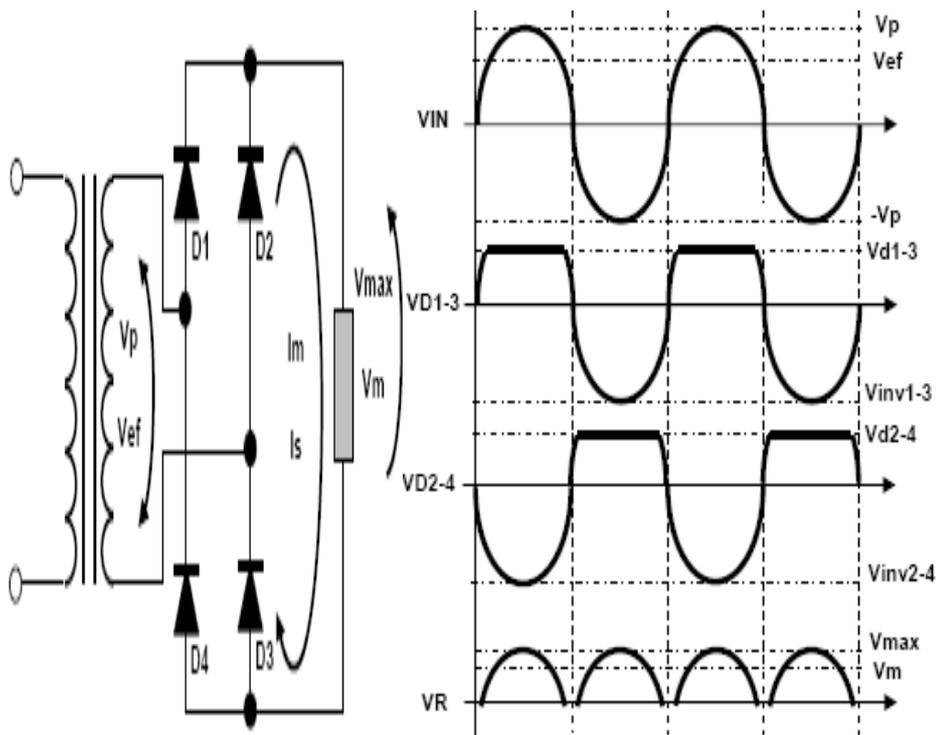


Figura.2.17.- Rectificación de la onda completa con puente de graetz.

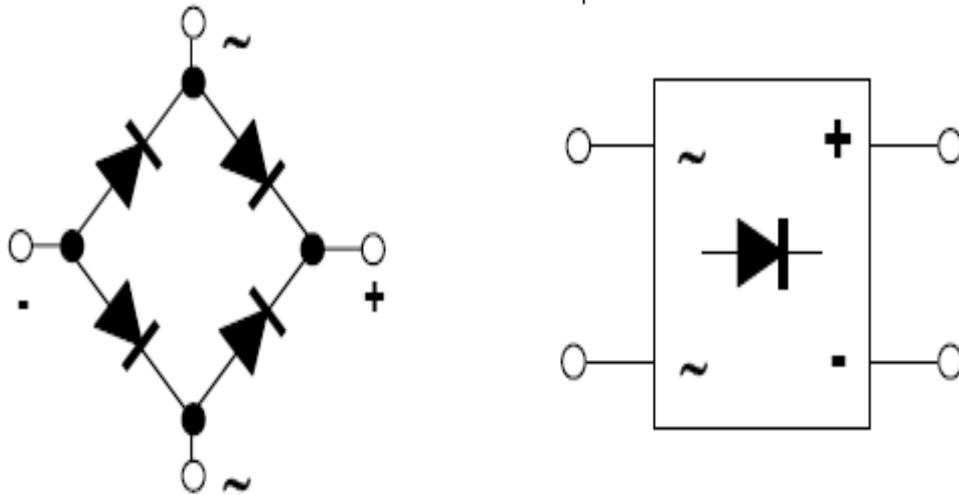


Figura.2.18.- El puente de hitg puede tener también los siguientes esquemas.

2.4.4 CONTROLADORES ELECTRÓNICOS

Es un ordenador que continuamente monitoriza las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación. En caso de cualquier disfunción, automáticamente para el aerogenerador; se realiza a través de un enlace telefónico mediante módem, también se lo puede mencionar todos los aerogeneradores para centrales eolo-eléctricas cuentan con un sistema electrónico.

También se puede controlar en base de controladores lógicos programables.

Sus funciones principales son:

- Controlador los procesos de inicio de operación y de conexión a la línea eléctrica.
- Controlador la regulación de velocidad y potencia de salida.
- Controlador la orientación del rotor con respecto a la dirección del viento.
- Controlador los procesos de paro forzado.
- Controlador los elementos auxiliares dedicados a mantener las mejores condiciones de operación normal.

- Realizar la interfaz local entre el operador y la máquina.
- Adquirir y procesar los datos del comportamiento operacional de cada aerogenerador.
- Mantener la comunicación con los centros de supervisión en centrales Eolo-eléctricas (transmisión de datos).

2.4.5 ELEMENTOS PERIFÉRICOS

Además de un sistema de generación eólica tiene elementos periféricos tales como: batería e inversor.

2.4.5.1 Batería de plomo ácido 12[V] - 7[Ah]

No necesita ningún mantenimiento y pueden reemplazar a las baterías secas en ampliaciones cíclicas o carga de flotación, su función prioritaria de las baterías en un sistema de generación eólico es la de acumular la energía que se produce durante las horas de viento para poder ser utilizada en periodos prolongados de mal tiempo¹².

Otra importante función de las baterías es la de proveer una intensidad de corriente superior a la que el dispositivo eólico puede entregar. Tal es el caso de un motor, que en el momento del arranque puede demandar una corriente de 4 a 6 veces su corriente nominal durante unos pocos segundos.

Interacción entre módulos eólicos y baterías

Normalmente el banco de baterías y los módulos eólicos trabajan conjuntamente para alimentar las cargas que distribuye la entrega de energía a la carga a lo largo del día. Durante la noche toda la energía demandada por la carga la provee el banco de baterías.

¹²<http://www.batterywholesale.com/battery-store/proddetail.html?prodID=42>

En horas tempranas de la mañana los módulos comienzan a generar, pero si la corriente que entregan es menor que la que la carga exige, la batería deberá contribuir en el aporte.

A partir de una determinada hora de la mañana la energía generada por los módulos eólicos superará la energía promedio demandada. Los módulos no solo atenderán la demanda sino que además, todo exceso se almacenará en la batería que empezará a cargarse y a recuperarse de su descarga de la noche anterior.

Finalmente durante la tarde, la corriente generada decrece y cualquier diferencia con la demanda la entrega a la batería. En la noche, la generación es nula y todo el consumo lo afronta la batería.

Tipos de baterías

Entre los tipos de baterías que existen en nuestro país son:

Baterías de plomo – ácido electrolítico líquido

Las baterías de plomo - ácido se aplican ampliamente en los sistemas de generación eólico, dentro de la categoría plomo - ácido, las de plomo antimonio, plomo - selenio y plomo - calcio son las más comunes. La unidad de construcción básica de una batería es la celda de 2 [V]

Dentro de la celda, la tensión real de la batería depende de su estado de carga, si está cargando, descargando o en circuito abierto. En general, la tensión de una celda varía entre 1,75 [V] y 2,5 [V], siendo el promedio alrededor de 2 [V], tensión que se suele llamar nominal de la celda.

Cuando las celdas de 2 [V] se conectan en serie (POSITIVO A NEGATIVO) las tensiones de las celdas se suman, obteniéndose de esta manera, baterías de

4,6 y 12 [V], etc, si las baterías están conectadas en paralelo (POSITIVO A POSITIVO Y NEGATIVO A NEGATIVO) las tensiones no cambian, pero se sumarán sus capacidades de corriente. Solo se deben conectar en paralelo baterías de igual tensión y capacidad.

Se puede hacer una clasificación de las baterías en base a su capacidad de almacenamiento de energía (medido en Ah a la tensión nominal) y a su ciclo de vida (número de veces en que la batería puede ser descargada y cargada a fondo antes de que se agote su vida útil.

La capacidad de almacenaje de energía de una batería depende de la velocidad de descarga. La capacidad nominal que la caracteriza corresponde a un tiempo de descarga de 10 horas. Cuanto mayor es el tiempo de descarga, mayor es la cantidad de energía que la batería entrega. Un tiempo de descarga típico en sistemas fotovoltaicos es 100 horas. Por ejemplo, una batería que posee una capacidad de 80 Ah en 10 horas (capacidad nominal) tendrá 100 Ah de capacidad en 100 horas.

Dentro de las baterías de plomo - ácido, las denominadas estacionarias de bajo contenido de antimonio son una buena opción en sistemas fotovoltaicos. Ellas poseen unos 2500 ciclos de vida cuando la profundidad de descarga es de un 20 % (es decir que la batería estará con un 80 % de su carga) y unos 1200 ciclos cuando la profundidad de descarga es del 50 % (batería con 50 % de su carga).

Las baterías estacionarias poseen además, una baja auto-descarga (3 % mensual aproximadamente contra un 20 % de una batería de plomo - ácido convencional) y un reducido mantenimiento. Dentro de estas características se encuadran también las baterías de plomo-calcio y plomo- selenio, que poseen una baja resistencia interna, valores despreciables de gasificación y una baja auto-descarga.

Baterías selladas

Estas baterías incorporan un electrolito del tipo gel con consistencia que puede variar desde un estado muy denso al de consistencia similar a una jalea. No se derraman, pueden montarse en casi cualquier posición y no admiten descargas profundas.

El electrolito se encuentra absorbido en una fibra de vidrio micro poroso o en un entramado de fibra polimérica. Al igual que las anteriores no se derraman, admiten cualquier posición y admiten descargas moderadas.

Tanto estas baterías como las gelificadas no requieren mantenimiento en forma de agregado de agua, no desarrollan gases evitando el riesgo de explosión, pero ambas requieren descargas poco profundas durante su vida de servicio.

Las principales características son:

- a. El electrolito es alcalino.
- b. Admiten descargas profundas de hasta el 90% de la capacidad nominal.
- c. Bajo coeficiente de auto-descarga.
- d. Alto rendimiento ante variaciones extremas de temperatura.
- e. La tensión nominal por elemento es de 1,2 Voltios.
- f. Alto rendimiento de absorción de carga (mayor al 80 %).
- g. Muy altos costos comparados con las baterías ácidas.

Al igual que las baterías de plomo - ácido, estas se pueden conseguir en las dos versiones, standard y selladas, utilizando la más conveniente según la necesidad de mantenimiento admisible para la aplicación prevista. Dado su alto costo, no se justifica su utilización en aplicaciones rurales.



Figura.2.19.- Batería de plomo ácido WP7-12.

2.4.5.2 Inversor

El inversor es el encargado de transformar la corriente continua en corriente alterna, monofásica o trifásica¹³.

Los inversores de voltaje transforman la corriente continua (CC) de baja tensión (12[V], 24[V], 32[V] o 48[V]) en corriente alterna (AC) de alta tensión (110[V], 220[V]). El cambio de voltaje es necesario dado que los aparatos eléctricos se alimentan de uno u otro tipo de corriente. Como referencia, la gran mayoría de los aparatos eléctricos presentes en hogares y oficinas requieren de corriente alterna.

El funcionamiento de un inversor de voltaje.- Una vez que la corriente continua entra al inversor de voltaje, ya sea proveniente de la celda solar o desde una batería de ciclo profundo, ésta es conducida al transformador que se encuentra almacenado dentro del inversor de voltaje. El inversor de voltaje de una u otra manera “burla” al transformador forzando a la corriente continua a actuar como si fuese corriente alterna.

¹³<http://www.lainesinasolar.com/ejemploeolico.htm>

Esto se logra mediante la interrupción permanente de la corriente continua; pasándola a través de dos o más transistores que se encienden y apagan continuamente.



Figura.2.20.- Inversor de voltaje

Aplicaciones típicas del Inversor de voltaje

Recreación, náutica, alimentación de sistemas de comunicaciones a partir de bancos de baterías de 48 voltios.

Alimentación de Tv, video y electrodomésticos, camionetas, sistemas de electrificación rural con energía eólica.

Características:

- Tensión de salida constante e independiente de la carga y de la tensión de baterías en un amplio rango.
- Protección por sobrecarga escalonada, el cual permite alimentar artefactos de demanda de corriente alta de arranque.
- Protección por baja y alta tensión de batería.
- Limitación por sobrecarga.

Estos encuentran aplicación en lugares en donde no se dispone o no se accede fácilmente a energía eléctrica de corriente alterna de red.

Los artefactos eléctricos industriales y de hogar con alimentación de energía de corriente alterna de red, son mucho más económicos y de fácil adquisición que sus pares de corriente continua y baja tensión.

Equipos Eléctricos y Electrónicos

- Lámparas incandescentes y de bajo consumo.
- Tubos fluorescentes con balastos electrónicos o comunes (Para balastos comunes con la versión correspondiente).
- Lámparas halógenas (reflectores).
- Televisores, Videograbadoras y Radios.
- Computadoras y periféricos.
- Centrales telefónicas y fax.
- Sistemas de Comunicaciones.

Tensión de la instalación y tipo de corriente

La corriente producida en los generadores eólicos es almacenada en las baterías, líquidas (con o sin mantenimiento) o de gel (sin mantenimiento). Ya que la producción puede estar desfasada del consumo en el tiempo. Desde las baterías la corriente se puede consumir directamente como corriente continua o modificarla a corriente alterna mediante el Inversor de Corriente.

Las instalaciones pueden ser en 12, 24, 36 o 48 Vcc, las baterías se conectan en paralelo o en serie, de acuerdo a la tensión del generador eólico instalado, y el modelo de inversor de corriente se dimensionara en base a estos ya que de acuerdo a la potencia del mismo será el banco de baterías.

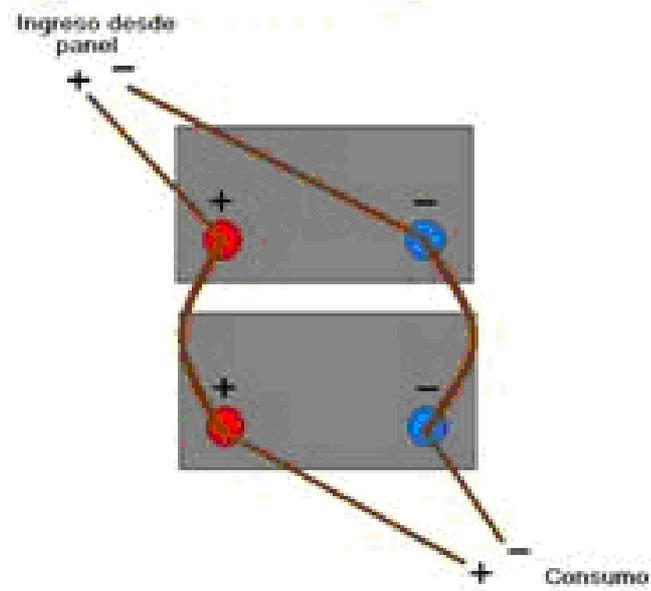


Figura.2.21.- Conexión de batería en paralelo.

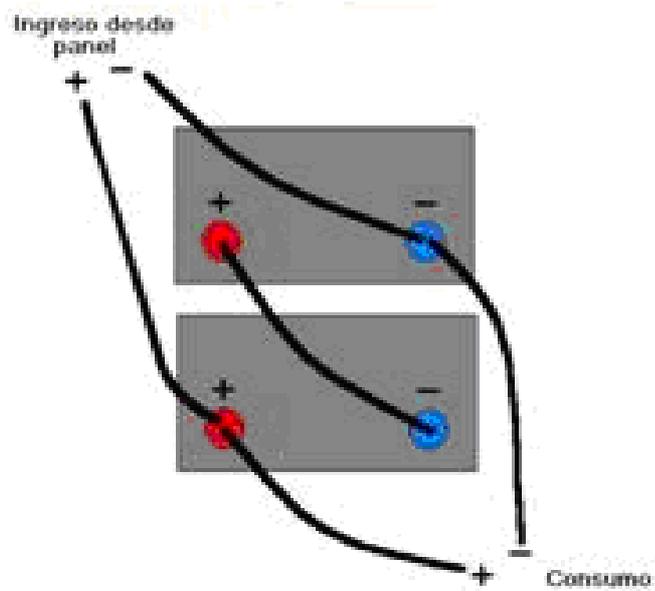


Figura.2.22.- Conexión de batería en serie.

En el anexo A se ilustra las curvas de potencia de un generador de las palas para el completamiento del capítulo II.

CAPITULO III

APLICACIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

Nuestro proyecto está enfocado a realizar un estudio, con el respaldo del Comando de Apoyo Logístico Electrónico de la Fuerza Terrestre. (C.A.E.F.T.), para la obtención de energía eólica. Con la finalidad de brindar beneficios y soluciones en los enlaces de los sistemas de comunicaciones de la Fuerza Terrestre, que se encuentren alejados de la red de alumbrado público, para proporcionar apoyo en las tecnologías de la información y comunicaciones de la Fuerza, tanto en tiempos de paz como de guerra.

En vista que esta energía se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, unas, por la inmensa cantidad de energía que contienen, y otras porque son capaces de regenerarse por medios naturales como son el agua el sol y el viento.

La generación eléctrica mediante paneles fotovoltaicos, es otra forma de energía renovable que puede ser utilizada especialmente en áreas alejadas que no se encuentran conectadas a la red eléctrica.

También el aprovechamiento solar térmico mediante colectores solares, para el calentamiento del agua en dormitorios, hospitales, residencias, principalmente

en las estaciones de comunicaciones y destacamentos de la Fuerza Terrestre en las tres regiones del país (Costa, Sierra y Oriente).

La electricidad producida a partir del viento o energía eólica, se renueva en forma continua y está libre de los gases tóxicos que provocan el efecto invernadero.

Con el fin de orientar el desarrollo energético del Fuerza Terrestre en la actualidad, el Comando de Apoyo Logístico Electrónico de la Fuerza Terrestre. (C.A.L.F.T.), como unidad de telecomunicaciones y electrónica asumió el reto de satisfacer la demanda energética de los destacamentos, casetas de las repetidoras, entre otras, a corto, mediano y largo plazo, asegurando el acceso de todas las unidades a este recurso, a un precio accesible y en forma sustentable con el medio ambiente; mediante el caso de la energía eólica por lo tanto el desafío implica explotar todas las fuentes de viento que tiene el país para la generación de energía eléctrica, fomentando el aprovechamiento de los recursos naturales con la que contamos por ejemplo: en los valles, en las grandes y pequeñas elevaciones que disponemos en la Cordillera de los Andes, entre otros.

El viento es una de las fuentes más grandes e inagotables con que cuenta el Ecuador, con el fin de aprovechar esta energía que nos proporciona el viento vamos a proceder a realizar el estudio para la instalación de un repetidor en el Cerro de Cruz Loma ubicado en la provincia de Pichincha, cantón Quito;

Por tal razón optamos por utilizar un generador que tenga incluido internamente una función denominada setpoint, el cual facilita la instalación del generador porque sustituye al regulador de voltaje y protege al generador de daños, por ejemplo cuando existe demasiado viento.

3.2 FACTORES PARA LA SELECCIÓN Y UBICACIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO.

Los principales factores a considerar previo la instalación de un generador eólico son tres:

a. La velocidad del viento.

Para realizar una instalación de un generador eólico la velocidad del viento es el factor principal a considerar, por lo que debemos tomar en cuenta un mapa eólico del lugar donde se va a instalar dicho generador.

b. La altura donde se colocará la turbina eólica.

La altura donde se montará la turbina es el segundo factor a considerar al momento de determinar la ubicación de una turbina eólica. El viento será más lento mientras más cerca se encuentre el generador eólico de la tierra.

Mientras más alto se fije una turbina mayor será el acceso a vientos rápidos y menor la posibilidad de que sea afectada por turbulencias. Además, las diferencias en la velocidad del viento entre la parte superior y la inferior del rotor disminuyen a mayores alturas evitando así un menor desgaste a la turbina.

c. La normativa y restricciones vigentes en el lugar donde se desea instalar.

Este último factor a considerar es más bien cualitativo y tiene que ver con el marco legal y permisos locales requeridos por la autoridad de cada país respecto a restricciones, usos de tierra.

Estos son los principales factores a considerar al momento de instalar una turbina eólica generadora de electricidad. Sin embargo, se recomienda la asesoría experta de técnicos quienes le podrán ayudar a determinar la mejor solución eólica y la factibilidad técnica de instalación de un generador o turbina eólica en un lugar específico.

3.2.1 MAPA EÓLICO DEL ECUADOR

Actualmente el diseño del mapa eólico del Ecuador se encuentra en estudio por parte del Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER)¹⁴.

Tenemos como referencia algunos generadores eólicos instalados en diferentes lugares del Ecuador por parte de la compañía Proviento. (Ver anexo B, tabla 2)

3.2.2 VELOCIDAD DE OPERACIÓN DEL GENERADOR EÓLICO

La velocidad mínima de operación de una turbina eólica se denomina “velocidad de corte inferior”. Esta fluctúa entre los 4 y 5 m/s. (metros por segundo). Velocidades de viento bajo esa marca no genera una cantidad de energía suficiente que compense las pérdidas de eficiencia en la generación de electricidad. La “velocidad de corte superior” define la tolerancia de un generador eólico de soportar fuertes vientos.

Por último, la “velocidad nominal”, es aquella velocidad del viento ideal para que una turbina eólica alcance su máximo potencial de generación de energía eléctrica. Para determinar la ubicación de una turbina de viento es necesario evaluar la velocidad del viento en el lugar donde potencialmente se quiere ubicar el generador eólico.

¹⁴ Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER).

Se ha estandarizado en una escala de 1 (la más baja) a 7 (la más alta) respecto a las distintas velocidades que puede alcanzar el viento en una zona determinada. Adicionalmente, se debe considerar el grado de turbulencias que puedan afectar el flujo del viento. Estas ejercen una mayor tensión de trabajo sobre el rotor lo que a la larga se traduce en una disminución de la vida útil de las turbinas eólica.

Por ello no debe sorprender que la mayoría de las turbinas eólicas están localizadas mayormente en zonas rurales fuera de la ciudad – despejados de árboles, casas y edificios u otros elementos que obstaculicen el desplazamiento del viento y que son finalmente los responsables de generar turbulencias.

3.3 CARGA A SER INSTALADA

Los equipos que se utiliza en una estación de repetidoras es: radio PRO5100 de Motorola, el mismo se puede configurar para transmitir y recibir.

3.3.1 RADIO PRO5100

Es un radio práctico ideal para organizaciones con comunicaciones estándares, el radio PRO5100 provee un funcionamiento sencillo y de alta calidad.

Entre las ventajas más importantes que tiene esta radio es que su sistema de señalización le permite llamar a individuos o grupos de trabajo, identificar a la persona que llama, notificar a otros que usted está tratando de comunicarse cuando ellos están fuera de sus vehículos, o mandar un pedido de ayuda en situaciones de emergencia.

Además tiene 64 canales que fácilmente se acomodan a los diversos grupos de trabajo y el rastreo con doble prioridad le asegura que no va a perder llamadas

importantes. La amplia pantalla de 14 caracteres alfanuméricos con íconos de fácil uso provee una información comprensible en cualquiera de cuatro idiomas.

Tiene un poderoso parlante en la parte frontal que otorga un sonido nítido, aún en ambientes de alto ruido. Como se indica en la siguiente figura.



Figura 3.1.- Radio PRO5100

La radio PRO5100 tiene un muy variado y eficiente conjunto de ventajas como se detalla:

a. Pantalla de 14 caracteres alfanuméricos

Son iconos muy fáciles de comprender, brindan información sobre el estado de las funciones tales como las de rastreo, alta / baja potencia y fuerza de la señal recibida.

b. Rastreo con doble prioridad

Esta función específicamente sirve para situaciones donde necesite supervisar uno o dos grupos de trabajo con mayor frecuencia que a otros grupos.

c. Indicador de la intensidad de señal del radio

Se desplaza un icono en la pantalla que muestra la intensidad de la señal que está recibiendo, si se observa cinco barras nos indica que la señal que está recibiendo es la máxima¹⁵.

d. Escalart

Es cuando se recibe una llamada selectiva o alerta de llamada, el sonido aumenta gradualmente hasta que la llamada es respondida.

e. Alarma de emergencia

Podemos programar un botón de la radio para notificar al operador sobre una situación de emergencia.

f. Verificación del Radio

Esta opción nos permite conocer si el radio está en el aire y dentro del área de cobertura sin incomodar al usuario.

3.3.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ALIMENTACIÓN

- Voltaje del Radio PRO5100: 12[Vcd].
- Consumo de corriente en transmisión (Tx): 9 [A].
- Consumo de corriente en recepción (Rx): 0.6 [A].
- Consumo de corriente en stand by (Sb): 0.25 [A].

¹⁵http://www.motorola.com/co/cgiss/prod_convencional/pro5100_general.html

3.4 CÁLCULOS DE POTENCIA PARA EL GENERADOR EÓLICO

Cálculo de potencia para un óptimo generador eólico para las repetidoras en el cerro Cruz Loma.

Primeramente revisamos los equipos que se van a utilizar en un repetidor, básicamente tenemos el receptor (Rx), un transmisor (Tx), y Stand by (Sb), segundo, revisamos la corriente de cada uno de los equipos anteriormente mencionados (I_e), la misma que se obtiene de las características técnicas de la radio CDR500, como se indica en la siguiente tabla.

EQUIPO	CORRIENTE(A)
T _x	9
R _x	0.6
S _b	0.25

Tabla 3.1 Corriente de cada equipo.

$$P_e = V_L * I_e \quad [3.1]$$

Parámetros eléctricos:

P_e = Potencia de cada equipo.

I_e = Corriente de cada equipo.

V_L = Tensión nominal del equipo.

Aplicando la ecuación tenemos que la corriente del equipo (I_e), multiplicado por el voltaje del equipo (V_L), nos dá como resultado la potencia de cada uno de los equipos, como se muestra en la siguiente tabla.

EQUIPO	I_e [A]	V_L [V]	Pe [W]
T _x	9	12	108
R _x	0.6	12	7,2
S _b	0.25	12	3

Tabla 3.2 Potencia de cada equipo.

Cálculo de la potencia del transmisor (Tx).

$$Pe = V_L * I_e$$

$$Pe = 12[V] * 9[A]$$

$$Pe = 108[W]$$

Cálculo de la potencia del receptor (Rx).

$$Pe = V_L * I_e$$

$$Pe = 12[V] * 0.6[A]$$

$$Pe = 7.2[W]$$

Cálculo de la potencia del Stand by (Sb).

$$Pe = V_L * I_e$$

$$Pe = 12[V] * 0.25[A]$$

$$Pe = 3[W]$$

Luego analizamos el tiempo promedio en horas al día de cada uno de los equipos de comunicación (T), y multiplicamos por la potencia (P_e), que se obtuvo de los cálculos indicados en la tabla 3.2.

Por lo tanto la energía promedio por día (W), como se indica en la siguiente ecuación.

$$W = P_e * T \quad [3.2]$$

Parámetros eléctricos.

W = Energía promedio por día.

P_e = Potencia de cada equipo.

T = Tiempo en horas al día de funcionamiento.

Al aplicar la ecuación obtenemos la energía diaria demanda de los equipos de comunicación que se utiliza en una estación de repetidoras, como se indica en la siguiente tabla.

EQUIPO	P_e [W]	T_e [h]	W [W * h]
T_x	108	5	540
R_x	7.2	4	28.8
S_b	3	15	45

Tabla 3.3 Energía diaria de cada uno de los equipos.

Cálculo de la energía del transmisor (T_x).

$$W(T_x) = P_e * T_e$$

$$W(T_x) = 108[W] * 5[h]$$

$$W(T_x) = 540[W * h]$$

Cálculo de la energía del receptor (Rx).

$$W(Rx) = Pe * Te$$

$$W(Rx) = 7.2[W] * 4[h]$$

$$W(Rx) = 28.8[W * h]$$

Cálculo de la energía del Stand by (Sb).

$$W(Sb) = Pe * Te$$

$$W(Sb) = 3[W] * 5[h]$$

$$W(Sb) = 45[W * h]$$

Luego sumamos las energías de los equipos de comunicación que se utiliza en el día y obtenemos la energía de la carga del repetidor (W_L), utilizado en el cerro de Cruz Loma, como se ilustra en la siguiente ecuación.

$$W_L = W(Tx) + W(Rx) + W(Sb) \quad [3.3]$$

$$W_L = 540 + 28.8 + 45[W * h]$$

$$W_L = 613.8[W * h]$$

Finalmente obtenemos la energía demandada por día que es:

$$W_L = 613.8[W * h] .$$

En vista que el voltaje de fuente de la estación de T_x es 12(V), entonces también el voltaje del generador es 12(V).

Según las investigaciones realizadas en el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER) se determinó que el promedio de viento al día es de 15 horas.

El resultado de la energía total de la carga dividimos para las horas promedio del viento que existe en el día (T_d), como se indica siguiente ecuación.

$$P_g = \frac{W_L}{T_d} \quad [3.4]$$

Parámetros eléctricos:

P_g = Potencia del generador.

W_L = Energía total de la carga.

T_d = Tiempo diario del viento.

Calculo potencia total en 15 horas de viento al día.

$$P_g = \frac{W_L}{T_d}$$

$$P_g = \frac{613.8[\text{W} * \text{h}]}{15[\text{h}]}$$

$$P_g = 43.84[\text{W}]$$

W_L [W * h]	T_d [h]	P_g [W]
613.8	15	43.84

Tabla 3.4. Potencia total en 15 horas de viento al día.

Por lo tanto la potencia mínima requerida es: 43.84[w].

Existe para cada generador un modelo y marca específica donde muestra la potencia generada en función de la velocidad del viento, como nos indica en la siguiente tabla.

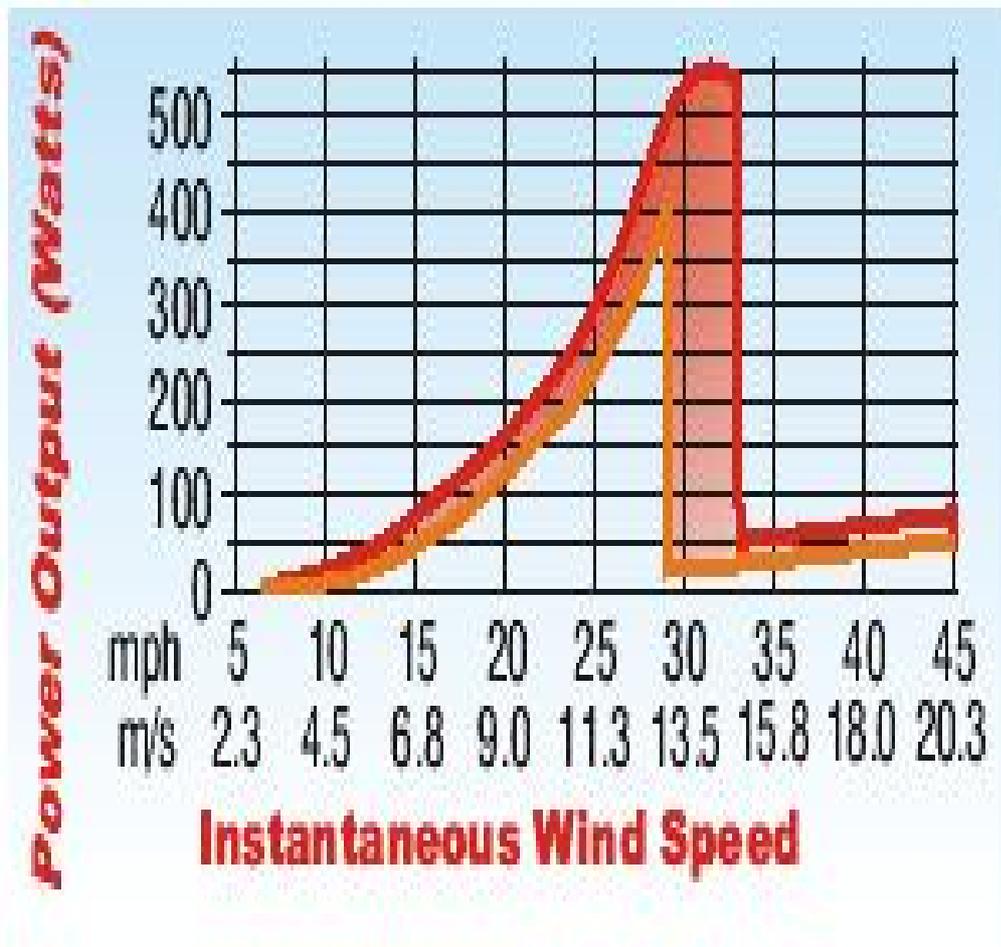


Tabla. 3.5.- Potencia generada en función del viento¹⁶.

3.5 GENERADOR EÓLICO AIR 403

Tomamos como referencia el generador eólico AIR 403, en vista que este cumple con los requerimientos para nuestra aplicación.

¹⁶<http://www.solener.cl/images/stories/productos/generadoreseolicos/AIRX.pdf>

3.5.1 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS¹⁷

Diámetro de las palas	1,17 [mts].
Perímetro de operación	1,24 [mts].
Longitud	0,67 [mts].
Inicio de giro	3 [m/s] (10,8 km/h)
Inicio de carga	4 [m/s] (14,4 km/h)
Potencia nominal	400 vatios: 12,5 [m/s] (45 Km/h)
Potencia pico	600 vatios. (a más de 56 [Km/h])
Fusible recomendado	Modelo 12 V 100 A ;
Sección del cable de bajada	6 [mm ²]
Mástil de acero	48 [mm] de diámetro exterior
Número de palas	3 palas
Peso	5.85 [kg], 13 [lbs]
Velocidad de arranque del viento	2.7 [m/s]
Voltaje	12 [Vcd]
Diámetro del rotor	1.15 [mts]
Capacidad mínima de la batería	400[Ah](C-100)para12[V] 200[Ah] (C-100) para 24 [V]

Tabla. 3.6.-Características técnicas del generador AIR 403.

3.5.2 VENTAJAS

- Baja velocidad de arranque (3m/s) y poco ruido.
- Aspas de fibra de carbono y de gran resistencia.
- Regulador de carga interno que permite adaptarlo a cualquier tipo de batería.
- Sistema de auto-frenado que actúa cuando las baterías están cargadas reduciendo el desgaste y el ruido.

¹⁷<http://www.torresolar.com.ar/espanol/productos/eolico/air403land.htm>

- Solo dos partes móviles.
- Muy fácil de instalar.
- No se requiere mantenimiento.
- Modelo seguro para fuertes vientos.
- Es de uso muy sencillo.

3.6 ACUMULACIÓN

Al ser la velocidad del viento una energía en tránsito y estar sometido su aprovechamiento al ciclo día – noche y a las influencias de la meteorología hacen que los sistemas eólicos para acomodarse a las necesidades de la carga necesiten sistemas de almacenamiento de energía.

Aunque sea una generalización, ocurre que una generación continua enfrenta una demanda intermitente, esto, conduce a la necesidad del almacenamiento de energía eléctrica. Por el contrario, tratándose de sistema eólicos, es una generación intermitente que debe responder a una demanda continua, lo que hace relevante el papel de un adecuado sistema de almacenamiento.

Bajo un punto de vista económico, existe una progresiva reducción en el precio de los sistemas de conversión de energías renovables, lo que hace que el almacenamiento, en los casos en que se emplea, pase a ser seriamente grave pues muchas veces y en el peor de estos casos sea del valor del 50% de la inversión total en la instalación de la energía eólicos.

3.6.1 SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EÓLICA

A continuación se destacan las diferentes transformaciones que debe sufrir la energía eléctrica para ser almacenada, en la misma o en otra forma de energía y la máquina o procedimiento para llevar a cabo el almacenamiento.

3.6.1.1 Conexión a la red general

En la actualidad la mayoría de sitios donde existe sistemas eólicos están instalados en lugares alejados de los tendidos de la red, precisamente, para suplir su falta. Así que la conexión queda automáticamente excluida y aparece la necesidad de acumulación.

Sin embargo, ya es frecuente y cada día lo va siendo más, que se instale generadores eólicos en casas de campo, en los cerros, destacamentos, o donde obtengamos el suficiente viento para mover las hélices de los generadores eólicos, en otros países a demás de tener la red eléctrica pública, optan por recurrir a este tipo de energía alternativas, por otro lado se puede decir que no está lejana la fecha en que se instale los sistemas eólicos en ciudades o sitios urbanos, en estos caso existe la alternativa entre un procedimiento de acumulación autónomo o una solución híbrida.

Posiblemente la elección de algunas de estas alternativas depende del establecimiento previo de una filosofía sobre la explotación de los sistemas eólicos. A diferencia de los generadores o centrales clásicas, que tiene que ser de gran potencia instalada para alcanzar el límite de rentabilidad económica, los generadores eólicos ofrecen mayor versatilidad y rentabilidad.

Se tiene por tanto, una doble posibilidad o construir un número reducido de grandes parques eólicos que a través de una amplia red de distribución contribuya a abastecer el país, o la segunda posibilidad, instalar un gran número de pequeñas parques eólicos, convenientemente distribuidas, que con sus sistemas de acumulación y a través de una red mínima, abastezcan al país haciendo por zonas de extensión limitada.

Esa posibilidad está abierta aunque los argumentos a favor y en contra superen las posibilidades de este trabajo. Sin embargo, creemos que el usuario actual,

tanto a nivel de entidad como de gran público está, hoy por hoy, claramente a favor de los sistemas eólicos con acumulación independiente.

3.6.1.2 En forma de energía mecánica

La energía eléctrica se puede transformar en mecánica y almacenarse en un disco rotatorio o volante de inercia, que está acoplado a un motor – generador que funciona como motor durante la carga (horas de viento) y como generador cuando se desea recuperar la energía almacenada. Este procedimiento tiene importantes ventajas respecto a otros, pero parece utilizable solo a largo plazo debido a las dificultades tecnológicas que plantea y a los elevados costos.

Económicamente no es rentable este sistema de acumulación debido a los altos costos de instalación, fabricación, etc.

3.6.1.3 En forma de energía hidráulica

Este procedimiento se base en bombear agua hasta un depósito superior, en la hora de exceso de energía eléctrica, (en las horas del viento), para dejarle caer a un depósito inferior cuando se desea recuperar la energía almacenada. Como depósito se puede utilizar formaciones naturales o construcciones artificiales. El proceso de “descarga” de sistema de acumulación es semejante al modo de operar de una central convencional hidroeléctrica.

Este procedimiento, así como la acumulación en forma de aire comprimido, son idóneos para el almacenamiento de energía a gran escala. De hecho, el almacenamiento por bombeo era el único método de acumulación que, hasta hace varios años, utilizaban las compañías generadoras de electricidad. Para que esta forma de acumulación fuera útil con sistemas eólicos, se exigiría, muy probablemente, la conexión de estos a la red.

3.6.1.4 En forma de aire comprimido

Es igual que el anterior, un procedimiento de acumulación a gran escala. Se almacena electricidad utilizando su exceso para comprimir aire y almacenarlo en un depósito. La energía almacenada se recupera permitiendo la expansión del aire, a través de una turbina de expansión que acciona un generador.

Este procedimiento tiene la desventaja de proporcionar una salida decreciente con el uso, debido a la reducción de la presión del aire a medida que se va utilizando. El rendimiento total de un sistema de almacenamiento por aire comprimido es del orden del 50%.

3.6.1.5 En forma eléctrica (almacenamiento capacitivo)

La utilización de condensadores para almacenar energía eléctrica resulta adecuada cuando se trata de pequeñas cantidades de energía durante tiempos cortos. La cantidad de energía que puede almacenar por unidad de volumen o masa, es función de las características del material dieléctrico que intervenga en el condensador.

Son, por tanto sistemas que ofrecen pocas posibilidades en combinación con generadores eólicos.

3.6.1.6 En forma eléctrica (almacenamiento inductivo)

La experiencia con este tipo de almacenamiento se limita, casi exclusivamente, al campo del electrónico. La posibilidad de llegar a cantidades de energías almacenadas apreciables, solo puede ser realidad con altos campos magnéticos, situación que da origen a grandes fuerzas mecánicas actuando sobre el sistema inductivo.

Bajo otro punto de vista, hay otra limitación seria, en las altas corrientes (bajas tensiones) que se producen y que dan origen a pérdidas muy apreciables según la resistencia eléctrica del material inductor.

Además conviene mencionar que la recuperación de la energía almacenada exige la apertura de un circuito con alta corriente, lo que siempre es una operación eléctrica que presenta dificultades.

3.6.1.7 En forma electroquímica (hidrógeno)

Dos posibilidades son viables con este sistema de almacenamiento, conversión directa de energía renovable en hidrógeno y generación de electricidad, en ambos casos el hidrógeno generado se debe almacenar.

3.6.1.8 En forma electroquímica (baterías)

Las propiedades más importantes del acumulador, cuando se piensa en su aplicación con sistemas generadores eólicos, son los ciclos de vida, costos y características técnicas. Teniendo estas propiedades, el acumulador Pb – ácido presenta la mejor situación. Esta conclusión está claramente apoyada por la realidad de las instalaciones de energía renovables existentes en el mundo.

Como ya dijimos, la naturaleza de la velocidad del viento es variable en el tiempo, por otro, al ciclo anual de las estaciones. Como consecuencia de ello, son muchos los momentos en los que la potencia eléctrica que puede entregar un generador eólicos difiere, por exceso o por defecto, de la que demanda una determinada aplicación. El correcto abastecimiento energético de la aplicación exige.

Las aplicaciones de acumulación son muy amplias, sin embargo las posibilidades del mercado actual hacen que para el mundo de los sistema eólicos, tales posibilidades se reduzcan a la acumularon de las baterías.

También las baterías son variadas (Ni-Fe, Ni-Zn, Zn-Cl, etc.), pero las disponibilidades del mercado actual reducen la elección a dos posibilidades, las baterías de Plomo – Acido y las de Níquel – Cadmio. El precio de estas últimas es, para la misma cantidad de energía, del orden de cuatro o cinco veces superior al de las primeras, por lo que su utilización se restringe.

La inmensa mayoría de los acumuladores utilizados en los sistemas de energías renovables son baterías recargables de Plomo – Ácido.

3.6.1.9 Baterías de plomo – ácido

La batería de plomo ácido está constituido, en esencia, por un ánodo de bióxido de plomo (electrodo positivo), un cátodo de plomo, (electrodo negativo), y un electrolito de ácido sulfúrico diluido en agua.

Durante el proceso de carga se forma óxido de plomo en el ánodo, plomo puro en el cátodo y se libera acido sulfúrico al electrolito, y en el proceso de descargas se forma sulfato de plomo en ambos electrodos y se absorbe ácido sulfúrico del electrolito, como se indica en la siguiente figura.

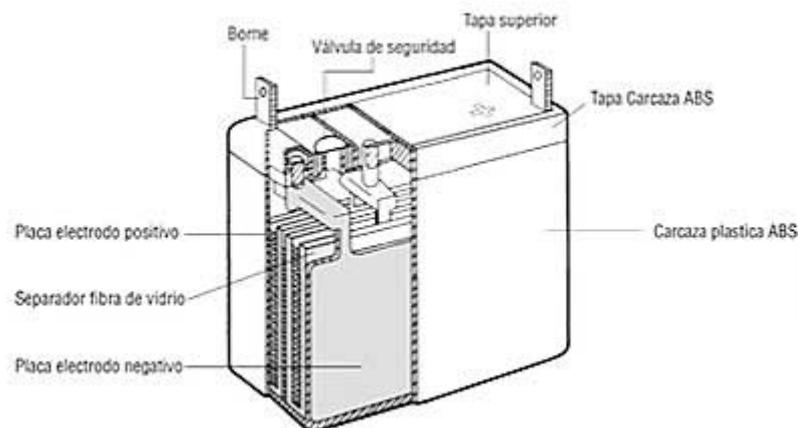


Figura 3.2.- Baterías de plomo – ácido

Desde el punto de vista eléctrico, una batería puede asimilarse a una fuente de tensión ideal, V_{bi} , en serie con una resistencia interna, R_{bi} , tal y como indica la figura.

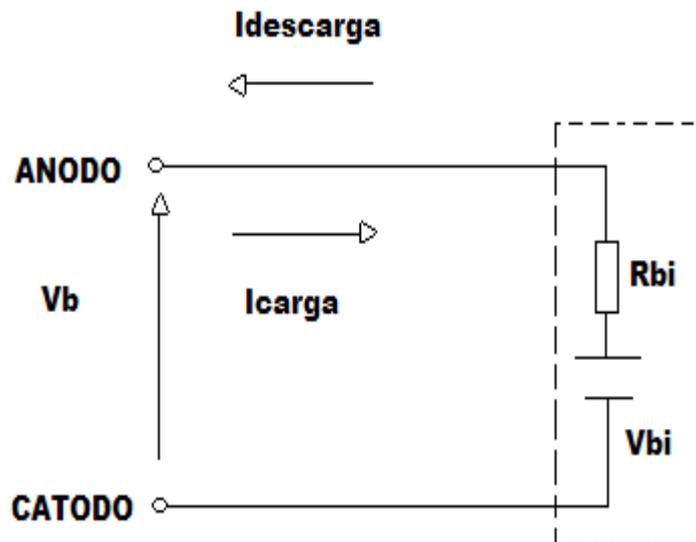


Figura 3.3.-Circuito equivalente de una batería.

Las rejillas cumplen las funciones de soportar mecánicamente los materiales activos y de conducir la corriente eléctrica. Lo que permite procesos de fabricación muy rápidos, posibilita la penetración del electrolito en el cuerpo de la materia activa, a través de sus poros, lo que conlleva una mayor rapidez de los procesos de carga y descarga. En algunos casos para aumentar la vida útil de la batería se le suele añadir a dichas rejillas pequeñas cantidades de antimonio – selenio.

La mayoría de las baterías actuales responden a este concepto. La figura muestra la constitución más típica. Además de los electrodos, se pueden destituir los separadores, formados por materiales plásticos porosos, que intercalados entre los electrodos, evitan el contacto eléctrico entre estos, al tiempo que permiten el paso del electrolito.

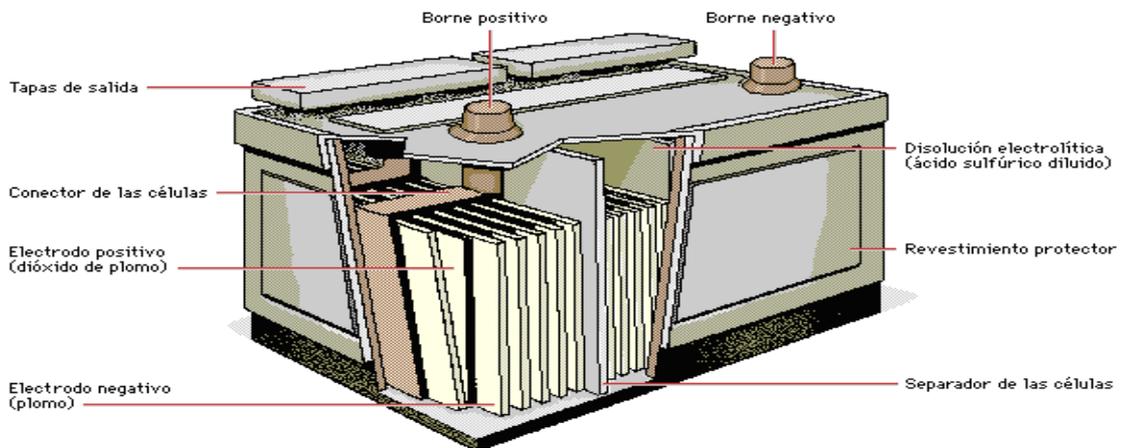


Figura 3.4.-Constitución de una batería plomo-ácido

a. PROCESO DE CARGA

Al aproximarse el final de la carga, la materia activa comienza a escasear y parte de la corriente se emplea en descomponer el agua, en forma de gases (O_2 en el polo positivo y H_2 sobre el negativo). Este fenómeno se le llama gasificación o gaseo.

Básicamente los acumuladores aguantan corrientes de recarga mayores. Sin embargo, cuando se logra el voltaje de gasificación de $2.3 - 2.4$ [V] por células, se tiene que reducir la corriente de carga. En una hora más, el acumulador tiene 90% de su capacidad nominal, el restante 10%, se tiene que seguir cargando durante unas $8 - 10$ horas con una corriente de $3 - 1$ [A], hasta que el acumulador esté completamente cargado. Durante esta última carga, no se debe superar el voltaje de gasificación de $2.3 - 2.4$ [V/célula] (lo que corresponde a $13.8 - 14.4$ [V] en el acumulador de 12 [V]).

En los sistemas eléctricos de generadores eólicos, sucede esto al ser recargado el acumulador en un tiempo relativamente corto 70 – 80% ya que la mayor parte de la corriente del viento es producida en verano.

En las instalaciones eléctricas de generadores eólicos, se evita sobrepasar, el voltaje final de carga de 13.8 – 14.4 [V] (en el caso del acumulador de 12 [V]), a través de un regulador de voltaje.

b. PROCESO DE DESCARGA

El proceso de descarga de una batería supone la transformación del PbO₂ (óxido plúmbico) y Pb de la materia activa de las placas en PbSO₄, con absorción de ácido del electrolito, mediante una corriente que entra en la batería por su cátodo.

c. PROCESO DE CICLADO

Al proceso de repetidas cargas y descargas que una batería sufre a lo largo de su operación se la denomina ciclado.

Después de cierto número de ciclos, no tienen la capacidad para la que ha sido diseñada la batería y se habla, entonces, de la muerte de la batería que se establece cuando se ha reducido al 80% de su valor inicial.

Análogamente, se habla de la vida de la batería para referirse al número de ciclos que soporta hasta perder el 20% de su capacidad.

d. EFECTOS DE LA TEMPERATURA

La temperatura de la batería influye sobre su comportamiento afectando a sus características nominales y de operación.

También afecta a la velocidad de las reacciones químicas involucradas en la corrosión de las rejillas y, por ello, a la vida de la batería. Naturalmente, a mayor temperatura mayor velocidad de corrosión. Para contrarrestar este fenómeno, en las zonas cálidas se utilizan densidades de electrolito bajas, para

baterías totalmente cargadas. La elevada movilidad correspondiente a la temperatura de esta zona compensa el efecto de esta baja densidad sobre Rbi.

e. MÉTODO DE CÁLCULO DEL NÚMERO DE BATERÍAS

Para calcular el número de baterías en serie se divide la tensión nominal de trabajo de la instalación (V_L) entre la tensión nominal de las baterías (V_{nb}), como se indica en la siguiente ecuación.

$$\#b(\text{serie}) = \frac{V_L}{V_{nb}} \quad [3.5]$$

Parámetros eléctricos:

$\#b(\text{serie})$ = Número de baterías en serie.

V_L = Tensión en la carga.

V_{nb} = Tensión nominal de las baterías.

Cálculo del número de baterías en serie.

$$\#b(\text{serie}) = \frac{V_L}{V_{nb}}$$

$$\#b(\text{serie}) = \frac{12[V]}{12[V]}$$

$$\#b(\text{serie}) = 1$$

Luego revisamos la corriente y las horas de trabajo de los equipos de repetición (T_x, R_x, S_b) como se indica a continuación:

EQUIPO	CORRIENTE(A)	TIEMPO (horas)
T _x	9	5
R _x	0.6	4
S _b	0.25	15

Tabla. 3.7.-Corriente diaria de cada equipo

A continuación multiplicamos la corriente de cada uno de los equipos por el tiempo de consumo en el día, como se indica en la siguiente ecuación.

$$I_{A/d} = I_e * T \quad [3.6]$$

Parámetros eléctricos:

$I_{A/d}$ = Horas de corriente de los equipos

I_e = Corriente del equipo.

T = Tiempo de consumo.

Transmisor (T_x)

$$I_{A/d} = I_e * T$$

$$I_{A/d} = 9[A] * 5[h]$$

$$I_{A/d} = 45 \frac{[A * h]}{dia}$$

Receptor (R_x)

$$I_{A/d} = I_e * T$$

$$I_{A/d} = 0.6[A] * 4[h]$$

$$I_{A/d} = 2.4 \frac{[A * h]}{dia}$$

Stand by (S_b)

$$I_{A/d} = I_e * T$$

$$I_{A/d} = 0.25[A] * 15[h]$$

$$I_{A/d} = 3.75 \frac{[A * h]}{dia}$$

La suma de estas tres corrientes nos dá como resultado, la corriente que necesita los equipos de un repetidor durante un día normal de trabajo, como se indica en la siguiente ecuación.

$$I_{A/dt} = I_{A/d(Tx)} + I_{A/d(Rx)} + I_{A/d(Sb)} \quad [3.7]$$

$$I_{A/dt} = 45 \frac{[A * h]}{dia} + 2.4 \frac{A * h}{dia} + 3.75 \frac{A * h}{dia}$$

$$I_{A/dt} = 51.15 \frac{A * h}{dia}$$

La corriente total diaria que consume los equipos de un repetidor, como anteriormente se indicó en la ecuación [3.7], se multiplicará por 5 días respaldo que es el tiempo estimado para un sistema de acumulación de un sistema eólico.

$$Cb = I_{A/dt} * \#dias \quad [3.8]$$

Parámetros eléctricos:

C_b = Capacidad de la batería.

$I_{A/dt}$ = Corriente diaria total.

$\#días$ = Número de días de respaldo.

$$C_b = I_{A/dt} * \#días$$

$$C_b = 51.15 \frac{A * h}{días} * 5[días]$$

$$C_b = 255.75[A * h]$$

Asumiendo un rendimiento de la batería del 70%.

$$\eta = 0.7$$

Para el cálculo de la capacidad máxima de la batería se aplica la siguiente ecuación.

$$C = \frac{C_b}{\eta} \quad [3.9]$$

Parámetros eléctricos:

C = Capacidad mínima de la batería

$$C = \frac{C_b}{\eta}$$

$$C = \frac{255.75[A * h]}{0.7}$$

$$C = 365.35[A * h]$$

Por lo tanto necesitamos un banco de baterías con ésta capacidad

3.7 CABLEADO

Un cableado adecuado debe limitar las caídas de tensión, para evitar la posibilidad de contactos fortuitos que pueden ser peligrosos con voltajes elevados para ello, debe satisfacer las condiciones siguientes:

- a. Disponer de cables incluidos en alguno de estos casos.
 - Estar aislados de la intemperie por un tubo protector.
 - Tener una funda aislante constituida por algún material cuya temperatura de servicio alcance los 90 °C. En particular, el PVC (cloruro de polivinilo) simple no está recomendado.
- b. Disponer de cables con una sección tal que asegure que la caída de tensión en el conjunto del generador.

Aunque no esté estrictamente relacionado con el generador, conviene mencionar que ésta misma regla de limitar al 1 % las caídas de tensión, debe aplicarse, y con mayor rigor, si cabe, al cableado que une el regulador a la batería.

Este cableado debe incluir, además, un fusible en uno de los cables de salida de la batería, para evitar que se produzcan daños en esta última, en la eventualidad de un cortocircuito en alguna parte de la instalación.

A continuación observaremos una de las alternativas que el mercado nos ofrece, como es un set de cables N° 12, como se indica en la siguiente figura

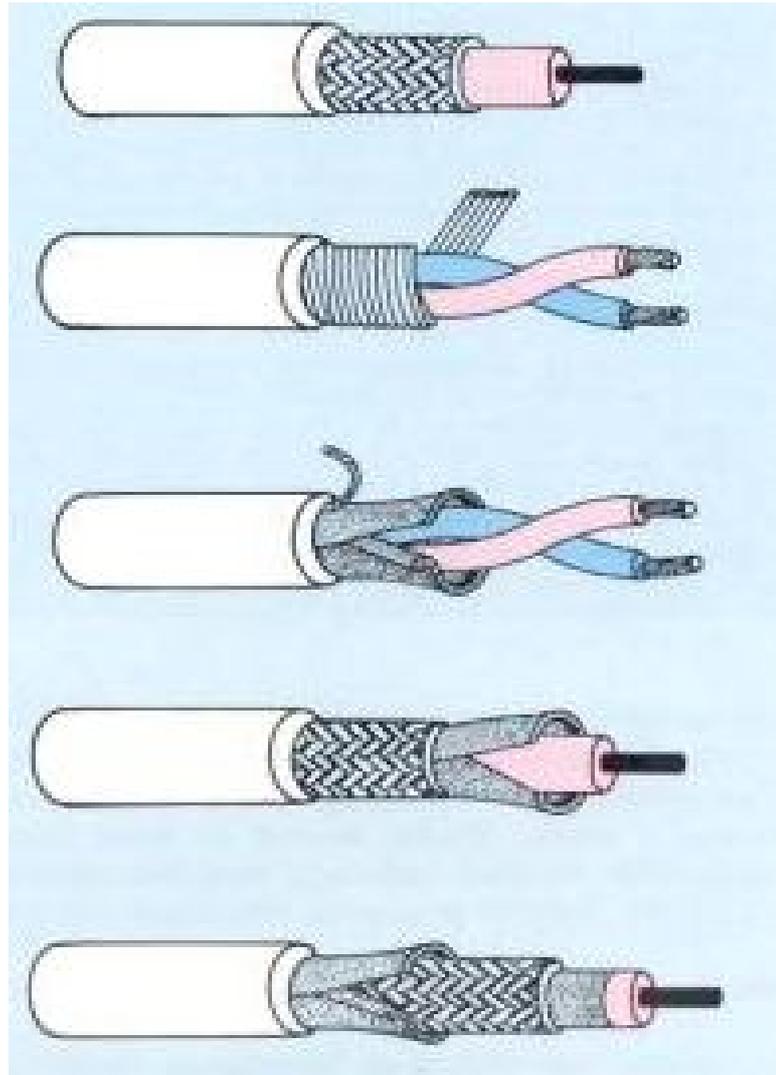


Figura 3.5 Cables N° 12 recubierto.

3.8 COSTOS DE IMPLEMENTACION

El costo de implementación para la instalación del generador AIR 403 esta detallado en el anexo C. Además podemos ver en el Anexo D el plano de implementación del generador AIR 403.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Cuando empezamos a realizar el presente trabajo nos propusimos varios objetivos, uno de los cuales era dar una solución, planteando con los conocimientos adquiridos en la Universidad, una alternativa a la producción de energía eléctrica en el Ecuador.
- La falta de electricidad es un limitante en el desarrollo del país y es un problema en los lugares donde no existe una red de electrificación y también lo es donde existe estiaje, produciendo pérdidas en la producción y por ende pérdidas económicas.
- También es un problema la polución ya que siendo un país que es visitado especialmente por sus lugares naturales es de preocupación colectiva el deterioro o desaparición de estos.
- La necesidad del sector de comunicaciones (repetidoras, radio enlaces, etc.); del sector agrícola – ganadero (invernaderos, riego, bombeo, etc.); de lugares de turismo ecológico (islas, cabañas, senderos, etc.); y de otros, es el abastecimiento de energía eléctrica.

- La ausencia de redes eléctricas; los costos que implican la ampliación de una red para servir a un solo usuario, los bajos consumos en distancias considerables entre usuarios, además de lo ya mencionado de la destrucción de un codiciado y único medio ambiente en el mundo, fueron las pautas que permitieron la realización de este trabajo.
- Fue necesario investigar varios parámetros para poder conocer la capacidad de producción de energía eléctrica por este medio. Para esta se utilizó como fuente principal el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER).
- La energía eólica es probablemente el método más bondadoso de generación de energía que conocemos. La energía limpia, no produce contaminación, y está al alcance de todos.
- Existen varias ventajas competitivas de la energía eólica con respecto a otras opciones, como es la reducción la dependencia de combustibles fósiles, y no daña el medio ambiente.
- Las tecnologías de la energía eólica se encuentran desarrolladas para competir con otras fuentes energéticas. El tiempo de construcción es menor con respecto a otras opciones energéticas, son convenientes cuando se requiere tiempo de respuesta de crecimiento rápido.
- La investigación y desarrollo de nuevos diseños y materiales para aplicaciones en aerogeneradores eólicos, hacen de esta tecnología una de las más dinámicas, por lo cual constantemente están saliendo al mercado nuevos productos más eficientes con mayor capacidad y confiabilidad.
- El costo de implementación del proyecto es un poco elevado en relación a la generación de energía producida por el generador.

- No existe los incentivos necesarios por parte de las instituciones o del gobierno para promover el estudio de la generación de energías renovables.
- La energía eólica está en proceso de crecimiento en nuestro entorno ya que son proyectos nuevos y costos elevados.
- De acuerdo a los modelos de los generadores que existe en el país hemos seleccionado el generador AIR 403, por tener incluido el setpoint que es un regulador automático que funciona de acuerdo a la velocidad del viento.

4.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a alumnos y profesores mantenerse al día con fuentes de información (Internet, etc.), para estar más actualizados dentro de este campo.
- Realizar esquemas de financiamiento que permitan concretar la realización de proyectos basados en las fuentes de energías renovables.
- Invertir en tecnologías de energías alternativas y reconocer las ventajas ambientales de las fuentes renovables, en comparación con las tecnologías convencionales.
- Al momento de realizar la instalación de un generador eólico tomar todas las medidas de seguridad al instante de realizar el montaje.
- Tomar en cuenta las características técnicas y específicas al momento de realizar la adquisición de los generadores eólicos.
- Instalar estos generadores en áreas alejadas a la red eléctrica pública ya que los costos de instalación no cubre la totalidad de energía producida.

- Realizar un estudio minucioso del sector donde se va a realizar proyectos de energía eólica, especialmente al instante de realizar la medición de la velocidad del viento, ya que este es el factor más importante al momento de instalar un generador eólico.
- Para la instalación de un sistema de energía eólica deben evitarse las pérdidas en los conductores, inversores, equipos de consumo, ya que en caso contrario no se podrá abastecer a la carga.
- Las baterías pueden despedir gas de hidrogeno altamente tóxico cuando éstas se recargan, evite colocarlas cerca del material inflamable o cualquier lugar donde existan flamas o chispas eléctricas.
- Las baterías contienen acido sulfúrico, evite el contacto con sus ropa, piel o con los ojos. Si esto ocurre, lave sus ojos o piel con abundante agua, para reducir los riesgos de cortocircuitos evite el uso de metales alrededor de las baterías.
- Revisar las características técnicas de los equipos al ser utilizados en diferentes proyectos eólicos.
- Se recomienda que los equipos de comunicación se alimenten con 12 Vcc, para evitar utilizar inversores.

BIBLIOGRAFÍA:

- http://146.83.6.25/literatura/memorias_tesis/AEROGENERADOR-MEMORIA-FINAL.pdf
- <http://www.wikiciencia.org/tecnologia/energia/eolica/index.php>
- http://www.solarpedia.es/index.php/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica#Por_el_tipo_de_eje
- http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_solar_espacial
- <http://usuarios.lycos.es/ama/texto.htm>
- <http://www.windpower.org/es/glossary.htm>
- <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi98/Energia-Vs-Ambiente/eolica.htm>
- <http://www.windpower.org/es/stat/biblio.htm>
- <http://roble.pntic.mec.es/~csoto/eolica.htm>
- http://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_e%C3%B3lica
- www2.ing.puc.cl/power/paperspdf/moyano.pdf
- www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ingenieria/tesis20.pdf
- www.btm.dk/Documents/Pressrelease.pdf
- <http://www.eolica.com.ar/>
- www.nrel.gov/docs/fy05osti/38062.pdf

- www.ieor.berkeley.edu/~oren/workingp/adequacy.pdf
- www.cne.cl/fuentes_energeticas/e_renovables/geotermica.php
- http://es.wikipedia.org/wiki/Aerogenerador#Energ.C3.ADa_E.C3.B3lica
- <http://www.elforolatino.com/tecnologia-general-244/5062-partes-importantes-de-los-aerogeneradores-modernos.html>
- <http://teleobjetivo.org/blog/esquema-de-un-aerogenerador.html>
- http://www.oni.escuelas.edu.ar/2004/SAN_JUAN/676/eolica_y_molinos/Capitulo_3/cap_3_6.htm
- <http://iesmatadepera.xtec.net/recerca/aeroge/partes.html>

ANEXOS

ANEXOS

ANEXOS A: FIGURAS

ANEXOS B: TABLAS

ANEXO C: PROFORMA

ANEXO D: PLANO

ANEXOS A

FIGURAS

FIGURA 1.- Regulación por cabeceo.

FIGURA 2.- Curva de potencia de un aerogenerador, para distintos ángulos de paso de pala positivos.

FIGURA 3.- Efecto de la velocidad de la turbina en la curva de potencia.

FIGURA 4.- Ilustración de curvas de potencia para velocidad constante y velocidad variable en dos modelos de 400 W.

FIGURA 5.- Configuraciones para la orientación de aerogeneradores con respecto al viento

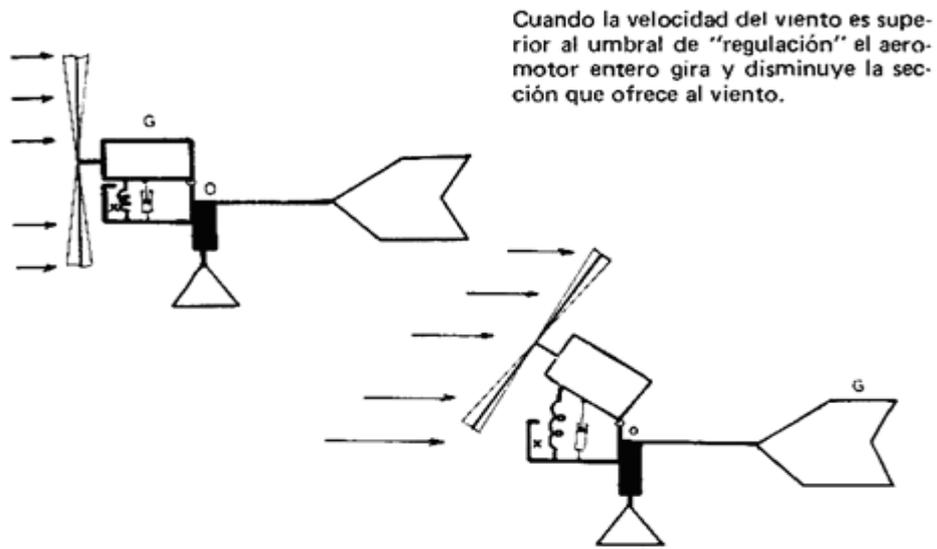


Figura 1.- Regulación por cabeceo

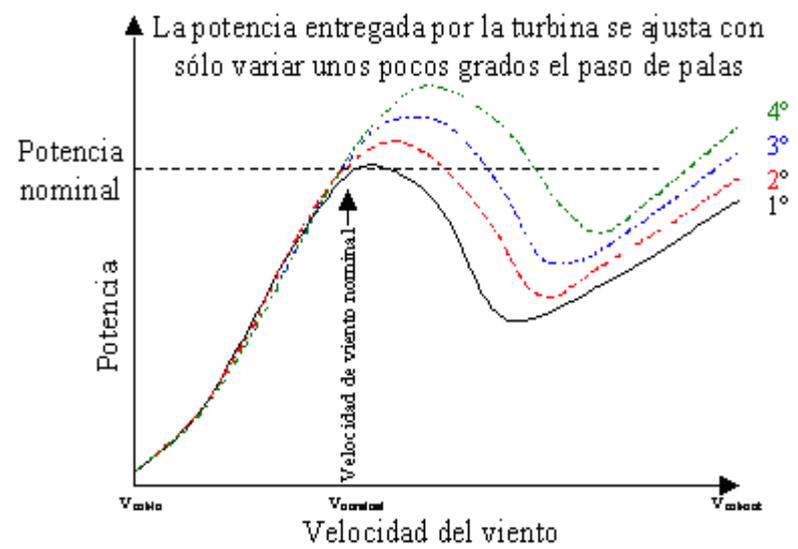


Figura 2.- Curva de potencia de un aerogenerador, para distintos ángulos de paso de pala positivos

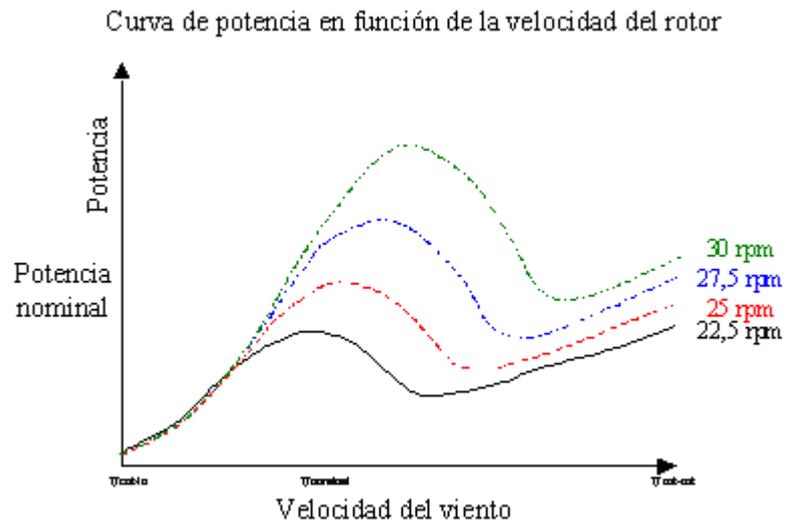


Figura 3.- Efecto de la velocidad de la turbina en la curva de potencia.

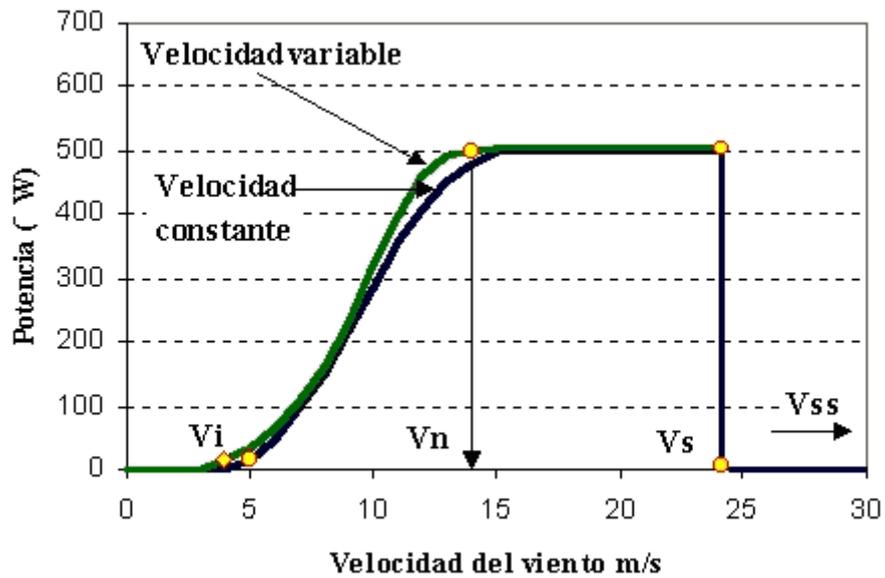


Figura 4.- Ilustración de curvas de potencia para velocidad constante y velocidad variable en dos modelos de 400 W.

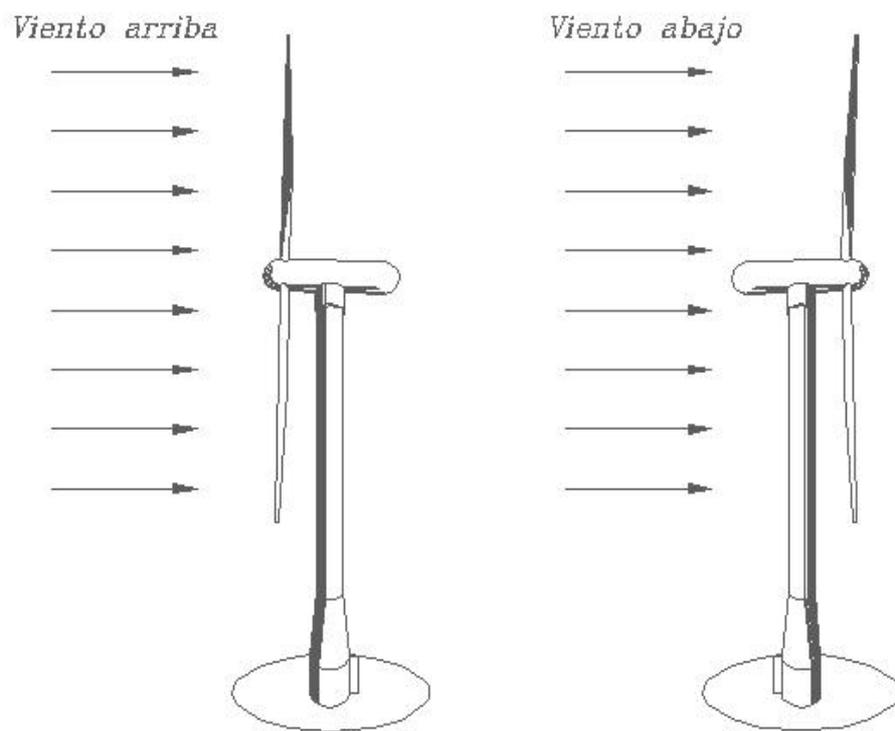


Figura 5.- Configuraciones para la orientación de aerogeneradores con respecto al viento.

ANEXO B

TABLAS

Tabla 1.- Tasas de penetración previstas en el proyecto eólico San Cristóbal 2008 – 2028.

Tabla 2.-Generadores eólicos instalados en el Ecuador.

AÑO	DEMANDA (kWh)	Energía eólica para cubrir la demanda (kWh)	% Desplazamiento diesel
	7,981,087		
	10,186,114	4,126,164	52%
	11,808,498	4,887,240	48%
	13,689,286	5,375,724	46%
	15,869,634	5,932,941	43%
		6,626,638	42%
2008		Gobierno Nacional FERUM	3,193,901
2013		Municipio San Cristóbal (donaciones Impuesto a la Renta)	239,643
2018		Grupo E7	5,475,638
2023		Fundación Naciones Unidas (UNF)	326,193
2028		Aporte Reembolsable	605,792
Sta Cruz Baltra	Eólico (3.2 MW)		12,000,000
		Ministerio de Energía	600,000
		Fondo Mundial para el Ambiente – GEF	2,500,000
		Fundación Naciones Unidas (UNF)	600,000
		Ministerio de Electricidad (asignación 2007)	3,600,000
		Ministerio de Electricidad (asignación 2008)	2,300,000
		Aportes adicionales	2,400,000
		Asociación SEBA y AECI (España)	325,123
		ElecGalápagos (fondos FERUM), MEM, WWF y Araucaria	380,005
		ElecGalapagos	50,000
		Ministerio de Electricidad	83,344
TOTAL			34,226,639

Tabla 1.- Tasas de penetración previstas en el proyecto eólico San Cristóbal 2008 – 2028.

Proyecto	País	Año	Trabajos Realizados
LAS CHINCHAS Proviento	Ecuador	2001	Instalación de equipos de medición, recopilación de los datos, elaboración de informes mensuales y el Estudio de Pre-Factibilidad
HCPL Honorable Consejo Provincial de Loja	Ecuador	2001	Suministro e instalación de 6 equipos de medición eólico completas con torres hasta 50m de altura.
IMC International Mining Corporation	Ecuador	2004	Estudio de Pre-Factibilidad para el suministro de energía por fuentes renovables
GUAYLLABAMBA Hacienda Huatusbamba	Ecuador	2004	Arriendo de una torre de 40m completa con equipos para el estudio del potencial eólico en la cuenca del Guayllabamba.
ELECTROVIENTO Proyecto Eólico Salinas	Ecuador	2004	Curso de energía renovable para la comunidad de Salinas
PNUD Programa de Naciones Unidas del Desarrollo	Ecuador	2005	Estudio de sitios y equipos de medición para el proyecto ERGAL en Santa Cruz
MUNICIPIO OTAVALO	Ecuador	2005	Estudio de potencial solar para la electrificación rural a través de sistemas fotovoltaicos
PNUD Programa de Naciones Unidas del Desarrollo	Ecuador	2005	Suministro e instalación de equipos de medición para Galápagos, recopilación de datos, elaboración de informes y reporte final
CONAM / PROMEC	Ecuador	2006	Suministro de equipos

Consejo Nacional de Modernización			especiales de medición energético / ambiental.
PNUD Programa de Naciones Unidas	Ecuador	2006	Estudio de Factibilidad para un Proyecto Híbrido Viento / Diesel en Santa Cruz
ESPOL Escuela Politécnica del Litoral	Ecuador	2006	1. Seminario sobre energía eólica y sistemas híbridos
PNUD Programa de Naciones Unidas	Ecuador	2007	Reacondicionamiento de Anemómetros y Reubicación de una torre de medición en Galápagos
PNUD Programa de Naciones Unidas	Ecuador	2007	Recopilación de datos y mantenimiento de equipos de medición en Baltra y Isabela
TERRAMBIENTE S.A.	Ecuador	2007	Estudios de Sísmica de Refracción, Levantamiento Topográfico y Optimización de sitios para el Proyecto de Energía Solar en Isabela y Santa Cruz
PNUD Programa de Naciones Unidas	Ecuador	2008	Recopilación de datos y mantenimiento de equipos de medición en Baltra y Isabela
RADIO EL BUEN PASTOR	Ecuador	2008	Instalación de un sistema de energía renovable compuesto por un aerogenerador de 1000W y baterías en Saraguro.
CAMARA DE COMERCIO ECUATORIANA- ALEMANA	Ecuador	2008	Discurso sobre la energía eólica

Tabla 2.-Generadores eólicos instalados en el Ecuador

ANEXO C

TABLA

Proforma del generador eólico AIR 403.



INVETRONICA

**RADIO-COMUNICACIONES
TRANSMISIÓN DE DATOS**

Quito, 09 de Marzo del 2009

INVE-2019-
09

**SEÑORES
ESPE
PRESENTE**

PROPUESTA DE SISTEMA EÓLICO

ÍTEM	CANT	DETALLE	VAL. UNIT	VAL. TOTAL
01	1	<u>GENERADOR EÓLICO</u> Marca: AIR 403 Modelo: AIR40312V Generador eólico de 12 Vdc Medición de salida: 400 Watts	1.250,00	1.250,00
02	3	Baterías libres de mantenimiento 110 Amp. Hora Millenium 2000	240,00	720,00

03	25 mts	Cable de bajada N° 12 recubierto	1,50	37,50
04	1	Instalación del sistema eólico	200,00	200,00
05	1	Mástil de montaje	300,00	300,00
SON: DOS MIL OCHOCIENTOS OCHO 40/100 DOLARES			SUBTOTAL	2.507,50
			IVA 12%	300,90
			TOTAL	2.808,40

CONDICIONES COMERCIALES

VALIDEZ: 30 DIAS

PAGO: CONTADO CONTRA ENTREGA

INMEDIATA DEPENDIENDO DE STOCK, CASO CONTRARIO

ENTREGA 30 DÍAS LUEGO DE
RECIBIR LA ORDEN

UN AÑO CONTRA DEFECTOS DE

GARANTÍA: FÁBRICA

Atentamente,

**Ing. Paúl Arias G.
INVETRONICA CÍA LTDA**

Proforma del generador eólico AIR 403.

ANEXO D

PLANO

Diagrama en bloques para la instalación del generador eólico AIR 403.

Latacunga, Marzo del 2009

Realizado por:

Wilmer P. Andrango Q.

José I. Andrade E.

Ing. Armando Álvarez
COORDINADOR DE LA CARRERA

Dr. Eduardo Vásquez Alcázar
SECRETARIO ACADÉMICO