

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS PARA LA INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE
AEROGENERADORES.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MARIO DANIEL SANTOS RUANO

Asesorado por: Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ing. Julio David García Celada
VOCAL IV	Ibr. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas.

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR	Ing. Julio César Molina Zaldaña
SECRETARIA	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

ANÁLISIS PARA LA INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE AEROGENERADORES.

Tema que me fuera asignado por la Coordinación de la Carrera de Ingeniería Mecánica Industrial con fecha julio del 2004.

Mario Daniel Santos Ruano.

Guatemala 26 de abril de 2005.

Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas
Escuela de Mecánica Industrial
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimada Ingeniera:

Por medio de la presente, me permito informarle que he asesorado el trabajo de graduación titulado: ANÁLISIS PARA LA INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO DE AEROGENERADORES, elaborado por el estudiante Mario Daniel Santos Ruano, a mi criterio el mismo cumple con los objetivos propuestos para su desarrollo.

Sin otro particular me suscribo de usted,

Atentamente

Ing. Víctor Manuel Ruiz Hernández
Asesor

DEDICATORIA

A mis padres

Pedro Santos y Fidelina Ruano

Por sus enseñanzas, valores, apoyo y sabios consejos en el momento oportuno.

A mi familia

Especialmente a Marvin, Mirna, David, Ingrid, Carlos y Heydy.

Por su ayuda en todo momento.

A mis amigos y a todos lo que hicieron posible este trabajo

Mis más sinceros agradecimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. RESEÑA HISTÓRICA Y LA UTILIZACIÓN DE AEROGENERADORES .1	
1.1. Origen.....	1
1.1.1. Molino de viento.....	2
1.2. La industria eólica.....	3
1.2.1. Industria 1969-1980.....	3
1.2.2. Industria 1981-2000.....	4
1.2.3. Industria en la actualidad.....	4
1.3. Propulsores de los aerogeneradores.....	5
1.3.1. Johannes Juul.....	5
1.3.2. Charles Brush.....	6
1.3.3. Poul La Cour Museet.....	6
1.4. La energía eólica en algunos países.....	6
1.5. Utilización de recursos eólicos en Guatemala.....	9

2. DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LOS

AEROGENERADORES.....	11
2.1 Nociones preliminares.....	11
2.1.1. La energía eólica.....	11
2.1.1.1. Formación de los vientos	11
2.1.1.2. Fuerza de coríolis.....	12
2.1.1.3. Vientos geostróficos.....	13
2.1.2. Flujo de fluidos.....	13
2.1.2.1. El flujo continuo.....	14
2.1.2.2.El flujo turbulento.....	14
2.1.3. Energía y potencia.....	14
2.1.4. Funcionamiento aerodinámico.....	15
2.2. Tipología de los aerogeneradores.....	16
2.2.1. Por la posición del aerogenerador.....	16
2.2.1.1.Eje vertical.....	16
2.2.1.1.1. Darrieus.....	17
2.2.1.1.2. Panemonas.....	17
2.2.1.1.3. Sabonius.....	17
2.2.1.2. Eje horizontal.....	18
2.2.1.2.1. Hawts.....	18
2.2.2. Por la posición del equipo respecto al viento.....	19
2.2.2.1. A barlovento.....	19
2.2.2.2. A sotavento.....	19
2.2.3. Por número de palas (aspas).....	20
2.2.3.1. Una Pala.....	20
2.2.3.2. Dos palas.....	20
2.2.3.3. Tres palas.....	20
2.2.3.4. Multipalas.....	21
2.3. Componentes.....	20

2.2.1. Góndola.....	22
2.3.2. Palas del rotor.....	22
2.3.3. Buje.....	22
2.3.4. Eje de baja velocidad.....	22
2.3.5. Multiplicador	22
2.3.6. Eje de alta velocidad.....	23
2.3.7. Freno mecánico.....	23
2.3.8. Generador eléctrico.....	23
2.3.9. Generador de corriente alterna.....	23
2.3.10. Generador de corriente continua.....	24
2.3.11. Mecanismo de orientación.....	24
2.3.12. Sistema hidráulico.....	24
2.3.13. Unidad de refrigeración.....	25
2.3.14. Anemómetro y veleta.....	25
2.3.15. Torre.....	25
2.3.15.1. Torre de tubulares.....	25
2.3.15.2. Torre de mástil tensado.....	26
2.3.15.3. Torre de celosía.....	26
2.3.15.4. Torres híbridas.....	26
2.3.16. Controlador electrónico.....	27
2.3.17. Pararrayos.....	27
2.3.18. El transformador.....	27
2.3.19. Rotor.....	27
2.4. Funcionamiento.....	28
2.5. Recientes avances técnicos en los aerogeneradores.....	29

3. INSTALACIÓN DE AEROGENERADORES31

3.1. Ubicación.....	31
---------------------	----

3.1.1. Requisitos del terreno.....	31
3.1.1.1. Requisitos topográficos.....	32
3.1.1.2. Requisitos eólicos.....	32
3.1.1.3. Requisitos geológicos.....	33
3.1.2. Ubicación de sitios de mayor potencial eólico en Guatemala.....	34
3.1.2.1. Mapa eólico Guatemalteco.....	35
3.2. Diseño de cimentación.....	35
3.2.1. Detalles constructivos del cimiento.....	37
3.2.2. Excavación.....	38
3.2.3. Materiales.....	40
3.2.4. Refuerzos de acero.....	41
3.2.5. Anclajes sobre cimientos.....	41
3.3. Técnicas para el aislamiento de vibraciones.....	42
3.4. Análisis de montaje.....	42
3.4.1. Montaje de la torre.....	43
3.4.2. Montaje de la góndola.....	45
3.4.3. Montaje del rotor.....	46

4. MANTENIMIENTOS ESENCIALES PARA UN OPTIMO

FUNCIONAMIENTO.....	47
4.1. Propósitos y alcances.....	47
4.2. Tipos de mantenimientos.....	47
4.2.1. Mantenimientos predictivos.....	47
4.2.1.1. Análisis de aceites	48
4.2.1.2. Análisis de vibraciones.....	49
4.2.1.2.1. Balanceo del rotor.....	51
4.2.1.2.2. Piezas dañadas.....	51

4.2.1.2.3. Mejoramiento de anclajes y cimientos	51
4.2.2. Mantenimientos preventivos	52
4.2.3. Mantenimientos proactivos	52
4.2.4. Mantenimientos correctivos	53
4.3. Recursos necesarios	53
4.4. Mantenimiento a los componentes	54
4.4.1. Mantenimiento de góndola	59
4.4.2. Mantenimiento de palas del rotor	59
4.4.3. Mantenimiento del buje	60
4.4.4. Mantenimiento de los ejes	60
4.4.5. Mantenimiento de caja multiplicadora	60
4.4.6. Mantenimiento del freno	61
4.4.7. Mantenimiento de los mecanismos de orientación	61
4.4.8. Mantenimiento del sistema hidráulico	62
4.4.9. Mantenimiento a unidad de enfriamiento	62

5. FACTORES AMBIENTALES Y ECONÓMICOS RELACIONADOS

CON LOS AEROGENERADORES	63
5.1. Factores ambientales	63
5.1.1. Impacto en el uso de las tierras	63
5.1.2. Impacto del ruido	64
5.1.3. Impacto visual	64
5.1.4. Impacto biológico y ambiental	65
5.1.5. Modificaciones al entorno	65
5.1.6. Impacto al entorno social	65
5.2 Factores económicos	66
5.2.1. Análisis de costos	66
5.2.1.1. Costos de capital	67

5.2.1.2. Costo de instalación.....	67
5.2.1.3. Costos anuales de operación y mantenimiento.....	68
5.2.2. Análisis financiero.....	70
5.2.2.1. Financiamientos.....	71
5.2.2.2. Estructura financiera de operación.....	71
5.2.2.3. Aportaciones extras.....	71
5.2.2.4. Generación de energía.....	72
5.2.2.5. Tarifa de la generación de energía.....	72
5.2.3. Criterios para la evaluación económica.....	73
5.2.3.1. Costos y beneficios.....	74
5.2.3.2. Análisis de sensibilidad.....	74
5.2.3.3. Devaluación de la moneda.....	75
5.2.3.4. Comparación de alternativas.....	76
5.2.3.5. Perspectivas de planeación.....	76
5.2.3.6. Criterios de evaluación.....	77
5.2.3.7. Puntos de decisión en el análisis económico...77	
CONCLUSIONES.....	79
RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	85
ANEXOS.....	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Molinos de viento.	2
2.	Perfil aerodinámico de las aspas del rotor.	15
3.	Aerogeneradores de eje vertical.	16
4.	Aerogeneradores de eje horizontal.	18
5.	Componentes de góndola aerogenerador.	28
6.	Mapa de velocidades del viento en Guatemala.	36
7.	Cimiento monopilote.	37
8.	Bridas.	44
9.	Unión por pernos.	44

TABLAS

I.	Países líderes en producción de energía por medios eólicos.	8
II.	Número de estaciones eólicas por departamento en Guatemala.	34
III.	Fichas de control de trabajos.	55
IV.	Ficha de control de lubricantes, filtros y refrigerante.	56
V.	Ficha de reporte de actividades.	57
VI.	Ficha de registro de datos de campo.	58
VII.	Costo de operación y mantenimiento general.	69

LISTA DE SÍMBOLOS

Kwh	Kilowatts por hora.
Gw	Giga watts
Kw	Kilowatts
°C	Grados centígrados
%	Porcentaje
US\$	Dólares de Estados Unidos de Norteamérica
cm ²	Centímetro cuadrado
m/s	Metros por segundo
MPH	Millas por hora

GLOSARIO

Acelerómetro	Sensor y transductor cuya entrada es la amplitud de aceleración y tiene una salida de voltaje de baja impedancia, el cual luego se transforma en señal para el equipo de vigilancia.
Alineación	Posición en la cual las líneas centro de dos ejes deben ser lo más colineales posible, en el momento de operación de la máquina.
Amplitud	Es el máximo valor que presenta una onda sinusoidal.
Balanceo	Procedimiento por medio del cual se trata de hacer coincidir el centro de masa de un rotor con su centro de rotación.
Balanceo dinámico	Balanceo en movimiento. Situación en la cual un conjunto del rotor y las aspas tiene el peso distribuido en forma pareja a ambos lados del eje de rotación.
Balanceo estático	Balanceo sin movimiento. Situación en la cual el conjunto rotor y aspas tienen el mismo peso alrededor del eje de rotación.

Espectro	Sinónimo de dominio de la frecuencia.
Excentricidad	Variación del centro de rotación del eje con respecto al centro geométrico del rotor.
Frecuencia	Es el recíproco del período y significa número de oscilaciones completas por unidad de tiempo.
Sensor	Es un dispositivo de medición que transforma una variable física en una señal eléctrica. En nuestro caso, pasa de una señal física de vibración y la convierte en una señal eléctrica.
Velocidad	Razón de cambio del desplazamiento respecto al tiempo.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla los principales factores a considerar para la instalación y mantenimiento de equipos aerogeneradores. Se inicia con una presentación de la historia, así como de las principales personas que han contribuido a sus avances, además de datos sobre la utilización de los mismos, alrededor del mundo así, como en Guatemala.

En el segundo capítulo se identifican los distintos tipos de aerogeneradores, sus nociones principales para conocer la manera en la cual interactúan los vientos, así como también las partes de las cuales están compuestos, además se conocerá la manera en la cual se clasifican y la forma en que operan todos sus componentes en conjunto para la producción de energía eléctrica.

En este trabajo se prestará suma importancia a los aspectos de instalación como lo son: factores que debe tener el terreno, el diseño del cimiento, ubicaciones, formas de la superficie, las principales localizaciones en el territorio Guatemalteco, diseño de la cimentación, excavaciones, anclajes, la forma en que serán construidos, las técnicas para el aislamiento de vibraciones, y los cuidados a tener al momento de montar los distintos componentes.

Los capítulos finales tratarán sobre los mantenimientos a realizarse en el equipo, mencionando las principales revisiones en los componentes y de esta manera asegurar una vida útil y productiva del equipo a lo largo del tiempo. Se identificarán los aspectos que se verán modificados por el uso de turbinas eólicas, así como el impacto biológico y ambiental, modificaciones al entorno y el impacto social que tendrá este tipo de proyecto. Además se mencionarán los aspectos económicos que deberán ser analizados para la toma de una decisión adecuada en este tipo de proyecto, analizando costos, financiamientos y otros criterios controlables y no controlables en el marco económico.

OBJETIVOS

General:

Proporcionar un análisis crítico en la instalación, mantenimiento, medio ambiente y factores económicos ligados a la utilización de recursos eólicos como fuente de generación de energía eléctrica para su correcto funcionamiento.

Específicos:

- Conocer la historia técnica, económica y social que ha dejado el aprovechamiento de energía eólica, así como sus principales propulsores y sus distintos legados.
- Establecer las diferencias entre los diversos tipos de aerogeneradores así como las ventajas y desventajas del aprovechamiento de recursos eólicos sobre otras formas de generación de energía.
- Proporcionar un análisis técnico sobre la forma de operación de los distintos componentes de los aerogeneradores y su funcionamiento en conjunto.

- Elaborar una guía para la instalación de aerogeneradores, tomando en consideración los aspectos de ubicación, diseño de cimientos y técnicas de aislamiento de vibraciones.
- Identificar los cuidados principales que se deben tener en la instalación y montaje de los componentes de los aerogeneradores para evitar fallas futuras.
- Analizar los principales factores que intervienen para la toma de decisiones económicas y financieras en la implementación de un proyecto de energía eólica.
- Reconocer los factores y el impacto que creará en aspectos, biológicos, ambientales y sociales, el uso de aerogeneradores como medio de generación eléctrica a un nivel comercial.

INTRODUCCIÓN

Analizar los factores que intervienen en la instalación de sistemas de aprovechamiento de energía renovable en Guatemala es importante, debido a que esto será una de las bases para la toma de decisiones en lo que a generación de energía se refiere. Hoy en muchas de las empresas consideran la generación de energía eléctrica como una inversión rentable y con índices de crecimiento, es por ello que el ofrecer formas limpias y renovables de generación de energía eléctrica, lo hace más llamativo para la inversión.

En este caso se tratará lo correspondiente a energía eólica, la cual ha sido poco aprovechada para la generación eléctrica en nuestro país, ya que no cuenta con ninguna generadora en el ámbito comercial. Es conveniente conocer los aspectos más importantes a tomar en consideración antes de implantar un proyecto de generación de energía, y poder así, compararlo con otras formas de generación, no únicamente con un punto de vista técnico sino también financiero, es decir integrar los aspectos más importantes para una toma de decisión adecuada.

Será de mucha utilidad al estudiante universitario o al profesional que esté interesado en el conocimiento de los puntos esenciales para el aprovechamiento de la energía eólica, ya que es uno de los tipos de generación con mayor crecimiento en el mundo, tanto en producción como en avances técnicos.

1. RESEÑA HISTORICA Y LA UTILIZACIÓN DE AEROGENERADORES

1.1 Origen

La fuente de energía eólica es el viento, o mejor dicho, la energía mecánica que, en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento. El viento es originado por el desigual calentamiento de la superficie de nuestro planeta, originando movimientos de la masa atmosférica.

La Tierra recibe una gran cantidad de energía procedente del Sol. Esta energía, en lugares favorables, puede ser del orden de 2,000 Kwh/m² anuales. El dos por ciento de ella se transforma en energía eólica con un valor capaz de dar una potencia de 10E+11 Gigavatios.

En la antigüedad no se conocían estos datos, pero lo que sí es cierto, es que intuitivamente conocían el gran potencial de esta energía. Las formas de mayor utilización son las de producir energía eléctrica y mecánica, bien sea para autoabastecimiento de electricidad o bombeo de agua. Siendo un aerogenerador los que accionan un generador eléctrico y un aeromotor los que accionan dispositivos, para realizar un trabajo mecánico teniendo estos su principal origen en los molinos de viento.

Actualmente, la contribución de la energía eólica a la generación de electricidad es todavía poco significativa. Pero es evidente que esta fuente energética tiene un amplio potencial de crecimiento, en los últimos años, la energía eólica ha experimentado un desarrollo tecnológico considerable y ha incrementado su competitividad en términos económicos en relación con otras fuentes de energía.

1.1.1 Molino de viento

El molino fue y aún es, un avance importante, su invención tuvo como principal objetivo la molienda de granos y evitando realizar esta operación a mano o empleando la fuerza de animales de tiro, que además de comer también tenían que descansar. Los motores no existían y menos los combustibles o energéticos que los harían trabajar, para que su utilidad fuera constante, se construyeron en espacios amplios y abiertos, donde las corrientes de aire pudiesen llegar con facilidad. Pero para llegar a los más modernos aerogeneradores se tuvieron que realizar mejoras tanto en el sentido de diseño de las palas (aspas) para la transformación de la energía cinética en mecánica, como de las cajas convertidoras de potencia que operan dentro de los mismos.

Figura 1 Molinos de viento



Fuente: Universidad técnica de Dinamarca <http://www.windata.com>

1.2 La industria eólica

La energía eólica fue utilizada por primera vez en 1890 para producir electricidad. A lo largo de los siguientes cincuenta años, se construyeron miles de pequeños molinos para fabricar electricidad. En 1941 se construyó en Estados Unidos el primer aerogenerador capaz de producir 1,000 Kw. Hoy, con mejores materiales, existen molinos de viento que producen hasta 3,000 Kw. cada uno. Para esto tuvieron que pasar por muchas modificaciones teniendo su auge en el siglo pasado y en lo que llevamos de este.

1.2.1 Industria 1969-1980

En el lapso de estos años los gobiernos de muchos países como los de Europa y los Estados Unidos de Norteamérica financiaron muchos programas para el desarrollo de mejoras e implementaciones en el uso de la energía eólica, el crecimiento de la utilización de energía eólica en ese período de tiempo fue relevante llegando a mostrarse como una fuente de generación de energía rentable en lugares como Hawai y California.

1.2.2 Industria 1981-2000

Aquí se le unen muchos países a la generación de energía eléctrica por medios eólicos entre los países con mayor producción en esta temporada podemos mencionar Japón, Alemania, Dinamarca y Estados Unidos, los resultados mostraron que se tenían mas de 20,000 turbinas eólicas con una capacidad instalada de 3,500 megawatts, y producían una total de 4,000 millones de Kwh.

En 1995 se instalaron en el mundo nuevas turbinas eólicas totalizando cerca de 1,300 Megawatts, aumentando la capacidad instalada global en 37 por ciento a casi 5,000 Megawatts. Nuevas plantas generadoras instaladas en 1996 agregaron otros 1,500 Megawatts a aquel total.

1.2.3 Industria en la actualidad

En la actualidad ya son muchos los países que utilizan este tipo de energía a gran escala, se le agregan muchas variantes en las mejoras de la productividad de los aerogeneradores, entre los cambios que se están realizando son los novedosos aerogeneradores que pueden funcionar con velocidades de viento alta y baja, es decir que pueden ajustarse a los cambios de los vientos y no están sujetos a rangos de velocidades como lo tenían hace pocos años.

Las inversiones mundiales en energía eólica ahora llegan a 5,500 millones de dólares convirtiendo a la industria en una creciente fuerza económica global. Y los mercados para el viento crecen más rápido que cualquier otra tecnología, duplicando cada cinco años la capacidad eólica mundial. También entran en este tipo de generación países como Argentina, España, y Holanda, a ser unos de los más grandes del mundo.

1.3 Propulsores de los aerogeneradores

Los aerogeneradores han pasado por un sinnúmero de mejoras y cambios, pero algunos de las personas involucradas en cambios más grandes podemos mencionar.

1.3.1 Johannes Juul

Johannes Juul se convirtió en un pionero al desarrollar el primer aerogenerador del mundo de corriente alterna en Vester Egesborg, Dinamarca.

El novedoso aerogenerador Gedser de 200 kilowatts fue construido por Juul entre 1956 y 1957 para la compañía de electricidad SEAS en la costa de Gedser en la zona sur de Dinamarca.

La turbina de tres aspas con desvío electromecánico y un generador asíncrono fue un diseño pionero para los modernos molinos de viento.

Juul inventó para la turbina los frenos aerodinámicos que eran soltados por la fuerza centrífuga en caso de altas velocidades. Básicamente, en la actualidad se usa el mismo sistema en los modernos molinos de viento.

Este aerogenerador fue durante muchos años el más grande del mundo, tuvo una increíble durabilidad. Funcionó durante once años sin un mayor mantenimiento.

1.3.2 Charles Brush

Logró que el voltaje del generador tuviese siempre un valor constante, sin importar cuánta corriente proporcionara el aparato, además inventó un dínamo muy eficiente de corriente continua utilizada en la red eléctrica pública, la primera luz de arco eléctrico comercial.

1.3.3 Poul La Cour Museet

Uno de los pioneros de la electricidad generada por el viento fue el meteorólogo Poul la Cour, que vivió entre 1846 y 1908. La Cour también fue un pionero de la aerodinámica moderna y construyó su propio túnel de viento para los experimentos.

1.4 La energía eólica en algunos países

Si bien el uso de la energía eólica para la generación de electricidad tuvo su inicio hace más de 100 años, el desarrollo de la industria de la energía eólica data de la década del 70 con máquinas comerciales de 10 a 25 kilowatts de potencia, que progresivamente fueron evolucionando hacia mayores tamaños, existiendo en la actualidad aerogeneradores comerciales de 1.5 megawatt de potencia y hasta algunos modelos de 2 megawatts.

La primera máquina comercial de 1 megawatt entró en el mercado hace aproximadamente 5 años. Hoy en día la potencia instalada de los parques eólicos de todo el mundo alcanza los 15,000 megawatts. El país con más crecimiento en el último año ha sido España, tanto en potencia instalada, como en capacidad de fabricación de aerogeneradores. Dinamarca, pionera en el desarrollo de la energía eólica espera para el 2030 que el 50 % de la energía producida en ese país sea de origen eólico.

Es una industria en expansión en todos los países que desarrollan esta tecnología, con tasas de crecimiento que superan ampliamente las proyecciones más optimistas por los expertos en la materia.

La EGEA (Europe Wind Energy Association) fijó como objetivos a cumplir en la producción de energía eléctrica para el año 2,000 en Europa una capacidad instalada de 8,000 megawatts. La misma asociación ya en el año 2003 fija como nuevo objetivo para el año 2.006 el doble, es decir 16.000 megawatts. La razón que llevó a modificar tan drásticamente los números propuestos años antes fue la rápida evolución que se produjo durante ese período.

Los costos de generación, para el caso de grandes parques eólicos en sitios con buen viento, son totalmente competitivos en comparación con la energía nuclear y la de combustión.

La generación eólica representa una fuente eficaz de energía renovable, con un potencial enorme en varios sitios del mundo.

Los tres países líderes en producción de energía eólica en el mundo Alemania, Estados Unidos y España añadieron en el 2001 unos 2,600 megawatts de nueva capacidad y contabilizaron casi el 64% del total de aumentos mundiales del año.

A finales del 2001, estos tres países también poseían algo más del 60% de la capacidad energética eólica mundial. Alemania aumentó su producción con 1,200 megawatts al año, Estados Unidos logró generar 905 megawatts ese mismo año, y España aumentó su producción con 650 megawatts de nueva capacidad. Actualmente, la potencia instalada de energía eólica en el mundo es de 15,000 megawatts.

A continuación se muestra una tabla de los principales países generadores de energía eléctrica por medios eólicos:

Tabla I Países líderes en producción de energía por medios eólicos

País	Aumento en últimos años en Megawatts	Total Megawatts
Alemania	1200	4072
Estados Unidos	732	2502
Dinamarca	300	1733
España	650	1722
India	62	1077
Inglaterra	18	534
Holanda	53	426
China	76	300
Italia	50	249
Suecia	40	216

Fuente: Funsolar Guatemala, datos para el año 2003.

1.5 Utilización de recursos eólicos en Guatemala

Los recursos eólicos han sido poco explotados en Guatemala, sus utilidades han sido restringidas únicamente a la utilización para la extracción de agua, molinos de granos o bien generación eléctrica en escalas domésticas, no a nivel comercial.

Actualmente algunas empresas y fundaciones han estado impulsando el uso de este tipo de energía como lo es el caso de “Fundación Solar”, “Sistemas de Ingeniería Electromecánica” y “Energía Dinámica”, estas empresas avaladas por entidades nacionales e internacionales están realizando estudios y algunas pruebas de generación eléctrica por medios eólicos en el interior de la república como en algunos poblados del norte de Alta Verapaz, San Marcos, y Escuintla donde se han montado algunas turbinas para generación, pero aun están en etapas de prueba y no se han montado parques eólicos que vengán a contribuir significativamente con el requerimiento energético que posee el país.

2 DESCRIPCIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE LOS AEROGENERADORES

2.1 Nociones Preliminares

Para comprender correctamente el funcionamiento de los aerogeneradores debemos tener en consideración algunos conceptos y nociones que se han basado para su diseño.

2.1.1 La energía eólica

Como bien se dijo en el capítulo anterior la energía eólica es la que obtenemos por el aprovechamiento de las fuerzas del viento.

Todas las fuentes de energía renovables excepto la mareomotriz y la geotérmica, e incluso la energía de los combustibles fósiles, provienen, en último término, del sol. El sol irradia 174.423,000.000,000 Kilowatts de energía por hora hacia la Tierra. Alrededor de un 1 a un 2 por ciento de la energía proveniente del sol es convertida en energía eólica.

2.1.1.1 Formación de los vientos

Los vientos son los desplazamientos de aire en la atmósfera. Su origen se debe a la diferencia de presión entre áreas anticiclónicas y ciclónicas, que son emisoras y receptoras de viento respectivamente.

Cuanto mayor es la diferencia de presión, mayor será la velocidad de los vientos. De esta forma tiende a restablecerse el equilibrio de las masas de aire de la atmósfera.

Los vientos se caracterizan por no soplar en línea recta ya que la rotación de la tierra les otorga un movimiento circular, este también muchas veces es deformado por las condiciones de la superficie terrestre de que se tengan en el lugar que se analice.

2.1.1.2 Fuerza de coriolis

Se trata de una fuerza no inercial de curvatura que experimenta un cuerpo que se desplaza a una cierta velocidad por la superficie de un planeta con rotación en torno a su eje vertical, esta fuerza, provoca que los cuerpos que se desplacen en el hemisferio norte sufren en su desplazamiento una continua desviación hacia la derecha, mientras que en el hemisferio sur será hacia la izquierda.

La fuerza de coriolis es un fenómeno visible por ejemplo las cuencas de los ríos están excavadas más profundamente en una cara que en la otra, la cual depende en qué hemisferio nos encontremos: en el hemisferio norte las partículas sueltas son desviadas hacia la derecha.

En el hemisferio norte el viento tiende a girar en el sentido contrario al de las agujas del reloj cuando se acerca a un área de bajas presiones. En el hemisferio sur el viento gira en el sentido de las agujas del reloj alrededor de áreas de bajas presiones.

2.1.1.3 Vientos geostróficos

Los vientos que han sido considerados como vientos globales son en realidad los vientos geostróficos. Los vientos geostróficos son generados, principalmente, por las diferencias de temperatura, así como por las de presión, y apenas son influenciados por la superficie de la tierra. Los vientos geostróficos se encuentran a una altura de 1,000 metros a partir del nivel del suelo.

El viento sube desde el ecuador y se desplaza hacia el norte y hacia el sur en las capas más altas de la atmósfera. Alrededor de los 30° de latitud en ambos hemisferios la fuerza de Coriolis evita que el viento se desplace más allá. En esa latitud se encuentra un área de altas presiones, por lo que el aire empieza a descender de nuevo. Cuando el viento sube desde el ecuador existe un área de bajas presiones cerca del nivel del suelo atrayendo los vientos del norte y del sur.

2.1.2 Flujo de fluidos

Los fluidos muestran distintos comportamientos, en especial el viento, aunque si se analizan en una manera más detallada siempre poseen un porcentaje de desorden pero para efectos útiles se pueden clasificar en contínuo o laminar y turbulento.

1.2.2.1 Flujo Continuo

Este tipo de flujo es más conocido como flujo laminar, el flujo laminar se caracteriza por un movimiento ordenado de las partículas de fluido, existiendo unas líneas de corriente y trayectorias bien definidas.

2.1.2.2 El flujo turbulento

En el flujo turbulento las partículas presentan un movimiento aleatorio y sin dirección ordenada sin que existan unas líneas de corriente ni trayectorias definidas.

2.1.3 Energía y potencia

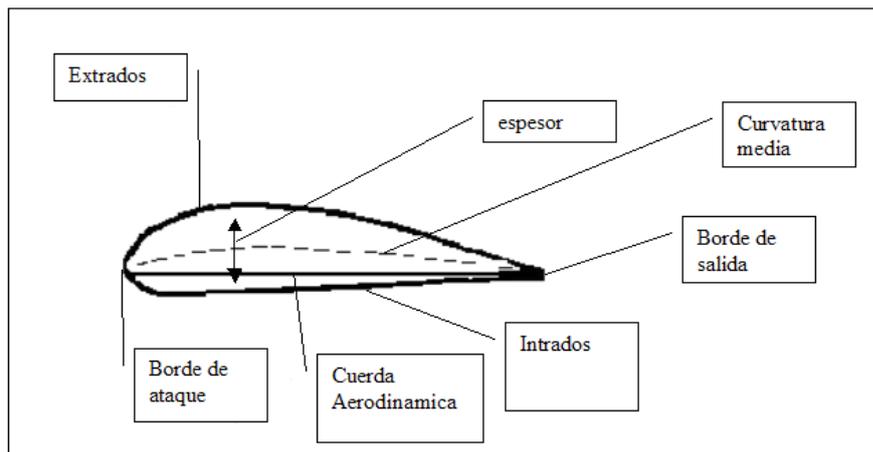
La energía es la capacidad de realizar trabajo, directa o indirectamente, ahora o más tarde. Un cuerpo en movimiento posee una capacidad de efectuar trabajo denominada energía cinética que es proporcional a la masa del cuerpo y al cuadrado de su velocidad. Pero la energía también puede estar contenida en potencia de muy diversas maneras, se la llama, entonces, energía potencial.

La potencia es la capacidad de producir o consumir energía en un determinado intervalo de tiempo.

2.1.4 Funcionamiento aerodinámico.

Las palas o aspas de los aerogeneradores poseen un diseño aerodinámico, esto es lo que hace que puedan aprovechar la velocidad del impacto del viento como las diferencias de presiones que provoca la velocidad. Este diseño es muy parecido a las alas de los aviones, la forma del perfil se muestra en el siguiente dibujo.

Figura 2. Perfil aerodinámico de las aspas del rotor.



El viento vendrá y golpeará en primera medida el borde de ataque, el viento llegará con una mayor velocidad en la parte de los extradós, al llegar un poco arriba del borde de salida se crea poca turbulencia y esto le da mayor velocidad al viento, lo cual crea una menor presión que en la parte de lo intradós y esa diferencia de presión hace que se eleve la parte del borde de salida, creando con esto la rotación o giro del aerogenerador, ya que no se podrá elevar debido a que están unidas las palas al rotor.

2.2 Tipología de los aerogeneradores.

Los aerogeneradores pueden ser clasificados de muchas maneras, las maneras en la cuales se clasifican se describen a continuación:

2.2.1 Por la posición del aerogenerador.

El aerogenerador puede estar en dos posiciones las cuales son:

2.2.1.1 Eje vertical

Los aerogeneradores de eje vertical prácticamente ya no se construyen pues su tecnología se quedó estancada al no ser capaces de crecer en el aprovechamiento del viento. La particularidad de estos aerogeneradores es que son mucho más cómodos de reparar pues todos los elementos de transformación de la energía del viento se encuentran en el suelo.

Figura 3. Aerogeneradores eje vertical.



Fuente: Cuba Solar www.cubasolar.cu

De allí sale el eje vertical que se extiende al centro de dos palas curvadas que salen de la parte inferior del eje hasta su parte superior final. La forma ovalada de las palas permite hacerlo girar y producir electricidad.

El inconveniente de este tipo de turbinas es que el eje no supera mucha altura y las velocidades del viento disminuyen al llegar al suelo por efecto de la rugosidad del mismo. La velocidad del viento es muy superior a más altura, con lo que estos aerogeneradores han ido quedando atrás con respecto a los de eje horizontal.

Los aerogeneradores de eje vertical a su vez se clasifican en:

2.2.1.1.1 Darrieus

Estos aerogeneradores emplean la sustentación de sus palas, tienen un par de arranque débil y una velocidad de rotación importante, pueden ser de dos, tres o más palas y para mejorar su par de arranque se les suele acoplar un aerogenerador Savonius (pequeño) lo que en contrapartida perjudica su velocidad máxima.

2.2.1.1.2. Panemonas

Cuatro o más semicírculos unidos al eje central. Su rendimiento es bajo.

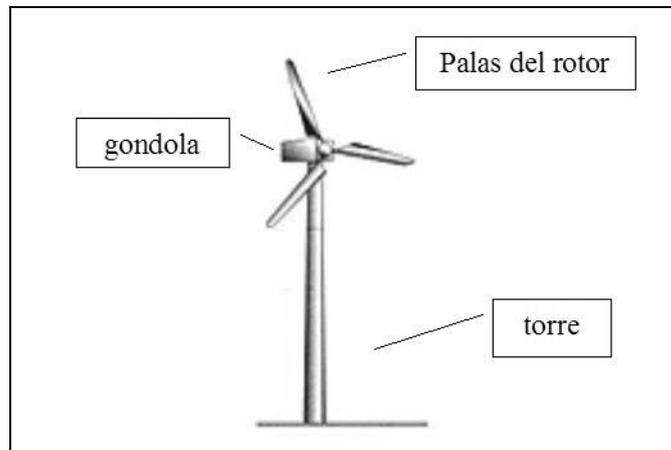
2.2.1.1.3. Sabonius

Dos o más filas de semicilindros colocados opuestamente.

2.2.1.2 Eje horizontal

Los aerogeneradores de eje horizontal, a diferencia de los anteriores, aprovechan más el viento. La altura que se consigue situar el eje que mueve el generador es muy superior a los anteriores y esto se debe que estas turbinas eólicas sean las más utilizadas en la actualidad, pues su tecnología sigue creciendo no sólo por la altura sino por la calidad y medios mejorados de los componentes que se utilizan en la generación de electricidad.

Figura 4. Aerogenerador eje horizontal.



Fuente: Cuba Solar www.cubasolar.cu

2.2.1.2.1. Hawts

Estos son llamados así por su forma "HAWTs", que corresponde a las siglas de la denominación inglesa "horizontal axis wind turbines".

2.2.2 Por la posición del equipo respecto al viento

Dependiendo del ángulo o parte en la cual sea aprovechado el viento se clasifican en:

2.2.2.1 A barlovento

Este nombre reciben las máquinas que reciben el flujo de corriente del viento en la parte de las palas, es decir que en el aerogenerador el viento será tocado en un principio por las palas, esto tiene algunas ventajas de los diseños a sotavento es que se evita las pérdidas por fricción del viento así como no modificar el viento y aprovecharlo a su máximo en un flujo que sea lo mas laminar posible. Con mucho la mayoría de los aerogeneradores tienen este diseño y tiene como desventaja que necesita mecanismos de orientación.

2.2.2.2 A sotavento

Este tipo de aerogenerador tiene la góndola en la parte frente a la dirección del viento, este tipo posee la ventaja que al poseer la góndola al frente esta misma le funciona como un mecanismo de dirección y no es necesario que cuente entonces con uno, aunque este tipo de direccionamiento es poco confiable para aerogeneradores mayores debido a su peso, posee esta ventaja en los cuales sean de unas dimensiones menores, como desventaja se puede denotar que crea turbulencias en el viento antes que hagan contacto con las aspas lo cual es perjudicial para el aprovechamiento de la energía.

2.2.3 Por número de palas (Aspas)

2.2.3.1 Una Pala

Estos únicamente poseen una pala o aspa, al tener sólo una pala estos aerogeneradores precisan un contrapeso en el otro extremo para equilibrar. La velocidad de giro es muy elevada. Su gran inconveniente es que introducen en el eje unos esfuerzos muy variables, lo que acorta la vida útil del equipo.

2.2.3.2 Dos palas

Este posee 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 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.

2.2.3.3 Tres palas

Como su clasificación lo indica poseen tres aspas o palas, la mayoría de los aerogeneradores modernos tienen diseños tripala, mantenido en la posición corriente arriba, usando motores eléctricos en sus mecanismos de orientación.

La gran mayoría de las turbinas vendidas en los mercados mundiales poseen este diseño. El concepto básico fue introducido por primera vez por el célebre aerogenerador de Gedser.

2.2.3.4 Multipalas

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 en América, este posee el inconveniente que al poseer muchas palas crea turbulencias en el flujo del viento y hace menos productivas al resto de las palas.

2.3 Componentes.

Las partes que conforman un aerogenerador son las siguientes:

2.3.1 Góndola

Contiene, los componentes capaces de generar energía eléctrica, el generador eléctrico, el multiplicador, sistemas de enfriamiento y los sistemas de control orientación y freno.

2.3.2 Palas del rotor

Estas son conocidas también como “aspas” las cuales capturan el viento y transmiten su potencia hacia el buje, esto lo hacen sobre la base de la velocidad que tenga el viento así como por la diferencia de presiones que se obtiene por medio de la turbulencia creada por el viento, su diseño es muy parecido al ala de un avión.

2.3.3 Buje

Este es el encargado de comunicar a la barra de baja velocidad, es decir que lleva la potencia y las revoluciones proporcionadas por las palas del rotor este va acoplado al eje de baja velocidad del aerogenerador

2.3.4 Eje de baja velocidad

Por medio de este la potencia encontrada en el buje es llevada a la caja, además el eje contiene conductos del sistema hidráulico.

2.3.5 Multiplicador

Tiene a su izquierda el eje de baja velocidad, permite que el eje de alta velocidad que está a su derecha gire más rápido que el eje de baja velocidad, esto lo hace a base de un juego de engranajes, los que se encargan de convertir la potencia en velocidad de giro.

2.3.6 Eje de alta velocidad

Este eje lleva una velocidad mayor pero una potencia menor, ya que ha pasado por la caja multiplicadora, este va directamente al generador eléctrico, en el también se encontrarán los frenos de emergencia en caso de que el viento supere velocidad admisibles para el equipo y que el freno aerodinámico no funcione.

2.3.7 Freno mecánico

Este freno será utilizado, cuando los vientos superen velocidades muy altas y el equipo no sea diseñado para su utilización, también se utiliza para cuando se les da mantenimiento a las unidades.

2.3.8 Generador eléctrico

Aquí vendrá el eje de alta velocidad, para darle revoluciones y poder generar la energía eléctrica generalmente suele ser un generador asíncrono o de inducción.

2.3.9 Generador de corriente alterna

Este será el que genera la energía eléctrica por medio del movimiento dado por el eje de alta velocidad, este lo distribuye a la central eléctrica o bien hacia un generador continuo lo cual se llevará a un transformador para una reducción del voltaje.

2.3.10 Generador de corriente continua.

Muchos aerogeneradores no poseen este tipo de generador este recibe la energía alterna y la convierte en corriente continua, para su utilización directamente en los aparatos eléctricos que así lo requieran o bien para él depósito en bancos de capacitores.

2.3.11 Mecanismo de orientación

El mecanismo de orientación será el encargado de responder a las órdenes dadas por el control electrónico, las cuales han sido censadas en ayuda de la veleta, este mecanismo tendrá un motor de corriente continua y con base a engranajes será conectado a una corona dentada que estará en la base alta del sistema de aerogenerador y lo moverá los grados que sean necesarios para un mayor aprovechamiento del flujo del viento.

2.3.12 Sistema hidráulico

El sistema hidráulico es para ser utilizado en los frenos mecánicos, esto con el fin de darle una mayor fuerza y seguridad en el sistema de bloqueo de los ejes.

2.3.13 Unidad de refrigeración

Este puede ser por unidades de radiación de calor por medio de aire o bien enfriado por agua, contiene un ventilador eléctrico utilizado para enfriar el generador eléctrico. Además contiene una unidad refrigerante por aceite empleada para enfriar el aceite del multiplicador.

2.3.14 Anemómetro y veleta

Estos aparatos sus funciones están dedicadas a calcular la velocidad del viento y la dirección de este respectivamente, están conectadas al controlador electrónico quien procesa estas señales adecuadamente.

2.3.15 Torre

La torre es la que soporta la góndola. Hay varios tipos de torres, tubulares, tensadas y de celosía. Aunque las de celosía son mucho más económicas, por seguridad se utilizan las tubulares. Las tubulares son mucho más seguras para los operarios que tengan que realizar sus labores de reparación en la góndola. Estas torres tubulares tienen escaleras interiores con "pisos" de seguridad cada varios metros e incluso ya las hay con ascensor.

2.3.15.1 Torre de Tubulares

La mayoría de los grandes aerogeneradores se entregan con torres tubulares de acero, fabricadas en secciones de 6 a 20 metros, poseen bridas en cada uno de los extremos, y son unidas con pernos.

Las torres son tronco-cónicas es decir, con un diámetro creciente hacia la base, con el fin de aumentar su resistencia y al mismo tiempo ahorrar material.

2.3.15.2 Torre de mástil tensado

Muchos de los aerogeneradores pequeños están contruidos con delgadas torres de mástil sostenidas por cables tensores. La ventaja es el ahorro de peso y, por lo tanto, de coste. Las desventajas son el difícil acceso a las zonas alrededor de la torre, lo que las hace menos apropiadas para zonas agrícolas.

2.3.15.3 Torre de celosía

Las torres de celosía son fabricadas utilizando perfiles de acero soldados. La ventaja básica de las torres de celosía es su costo, puesto que una torre de celosía requiere sólo la mitad de material que una torre tubular sin sustentación adicional con la misma rigidez. La principal desventaja de este tipo de torres es su apariencia visual. En cualquier caso, por razones estéticas, las torres de celosía han desaparecido prácticamente en los grandes aerogeneradores modernos.

2.3.15.4 Torres híbridas

Algunas torres están hechas con diferentes combinaciones de las ya mencionadas. Es decir una combinación entre algunos de los tipos ya mencionados.

2.3.16 Controlador electrónico

Esto es una especie de computadora que continuamente censa las condiciones del aerogenerador y que controla el mecanismo de orientación, en el caso de no cumplir con los parámetros establecidos, envía mensajes para direccionar el aerogenerador, mensajes de alerta a la central de control o ejecuta paros del equipo automáticamente.

2.3.17 Pararrayos

Es un dispositivo formado por una o más barras metálicas terminadas en punta y unidas entre sí y con la tierra, o con el agua, mediante conductores metálicos, y que se coloca sobre la góndola del aerogenerador y sirve para preservarlos de los efectos del rayo.

2.3.18 El transformador

Este será el encargado de convertir el voltaje de la energía generada a niveles que sean utilizados a los niveles requeridos.

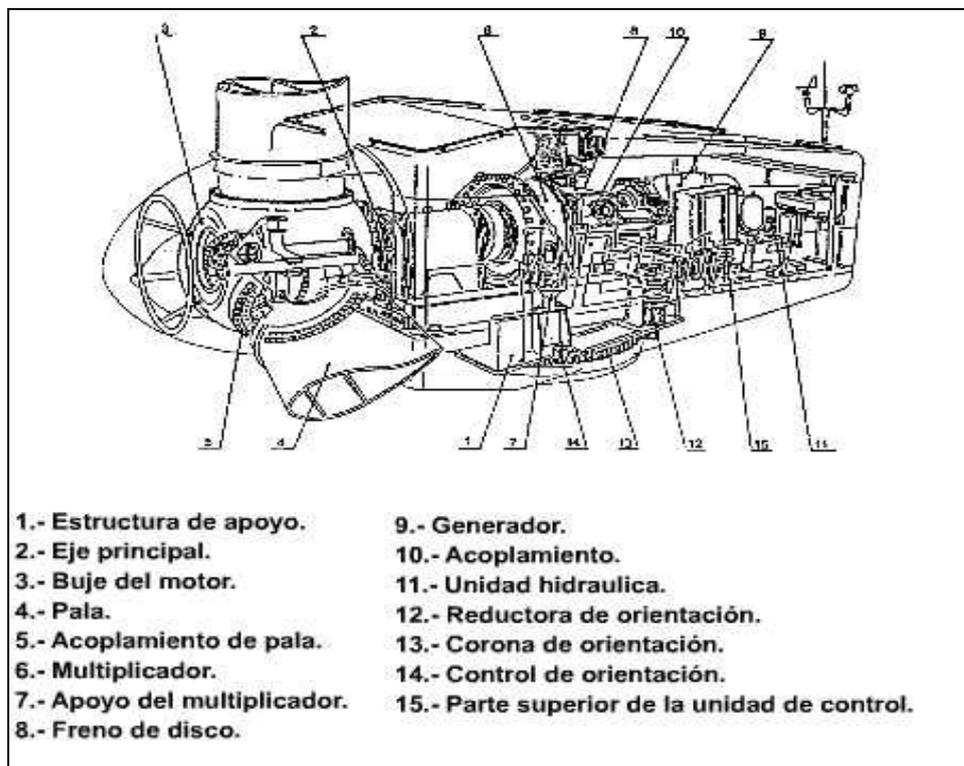
2.3.19 Rotor

En el rotor se incluyen dos componentes, el buje y las palas, por medio del rotor se sujeta el buje que las une las palas.

2.4. Funcionamiento

Los aerogeneradores convierten la energía del viento en energía eléctrica, la eficiencia de conversión de la fuerza del viento en electricidad depende en gran medida del diseño de las palas de la hélice. La energía captada por las palas del aerogenerador es transmitida al rotor, el cual está conectado al eje de baja velocidad, esta es llevada a el engranaje multiplicador que transforma el giro lento del eje de baja velocidad en un giro muy rápido que alimentará el generador. Todos estos mecanismos están colocados en una góndola situada a gran altura sobre el suelo por medio de un soporte.

Figura 5. Componentes de góndola de aerogenerador.



Fuente: Nordex www.homepages.mty.itesm.mx

2.5. Resientes avances técnicos en los aerogeneradores

Los últimos avances han estado en casi todas las partes del aerogenerador, pero los de mayor importancia son los del diseño más aerodinámico y los nuevos generadores que soportan velocidades mayores, esto con el fin de poder ampliar los rangos de velocidad de aprovechamiento del viento, es decir que anteriormente podían admitir velocidades muy limitadas y ahora el margen de velocidades se vuelve cada vez más amplio al punto que su funcionamiento es casi continuo salvo en casos críticos.

3. INSTALACIÓN DE AEROGENERADORES

Una serie de factores a tomar en consideración antes de instalar y en el montaje se presentan a continuación:

3.1 Ubicación

Se deberá tener en cuenta muchos factores, tanto físicos como económicos, para que el proyecto eólico sea realmente un proyecto factible. En Guatemala ya se están realizando estudios de los requisitos físicos, entre los cuales se encuentran los topográficos, eólicos y los geológicos. Para lograr una ubicación adecuada será necesario evaluar los siguientes aspectos:

3.1.1 Requisitos terreno

La viabilidad tanto de realizar las cimentaciones de las torres de aerogeneradores como de construir carreteras que permitan la llegada de camiones pesados hasta la ubicación, representan un punto determinante en cualquier proyecto de aerogeneradores, es por ello que debe cumplir con todos los requisitos o bien lograr la manera que puedan ser solventado. Dentro de los requisitos del terreno se evaluarán:

3.1.1.1 Requisitos topográficos

La topografía requerida para la instalación de estos aerogeneradores debe ser lo más plana posible, se requiere que se presente lo más libre de rugosidades, para que estas no den efectos turbulentos al viento, generalmente estas cualidades se presentan en lugares de poca altitud, como lo puede ser la parte sur y oriental del país, ya que sus planicies ayudan a que el viento tenga una mayor velocidad y su flujo sea laminar además que no se vea afectado por rugosidades de la superficie, pero para aprovechar los vientos más veloces necesitamos altitud las colinas, montañas o bien volcanes presentan esta ventaja, pero muchas veces tienen la desventaja de ser lugares con pendientes demasiado pronunciadas y provocan turbulencia en los vientos lo cual es perjudicial. La mejor ubicación será la que posea altitud y sus pendientes sean poco pronunciadas.

3.1.1.2 Requisitos eólicos

Los requisitos que se deben llenar para la instalación de los aerogeneradores es similar en todos los casos, y no depende tanto del tipo de aerogenerador a instalar, los aerogeneradores actualmente permiten la utilización de vientos desde los 5 metros por segundo a 24 metros por segundo, estos rangos se van mejorando cada vez más y tienen a ser más grandes lo cual indica, un mayor uso de los aerogeneradores. También se deben tener vientos con poca turbulencia para el mejor aprovechamiento.

Las pruebas para saber si se cuenta con el recurso eólico necesario, se deberán realizar con la altura que se pretenda dar a la torre, lo cual será como mínimo unos 30 metros, estas mediciones se deberán obtener por lapsos de 10 minutos y obtener los promedios, por un tiempo mínimo de 3 meses como mínimo, esto con el fin de manejar datos reales y no basarse en especulaciones.

Luego de tener estos datos, se deberán evaluar si se encuentran dentro de los requisitos necesarios por las recomendaciones técnicas propias del aparato a instalar.

3.1.1.3 Requisitos geológicos

Las condiciones óptimas para la instalación de maquinaria de este tamaño, se logrará con superficies del suelo sólidas de preferencia con rocas y libres de agua en los alrededores, pero como bien es cierto también es posible la instalación de estas torres como en mares, tierra suelta, etc. De esto dependerá el tipo de cimentación que se realice y las cantidades de dinero a manejar en los proyectos.

Será necesario entonces la realización de un estudio de la capacidad de soporte del suelo donde se pretenda instalar la torre. Esto se realizara con la perforación de pozos de apróximadamente 30 metros, en las cuales se tomarán muestras para su estudio en laboratorios y centros de pruebas de suelo y subsuelo especializados, lo cual servirá para tomar las consideraciones adecuadas para el diseño de la cimentación.

3.1.2 Ubicación de Sitios de Mayor Potencial Eólico en Guatemala

Guatemala cuenta con una cantidad considerable de recursos eólicos, estos aún se encuentran en etapas de investigación, pero los estudios parciales que se tienen sobre el potencial eólico demuestran datos muy alentadores. Llegando a ubicar tentativamente distintas estaciones eólicas en los departamentos que se muestran en el cuadro siguiente:

Tabla II. Numero de estaciones eólicas por departamento en Guatemala

Departamento	Estaciones	Departamento	Estaciones
Guatemala	1	Jutiapa	1
Chimaltenango	2	Petén	1
Chiquimula	1	Quetzaltenango	2
Escuintla	1	Sacatepéquez	2
Huehuetenango	1	San Marcos	1
Izabal	2	Zacapa	3
Jalapa	1		

Fuente: Estudio Eólico Guatemala 2003.

El informe “ Estudio Eólico Guatemala 2003” fue realizado por la Oficina Regional para Centroamérica de Biomasa User Network (BUN-CA) conjuntamente con el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrológica (INSIVUMEH).

Las estaciones suponen desde elevaciones de 220 metros sobre el nivel del mar (Zacapa) hasta 3,765 metros sobre el nivel de mar en la parte alta del volcán de Agua en Sacatepéquez.

Estos lugares muestran vientos promedio de 3 metros por segundo a 12 metros por segundo, los cuales han sido tomados por un período de 6 meses.

3.1.2.1. Mapa eólico Guatemalteco

El mapeo eólico completo de Guatemala está a cargo del Centro de Información de Energías Renovables de Guatemala (CIERGUA) y con la ayuda de entidades como National Rural Electric Association (NRERCA).

Se muestra a continuación el mapa con las velocidades promedio del viento, aunque es de mencionar que los datos no son totalmente completos ya que para realizar un mapeo de estos se necesitan tomar más muestras de las tomadas para la realización de este.

Figura 6. Mapa de velocidades del viento en Guatemala.



Fuente: Funsolar Guatemala.

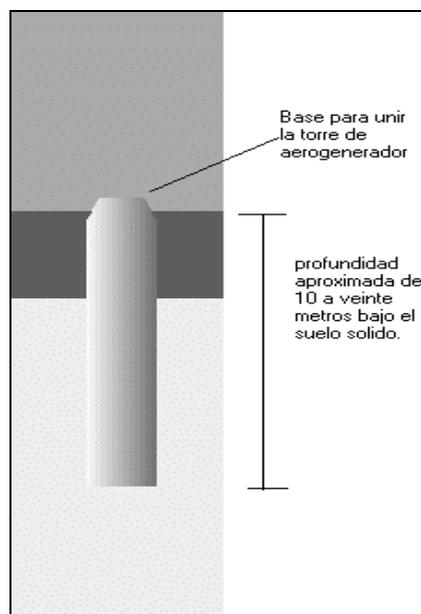
3.2 Diseño de cimentación

El tipo de cimentación a utilizar tendrá mucho que ver con el tipo de suelo así como de el tipo de torre a instalar, la maquinaria con la que se cuenta, esfuerzos y movimientos a los que esté sometida, pero para este caso hemos decidido mencionar la cimentación de una torre tubular ya que son las que presentan mayor altura y proporcionan menor modificación al flujo del viento.

3.2.1 Detalles constructivos del cimiento

Para instalaciones sobre tierra las cimentaciones más recomendables debido a costos y por las alteraciones que se le da al suelo son las monopilote y la de hormigón.

Figura 7. Cimiento monopilote



Fuente: Manual de instalación "Generation of Wind Power".

La monopilote es una construcción simple. La cimentación consta de un pilote hueco de acero en el cual se apisonará la tierra extraída a manera de compactarlo, con un diámetro de entre 3.5 y 4.5 metros para alturas de 50 a 60 metros.

El pilote está clavado de 10 a 20 metros bajo la parte sólida del terreno dependiendo de la altura que se le pretenda dar a la torre, por investigaciones y práctica se a llegado a estimar que se debe profundizar un 25 a 35 % de la altura que sube a la superficie, si una torre tiene una altura de 50 metros se deberán profundizar unos 17.5 metros. La cimentación de un sólo pilote llega hasta la parte de la superficie, donde se fabricará una base que la acoplará a la torre, una de las ventajas de este tipo de construcción es que se realizan pocos cambios al subsuelo y es el que presenta el menor tipo de movimiento de tierras.

La cimentación de tipo Hormigón emplea áreas mayores, pero unas menores profundidades, generalmente en terrenos sólidos, el área ocupada por los aerogeneradores será de 20 por 20 metros, para uno de altura de 50 metros, esta cimentación estará poco profunda en relación con la de monopilote, generalmente su excavación no supera los 9 metros, esto dependiendo del tipo de suelo en el que se encuentre, luego de realizar la excavación será necesario la creación del enrejado de hierro, la colocación de la base de la torre la cual quedará unida al cimientto y por último será la fundición del hormigón, el cual debe ser compactado por medio de vibradores para que se de un lleno completo no dejando así burbujas de aire.

Además de la colocación de la base de la torre, se debe colocar la puesta a tierra del pararrayos en los dos tipos de cimentaciones. En la cimentación monopilote la llevará desde la parte más baja del cimientto y en la cimentación de hormigón la llevará en el perímetro de la cimentación.

3.2.2 Excavación

Luego de tener los estudios sobre el terreno, y ya definidas las profundidades y dimensiones que se realizará el cimiento, tendrá lugar la excavación, la cual deberá ser cuidadosamente marcada, tomando como referencia las coordenadas en las que se ubicará la base del aerogenerador. La excavación se hace sobre las líneas que se han marcado en el terreno, cuyo ancho ya deberá haber tomado en cuenta la dureza del terreno donde se va a construir.

La primera acción será el aflojar el suelo a manera de facilitar la extracción de la tierra unos dos metros a lo largo de las líneas marcadas. Luego, la tierra aflojada se transporta hacia un lado, cuidando de no cubrir ni dañar las referencias de marcado. La tierra que sale de la excavación se deja junto a los límites, para rellenarlas después, cuando ya estén terminados los cimientos.

Cuando se llega a la profundidad necesaria, se debe verificár nuevamente la calidad del terreno para la cimentación. Si se ha encontrado suelo firme y duro, no deberá excavar más. Pero si a esa profundidad el terreno se encuentra blando, habrá que evaluar nuevamente por medio de pozos más estrechos de unos 30 centímetros, para determinar que no se encuentre bajo ríos subterráneos y no se tengan problemas en seguir excavando hasta dar con terreno más firme.

En el fondo de lo excavado debe quedar nivelado, listo, a la profundidad necesaria. Si hay partes pequeñas con una excavación más profunda de no más de 20 centímetros, se debe nivelar. Para ello se humedece el suelo y se rellena con tierra limpia que luego se compacta.

Cuando la excavación es profunda o el terreno es muy suelto, las paredes se pueden derrumbar en parte. Para evitarlo se colocan tablas, tubos y polines, que detienen la tierra de las paredes, según sea el tipo de cimentación. Una vez realizado toda la excavación se nivela el fondo golpeándolo con un pisón. Además de esto se deberán excavar las puestas a tierra del equipo de protección, lo cual se deberá seguir dependiendo del equipo instalado ya que algunos detalles cambian según sea el fabricante.

3.2.3 Materiales

En los dos tipos de cimentación mencionados, utilizan materiales como el concreto los cuales serán indispensables. Una condición que debe cumplir el concreto utilizado es la de ser poseer bajo cambio volumétrico y poseer un peso unitario alto, con el fin de prevenir el agrietamiento del mismo. Se recomienda la utilización de cemento de bajo calor de hidratación así como un alto peso, para lo cual se utilizan rocas sólidas y pesadas, de un tamaño no mayor que las rejillas de los refuerzos de acero que se encuentran en la base del cimiento.

Las cantidades recomendables para la mezcla de concreto en la fundición del cimiento serán, de 1 parte de cemento, 2.5 partes de arena y 4.5 partes de roca triturada, el agua será de 161 litros por cada metro cúbico. Los materiales como la piedra triturada, arena y cemento deberán estar secos y libres de suciedad o cualquier otra impureza, en el caso de agregar rocas de mayor tamaño deberán irse agregando en el momento que sé este vaciando en la cimentación.

El tiempo de fraguado deberá ser de 12 días, y cualquier remoldeo deberá realizarse cuando se encuentre fresco, y no cuando ya este totalmente seco ya que esto provocará debilidades en la cimentación.

3.2.4 Refuerzos de acero

Para la cimentación de estas torres deberán ser reforzados con armaduras metálicas de acero. Este acero proporciona la resistencia necesaria cuando la estructura tiene que soportar fuerzas elevadas. Estas armaduras de acero estarán trenzadas en la base del cimiento. Esto le proporcionará una mayor relación de resistencia y rigidez por unidad de volumen.

3.2.5. Anclajes sobre cimientos

Los anclajes de la torre del aerogenerador estarán directamente sobre el cimiento, esto ayudará a la distribución de esfuerzos a los que está sometido la base de la torre.

Estos anclajes tienen en forma de triángulos que estarán ubicados alrededor de la base y llegando al cimiento con una forma cuadrada donde se asegurarán con pernos o bien con pernos arponados en el final, estos serán los encargados de transmitir estas cargas y esfuerzos al cimiento.

De preferencia estos anclajes deben ser colocados antes de fundir a cimentación. Si se realizan después de fundido el cimiento se utilizarán pernos con superficie corrugada para obtener de esta manera una mejor sujeción al cimiento, después de esto se deberán rellenar con lechada de cemento los orificios que se hallan realizado.

El número de anclajes no debe de ser mayor de ocho estos además variarán su altura y profundidad dependiendo los análisis y alturas de las torres, no se recomienda más de este número ya que el exceso de estos podría debilitar la cimentación.

3.3. Técnicas para el aislamiento de vibraciones

Existen dos tipos de aislamientos que se utilizan en los aerogeneradores, los cuales son capas de materiales aislantes y los resortes absorbentes del impacto.

Los resortes absorbentes van distribuidos generalmente en algunos de los componentes y principalmente en los ejes de baja como de alta velocidad, así también en las uniones del rotor. Las capas de materiales aislantes son usadas entre la cimentación y el material de soporte, estas capas generalmente son de arcilla, grava o arena y en pocas ocasiones son utilizados materiales sintéticos, estas capas vienen oscilando entre los 10 y 30 centímetros de espesor pero varía si las condiciones del suelo son muy húmedas.

3.4. Análisis de Montaje

Montaje de todos los componentes requerirá un especial cuidado, debido al tamaño y las condiciones climáticas que se den en el sitio de instalación.

3.4.1. Montaje de la torre

La torre estará montada directamente sobre la base que tiene en la superficie, a partir de ahí será acoplada con pernos a las cimentaciones de hormigón o bien a las bases de del cimientto monopilote sobre las que reposan. Estas torres no serán fabricadas de una solo pieza, sino serán unidas en varias secciones, las cuales generalmente poseen alturas de 4 a 16 metros de altura y se acoplan por medio de bridas y unión por pernos. Este montaje presenta especial cuidado en el manejo de las grúas que llevaran los tubos por los que estará formada la torre. Para estas uniones es preferible siempre y cuando sea posible el armado en tierra de las distintas secciones, para que luego sea levantada como una sola pieza y acoplada a la base del cimientto.

Sin embargo, hay otros métodos, como en este caso, en el que la parte inferior de la torre es colada dentro de la cimentación de hormigón, por lo que la parte inferior de la torre tiene que ser soldada directamente a la sección que a sido colada.

Este método requiere que la torre esté provista de guías y abrazaderas especiales para mantener las dos secciones de la torre en su sitio mientras se está realizando la soldadura. También requiere una pequeña fabrica de torres móvil, incluyendo un generador, un equipo de soldadura y un equipo de inspección de rayos-X, para inspeccionar los cordones de soldadura, así como la no existencia de porosidades en la fundición de la base realizada..

Figura 8. Bidas



Fuente: www.winpower-monthly.com

La fotografía anterior muestra una de las bridas utilizadas para la unión de las distintas secciones de la torre tipo tubular para aerogeneradores.

Figura 9. Unión por pernos



Fuente: www.winpower-monthly.com

Se muestra la unión por pernos utilizada para el acoplamiento de las secciones de la torre tipo tubular.

3.4.2. Montaje de la góndola

El requisito indispensable que debe llenar la góndola antes de su instalación es la revisión del funcionamiento adecuado de los componentes que la conforman. Previamente probados y con la torre ya en pie se procederá a su colocación, la cual es acoplada como otra sección de la torre, sujeta siempre con bridas y las uniones por pernos.

El acoplamiento en la torre se llevará a cabo por medio de grúas, las cuales pueden ser grúas móviles cuando no sobrepasan los 60 metros de altura, y la ubicación del terreno tenga los accesos necesarios para el transporte de las mismas. Si sobrepasa los 60 metros por razones de seguridad se recomienda el montaje de grúas sobre tierra ya que estas poseen un mejor control sobre el peso y equilibrio del mismo.

La grúa levantará la góndola hasta la parte alta de la torre, para tener un control de los pequeños movimientos de la góndola, se sujetará desde tierra para poder guiar los movimientos necesarios, esto se realizará por medio de sujeción de una cuerda que estará unida al péndulo formado por la grúa y la góndola.

3.4.3. Montaje del rotor

Este componente del aerogenerador presenta uno de los más complicados en su instalación, esto debido a que el rotor ya viene con las palas unidas y el viento representa un factor en contra, para su instalación se debe realizar con el mínimo de viento posible, ya que este llega a mover y desbalancear los pesos al momento de su instalación.

Para evitar estos movimientos se deben asegurar las aspas con fuerzas aplicadas desde tierra las cuales se sujetan por medio de cuerdas y estas serán controladas por personas en tierra, este caso es similar al hecho para la góndola.

4. MANTENIMIENTOS ESENCIALES PARA UN OPTIMO FUNCIONAMIENTO.

4.1. Propósitos y alcances

El mantenimiento está constituido con el fin de conservar el equipo en buen estado así como sus componentes en las mejores condiciones posibles, para un buen y largo funcionamiento, lo cual se realizará de varias maneras siempre con el objetivo de evitar el deterioro prematuro de los equipos y prolongar su vida útil de operación.

4.2. Tipos de mantenimientos.

Existen cuatro tipos reconocidos de operaciones de mantenimiento para los equipos de generación eléctrica por medios eólicos, los cuales están en función del tiempo en el cual se realizan. A continuación se especifican estos tipos de mantenimientos:

4.2.1. Mantenimientos predictivos

Este tipo de mantenimiento determina la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de los aerogeneradores examinados, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo, generalmente al comprar los aerogenerador incluyen algún tipo de monitoreo, por parte de los proveedores.

El sustento tecnológico de este mantenimiento consiste en la aplicaciones de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. Tiene como objetivo disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por cambios de piezas y tiempo improductivo. Las técnicas utilizadas para los aerogeneradores en el mantenimiento predictivo son :

4.2.1.1. Análisis de aceites

El análisis de aceites consiste en tomar muestras de los lubricantes que están siendo utilizados, los cuales son analizados en laboratorios, de esta manera se podrá observar el tipo de materiales que este posee como residuos en el lubricante, y así se podrá predecir que partes del equipo está siendo desgastada y si necesita ser reemplazada o bien únicamente darle un mantenimiento general.

Las pruebas a los aceites y lubricantes utilizadas en los aerogeneradores son:

- Determinación del flash point o punto de inflamación por el método Cleveland de copa abierta
- Determinación de la viscosidad cinemática a 40°C y a 100°C .
- Determinación de la densidad relativa.
- Determinación de contenido de metales por espectrometría de absorción atómica: aluminio, zinc, cobre, calcio, hierro y magnesio.
- Determinación del número básico total o TBN (Total Basic Number).

A través de estos análisis se podrán obtenerse los siguientes beneficios:

- Establecer intervalos apropiados para los cambios de aceite y filtros.
- Detectar grado de Contaminación.
- Identificar patrones anormales de desgaste.
- Determinar degradación química del aceite y aditivos.

4.2.1.2. Análisis de vibraciones

La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una máquina es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias. De manera que, al estudiar los datos, el interés principal deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de la vibración, la determinación de las causas, y la corrección del problema que ellas representan.

Mediante un análisis de vibraciones a los componentes del aerogenerador se pueden encontrar rodamientos malos, problemas de desbalanceo, desalineación, bases y cimentaciones insuficientes, desgaste de piezas internas, interferencia de engranajes, entre otros.

Las consecuencias de las vibraciones mecánicas en los aerogeneradores son el aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales y daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral.

Las vibraciones que interesa conocer en los equipos aerogeneradores se pueden clasificar como:

- Vibraciones periódicas.
- Vibraciones de choque o transitorias.
- Vibraciones aleatorias o estadísticas.

De éstas, el movimiento periódico es el que llega a provocar el mayor de los daños. Para medir estas vibraciones serán necesarios sensores de la frecuencia, amplitud, velocidad y aceleración con que se den tales vibraciones. Los sensores a utilizar serán acelerómetros, velocímetros y medidores de desplazamientos.

Cuando se trata de centrales eólicas bastante grandes los equipos generadores se encuentran bajo un monitoreo continuo. Pero al tratarse de centrales más pequeñas estas bien pueden ser programadas para su control y no necesariamente estar continuamente monitoriadas.

Los programas utilizados para estos controles son muy variados, que van desde simples estadísticas gráficas directas, hasta programas conectados con las empresas que respaldan los equipos dando soluciones inmediatas a los problemas que pudiesen presentar. Si los datos revelan algún tipo de anomalías en las vibraciones se hacen reparaciones directas a los equipos entre estas podemos encontrar, mejoramientos de anclajes y cimientos, cambio de piezas dañadas, y el más importante y más frecuente balanceos del rotor.

4.2.1.2.1 Balanceo del rotor.

El balanceo se realiza a través de mediciones de vibraciones de la pieza a controlar, en el caso de que se pretendan balancear la palas del aerogenerador se presentaran los sensores en el eje de baja velocidad y directamente en el rotor, además se determina la posición exacta del exceso de masa por medio de una lámpara estroboscópica o algún otro método de monitoreo.

Es recomendable el realizar tanto balanceos estáticos como balanceos dinámicos. Los contrapesos que serán utilizados en el balanceo del rotor deberán ser colocados lo más cercano al eje, esto debido a que contrapesos en las partes más lejanas de las aspas quitarán el efecto aerodinámico para una buena rotación.

4.2.1.2.2 Piezas Dañadas

Estas también son detectadas por medio del análisis de vibraciones, aquí se podrán observar deficiencias en engranes, cojinetes y distintas piezas, esto debido a vibraciones cíclicas anormales, y se revelarán únicamente en el análisis de balanceos dinámicos.

4.2.1.2.3 Mejoramiento de Anclajes y Cimientos

Estos serán detectados por medio de los sensores de desplazamiento, generalmente estos se darán cuando se encuentren vibraciones aleatorias.

4.2.2. Mantenimientos preventivos

Tiene lugar antes de que ocurra una falla, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el equipo, sino se hace a determinados ciclos de tiempo. Se realiza por medio de recomendaciones del fabricante del equipo o bien a razón de la experiencia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento. Este mantenimiento tendrá lugar cuando:

- Se tengan momentos de baja producción y en tiempo e vientos lentos pocos favorables para la generación eléctrica.
- Existan paros planificados siguiendo un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios.

Para esto se deberá tener el personal y equipo adecuado para dar un mantenimiento generalizado de todos los componentes. Esto permitirá a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.

4.2.3. Mantenimientos proactivos

Este mantenimiento tiene como fundamento los principios la colaboración, iniciativa propia, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en el mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar concientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento.

Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente. El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el Plan Estratégico de la organización. Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes) hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores.

4.2.4. Mantenimientos correctivos

Este mantenimiento tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un error en el equipo o sistema. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para tomar medidas de corrección de errores. En los parques eólicos siempre se deberá contar con el equipo de mantenimiento esencial para poder superar las fallas o errores de emergencia.

4.3. Recursos necesarios

Para lograr que los equipos de generación eléctrica por medio eólico se deberá contar con diversos recursos los cuales son:

1. Mano de obra calificada.
2. Herramientas y equipo para el trabajo.
3. Set de equipos de repuestos, que incluirá, mangueras de hidráulico, cojinetes y fricciones para el freno.

4. Aceites, grasas, líquido hidráulico y refrigerantes como materias secundarias para la realización de los trabajos.

4.4. Mantenimiento a los componentes

Cada uno de los componentes del aerogenerador llevará inspecciones y reparaciones en determinado momento, para lo cual será necesario el tener hojas de control de cada acción.

A continuación se muestran algunas de las principales fichas de control a llevar:

Tabla III. Ficha de control de trabajos.

No. De _____
 Orden: _____
 Fecha: _____

Figura 7. Nombre del Mecánico: _____
Orden de Nombre del Ayudante: _____
Trabajo por día No. De turbina: _____

Componente inspeccionado.	Descripción de los trabajos	Tiempo utilizado (Hrs.)

Requisiciones aplicadas

No. Req.:

--	--	--	--	--

 Fecha:

--	--	--	--	--

Tiempo estimado: Tiempo real

Observaciones:

Tabla VI. Ficha de registro de datos de campo.

	Identificación del sitio		_____
Observador:	_____	Fecha	_____
	Lecturas al llegar		Lecturas al retirarse
Velocidad		Velocidad	
Torre1	_____ m/s	Torre1	_____ m/s
Torre 2	_____ m/s	Torre 2	_____ m/s
Torre 3	_____ m/s	Torre 3	_____ m/s
Torre 4	_____ m/s	Torre 4	_____ m/s
Torre 5	_____ m/s	Torre 5	_____ m/s
Hora:	_____	Hora:	_____
Temperatura:	_____	Temperatura:	_____
Voltaje	_____	Voltaje	_____
suministrado:	_____	suministrado:	_____

Observaciones:

El mantenimiento que llevarán los principales componentes se presenta a continuación:

4.4.1. Mantenimiento de góndola

El mantenimiento para la góndola será, el de aplicar revisiones visuales de la cobertura de pintura, desgastes en el metal, o bien oxidaciones y corrosiones. Para la aplicación de la pintura se deberá aplicar una base anticorrosiva de un color fuerte a la góndola, tanto dentro como fuera de ella, luego una pintura de látex de color claro para el exterior, esto se hace así con el fin de visualizar los defectos en la pintura, golpes o rapaduras en la superficie y así detectarlos de una manera mas fácil. El pintar las góndolas está únicamente bajo el criterio de protegerlas, así que la frecuencia con la que se realice será dependiendo del maltrato que tengan, así como el clima al cual estén sometidas, o bien por criterios puramente estéticos.

4.4.2. Mantenimiento de palas del rotor

Las palas al igual que la góndola llevarán la misma revisión de pintura, pero estas palas serán inspeccionadas en períodos aproximados de 3 meses, para observar que no hayan sido dañadas por algún objeto mayor, que pueda causarles algún agrietamiento, ya que al estar trabajando con velocidades de viento altas, un simple daño puede provocar el rompimiento de las palas.

4.4.3. Mantenimiento del buje

Estos deberán de realizarse en períodos aproximadamente de 2 a 3 meses, o bien cuando el análisis de vibraciones (si es que se tiene) demuestre algún tipo de problema en los ejes, aquí se deberá revisar el estado de los bujes, así como se dará una limpieza y engrase, para lo cual será necesario el desmontaje de los ejes.

4.4.4. Mantenimiento de los ejes

Los ejes llevarán especial cuidado en los extremos de cada unos, donde se verificará que estos no estén dañados, así como que se encuentre totalmente centrados para no causar desajustes, si estos estuvieran en buenas condiciones únicamente requerirán su lubricación.

4.4.5. Mantenimiento de caja multiplicadora

La caja multiplicadora es una de las más especiales para su cuidado, aunque esta tiene un tiempo de funcionamiento bastante alto, se recomienda realizarle análisis de aceite cada 2 meses, estas revisiones se harán por medio del envío de muestras a laboratorios especializadas, donde se dará resultados de los metales encontrados en el aceite y de esta manera se sabrá si algunas de las piezas necesitan cambios. Por lo general únicamente presentarán cambios de los lubricantes utilizados, y revisión de ajustes de las piezas.

4.4.6. Mantenimiento del freno

En la revisión para el mantenimiento del freno se revisará, en el eje de alta velocidad que es donde se encuentra ubicado, aunque algunos equipos poseen además un freno en el eje de baja velocidad.

La revisión será:

- Comprobar que no exista fricción sobre el eje cuando los frenos no estén siendo accionados.
- Revisar las pastillas friccionantes a manera que no estén muy desgastadas.
- Comprobar que al accionar los frenos no den ningún ruido fuera de lo común.
- Verificar el tiempo en el cual se detiene totalmente.

4.4.7. Mantenimiento de los mecanismos de orientación

El sistema de orientación llevará algunas revisiones, como lo son la revisión del estado de los anemómetros, y los sensores que darán los comandos a la unidad de orientación, la unidad de orientación electrónica, deberá ser revisada por medio de software y muchas veces incluye ella misma sus revisiones periódicas, en lo concerniente a la parte mecánica, únicamente el motor de direccionamiento se revisará su limpieza y funcionamiento ya que este es un motor eléctrico, y en la corona dentada su revisión de no desgaste y lubricación.

4.4.7. Mantenimiento del sistema hidráulico

Este sistema tendrá revisiones de:

- Niveles de fluido hidráulico.
- Funcionamiento de bombas.
- Revisión de fugas en mangueras
- Revisión de perfecta presión en abrazaderas.

4.4.9. Mantenimiento a unidad de enfriamiento

La unidad de enfriamiento deberá de revisarse algunos de los puntos que se muestran a continuación, así como proporcionar limpieza a cada uno del equipo.

- Limpieza del radiador.
- Niveles de refrigerante
- Fugas en radiador y mangueras
- Funcionamiento de bomba del refrigerante
- Funcionamiento de los sensores e indicadores en paneles de control.

5. FACTORES AMBIENTALES Y ECONÓMICOS RELACIONADOS CON LOS AEROGENERADORES

Todo proyecto debe ser analizado de una manera crítica para conocer los pormenores que representará su puesta en funcionamiento, entre los factores más importantes encontramos:

5.1. Factores ambientales.

Uno de los puntos más importantes a cumplir son los factores ambientales, esto con el fin de no perjudicar el medio ambiente y que el proyecto no represente una amenaza.

Para su cumplimiento se apoyara con la legislación existente para estudios de impacto ambiental en Guatemala, principalmente en él artículo 23-2003, la Ley del Medio Ambiente y La Ley General de Electricidad y normas internacionales relacionadas a la conservación del medio ambiente.

5.1.1. Impacto en el uso de las tierras

El principal impacto que se dará en las tierras utilizadas por un proyecto de tipo eólico, serán las modificaciones que se le den al mismo, es decir en su rigurosidad, la creación de vías de acceso, creación de centros de control en cercanías de las torres, nivelación del terreno para las cimentaciones, elaboración de zanjas para los ductos eléctricos, líneas de comunicación y drenajes.

Todo esto comparado con otras instalaciones generadoras de energía eléctrica vienen siendo mínimas.

5.1.2. Impacto del ruido

Los equipos requeridos para la implementación de los parques eólicos cuentan con certificaciones internacionales emitidas por entidades reconocidas en el ámbito mundial, las cuales exigen que los equipos consideren medidas especiales para reducir el impacto del ruido en el entorno, pero como regla general no deben existir poblados en un alrededor de 200 metros alrededor de las torres instaladas. Aunque el ruido producido por un aerogenerador está en los límites permisibles legales, siendo este de aproximadamente de unos 30 decibeles a una distancia de 200 metros.

5.1.3. Impacto visual

El impacto visual producido por los aerogeneradores es bastante subjetivo, ya que algunos lo ven como embellecer los paisajes ya que son edificaciones muy elegantes y con gran atractivo, principalmente las torres tubulares con rotores tripala, mientras que otros lo ven con desacuerdo debido a las modificaciones del paisaje.

En esto se deberá tener mucho cuidado con las quejas que los habitantes en el caso de existir en los alrededores.

5.1.4. Impacto biológico y ambiental

Será necesario considerar las ubicaciones de los aerogeneradores ya que muchas veces podrían estar ubicados en áreas en las cuales cause mucho daño, por lo cual debe considerarse que:

- No este en un ecosistema que se pueda considerar sensible.
- No sea ruta de aves migratorias.
- No hay reservas forestales ni parques naturales en el área.
- No existan aves en peligro de extinción.

5.1.5. Modificaciones al entorno

Algunas de las modificaciones que traerá este tipo de proyectos será la eliminación de árboles donde se ubicarán las torres, puestos de control y equipo. Además de las modificaciones del suelo al crearse nuevos caminos y carreteras. Los nuevos accesos generalmente traen consigo mejoras para los poblados cercanos, ya que representa una mejorada vía de comunicación.

5.1.6. Impacto al entorno social

La creación de proyectos de generación eléctrica por medio eólicos trae consigo un impacto positivo en la economía y la sociedad de la región, considerando que se necesita la utilización de mano de obra, que radique en las cercanías del lugar.

Esta creación de nuevas plazas para trabajadores trae consigo el mejoramiento de la calidad de vida de algunas de las familias de la zona y también afecta en nuevos empleos para todo el lugar donde se lleve esta energía.

5.2 Factores económicos

Todo proyecto se realiza únicamente si trae consigo algún tipo de beneficio, es por ello que es necesario analizar los factores económicos, entre los más relevantes tenemos:

5.2.1. Análisis de costos

El costo de la generación de electricidad por medios eólicos puede ser estimado como cualquier otra forma de generación, distribuyendo los costos entre costos de capital y costos de operación, cuando este ya se encuentra en funcionamiento.

$$\text{Costo de energía} = \text{Costo de Capital} + \text{Costo de operación}$$

Este análisis tendrá como objetivo determinar hasta qué punto es factible el convertir un proyecto eólico en un negocio verdaderamente rentable. Para lo cual se presentarán en manera mas detallada los puntos más importantes para el análisis.

5.2.1.1. Costos de capital

El capital utilizado en el proyecto tiene un costo que debe ser pagado, ya que debe satisfacer los deseos de utilidad del que lo proporciona. Esta obligación del usuario debe considerarse como su costo por usar el capital.

Se deberá acordar el porcentaje de este pago, el cual deberá tomarse de común acuerdo por medio de negociaciones y a realizarse de manera totalmente legal, por medio de contratos. Esta tasa acordada a pagar por el uso del capital, se comprenderá en el capital tanto externo como el interno.

5.2.1.2. Costo de instalación

Los costos de instalación variarán dependiendo de las condiciones y ubicación donde se realizara el proyecto, los cuales deberán ser calculados para un buen análisis, entre estos costos tenemos:

Uso de la tierra: se refiere al costo de arrendamiento del terreno, el cual es considerado como parte del costo de operación e instalación el tiempo que no se encuentra produciendo a nivel comercial, así como los pagos de derechos de paso para las líneas de transmisión.

Cimentaciones: Estarán involucrados todos los costes de arrendamiento de maquinaria, mano de obra, etc, o bien se podrá incluir como un sólo paquete si esta operación es realizada en su totalidad por alguna tercera empresa.

Líneas de recolección de energía: se incluye el diseño y la construcción del sistema de cableado para las líneas de recolección de energía y la integración del sistema de cableado para la radio comunicación.

Instalación de los equipos: considera todo lo relacionado para la instalación de los distintos equipos.

Equipo electromecánico: incluye la colocación de todos los componentes electromecánicos, como las casetas de control, unidades de supervisión, etc.

5.2.1.3. Costos anuales de operación y mantenimiento

Aunque buena parte de los costos mayores relacionados con la operación y mantenimiento de los equipos eólicos se mencionan en el costo de capital, siempre existen costos que son independientes a la producción de energía, tales como lo son mantenimientos bajo programa, control de rendimientos, administración, personal operativo y de seguridad. Además existen otros gastos de operación y mantenimiento variables y generalmente se refieren a personal técnico y administrativo, básico y de tiempo parcial, estos con el fin de revisar las actividades de oficina diarias y el control de las turbinas. Además existe equipo básico de mantenimiento responsable del mantenimiento preventivo y correctivo del equipo. Así como también el personal de servicio general para la limpieza y mantenimientos preventivos de los edificios y caminos. Por último incluye elementos de seguridad para el resguardo de las instalaciones y equipos. Para establecer los costos de operación y mantenimiento por año será necesario realizar un desglose general de los costos.

A continuación se presenta un cuadro donde se detallan los costos de operación y mantenimiento estimados para un proyecto eólico en el departamento de Escuintla, Guatemala.

Tabla VII. Costos de operación y mantenimiento general.

Costo de operación y mantenimiento general	unidades	Monto Días	Costo/Unidad	Costo proyecto
* Repuestos	Turbinas	30	US\$ 8000	US\$ 280,000
Mano de obra				
Mantenimiento bajo programa (4)	Jornales	1352.00	US\$ 40	US\$ 54080
Mantenimiento fuera de programa(2)	Jornales	390	US\$ 80	US\$ 31200
Administrativo (1)	Jornales	195	US\$ 100	US\$ 19500
Asistente (1)	Jornales	338	US\$ 25	US\$ 8450
Operadores (4)	Jornales	1352	US\$ 20	US\$ 27040
Seguridad (2)	Jornales	676	US\$ 16	US\$ 10816
Servicios generales (1)	Jornales	338	US\$ 16	US\$ 5408
Total en mano de obra				US\$ 156494
Arrendamiento	Porcentaje	3%		US\$ 107640
Total				544134

* Los precios de repuestos y utensilios para mantenimiento fueron proporcionados por Southwest Technology development Institute. EEUU.

El salario de las personas responsables está estimado considerado 26 días al mes y con 13 días al año debido a las prestaciones laborales.

Con respecto a lo administrativo se supone la contratación de un gerente general que estará a cargo de velar por toda la actividad administrativa del parque eólico.

El asistente estará para apoyar las actividades del gerente general, y dedicará su tiempo y sus responsabilidades al manejo de la papelería y control administrativo.

Se considera la contratación de 4 operadores que atenderán los sistemas de control de los aerogeneradores, a fin de entrar y salir del sistema con la menor pérdida posible.

Además se ha tomado en consideración la contratación de 2 personas de seguridad del parque eólico así como 4 personas para el mantenimiento y funcionamiento de los aerogeneradores.

5.2.2. Análisis financiero

Para analizar correctamente un proyecto de generación por medios eólicos es necesario adecuar el análisis financiero del sitio a una visión de futuro, se consideran aspectos relacionados con la tendencia mundial. Entre los cuales encontramos los siguientes puntos:

5.2.2.1. Financiamientos

En la mayor parte de los proyectos se deberán realizar sobre la base de financiamientos, los cuales deben ser cuidadosamente analizados para determinar que porcentaje del capital corresponderá a inversionistas y que parte a financiamientos bancarios, así como hasta que porcentaje del mismo es factible pagar en intereses por dicho financiamiento.

5.2.2.2. Estructura financiera de operación

La estructura financieras, dependerá de las partes que intervengan en el proyecto y operación, estas deberán regirse de acuerdo a la legislación existente, tomando en consideración desde el personal administrativo, inversionistas hasta llegar al personal de control de las turbinas. Los cuales estarán regidos por la legislación existen en el país.

5.2.2.3. Aportaciones extras

Aunque no existe una legislación aprobada para la realización en estos proyectos, se tiene en consideración aperturas para el capital privado tanto externo como accionario. Esto se convierte en oportunidad para inversionistas nacionales e internacionales, a que participen desde el principio en los costos y beneficios del proyecto.

5.2.2.4. Generación de energía

Otro factor decisivo en un proyecto eólico será la generación de energía neta, teniendo siempre en mente la utilización máxima de la extensión del terreno disponible, se tiene como media para análisis en el país de Guatemala, los parques con 35 aerogeneradores, con diámetros de aspas de los rotores que oscilan entre los 40 y 45 metros, con esto se estarían obteniendo un promedio de 21 MW, pero esto se debe descontar factores de pérdida y arreglos durante la entrega lo cual viene siendo de un 28.38 %, tomando estudios realizados en diversos países, con lo cual se tendría una producción neta anual de 54.85 GWh por cada parque eólico instalado.

5.2.2.5. Tarifa de la generación

Las tarifas que se tendrán en consideración para el análisis financiero, deberán ser lo más próximas a las que se utilizaran en los contratos privados, estas tarifas históricamente han sido consideradas para contratos en situaciones de emergencia o situaciones circunstanciales que imperan durante la época de negociación, claro está que aunque estas no se han dado para generaciones por medios eólicos, no existe fórmula o procedimiento definido para hacer estas estimaciones. Sin embargo, la ley establece que es el mercado mayorista el que establecerá transparentemente la tarifa de compra, en condiciones normales la tarifa se ha mantenido en los últimos años entre los 0.055 y 0.09 dólares el kilowatt por hora.

La información anemométrica presentada en los estudios de velocidades y direcciones del viento en las distintas épocas del año, permite establecer a conveniencia el recurso a utilizar para producir energía eléctrica en aquellas temporadas en las cuales la oferta hidroeléctrica o bien cualquier otra forma de generación es alta, lo cual lleva consigo la baja de los precios hacia los demandantes. Para obtener una buena decisión sobre la tarifa de generación es necesario la intensificación de la anemometría en el sitio donde este establecido el parque, con esto se tendrá información suficiente para establecer con mayor detalle el monto de potencia que podrá obtenerse y así poder establecer las tarifas correspondientes.

5.2.3. Criterios para la evaluación económica

Un análisis económico involucrará muchos parámetros y desembolsos relacionados para costos de capital, operaciones, mantenimientos y reemplazo, así como también los ahorros y otros beneficios que produce el proyecto eólico. Se espera que el análisis y los criterios tomados sean diferentes para cada ubicación, donde algunos factores influirán más que otros, pero para cualquier análisis se podrán incluir los siguientes principios:

5.2.3.1. Costos y beneficios

Los costos económicos y los beneficios que pueden ser cuantificables en valor monetario representará únicamente una parte de la información para la toma de decisiones, los costos intangibles como los beneficios intangibles (crecimiento de mejores energías, prestación de un mejor servicio, etc), son reales aunque difíciles de cuantificar en unidades monetarias, para una valoración adecuada es recomendable enumerar todos los factores tangibles e intangibles de la manera mas explicita posible e intentar cuantiarlos, aún cuando las dimensiones no sean monetarias. De esta manera se podrá comparar todos los costos y beneficios con un entendimiento mayor, facilitando las evaluaciones.

5.2.3.2. Análisis de sensibilidad

Existen muchas razones que llevarán a la realización de un análisis económico complicado, incluyendo unidades de costo, tasas de interés, tasas de productividad, tasas de desarrollo, etc., así como decisiones tales como quién instalará las maquinarias y en que período de tiempo, la magnitud de penetración y el tipo de componentes que se utilizarán.

El análisis económico deberá ser un proceso exploratorio, en el cual los resultado de un numero de valores alternativos de las suposiciones y decisiones sean comparadas.

El análisis de sensibilidad debe ser desarrollado con la mayoría de parámetros de importancia para ver como estos afectarán el modelo. Por ejemplo, analizar cuestiones como el impacto que puede tener el incremento en el número de técnicos de instalaciones, el precio de tierras en determinadas áreas. Todo esto con el fin de realizar variaciones y conocer el comportamiento que se dará al realizar diversos cambios.

5.2.3.3. Devaluación de la moneda

Es conocido que el valor de la moneda cambia con el tiempo, el valor de la moneda del mañana es menor al de hoy. Esto debe ser ajustado por medio de un factor de descuento para los cálculos económicos y financieros correspondientes. Para el cálculo en las empresas privadas este debe ser el promedio, después de aplicar el impuesto de la tasa de petición de préstamo y la tasa esperada de retorno. El análisis se puede realizar ya sea con la tasa de descuento real (libre de inflación) o la tasa de descuento nominal, reflejando el costo actual de la moneda en la empresa. La tasa con la cual la empresa puede pedir prestado generalmente es mayor que la tasa de descuento real.

5.2.3.4. Comparación de alternativas

En todo proyecto es imprescindible el considerar otras formas de obtener los mismos resultados, lo cual debe ser analizado con anterioridad para saber nuestras alternativas en producción, en nuestro caso que será la producción de energía eléctrica por medios eólicos, necesitaremos considerar otras maneras de producción de energía por medios renovables, entre estos podemos encontrar, la energía mareomotriz, fotovoltaica, paneles solares y biomasa.

5.2.3.5. Perspectivas de planeación.

Existen diferentes dimensiones de la planeación de proyectos eólicos, entre las cuales destacan tres, las cuales deben ser consideradas con igualdad. La primera es una perspectiva puramente económica como lo son los análisis por medio de valor presente neto del proyecto. La segunda es una perspectiva financiera, involucrando costos de inversión de capital en el proyecto, gastos de depreciación y flujos de caja. Para empresas que se dedicarán a ser proveedoras probadas se toman también factores como, la diferencia entre depreciaciones del contrato y depreciaciones de impuestos. La tercera perspectiva se refiere al impacto de las tarifas de los clientes.

Estas tres perspectivas se encuentran muy estrechamente relacionadas entre sí, por eso una afectará de manera directa en la otra.

5.2.3.6. Criterios de evaluación

Existen diversos criterios de evaluación a considerar para la evaluación de un proyecto eólico, pero el que marca buena parte de las decisiones es el análisis económico el cual posee, varias técnicas aplicadas, como lo son indicadores de costo-beneficio, el valor actual neto. Es necesario considerar aspectos legales, políticos y ecológicos para un buen cumplimiento de todas las normas establecidas para generación de este tipo de energía.

5.2.3.7. Puntos de decisión en el análisis económico

Algunas de las suposiciones estratégicas deberán ser consideradas en distintas etapas de análisis, entre las que se deben considerar tenemos, la política con la cual trabajara la empresa, tanto la de producción eólica como a quien se venderá la energía producida, sistemas de contratación de personal, precios a que se venderá la energía producida, etc.

Estos puntos son esenciales para la toma de una adecuada decisión, ya que variaciones en estas pueden causar grandes variaciones en los cálculos de viabilidad del proyecto.

CONCLUSIONES

1. La energía eólica ha tenido un aprovechamiento poco significativo a lo largo de la historia, es hasta la actualidad que esta modalidad de generación eléctrica cubre ya muchas de las demandas en varios países.
2. Luego de analizar las características de la energía eólica podemos situarla entre una fuente de energía bastante rentable, debido a sus bajos costos de instalación y mantenimiento, en comparación con otros métodos de generación eléctrica, además de tratarse de una manera de producción que provoca menos cambios perjudiciales al medio ambiente.
3. Los diversos tipos de aerogeneradores que se han producido han tenido varias ventajas en mantenimiento, niveles de producción y su eficiencia, siendo el que presenta mayores ventajas, el modelo tripala de eje horizontal; debido a su poco impacto en el medio ambiente, éste ha permitido que la generación eléctrica por medios eólicos sea competitiva con otros medios de generación como lo son la energía solar, que presenta la desventaja de poseer costos de instalación bastante altos; energía térmica, que no se puede situar en los lugares deseados sino debe ubicarse en lugares especiales, y con la energía por medios de combustión que provoca mayores daños al medio ambiente.

4. El funcionamiento de los aerogeneradores presenta un mecanismo fundamentalmente basado en el aprovechamiento de la energía de los vientos, el cual hace girar las aspas que son movidas por la diferencia de presiones realizada por su diseño aerodinámico, cuyo giro es capturado y llevado a una caja convertidora de potencia, donde aumenta las revoluciones y disminuye la potencia de las mismas, estas revoluciones hacen actuar a los generadores de energía eléctrica y esta energía producida es posteriormente transformada a niveles utilizados, almacenada y distribuida por las líneas de transmisión.

5. Para una instalación adecuada de todo el equipo aerogenerador será necesario:
 - Tener espacio físico adecuado.
 - Realizar los análisis de suelos para diseñar una cimentación adecuada
 - Construir las cimentaciones conforme a los datos recolectados en el análisis de suelos y recomendaciones del fabricante.
 - Prever la ubicación de los anclajes sobre suelo.
 - Montar el equipo con todas las precauciones y pruebas posibles.

6. Los cuidados a tener en el montaje y la instalación del equipo son las siguientes:
 - Esperar que las cimentaciones tengan un fraguado completo, nunca se deberán realizar trabajos si la cimentación aún no ha secado.
 - Probar el funcionamiento de todos los componentes posibles antes de su montaje.

- Contar con personal capacitado y con asesoramiento de los proveedores para evitar provocar daños al equipo.
- No poner en marcha el equipo en conjunto hasta después de las revisiones de montaje y lubricaciones.

7. Los principales factores económicos y financieros que intervienen en la creación de un proyecto de generación eléctrica por medios eólicos son:

- Beneficios que se puedan percibir.
- Evaluar las alternativas que pueden implantarse.
- Tiempo en el que se recupera la inversión.
- Tarifa a la cual podrá ser vendida la energía.

8. En la implementación de aerogeneradores, sus principales efectos en el entorno son sus modificaciones al paisaje, algunas veces causa impacto en la avifauna debido a que donde son colocados, son vías habituales de migración y anidación, así como un efecto bajo en el impacto sonoro, con lo cual se tendrán que evitar poblados a 200 metros a la redonda. En el ámbito social esto llevará nuevas y mejores vías de comunicación.

RECOMENDACIONES

1. Crear políticas de descentralización y diversificación de las producciones de energía eléctrica en el país, si ésta no pudiese ser utilizada por la totalidad de los que la necesitan, es una buena alternativa para lugares donde no exista alguna otra fuente de generación o bien como complemento de otras alternativas de energía.
2. El uso de tecnologías descentralizadas para modernizar y minimizar el impacto en el suministro de energía, sería importante principalmente en zonas rurales. La energía eólica es una excelente opción que se debe proporcionar debido a que el suministro de energía eléctrica puede significar el puente hacia el progreso de cualquier localidad en Guatemala.
3. Para las labores de mantenimiento es importante contar con existencia de repuestos, debido a que las fábricas de estas maquinarias se encuentran bastante distantes de nuestro país; en general es recomendable incluir en la existencia de repuestos:
 - Aspas: previniendo posibles daños por descargas eléctricas o bien por fallas por fatiga.
 - Filtros de aceite y fluido hidráulico.
 - Sistemas de control completo lo que incluye PLC y software.
 - Embragues.
 - Generador.
 - Caja multiplicadora.

- Motor de sistemas de alineación.
 - Anemómetros y sensores.
 - Fricciones de freno.
 - Transformadores de tensión eléctrica.
 - Capacitores eléctricos.
4. Es necesario estar siempre alerta de nuevos equipos y mejoras, no sólo con aerogeneradores sino también en otras formas de generación de energía, ya que estos pueden variar significativamente las decisiones tomadas en los análisis financieros, técnicos e impacto al ambiente.
5. Los factores críticos para determinar las decisiones económicas en la implantación de un proyecto eólico serán, la capacidad de producción que se tendrá, así como el costo inicial de instalación. También tendrá gran interés el valor de la unidad de energía disponible en tecnologías competitivas y el precio al cual se puede vender la energía eléctrica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Carless, Jennifer. **Energía renovable**. EDAMEX México 1995. 245 pp.
2. Energy Research Association. **User's Manuel 9200-Plus NRG Logger**. Atlanta USA. 1997. 121 pp.
3. Funsolar. **Informe Eólico 2003**. Funsolar. Guatemala Guatemala 2003.39 pp.
4. Insivuhmeh. **Estudio de puntos eólicos en Guatemala**. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología y Oficina Regional para Centroamérica de Biomasa User Network. Guatemala Guatemala 1999. 109 pp.
5. Morales, Edward. **El viento en Centroamérica**. National Rural Electric Cooperative Association. 1996. 45 pp.
6. Nrg, Systems. **Generation of Wind Power**. Dinamarca 2001. 186 pp.
7. Rohatgi, Janardan y Vaughn Nelson. **Wind Characteristics**. Burgess Publishing. Texas USA. 1994. 239 pp.
8. Salce, George Leonel. **Viento y energía**. Pontificia Universidad Católica Madre Maestra. Santiago, República Dominicana 1987. 244 pp.
9. Snel, Herman. **Generación eléctrica por energía Eólica**. Asociación para la Investigación y Desarrollo en energía y Ambiente. San José Costa Rica 1999. 540 pp.
10. Southwest Technology Development Institute. Informe Parque Buenos Aires Guatemala. EEUU 2000. 25pp.

11. Usac. **Guía para los Cursos de Montaje y Mantenimiento de Equipo y Vibraciones Mecánicas**. Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería. Guatemala, Guatemala 2003. 147 pp.

Internet:

1. Asociación Europea de la energía Eólica www.britishwindenergy.co.uk, Enero 2005.
2. Cuba Solar www.cubasolar.cu, Noviembre 2004.
3. Directorio Global de Tecnologías Ambientales www.eco-web.com, Octubre 2005.
4. Nordex www.homepages.mty.itesm.mx, Enero 2005
5. Universidad Técnica de Dinamarca www.windata.com, Diciembre 2004.
6. Vestas Wind Sistem www.vestas.com, Septiembre 2004.
7. Wind Power Monthly www.windpower-monthly.com, Enero 2005.

ANEXOS

SISTEMAS FOTOVOLTÁICOS E HÍBRIDOS.

¿Qué son?

Las celdas fotovoltaicas son dispositivos que producen electricidad bajo la acción de la luz solar. Se construyen de materiales de estado sólido y no tienen partes móviles, fluidos a presión o altas temperaturas. Las celdas individuales se unen entre sí eléctricamente para formar módulos fotovoltaicos de mayor potencia. Estos a su vez se interconectan para formar paneles y arreglos cuyas capacidades se adaptan en términos de corriente y voltaje a las necesidades de la aplicación.

Un sistema fotovoltaico incluye módulos, paneles o arreglos fotovoltaicos (según las necesidades de la aplicación) como elemento de generación eléctrica, más un conjunto de dispositivos electrónicos para acondicionar la potencia. Para su aplicación en sitios remotos, por lo general, incluyen también baterías para almacenar la electricidad producida durante el día, para uso en períodos nocturnos o en días nublados. Las celdas fotovoltaicas producen corriente directa, que requiere ser convertida a corriente alterna para ciertas aplicaciones, lo que se realiza mediante un equipo conocido como inversor.



Contexto de aplicación:

Tanto los sistemas fotovoltaicos como los sistemas híbridos eólico-solar, representan una opción técnicamente viable para el suministro de electricidad en sitios remotos donde no se tiene acceso a la red eléctrica. Por lo general, estos sitios son de difícil acceso y carecen de infraestructura básica como carreteras, telecomunicaciones, agua potable y drenaje. Además, la población en las comunidades rurales tiene bajos niveles de escolaridad, cuenta con muy escasos recursos económicos, y su experiencia en el uso de la electricidad es prácticamente nula.

De esta forma, introducir sistemas fotovoltaicos o híbridos en comunidades rurales es un proceso de innovación tecnológica en sociedades que viven con atrasos de hasta cientos de años. Por ello, introducirlos no es asunto fácil, ya que se involucran aspectos técnicos, sociales, institucionales, económicos y políticos. En suma, la sostenibilidad de largo plazo es el principal reto para la transferencia de tales sistemas en el medio rural de los países de la región.

Estado de la tecnología disponible:

Los módulos fotovoltaicos se producen en una variedad de capacidades, de unos cuantos watts hasta varios cientos de watts de

potencia. Hoy en día se introducen anualmente al mercado mundial cerca de 500 Megawatts de módulos fotovoltaicos, de los cuales alrededor de 25 % se destinan a aplicaciones en zonas remotas. Existen además importantes compañías que producen y comercializan el resto de los componentes que se incorporan a los sistemas fotovoltaicos, y otras que integran e instalan sistemas híbridos.

Barreras para la introducción

Una de las principales barreras a la introducción de sistemas fotovoltaicos e híbridos para zonas rurales, es el desconocimiento de la tecnología por parte de los organismos e instituciones que tienen la responsabilidad de llevar electricidad, y los servicios de base eléctrica a las comunidades en estas zonas.

La capacitación a los miembros de la comunidad, para la adecuada comprensión de las características y posibilidades de uso, operación y mantenimiento de los sistemas, así como para la adecuada gestión del suministro eléctrico, es también una barrera importante que de no ser eliminada, pone en riesgo la sostenibilidad de los sistemas y de los programas.



Otra barrera importante es la disponibilidad de servicios post-venta para el reemplazo de partes y componentes, la expansión de la capacidad de los sistemas, y la actualización de los mismos mediante la incorporación de nuevas tecnologías que aparecen en el mercado.

Finalmente, la disponibilidad de financiamientos es imprescindible para la expansión de los programas, al igual que para el mantenimiento, la adquisición de partes, componentes y nuevos sistemas. Hasta ahora, muchos de los programas para la introducción de los sistemas fotovoltaicos e híbridos se originan con financiamientos asistenciales, por lo que su instalación es poco probable sin otro tipo de fondos.

Fuente: http://www.energia.usp.br/rittaer/sist_fotovoltaicos_e_hibridos.htm

