



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA EL
SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD DE BAJA
POTENCIA, A TRAVÉS DE ENERGÍA EÓLICA”**

CHACHAPOYA VELOZ CÉSAR AUGUSTO

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2011

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2011-05-16

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

CÉSAR AUGUSTO CHACHAPOYA VELOZ

Titulada:

**“ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA EL SUMINISTRO DE
ELECTRICIDAD DE BAJA POTENCIA, A TRAVÉS DE ENERGÍA EÓLICA”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Gilberto Zabala N
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Washington Ruales P
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: CÉSAR AUGUSTO CHACHAPOYA VELOZ

TÍTULO DE LA TESIS: “ESTUDIO TÉCNICO ECONÓMICO PARA EL SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD DE BAJA POTENCIA, A TRAVÉS DE ENERGÍA EÓLICA ”

Fecha de Examinación: 2011-12-13

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Geovanny Novillo Andrade PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Gilberto Zabala N. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Washington Ruales P. (ASESOR)			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Geovanny Novillo Andrade
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

César Augusto Chachapoya Veloz

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por iluminarme y bendecirme siempre. A mis padres y hermanas por su apoyo incondicional.

A la carrera de Ingeniería Mecánica por formarme personal y profesionalmente.

A mis compañeros de estudios y amigos

A todas las personas que de una u otra manera me apoyaron.

César Augusto Chachapoya Veloz.

DEDICATORIA

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

A mis padres: César Augusto Chachapoya Guanoluisa y María Josefa Veloz Lema quienes fueron fuente de inspiración y ejemplo, cuyo amor incondicional me conforta en cualquier situación.

A mis hermanas: Cristina, Raquel e Isabel que día a día comparten conmigo su alegría de vivir, gracias por todo su amor, afecto, comprensión y apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros, con los cuales he compartido gratos momentos.

César Augusto Chachapoya Veloz.

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	1
1.3 Objetivos	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. MARCO TEÓRICO: LA ENERGÍA EÓLICA Y LOS DIFERENTE AEROGENERADORES DE ELECTRICIDAD.	
2.1 Energías renovables	3
2.2 Energía eólica	3
2.2.1 <i>Formación de vientos</i>	4
2.2.2 <i>Ventajas y desventajas</i>	5
2.2.2.1 <i>Ventajas</i>	5
2.2.2.2 <i>Desventajas</i>	7
2.3 Tipos de aerogeneradores	7
2.3.1 <i>Por la posición del aerogenerador</i>	7
2.3.1.1 <i>Eje vertical</i>	7
2.3.1.2 <i>Eje horizontal</i>	12
2.3.2 <i>Por la posición del equipo respecto al viento</i>	12
2.3.2.1 <i>A barlovento</i>	12
2.3.2.2 <i>A sotavento</i>	13
2.3.3 <i>Por el número de palas (Aspas)</i>	14
2.3.3.1 <i>Una pala</i>	14
2.3.3.2 <i>Dos palas</i>	14
2.3.3.3 <i>Tres palas</i>	15
2.3.3.4 <i>Multipalas</i>	16
2.4 Componentes del aerogenerador	16
2.4.1 <i>Góndola</i>	17
2.4.2 <i>Palas del rotor</i>	17
2.4.3 <i>Buje</i>	17
2.4.4 <i>Eje de baja velocidad</i>	17
2.4.5 <i>Multiplicador</i>	17
2.4.6 <i>Eje de alta velocidad</i>	17
2.4.7 <i>Freno mecánico</i>	17
2.4.8 <i>Generador eléctrico</i>	17
2.4.9 <i>Mecanismo de orientación</i>	18
2.4.10 <i>Unidad de refrigeración</i>	18
2.4.11 <i>Anemómetro y veleta</i>	18
2.4.12 <i>Torre</i>	18
2.4.12.1 <i>Torre Tubular</i>	18
2.4.12.2 <i>Torre de mástil tensado</i>	18
2.4.12.3 <i>Torre de celosía</i>	19
2.4.12.4 <i>Torre híbridas</i>	19
2.4.13 <i>Pararrayos</i>	19
2.4.14 <i>El transformador</i>	19
2.4.15 <i>Rotor</i>	19
2.5 Situación actual de la energía eólica en el país	19
2.5.1 <i>Potencial eólica en el país</i>	20

2.5.1.1	<i>Proyectos eólicos en el país</i>	20
2.5.2	<i>Barreras a la energía eólica</i>	22
2.5.2.1	<i>Barreras tecnológicas</i>	22
2.5.2.2	<i>Integración a la red</i>	22
2.5.2.3	<i>Falta de proyectistas, instaladores y mantenedores capacitados</i>	23
2.5.2.4	<i>Desconocimiento del potencial que las tecnologías de energía eólica pueden ofrecer al Ecuador</i>	23
3.	ANÁLISIS DE AEROGENERADORES PROBABLES DE USO, Y SELECCIÓN DEL MÁS ADECUADO.	
3.1	Descripción del problema	24
3.1.1	<i>Justificación</i>	24
3.1.2	<i>Tecnología existente</i>	24
3.1.3	<i>Aplicaciones de diseño</i>	24
3.2	Metodología de diseño	25
3.3	Estructura de funciones	27
3.3.1	<i>Entradas</i>	27
3.3.2	<i>Salidas</i>	27
3.4	Generación de alternativas	28
3.4.1	<i>Matriz morfológica</i>	28
3.4.2	<i>Descripción de las alternativas</i>	29
3.4.2.1	<i>Aerogenerador vertical</i>	29
3.4.2.2	<i>Aerogenerador horizontal (tripala)</i>	30
3.4.3	<i>Evaluación técnica-económica de propuestas</i>	31
3.4.3.1	<i>Evaluación técnica</i>	31
3.4.2.2	<i>Evaluación económica</i>	31
3.4.4	<i>Selección de la mejor alternativa</i>	32
3.4.5	<i>Descripción de la mejor alternativa</i>	32
4.	DISEÑO DEL SISTEMA EÓLICO SELECCIONADO	
4.1	Definición de las prestaciones	34
4.2	Estudio energético	34
4.3	Estudio eólico	35
4.3.1	<i>Velocidad del viento</i>	36
4.3.2	<i>Rugosidad</i>	37
4.3.3	<i>Ley de Betz</i>	38
4.3.4	<i>Potencia eléctrica</i>	39
4.4	Selección de la potencia del generador	39
4.5	Selección del inversor	42
4.6	Selección de la batería de almacenamiento	42
4.6.1	<i>Tamaño del sistema de almacenamiento</i>	43
4.6.2	<i>Tipo de conexión de las baterías</i>	44
4.6.2.1	<i>Baterías en paralelo</i>	44
4.6.2.2	<i>Baterías en serie</i>	44
4.7	Cableado	44
4.8	Diseño de la torre	45
4.8.1	<i>Carga muerta</i>	45
4.8.2	<i>Carga por viento</i>	46
4.8.4	<i>Carga por sismo</i>	48
4.8.4.1	<i>Coefficiente de reducción de respuesta estructural</i>	48
4.8.4.2	<i>Coefficiente de zona</i>	48
4.8.4.3	<i>Factor de importancia</i>	48

4.8.4.6	<i>Periodo</i>	48
4.8.4.4	<i>Coeficiente de suelos</i>	49
4.8.4.5	<i>Factores de configuración estructural en planta y elevación</i>	49
4.8.5	<i>Verificación de la torre del aerogenerador</i>	49
4.8.5.1	<i>Cargas ingresadas</i>	50
4.8.5.2	<i>Verificación del estado tensional a través de la razón de esfuerzos</i>	52
5.	ANÁLISIS DE COSTOS	
5.1	Costos asociados con diseño e instalación del sistema eólico	53
5.1.1	<i>Costos directos</i>	53
5.1.3	<i>Costos indirectos</i>	55
5.1.4	<i>Costos totales</i>	55
5.1.5	<i>Periodo de amortización</i>	55
5.1.5.1	<i>Para energía eléctrica</i>	55
5.1.5.2	<i>Para GLP</i>	58
5.1.6	<i>Rentabilidad ambiental del proyecto</i>	61
5.1.6.1	<i>Análisis con GLP</i>	61
5.1.6.2	<i>Análisis con electricidad</i>	64
6.	MANUAL DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO	
6.1	Montaje	66
6.1.1	<i>La captación</i>	66
6.1.2	<i>Determinar el emplazamiento más adecuado</i>	66
6.1.3	<i>Ensamble de la turbina eólica</i>	67
6.1.4	<i>Cableado</i>	68
6.1.5	<i>Montaje de la turbina eólica</i>	69
6.1.6	<i>Conexión del sistema de almacenamiento, inversor, regulador</i>	70
6.1.6.1	<i>Baterías</i>	70
6.1.6.2	<i>Conexión de las baterías al controlador y al inversor</i>	71
6.2	Mantenimiento de los aerogeneradores	72
6.2.1	<i>Mantenimiento correctivo</i>	73
6.2.2	<i>Mantenimiento preventivo</i>	73
6.2.2.1	<i>Buje</i>	73
6.2.2.2	<i>Palas</i>	73
6.2.2.3	<i>Ejes</i>	73
6.2.2.4	<i>Multiplicador</i>	73
6.2.2.5	<i>Freno</i>	74
6.2.2.6	<i>Generador</i>	74
6.2.2.7	<i>Motor de orientación</i>	74
6.2.2.8	<i>Sistema de orientación</i>	75
6.2.2.9	<i>Góndola y corona</i>	75
6.2.2.10	<i>Carcasa</i>	75
6.2.2.11	<i>Torre tubular</i>	75
6.2.2.12	<i>Revisión de baterías</i>	75
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones	76
7.2	Recomendaciones	77

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Localidades con posible interés para generación de electricidad con energía eólica.	20
2	Matriz morfológica.....	28
3	Valoración técnica.....	31
4	Valoración económica.....	31
5	Estudio de la potencia instalada.....	34
6	Exponente α en función de la rugosidad del terreno.....	36
7	Potencial del aerogenerador a diferentes horas.....	40
8	Velocidades nominales a diferente diámetros.....	41
9	Periodos sin vientos.....	43
10	Cargas muertas que actúan sobre la torre.....	45
11	Costos directos.....	54
12	Costos indirectos.....	55
13	Costos totales.....	55
14	Beneficio anual acumulado (energía eléctrica).....	57
15	Energía útil anual captada por el equipo eólico.....	58
16	Beneficio anual acumulado (con Glp).....	60
17	Composición del gas natural.....	61
18	Moles en la composición del gas natural.....	63
19	Tamaño de cable.....	71

LISTA DE FIGURAS

		Pág.
1	Concentración de presiones.....	4
2	Desplazamiento del aire por diferencia de presiones.....	4
3	Aerogenerador de eje vertical.....	8
4	Aerogenerador savonius.....	9
5	Aerogenerador darrieus.....	10
6	Aerogenerador tipo giromill.....	11
7	Aerogenerador windside.....	11
8	Aerogenerador eje horizontal.....	12
9	Aerogenerador eje horizontal a barlovento.....	13
10	Aerogenerador eje horizontal a sotavento.....	13
11	Aerogenerador una pala.....	14
12	Aerogenerador de dos palas.....	15
13	Aerogenerador de tres palas.....	15
14	Aerogenerador multipalas.....	16
15	Componentes del aerogenerador.....	16
16	Proyectos eólicos.....	22
17	Modelo de la caja negra.....	27
18	Selección de alternativa.....	32
19	Esquema cinemático de la maquina eólica.....	32
20	Área A barrida por el rotor de diámetro D.....	35
21	Velocidad del viento (capa límite) con la altura sobre el tipo de terreno.....	38
22	Tubo estructural.....	50
23	Carga muerta.....	50
24	Carga por viento.....	51
25	Carga por sismo.....	51
26	Verificación mediante el código de colores.....	52
27	Evolución del VAN en la instalación del equipo eólico (electricidad).....	58
28	Evolución del VAN en la instalación del equipo eólico (GLP).....	61
29	Capacitación del personal para la instalación eólica.....	66
30	Determinación del emplazamiento para la instalación eólica.....	67
31	Ensamblaje del aerogenerador.....	68
32	Cableado.....	68
33	Montaje de aerogenerador en una casa.....	69
34	Conexión en serie y paralelo.....	70
35	Sistema eólico instalado.....	72

LISTA DE ABREVIACIONES

GLP	Gas licuado de petróleo
MEER	Ministerio de Electricidad y Energías Renovables
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología en Hidrología
VAC	Voltaje corriente alterna
VDC	Voltaje corriente alterna
VAN	Valor actual neto

LISTA DE ANEXOS

- A** Consumo energético de la vivienda
- B** Catálogo Exmork 1 500 w
- C** Catálogo Whs4000112 inversor
- D** Catálogo Millennium 31DC115
- E** Tablas dela UBC
- F** Norma ecuatoriana de la construcción

RESUMEN

En este trabajo se realiza un Estudio Técnico Económico para el Suministro de Electricidad de Baja Potencia, a través de energía eólica con el objetivo de contrarrestar y reducir el uso de energía convencional.

Utilizando metodología e información técnica desarrolladas en países inmersos en el campo eólico, se seleccionan las alternativas para el diseño del sistema, además se utiliza información de datos proporcionados por el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER), e Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), para determinar la potencia disponible en el lugar del emplazamiento del sistema.

El estudio es básicamente aplicable a aerogeneradores de tipo horizontal tripala a barlovento; el modelo matemático empleado toma como punto de partida la determinación del potencial eólico disponible, y la demanda de energía requerida. Estos datos generales de instalación, establecen parámetros necesarios para el dimensionado, área de captación, acumulación, y características técnicas de los componentes, para los cuales se mencionan instrucciones de operación, montaje, mantenimiento y procedimientos correctivos.

La investigación presenta información económica y ambiental indispensable para tomar decisiones sobre su inversión o empleo de recursos en el proyecto. A través del análisis de rentabilidad y de recuperación el VAN recomienda matemáticamente su no inversión por que no se puede recuperar los montos requeridos; pero si hablamos de beneficios sociales y ecológicos la utilización de energía limpia renovable que el proyecto brinda son invaluables en salud y contaminación.

El inicio de la utilización de energías limpias renovables, debe ser una política de gobiernos tanto nacionales como regionales cuya inducción comience en el más corto tiempo posible aunque requiera de subvenciones económicas. Si se utiliza en los hogares sustituyendo la energía eléctrica con energías alternativas, se crea una nueva cultura generacional ecológica; por lo que se recomienda se utilice el proyecto para que se lo aplique en los hogares ecuatorianos.

ABSTRACT

An economical and technical study for the low power electricity supply by means of wind power to decrease the conventional power usage was carried out in this research.

Technical information and methodology developed in countries using eolic power were used. Alternatives for the system design were chosen; moreover, Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER) and Instituto Nacional de Metereología e Hidrología (INAMHI) data were used to determine the available power in the system spot.

The study can be applied to three bladed horizontal aero generator and variable power windward; the mathematic pattern starts determining the available wind potential and the required power demand. These general installing data establish parameters for the dimension, training area, accumulation system and technical component features, that is why running instructions, assembly, maintaining and correcting procedures are mentioned.

The research presents economic and environmental information necessary to make decisions about your investment or use of resources in the project. Through the analysis of profitability and recommended recovery NPV investment mathematically it's not that you can not recover the amounts required, but if we talk about social and environmental benefits of using renewable clean energy that the project provides are invaluable in health and pollution.

The beginning of the use of clean renewable energy, should be a policy of national and regional governments whose induction begins in the shortest time possible but require financial subsidies. If used in household electrical energy substituting alternative energy, creating a new ecological generational culture, so it is recommended you use the project for it to be implemented in Ecuadorian households.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La obtención de la energía eléctrica para el consumo humano, ya sea para el hogar o para las industrias es uno de los grandes problemas que hoy el planeta tiene, más aun cuando la mayoría de la energía usada proviene de fuentes no renovables.

El uso de la energía eólica, como todas las fuentes de energía poseen ciertas ventajas y desventajas, pero en comparación con las otras formas de obtención de esta, el resultado es favorable, ya que este tipo de energía es totalmente renovable e inagotable. Además esta fuente de energía se la puede usar en poblaciones donde no hay un acceso directo de energía convencional, también la pueden usar las personas que quieran preparar un propio módulo de energía en su hogar y no requerir de las compañías eléctricas.

El elevado costo de la energía eléctrica y consumo inadecuado de recursos para cocción de alimentos y aseo diario, mediante el uso de gas doméstico (GLP), da como consecuencia pérdidas económicas considerables para el país.

Esto se da porque el gas de uso doméstico es subsidiado por el estado; es decir se está dando un ineficiente uso a este recurso y más aún que este es obtenido de un proceso de transformación de energías no renovables.

Además generar energía eléctrica donde exista un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica supone, desde el punto de vista ambiental, un procedimiento contaminante y perjudicial para el planeta, dichos procesos de obtención de energía son causantes del calentamiento global y del efecto invernadero.

1.2 Justificación técnica, económica y ambiental

El estudio técnico económico para el suministro de electricidad de baja potencia a través de energía eólica, busca reemplazar el uso del cilindro de gas de servicio doméstico como fuente de energía para la cocción de alimentos y/o para calentamiento de agua de la ducha, con la implementación de un aerogenerador de baja potencia.

Por lo que se pretende generar una energía limpia a pequeña escala que reemplace al GLP en la cocina, y al calefón en la ducha, y así frenar el agotamiento de combustibles fósiles que contribuyen al cambio climático y efecto invernadero.

La hipótesis planteada es que se obtenga un sistema integral de generación eléctrica, tan versátil que se pueda instalar fácilmente y además que tenga otras utilidades como generar energía para semáforos, alumbrado público, etc.

El viento como recurso renovable, inagotable, no contaminante y de libre disponibilidad, hace que se convierta en una de las fuentes más baratas para producir electricidad y sin destruir nuestro planeta.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Estudiar técnica y económicamente, el suministro de electricidad de baja potencia, a través de energía eólica.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Discutir la conveniencia de cada uno de los aerogeneradores probables de uso, y seleccionar el más adecuado.

Diseñar y seleccionar los componentes del sistema eólico.

Analizar los costos del sistema.

Desarrollar una guía de usuario para el montaje y el mantenimiento del sistema.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO: LA ENERGÍA EÓLICA Y LOS DIFERENTE AEROGENERADORES DE ELECTRICIDAD.

2.1 Energías renovables

Energías renovables son aquellas que se obtienen de fuentes naturales de forma continua y son inagotables a escala humana, también se las llama energías alternativas debido a que pueden suplir a las energías o fuentes energéticas tradicionales.

Son fuentes energéticas respetuosas con el ambiente, esto no significa que no causen efectos negativos sobre entorno, pero comparándolos con los causados por las energías no renovables estos efectos son ínfimamente menores.

2.2 Energía eólica

Este tipo de energía es una de las más antiguas que conoce el ser humano, históricamente las primeras aplicaciones de la energía eólica fueron la impulsión de navíos, la molienda de granos y el bombeo de agua, y sólo hasta finales del siglo pasado la generación de energía eléctrica.

La energía eólica es la energía que se obtiene a partir del soplado del viento, la misma que constituye una fuente inagotable, el viento es una manifestación indirecta de la energía solar, ésta se produce como resultado del diferente grado de calentamiento de la superficie terrestre por los rayos solares y por el movimiento de rotación de la tierra sobre sí misma.

Además la energía eólica como todas las fuentes de energía renovables (excepto la mareomotriz y la geotérmica) proviene del sol. La Tierra recibe $1,74 \cdot 10^{17}$ w de

potencia del Sol y alrededor de un 2% de esta energía es convertida en energía eólica. (Solenging, 2010)

2.2.1 Formación de vientos. La atmósfera de la tierra absorbe la radiación solar de forma irregular debido a diversos factores: nubosidad, orografía, océanos. En las zonas con mayor impacto solar el aire se calienta más. (Consumer, L., 2008)

Figura 1. Concentración de presiones



Fuente: <http://www.energy-spain.com/assets/flash/energia-eolica.swf>

Por efecto de la radiación solar, el aire se dilata y asciende, formando bolsas de aire , en las zonas con menos radiación el aire asciende menos y se concentra en bolsas sometidas a altas presiones, mientras que el aire caliente queda sometido a bajas presiones en bolsas más altas

Figura 2. Desplazamiento del aire por diferencia de presiones



Fuente: <http://www.energy-spain.com/assets/flash/energia-eolica.swf>

Ésta diferencia de presiones hace que el aire tienda a desplazarse desde las zonas de alta presión a la de baja. Este movimiento del aire es lo que llamamos viento.

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.

2.2.2 *Ventajas y desventajas*

2.2.2.1 *Ventajas.* Es una de las fuentes más baratas, puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales como las centrales térmicas de carbón (considerado tradicionalmente como el combustible más barato), las centrales de combustible e incluso con la energía nuclear, si se consideran los costes de reparar los daños medioambientales.

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

La energía eólica evita la contaminación que conlleva el transporte de los combustibles; gas, petróleo, gasoil, carbón. Reduce el intenso tráfico marítimo y terrestre cerca de las centrales. Suprime los riesgos de accidentes durante estos transportes: desastres con petroleros (traslados de residuos nucleares, etc.). No hace necesaria la instalación de líneas de abastecimiento: canalizaciones a las refinerías o las centrales de gas.

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

Al contrario de lo que puede ocurrir con las energías convencionales, la energía eólica no produce ningún tipo de alteración sobre los acuíferos ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos. La generación de electricidad a partir del viento no produce gases tóxicos, ni contribuye al efecto invernadero, ni destruye la capa de ozono, tampoco crea lluvia ácida. No origina productos secundarios peligrosos ni residuos contaminantes.

Energía eólica en lugar de carbón

Cada Kw-h de electricidad generada por energía eólica en lugar de carbón, evita.

- 0,60 Kg. de CO₂, dióxido de carbono.
- 1,33 g. de SO₂, dióxido de azufre.
- 1,67 g. de NO_x, óxido de nitrógeno.

La electricidad producida por un aerogenerador evita que se quemen diariamente miles de litros de petróleo y miles de kilogramos de lignito negro en las centrales térmicas. Ese mismo generador produce idéntica cantidad de energía que la obtenida por quemar diariamente 1.000 Kg. de petróleo.

Al no quemarse esos Kg. de carbón, se evita la emisión de 4.109 Kg. de CO₂, lográndose un efecto similar al producido por 200 árboles. Se impide la emisión de 66 Kg. de dióxido de azufre -SO₂- y de 10 Kg. de óxido de nitrógeno -NO_x- principales causantes de la lluvia ácida.

La energía eólica es independiente de cualquier política o relación comercial, se obtiene en forma mecánica y por tanto es directamente utilizable. Al finalizar la vida útil de la instalación, el desmantelamiento no deja huella. (Futuros, R., 2013)

2.2.2.2 Desventajas. El aire al ser un fluido de pequeño peso específico, implica fabricar máquinas grandes y en consecuencia caras.

Su altura puede igualar a la de un edificio de diez o más plantas, en tanto que la envergadura total de sus aspas alcanza la veintena de metros, lo cual encarece su producción.

Desde el punto de vista estético, la energía eólica produce un impacto visual inevitable, ya que por sus características precisa unos emplazamientos que normalmente resultan ser los que más evidencian la presencia de las máquinas (cerros, colinas, litoral). En este sentido, la implantación de la energía eólica a gran escala, puede producir una alteración clara sobre el paisaje, que deberá ser evaluada en función de la situación previa existente en cada localización.

Un impacto negativo es el ruido producido por el giro del rotor, pero su efecto no es más acusado que el generado por una instalación de tipo industrial de similar entidad, y siempre que estemos muy próximos a los molinos.

También ha de tenerse especial cuidado a la hora de seleccionar un parque si en las inmediaciones habitan aves, por el riesgo mortandad al impactar con las palas, aunque existen soluciones al respecto como pintar en colores llamativos las palas, situar los molinos adecuadamente dejando "pasillos" a las aves, e, incluso en casos extremos hacer un seguimiento de las aves por radar llegando a parar las turbinas para evitar las colisiones. (Consumer, L., 2008)

2.3 Tipos de aerogeneradores

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

2.3.1 *Por la posición del aerogenerador.* El aerogenerador puede estar en dos posiciones las cuales son:

2.3.1.1 Eje vertical. Su eje de rotación está en posición perpendicular con respecto al suelo. Son aerogeneradores de fácil instalación que no necesitan de una gran torre para funcionar, lo que los hace más económicos que los de eje horizontal, al ahorrarse gran parte de infraestructura.

Figura 3. Aerogenerador de eje vertical



Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso-energia-eolica/aerogeneradores-tipos-primera-parte>

Son mucho más cómodos de reparar pues todos los elementos de transformación de la energía del viento se encuentran en el suelo. Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de adaptarse a cualquier dirección del viento. No es necesario que dispongan de ningún mecanismo de orientación ante cambios de la dirección del viento. Son ideales en zonas de viento débil.

La forma ovalada de las palas permite hacerlo girar y producir electricidad. La máxima desventaja del aerogenerador de eje vertical es su bajo rendimiento, debido a la resistencia que las palas ofrecen al viento y a la poca altura que se encuentra el rotor; además su tecnología se quedó estancada al no ser capaces de crecer en el aprovechamiento del viento. Puesto que el eje no supera mucha altura y las velocidades del viento disminuyen al llegar al suelo por efecto de la rugosidad del mismo.

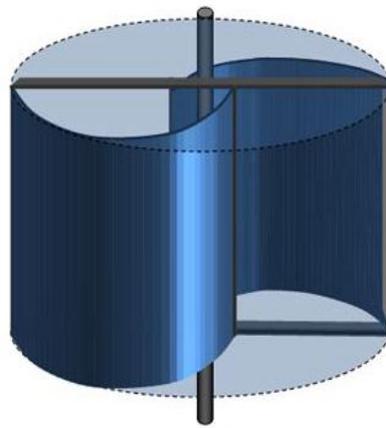
La velocidad del viento es muy superior a más altura, con lo que estos aerogeneradores han ido quedando atrás con respecto a los de eje horizontal.

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

Savonius

El modelo de rotor Savonius es el más simple. Consiste en un cilindro hueco partido por la mitad, en el cual sus dos mitades han sido desplazadas para convertirlas en una S.

Figura 4. Aerogenerador Savonius



Fuente: <http://elnegrillo.blogspot.com>

Las partes cóncavas de la S captan el viento, mientras que los reversos presentan una menor resistencia al viento, por lo que puede arrancar con poco viento.

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

Debido a la gran resistencia al aire que ofrece este tipo de rotor, sólo puede ser utilizado a bajas velocidades y su rendimiento es relativamente bajo. Es por tanto útil para aplicaciones de tipo mecánico, como el bombeo de agua. (Opexenergy, G., 2008)

Darrieus

Es el más popular de los aerogeneradores de eje vertical, permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, pero no alcanza a las de un rotor de eje horizontal.

Figura 5. Aerogenerador Darrieus



http://www.opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html

El Darrieus no necesita de un sistema de orientación. Esta característica de captación omnidireccional le permite ser instalado en cualquier terreno sin necesidad de levantar altas torres, lo cual se traduce en un ahorro sustancial. Al poseer una forma parecida a una cuerda para saltar, hace que los alerones del Darrieus experimenten una fuerte fuerza centrífuga.

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) o usar un sistema eléctrico para la partida.

Requiere para un correcto funcionamiento, vientos de 4 a 5 m/s como mínimo, manteniendo grandes velocidades de giro y un buen rendimiento. (Opexenergy, G., 2008)

Darrieus tipo H o Giromill

Este tipo de generadores también fueron patentados por Darrieus. Consisten en palas verticales unidas al eje por unos brazos horizontales, que pueden salir por los extremos del aspa e incluso desde su parte central (Ecovivi, S., 2009).

Las palas verticales cambian su orientación a medida que se produce el giro del rotor para un mayor aprovechamiento de la fuerza del viento, buen rendimiento y costos elevado.

Figura 6. Aerogenerador tipo Giromill



Fuente: http://www.opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html

Prototipo Windside

Este novedoso aerogenerador de eje vertical es un prototipo concebido por la empresa finlandesa Windside. Es un sistema similar al rotor Savonius, en vez de la estructura cilíndrica para aprovechamiento del viento, consiste en un perfil alabeado con torsión que asciende por el eje vertical. (Opexenergy, G., 2008)

La principal diferencia frente a otros sistemas de eje vertical es el aprovechamiento del concepto aerodinámico, que le acerca a las eficiencias de los aerogeneradores de eje horizontal, pero su costo es elevado.

Figura 7. Aerogenerador windside



Fuente: http://www.opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html

2.3.1.2 Eje horizontal

Figura 8. Aerogenerador eje horizontal



Fuente: <http://www.taringa.net/posts/info/5800118/Energia-Eolica.html>

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. (Taringa, P., 2009)

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, por lo que son más eficaces, su desventaja es que son más costosos que los de eje vertical y además sus aspas no soportan grandes velocidades.

2.3.2 *Por la posición del equipo respecto al viento.* Dependiendo del ángulo o parte en la cual sea aprovechado el viento se clasifican en:

2.3.2.1 *A barlovento*

Este tipo de aerogeneradores reciben el flujo de corriente del viento en la parte de las palas, es decir que el rotor está situado de cara al viento. (Opexenergy, G., 2008)

Figura 9. Aerogenerador eje horizontal a barlovento



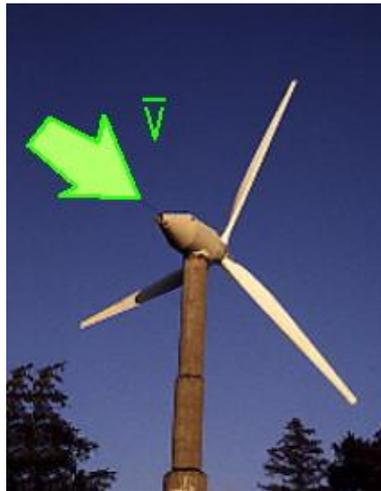
Fuente: <http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/inicio.htm>

La ventaja de los diseños a sotavento es que se evita las pérdidas por fricción del viento y aprovecharlo a su máximo en un flujo que sea lo más laminar posible, además de esta manera se evita que el cuerpo de la torre se interponga entre el propio rotor y la dirección del viento.

Los más comunes en el mercado ya que la mayoría de aerogeneradores son diseñados a barlovento, como desventaja es que necesita mecanismos de orientación.

2.3.2.2 *A sotavento*

Figura 10. Aerogenerador eje horizontal a sotavento



Fuente: <http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/inicio.htm>

Este tipo de aerogenerador tiene la góndola frente a la dirección del viento, su 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 fiable para aerogeneradores mayores debido a su peso, 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.

2.3.3 *Por el número de palas (Aspas)*

2.3.3.1 *Una Pala*

Estos aerogeneradores únicamente poseen un aspa, por lo que precisan un contrapeso en el otro extremo para equilibrar. (Redsauce, O., 2009)

Figura 11. Aerogenerador una pala



Fuente: <http://alumnatbiogeo.blogspot.com/2009/03/tipos-de-aerogeneradores.html>

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.

2.3.3.2 *Dos palas*

Los diseños bipala tienen la ventaja de ahorrar el coste de una pala y por supuesto su peso.

Figura 12. Aerogenerador de dos palas



Fuente: <http://alumnatbiogeo.blogspot.com/2009/03/tipos-de-aerogeneradores.html>

Sin embargo suelen tener dificultades porque necesitan una mayor velocidad de giro para producir la misma energía de salida.

2.3.3.3 *Tres palas*

Figura 13. Aerogenerador de tres palas



Fuente: <http://alumnatbiogeo.blogspot.com/2009/03/tipos-de-aerogeneradores.html>

Como su clasificación lo indica poseen tres aspas o palas, la gran mayoría de las turbinas vendidas en los mercados mundiales poseen este diseño, mantenido en la posición corriente arriba (rotor a barlovento), usando motores eléctricos en sus mecanismos de orientación (en aerogeneradores de alta potencia).

Este tipo de aerogeneradores son de buena estabilidad y eficiencia. El concepto básico fue introducido por primera vez por el célebre aerogenerador de Gedser.

2.3.3.3 *Multipalas*

Figura 14. Aerogenerador multipalas



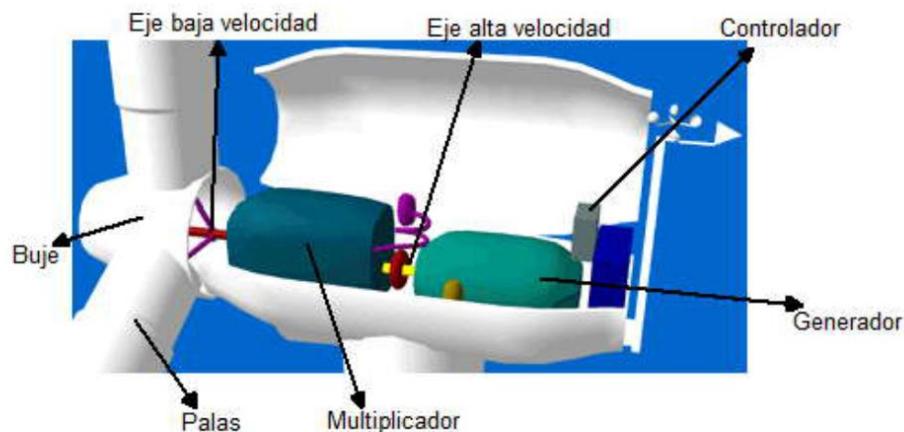
Fuente: <http://alumnatbiogeo.blogspot.com/2009/03/tipos-de-aerogeneradores.html>

Este tipo de aerogeneradores con un número superior de palas o multipalas. Se trata del llamado modelo americano, sus primeras aplicaciones fue la extracción de agua en pozos de las grandes llanuras en América, su inconveniente es que al poseer muchas

palas crea turbulencias en el flujo del viento y hace menos productivas al resto de las palas.

2.4 Componentes del aerogenerador

Figura 15. Componentes del aerogenerador



Fuente: <http://smienergias.wordpress.com/tag/aerogenerador>

Las partes que conforman un aerogenerador son las siguientes:

2.4.1 Góndola. Aquí se encuentran los componentes capaces de generar energía eléctrica, el generador eléctrico, el multiplicador, los sistemas de enfriamiento, control, orientación y freno.

2.4.2 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.

2.4.3 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.

2.4.4 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.

2.4.5 Multiplicador. El acoplamiento entre el rotor eólico y el generador en la mayoría de los casos se realiza a través de una caja multiplicadora, tiene a su izquierda el eje de baja velocidad que permite que el eje de alta velocidad que está a su derecha gire más rápido, esto lo hace a base de un juego de engranajes, los que se encargan de convertir la potencia en velocidad de giro.

2.4.6 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 él también se encontrarán los frenos de emergencia en caso de que el viento supere la velocidad admisible para el equipo y que el freno aerodinámico no funcione.

2.4.7 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.

2.4.8 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.

2.4.9 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.

2.4.10 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.

2.4.11 *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.

2.4.12 *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.

Estas torres tubulares tienen escaleras interiores con "pisos" de seguridad cada varios metros e incluso ya las hay con ascensor (aerogeneradores de alta potencia).

2.4.12.1 *Torre Tubular.* La mayoría de los aerogeneradores, pequeños, grandes 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 unidos 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.

2.4.12.2 *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.

2.4.12.3 *Torre 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.

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

2.4.13 *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.

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

2.4.15 *Rotor.* En el rotor se incluyen dos componentes, el buje y las palas, por medio del rotor se sujeta el buje que une las palas. (SMI, 2011)

2.5 Situación actual de la energía eólica en el país

El MEER está gestionando la ejecución de un Mapa Eólico Ecuatoriano por lo que no existen datos de viento suficientes a nivel nacional. Las zonas localizadas geográficamente sobre la línea ecuatorial no son ricas en vientos. Sin embargo, en el Ecuador existen zonas de alto interés eólico por efecto de la presencia de los Andes y de la cercanía al Océano Pacífico. Cuando se dimensionan los sistemas eólicos se trata, diversos parámetros relativos al viento son fundamentales, como por ejemplo la velocidad, las variaciones diarias, mensuales y estacionales de la misma para los sitios que presentan condiciones favorables. Contrariamente al recurso solar que en general no presenta grandes variaciones de radiación y brillo, el viento varía en forma drástica y aleatoria.

La potencia que se puede obtener de un aerogenerador (molino de viento) es proporcional al cubo de la velocidad de éste. Los sitios que presentan condiciones favorables para la explotación de molinos de viento con fines de producción de energía eléctrica se encuentran especialmente en las crestas de las montañas andinas y, en emplazamientos cerca de la costa y costa-afuera de las playas ecuatorianas, éstos últimos por efecto de la acción de las brisas marinas. En la región amazónica no se han detectado velocidades de viento que permitan pensar en proyectos de generación de electricidad factibles, salvo para usos de bombeo de agua. En Loja, en los alrededores del cerro Villonaco, se han encontrado sitios de alto potencial eólico.

Existen mediciones realizadas por el INAMHI, sin embargo, los sitios que fueron escogidos por dicha institución para instalar sus equipos de medición no son los más adecuados para explotación de energía eólica con fines de producción eléctrica y además, la altura a la que se ubican los medidores (entre 3 y 6 metros) no corresponde a la que se colocan los aerogeneradores (30 y 60 metros). (CONELEC, 2011)

2.5.1 Potencial eólico en el país

Características: Vientos localizados en montañas y brisas marinas. Andes desde 2,4 a 8,0 m/s, Costa > 3,5 m/s.

2.5.1.1 Proyectos eólicos en el país

Tabla 1. Localidades con posible interés para generación de electricidad

Provincia	Localidad
Carchi	El Ángel
Imbabura	Salinas
Pichincha	Machachi, Malchingui
	Páramo grande
Cotopaxi	Minitrac, Tigua
Chimborazo	Chimborazo, Tixán, Altar
Bolívar	Salinas, Simiatug
Azuay	Huascachaca
Loja	Saraguro, El tablón, Manú
	Villonaco, Membrillo
	Chinchas
Galápagos	San Cristóbal

Fuente: Autor

Proyectos en estudios

Villonaco – Loja (privado): 15 Mw

Membrillo – Loja (privado): 45 Mw

Las Chinchas – Loja (privado): 10 Mw

Ducal – Loja (privado): 6 Mw

Huascachaca – Azuay (público): 30 Mw

Salinas – Imbabura (privado): 15 Mw

Proyectos en ejecución

Baltra – Santa Cruz (público): 3,5 Mw

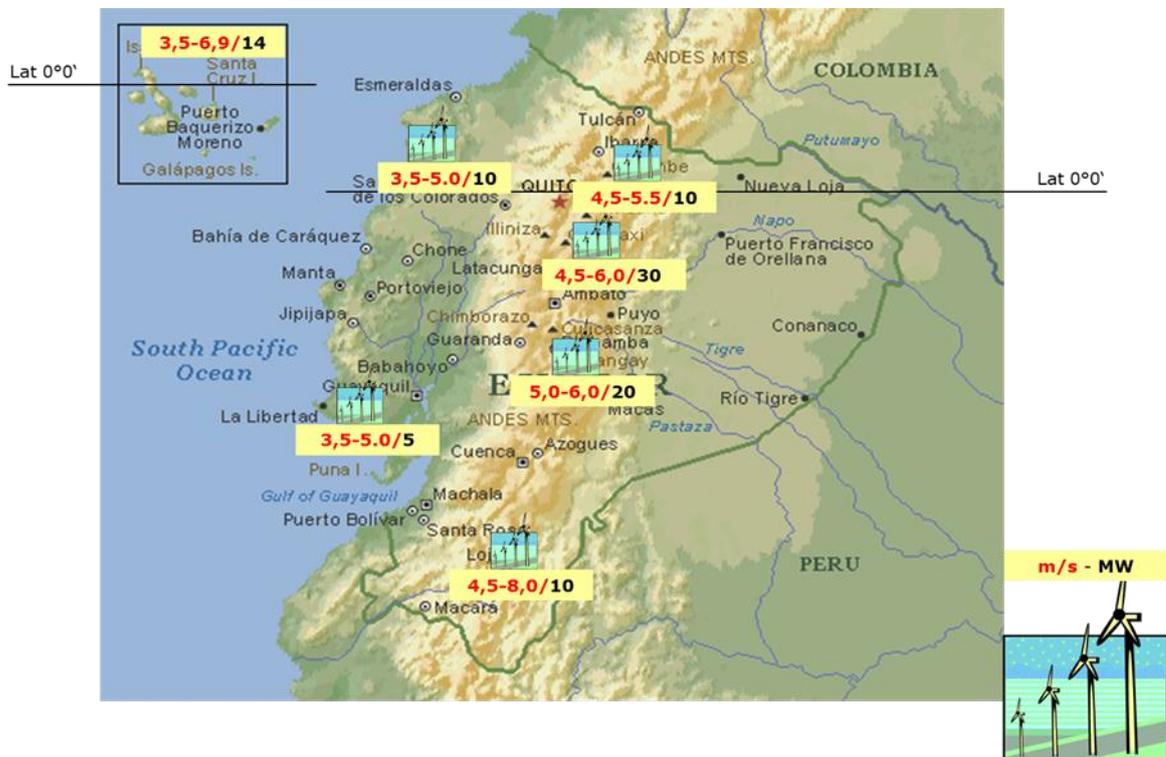
Parque eólico ubicado en otra de las islas del Archipiélago de Galápagos.

Proyectos en operación

El primer parque eólico del país se inauguró en octubre del 2007 en la isla San Cristóbal del Archipiélago de Galápagos, con una potencia instalada de 2,4 Mw .

Dada la relevancia ambiental del Archipiélago de Galápagos, el MEER se ha establecido como meta satisfacer toda la demanda eléctrica con energías renovables. Las expectativas de potencia instalada en generación eólica para el 2015 que perfila el MEER, se encuentran entre los 40 y 50 Mw. (Enerpro, F., 2010)

Figura 16. Proyectos eólicos



Fuente: www.enerpro.com.ec/Recursos/.../EnergiasRenovablesEC.pp

2.5.2 Barreras a la energía eólica

2.5.2.1 Barreras Tecnológicas. Las tecnologías de energía eólica, son tecnologías maduras y conocidas, especialmente en los países más desarrollados donde el mercado ha alcanzado una cierta madurez. Pero en el caso de Ecuador, éste es un mercado incipiente en el que se han detectado barreras de carácter tecnológico que impiden su crecimiento. A continuación se analizan las principales barreras detectadas.

2.5.2.2 Integración en la red. El problema a solucionar es cómo integrar en el sistema un contingente considerable de generación de incorporación prioritaria cuya disponibilidad es aleatoria de localización libre y atomizada, y que ante situaciones de inestabilidad actualmente se desconecta del mismo, obligando al resto de generación a incrementar su cuota de participación en los servicios complementarios del sistema, imprescindibles para su buen funcionamiento.

Además, debemos tener en cuenta que los parques eólicos se localizan generalmente en áreas con baja densidad de población, donde frecuentemente las redes eléctricas son débiles y requieren ser reforzadas y mejoradas. Y de hecho la infraestructura de las redes de transporte y distribución ecuatoriana son muy débiles y con grandes pérdidas. La aparición de huecos de tensión y el control de la potencia reactiva, son también aspectos particulares de la integración a red de los parques eólicos.

2.5.2.3 Falta de proyectistas, instaladores y mantenedores capacitados. El mercado de la energía eólica en Ecuador es un mercado poco maduro, lo que hace que la demanda existente de los diferentes servicios asociados a esta tecnología, como son servicios de ingeniería, instalación y mantenimiento sea baja; en otras palabras, es un mercado inmaduro. Además de la escasez de servicios, también se ha detectado la escasez de proyectistas, instaladores y mantenedores calificados.

2.5.2.4 Desconocimiento del potencial que las tecnologías de energía eólica pueden ofrecer al Ecuador. No existe ninguna estimación del potencial que ofrecen las tecnologías de energía eólica en Ecuador. Para poder desarrollar un mercado, es necesario conocer cuál es el potencial de ese mercado, para que así, los diferentes actores conozcan las ventajas técnicas y de ahorro, tanto energético como económico, que ofrece la implantación de las tecnologías de energía eólica. (Tech4cdm, 2009)

CAPÍTULO III

3. ANÁLISIS DE AEROGENERADORES PROBABLES DE USO, Y SELECCIÓN DEL MÁS ADECUADO

3.1 Descripción del problema

3.1.1 Justificación. La necesidad de realizar el análisis técnico-económico del suministro de electricidad de baja potencia a través de energía eólica surge a partir de varios factores, por ejemplo: ambiental, ya que la fuente de energía es renovable e inagotable (viento) y no produce contaminación al ambiente; lo económico puesto que los materiales utilizados para realizar un sistema eólico de baja potencia no son muy elevados y se los puede encontrar en el mercado nacional.

Además esto serviría para disminuir el costo en las planillas eléctricas ya que podría ser utilizada para poner en funcionamiento varios artefactos eléctricos.

3.1.2 Tecnología existente. La mayoría de los aerogeneradores modernos son de 3 palas, de eje horizontal y con mecanismos eléctricos y grandes potencias, el inconveniente es que estos aerogeneradores requieren una torre de elevación por lo que su costo es más elevado.

También se emplean aerogeneradores de eje vertical, existe una gran variedad de modelos y diseños, pese a que su fabricación implica un menor costo al no requerir de una gran torre de elevación, su rendimiento es inferior porque no alcanzan un buen rendimiento.

3.1.3 Aplicaciones de diseño. El aerogenerador tiene como finalidad satisfacer la potencia para el funcionamiento de una ducha (4 000 w) y una cocina (3 500w) eléctrica, dichos artefactos eléctricos consumen un alto nivel de potencia.

3.2 Metodología de diseño

Lista de deseos (D) y exigencia (E)

Funciones

El aerogenerador debe satisfacer la energía requerida por los electrodomésticos. (E)

El aerogenerador debe generara suficiente corriente para cargar las baterías. (E)

Energía

Se utilizará energía eólica para la máquina. (E)

Posee fuentes de almacenamiento de energía. (D)

Minimizar la pérdida de energía por fricción. (D)

Seguridad

Debe poseer las diferentes instrucciones de montaje, uso y mantenimiento. (E)

El nivel de seguridad de la máquina debe ser suficiente a fin de preservar a las personas, instalaciones, funcionamiento y reparación. (E)

La máquina debe poseer una carcasa de protección de los elementos de conversión de energía. (E)

Fabricación

Las piezas del aerogenerador serán de formas sencillas y de fácil manufactura. (E)

Los materiales utilizados deben hallarse disponibles en el mercado nacional. (D)

La máquina debe ser de fácil montaje y anclaje. (E)

Los elementos de la máquina deben resistir los diversos esfuerzos que se presente durante el proceso (E)

La máquina debe tener buena estabilidad y rigidez. (E)

Control

Los niveles de ruido producidos no serán muy elevados. (D)

Se deberá verificar la calidad del material aplicado para la fabricación de los diferentes elementos. (E)

Funcionamiento

La puesta en marcha del aerogenerador será posible siempre y cuando cumplan con las condiciones de potencial eólico requerido. (E)

Debe poseer un sistema de frenado. (E)

Debe poseer un sistema de rectificación de corriente. (E)

Mantenimiento

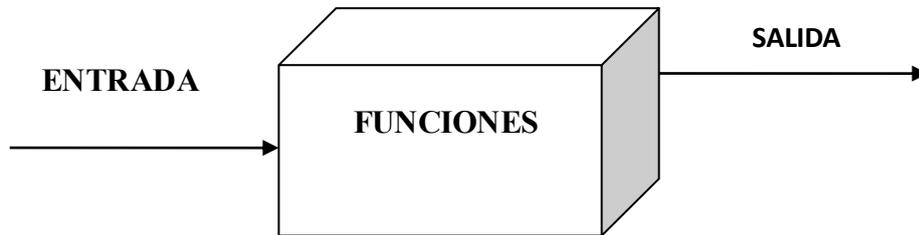
Las piezas deben ser fácilmente reemplazadas en la mayoría de sistemas. (D)

Contar con un programa de mantenimiento preventivo. (D)

Los elementos móviles deben tener lubricación adecuada. (E)

3.3 Estructura de funciones

Figura 17. Modelo de la caja negra



Fuente: 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica. Metodología del Diseño. Aplicada a la Obtención de una Máquina Agrícola. Ecuador. 2007

3.3.1 Entradas

- Energía eólica
- Viento

3.3.2 Salidas

- Energía Eléctrica
- Ruido. (Mecánica, 2010)

El proceso se inicia cuando el viento impacta las hélices o palas del aerogenerador (velocidad de funcionamiento) produciendo movimiento en el eje, y mediante un generador y otros elementos necesarios se produce una transformación de energía mecánica rotacional en eléctrica.

Una vez que se genera electricidad se transporta hacia un regulador encargado de convertir el voltaje de la energía generada a niveles que sean utilizados o requeridos; finalmente esta energía es almacenada a un conjunto de baterías para su consumo final.

3.4 Generación de alternativas

La generación de alternativas o posibles soluciones es el aspecto esencial y central del diseño, este consiste en un conjunto de ideas que son agrupadas y esquematizadas en una llamada matriz morfológica, la cual resume la forma que puede tomar el aerogenerador.

3.4.1 Matriz morfológica

A continuación se presentan las posibles soluciones:

Tabla 2. Matriz morfológica

1	SISTEMA DE CAPTACIÓN DEL VIENTO			
1.1	Posición de los álabes	Horizontales	Verticales	
1.2	Número de álabes	Tres	Múltiparas	otro
1.3	Tipo de material de los álabes	Fibra de vidrio	Fibra de carbón	Madera
2	SISTEMA DE CONTROL DE VELOCIDAD DEL VIENTO			
2.1	Elemento de control	caja multiplicadora de engranajes	caja multiplicadora por bandas dentadas	Sin caja multiplicadora
2.2	Tipo de accionamiento	Autónoma	Micro controladores	
3	SISTEMA DE ORIENTACIÓN			
3.1	Tipo de orientación	Aleta estabilizadora	Eólicas auxiliares	Sin sistema de orientación
4	SISTEMA DE GENERACIÓN			
4.1	Tipo de generador	Alternador	Síncrono	Asíncrono
5	SISTEMA DE SOPORTE			
5.1	Tipo de soporte	Torre tubular	Torre de celosía	Sin torre

5.2	Tamaño	Grande	Mediana	Pequeña
6	SISTEMA DE ALMACENAMIENTO			
6.1	Tipo de batería	Ciclo profundo	Gel	

Aerogenerador tipo horizontal (tres palas)	Aerogenerador tipo vertical (Darrieus)
---	---

Fuente: Autor

3.4.2 Descripción de las alternativas

3.4.2.1 Aerogenerador vertical

El rotor del aerogenerador (eje vertical)

Gira sobre un eje vertical, logra su movimiento rotacional gracias a la diferencia de resistencia aerodinámica entre las superficies simétricas que se enfrentan al viento, sus aspas están paralelas ala la torre.

Caja multiplicadora

La caja amplificadora de rpm la encarda de obtener una velocidad angular superior a la que el rotor del aerogenerador proporciona al girar sobre el eje.

Alternador

Estas máquinas son generalmente síncronas son las encargadas de convertir la potencia mecánica en potencia eléctrica.

Rectificador

Son los encargados de convertir la energía de corriente alterna en corriente continua.

Banco de baterías

El encargado de almacenar la energía producida por el viento, con el objeto de disponer de la energía en periodos de viento flojo o de calma

Inversor

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

3.4.2.2 Aerogenerador horizontal (tripala)

Rotor del aerogenerador (eje horizontal)

Gira sobre un eje horizontal, es decir sus aspas se encuentran perpendicular a la torre.

Caja multiplicadora

Su función es multiplicar la velocidad de giro que llega del rotor para adaptarla a las necesidades del generador. Pero en el caso de las turbinas con una potencia inferior a 10 kw, generalmente, no se usa el multiplicador ya que el rotor está conectado directamente al generador (alternador).

Alternador

Estas máquinas son generalmente síncronas son las encargadas de convertir la potencia mecánica en potencia eléctrica.

Rectificador

Los rectificadores son opuestos a los inversores, convierten la energía de corriente alterna en corriente continua.

Banco de baterías

Dado que una característica esencial del viento es su discontinuidad en el tiempo, las baterías almacenan la energía producida por el viento durante los períodos de producción a fin de restituir una parte, la mayor posible, durante los días de calma.

Inversor

Los inversores de voltaje transforman la corriente continua (CC) de baja tensión (12[V], 24[V], 32[V] o 48[V]) en corriente alterna (AC) de alta tensión (110[V], 220[V]).

Torre

La torre es el elemento de sujeción y el que sitúa el rotor y los mecanismos que lo acompañan a la altura idónea.

3.4.3 Evaluación técnica-económica de propuestas

3.4.3.1 Evaluación técnica

Tabla 3. Valoración técnica

EVALUACIÓN TÉCNICA					
Parámetros		F. de importancia	Puntaje	Horizonta l	Vertica l
		Fi (%)	P		
1	Durabilidad	100	10	10	10
2	Rendimiento	100	10	9	7
3	Facilidad de Fabricación	80	10	9	6
4	Accesorios	80	10	7	8
5	Facilidad de Manejo	80	10	9	9
6	Facilidad de Montaje	90	10	7	9
7	Lubricación	50	10	9	9
8	Mantenimiento	60	10	7	9
9	Ruido	70	10	7	7
10	Impacto visual	70	10	7	9
11	Desarrollo tecnológico	90	10	9	7
12	Total Puntos Alcanzados = $\sum(F_i \times P)$		87	71.9	70.9
13	Porcentaje (%)		100	83	81

Fuente: Autor

3.4.3.2 Evaluación económica

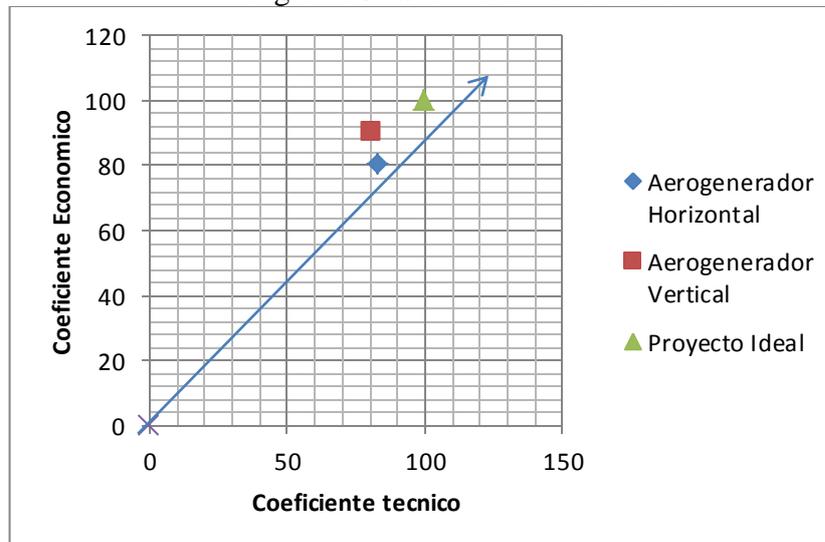
Tabla 4. Valbración económica

EVALUACIÓN ECONÓMICA					
Parámetros		F. de importancia	Puntaje	Horizontal	Vertical
		Fi (%)			
1	Materiales	100	10	8	9
2	Fabricación	100	10	8	9
3	Instalación	90	10	8	9
4	Mantenimiento	70	10	8	9
5	Producción electricidad	100	10	8	9
6	Total Puntos Alcanzados = $\sum(Fi \times P)$		46	36.8	41.4
7	Porcentaje (%)		100	80	90

Fuente: Autor

3.4.4 Selección de la mejor alternativa

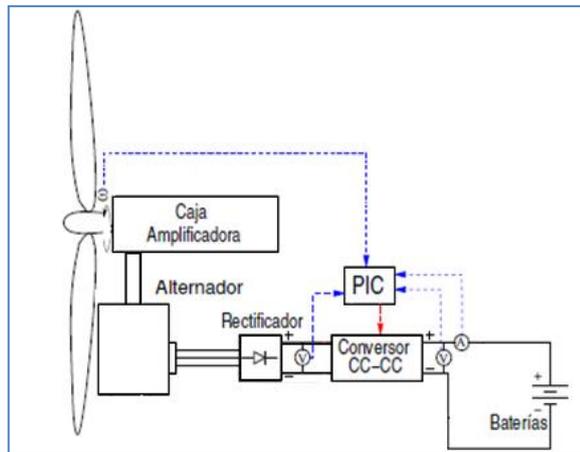
Figura 18. Selección de alternativa



Fuente: Autor

3.4.5 Descripción de la mejor alternativa

Figura 19. Esquema cinemático de la máquina eólica



Fuente: Autor

El aerogenerador de eje horizontal es el sistema recomendado ya que este genera alta potencia de funcionamiento y un mayor rendimiento.

El proceso se inicia cuando el viento impacta las hélices o palas del aerogenerador con una velocidad de arranque la misma que produce movimiento en el eje, se debe tener en cuenta que la velocidad del viento debe ser la nominal de funcionamiento para que el aerogenerador proporcione la potencia requerida, una vez que se produce movimiento en el eje de baja velocidad pasa por un sistema de multiplicación el cual permite el incremento de las revoluciones y de giro del eje, mediante un generador y otros elementos necesarios se produce una transformación de energía mecánica rotacional en eléctrica.

Una vez que se genera electricidad se transporta hacia un regulador encargado de convertir el voltaje de la energía generada a niveles adecuados, luego pasa esta energía por un banco de baterías que se encargan del almacenamiento de la energía producida por el aerogenerador; finalmente esta energía es almacenada pasa a un sistema de inversión de corriente para que de esta manera la energía esté en condiciones idóneas para el consumo final.

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DEL SISTEMA EÓLICO SELECCIONADO

Después de seleccionar la alternativa más adecuada se procede con el capítulo de diseño y selección de las partes y mecanismos del sistema eólico, se realizara una evaluación del consumo energético y evaluación del recurso disponible.

4.1 Definición de las prestaciones

Se define la potencia que se instalará en el aerogenerador para lo cual previamente se realizara un estudio de las necesidad energética y un estudio eólico para definir y determinar la potencia mínima necesaria.

4.2 Estudio energético

El estudio de la potencia eléctrica consiste en sumar la potencia consumida de cada aparato eléctrico **ANEXO A**.

Tabla 5. Estudio de la potencia instalada

APARATO	Potencia instalada(w)	Horas de consumo(h/día)	Consumo diario(w-h/día)
Ducha eléctrica	4 000	1	4 000
Cocina	3500	3	10 500
TOTAL	7 500		14 500

Fuente: Autor

La potencia que consume estos aparatos no corresponde a la potencia mínima que el aerogenerador debe suministrar según la Ec. 1 la potencia mínima es la potencia eléctrica total ponderada por un coeficiente de simultaneidad F. para el cual se toma un coeficiente del 50%, ya que no todos los aparatos eléctricos van a estar conectados al mismo tiempo.

$$P_{mínima} = F (P_{instalada}) \quad (1)$$

$$P_{mínima} = 0,5 (7500) = 3500 \text{ w} = 3,5 \text{ Kw}$$

Restricción:

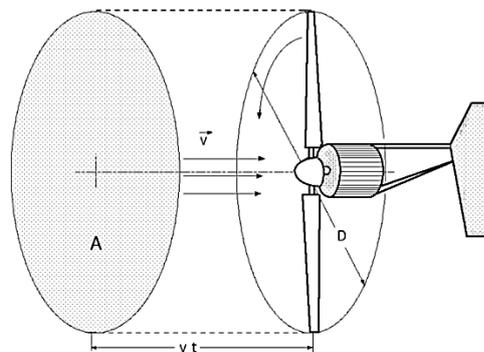
La cocina eléctrica consume 3500 w (2 hornillas) y que la ducha consume 4000 w, el diseño partirá de la mayor potencia requerida y del consumo total al día. Además que los electrodomésticos no funcionaran al mismo tiempo.

$$P_{máxima} = 4000 \left(\frac{\text{w} - \text{h}}{\text{día}} \right)$$

4.3 Estudio eólico

Una vez realizado el estudio de la potencia eléctrica, se procede a calcular la cantidad de potencia que será capaz de suministrar el emplazamiento para instalar el aerogenerador.

Figura 20. Área A barrida por el rotor de diámetro D



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/11274/1/PFC.pdf>

Un aerogenerador obtiene su potencia de entrada convirtiendo la fuerza del viento en un par (fuerza de giro) actuando sobre las palas del rotor. La cantidad de energía transferida al rotor por el viento depende de la densidad del aire, del área de barrido del rotor y de la velocidad del viento. La potencia eólica de una zona se determina con la Ec. 2. (Upcommons, S., 2006)

$$P_{eólica} = \frac{1}{2} \rho A (v^3) \quad (2)$$

Donde:

$P_{eólica}$ = Potencia del viento medida en w [vatios]

ρ = Densidad del aire $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$

A = Área de barrido de las aspas $[m^2]$

v = Velocidad del viento promedio $\left[\frac{m}{s} \right]$

4.3.1 Velocidad del viento. Como se menciona en el capítulo 2 el atlas eólico se está elaborando, es decir no se cuenta con el potencial eólico del país, por lo que para realizar un proyecto de este tipo se debe determinar una zona específica y estudiar el potencial eólico disponible en dicho emplazamiento. La velocidad mínima de operación de una turbina eólica se denomina “velocidad de corte inferior”, esta fluctúa entre los 3 y 4 m/s. Velocidades de viento bajo esa marca no genera una cantidad de energía suficiente que compense las pérdidas de eficiencia en la generación de electricidad. La “velocidad de corte superior” define la tolerancia de un generador eólico de soportar fuertes vientos. (Ecoenergética, F., 2008)

Por último, la “velocidad nominal”, es aquella velocidad del viento ideal para que una turbina eólica alcance su máximo potencial de generación de energía eléctrica, esta fluctúa entre los 8 y 10 m/s (en aerogeneradores de baja potencia). Para determinar la ubicación de una turbina de viento es necesario evaluar la velocidad del viento en el lugar donde potencialmente se quiere ubicar el generador eólico. Adicionalmente, se

debe considerar el grado de turbulencias que puedan afectar el flujo del viento. Estas ejercen una mayor tensión de trabajo sobre el rotor lo que a la larga se traduce en una disminución de la vida útil de las turbinas eólica.

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

4.3.2 Rugosidad. Es importante cuantificar el efecto de la morfología del territorio circundante al aerogenerador sobre la velocidad del viento. Para esto se define la “rugosidad” expresada por la ecuación 3. Esta función se modifica dependiendo de los obstáculos físicos presentes en el entorno que inciden sobre el desplazamiento del aire. (Atmospheric fan, System, 2007)

$$v_{h2} = v_{h1} \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^\alpha \quad (3)$$

Donde:

v_{h1} = velocidad promedio del emplazamiento a la altura h_1 , en $\left[\frac{m}{s} \right]$

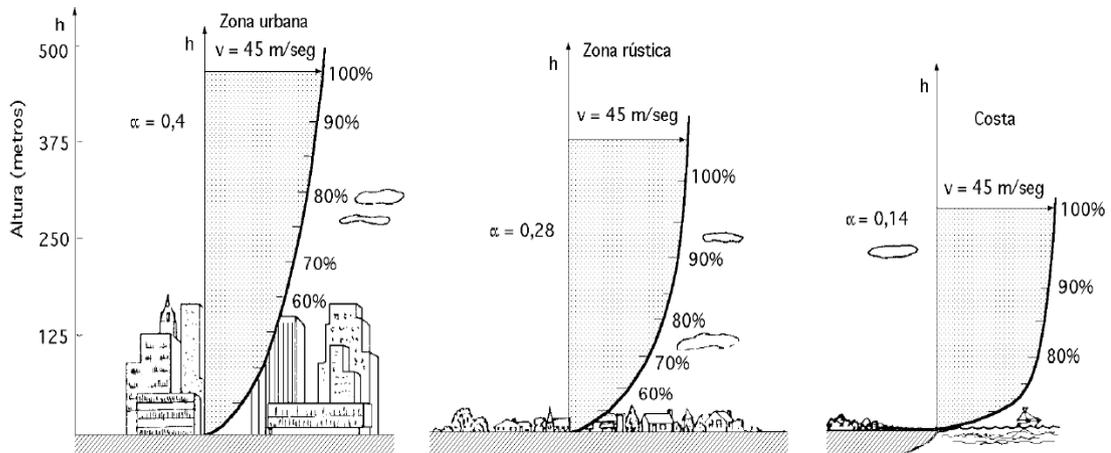
v_{h2} = velocidad del viento a la altura h_2 , en $\left[\frac{m}{s} \right]$

h_1 = Altura de toma de datos del potencial eólico [m^2]

h_2 = Altura a ser instalado el aerogenerador [m^2]

α = coeficiente de rugosidad

Figura 21. Velocidad del viento (capa límite) con la altura sobre el tipo de terreno



Fuente: <http://www.extractores.com.mx/energia%20atmosferica.htm>

Tabla 6. Exponente α en función de la rugosidad del terreno

Nivel de rugosidad	α
Lugares llanos con hielo o hierba	0,08 -0,12
Lugares llanos (mar, costa)	0,14
Terrenos poco accidentados	0,13-0,16
Zona rústica	0,2
Terreno accidentados o bosques	0,2 -0,26
Terrenos muy accidentados y ciudades	0,25 -0,4

Fuente: Autor

Exactamente estos valores de rugosidad no coincidirán con nuestro tipo de emplazamiento por lo que se debe ajustar a nuestro requerimiento.

4.3.3 Ley de Betz. La Ley de Betz representa la máxima cantidad de energía del viento que se puede transformar en energía mecánica rotacional.

Es decir el aerogenerador aprovecha el 59% de la energía eólica disponible, se lo llama C_p . Se define la relación aproximada tal como aparece en la ecuación Ec. 4.

$$P_{captada} = 0,59 (P_{eólica}) = P_{mecánica} \quad (4)$$

Es decir el aerogenerador aprovecha el 59% de la energía eólica disponible.

4.3.4 Potencia eléctrica. Después de explicar brevemente en qué consiste la Ley de Betz se continúa con el cálculo de la potencia eléctrica.

Para ello se supone un rendimiento del sistema eléctrico del 0,95. En la Ec. 4. Se muestra la expresión para transformar la potencia mecánica a potencia eléctrica.

$$P_{eléctrica} = \eta_{sistema\ eléctrico} (P_{mecánica}) \quad (5)$$

Reemplazando Ec. 3 en Ec. 4

$$P_{eléctrica} = \eta_{sistema\ eléctrico} (C_p) (P_{eólica}) \quad (6)$$

Reemplazando Ec. 2 en Ec. 5

$$P_{eléctrica} = \eta_{sistema\ eléctrico} (C_p) \left(\frac{1}{2} \rho A v^3 \right) \quad (7)$$

4.4 Selección de la potencia del aerogenerador

Para la selección del aerogenerador se toma en cuenta la demanda de energía a instalar (consumo diario) y la cantidad de horas de presencia de viento. (Fingedu, M., 2007)

$$P_{aerogenerador} = \frac{\text{consumo diario} \left(\frac{w-h}{\text{día}} \right)}{\text{horas al día de viento}} \quad (8)$$

De la Ec. 8. Se reemplaza las diferentes horas de vientos promedios existentes en los emplazamientos.

Tabla 7. Potencial del aerogenerador a diferentes horas

Horas de viento h/día	Potencia del aerogenerador (w)	Aerogenerador a seleccionar.
5	2 960	3 000
6	2 466,67	3 000
7	2 114,286	3 000
8	1 850	2 000
9	1 644,44	2 000
10	1 480	1 500
11	1 345,45	1 500
12	1 233,33	1 500
13	1 138,46	1 500
14	1 057,143	1 500
15	986,67	1 000

Fuente: Autor

De la tabla anterior y comparando las diferentes potencias en los aerogeneradores se puede concluir que cuando hay presencia de horas entre 10 y 14 se seleccionará un aerogenerador de 1500 w. Y así sucesivamente.

Para facilitar el cálculo se asumirá que existe 10 horas de viento. Se debe tener en cuenta que para cada emplazamiento se tiene que determinar las horas de viento promedio, para lo cual se deberá realizar un estudio de las horas de viento al día presentes y el potencial eólico.

Reemplazando los valores correspondientes en la ecuación 4.8 se obtiene la siguiente potencia eléctrica en el aerogenerador:

$$P_{aerogenerador} = \frac{14\,800 \left(\frac{w-h}{\text{día}} \right)}{10 \left(\frac{h}{\text{día}} \right)} = 1480 w$$

$$P_{aerogenerador} = 1480 w = 1500 w = P_{el\u00e9ctrica}$$

De acuerdo a esta potencia obtenida se deberá seleccionar un aerogenerador de 1500 w, además se debe que considerar los costos y la disponibilidad en el país.

Partiendo de la potencia eléctrica de 1500 w, se determina el potencial eólico requerido para dicha potencia con la Ec. 6, la misma que se muestra a continuación:

Datos:

$$\eta_{sist.\text{eléctrico}} = 95\%$$

$C_p = 0,59$ Coeficiente máximo del límite de Betz.

$$\rho = 1,255 \left(\frac{kg}{m^3} \right). \text{ Al nivel del mar.}$$

$$P_{eólica} = 2\,559,67 \text{ w}$$

Despejando y asumiendo diferentes diámetros determinamos datos de velocidades requeridas para que el aerogenerador entregue la potencia de funcionamiento (velocidad nominal). Con la Ec. 2. y la Ec. 9.

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 (m^2) \quad (9)$$

Tabla 8. Velocidades nominales a diferentes diámetros

Diámetro palas (m)	Área de barrido (m ²)	Velocidad nominal (m/s)
1	0,7854	15,480
1,25	0,982	14,371
1,5	1,1781	13,523
1,75	1,374	12,846
2	1,578	12,287
2,25	1,77	11,814
2,5	1,9635	11,41
2,75	2,16	11,05
3	2,3562	10,734
3,25	2,553	10,451
3,5	2,749	10,196

Fuente: Autor

Se selecciona el aerogenerador **EXMORK 1 500 w** que cumple con las condiciones mencionadas anterior mente. Más detalles de las características del aerogenerador **ANEXO B.**

4.5 Selección del inversor

Un inversor también consume energía y por tanto disminuye la eficiencia general del sistema. La ventaja del inversor es que el voltaje de operación es mucho más alto y por tanto puede evitarse el uso de cables gruesos. Especialmente cuando deben usarse cables largos es económicamente viable utilizar un inversor.

El inversor para su selección debe ser capaz de garantizar los parámetros siguientes:

- *Potencia máxima: $4000 \left[\frac{w-h}{día} \right]$*
- *Voltaje VCD (batería)*
- *Voltaje de salida 110 – 220VCA (consumo final)*
- *Frecuencia de 60 Hz*

Se selecciona un inversor **BERT-P-4000W CC12V /24V a CA 100/110/120VAC o 220/230 (50Hz o 60Hz)** ya que cumple con las condiciones establecidas. Más detalles de las características del inversor **ANEXO C.**

4.6 Selección de la batería de almacenamiento

Los sistemas pequeños utilizan generalmente baterías de plomo ácido. Algunos usan baterías alcalinas que son más caras pero requieren menos mantenimiento y tienen mejores características de almacenamiento. En general, las mejores baterías para aerogeneradores son del tipo de ciclo profundo, las que están diseñadas para permitir hasta 300 descargas, seguidas por cargas completas en su vida de trabajo. La capacidad de almacenamiento a seleccionar dependerá no solamente del tamaño y características del generador, sino del período de calma más largo en el cual deba mantenerse el

suministro de corriente. Una batería común de ácido - plomo la eficiencia puede ser del 90% pero depende mucho del uso de la batería. Además se debe considerar cuando la batería sea poco utilizada la auto descarga provocará una baja eficiencia. Las baterías no pueden ser descargadas en más del 80% de lo contrario su tiempo de vida disminuirá paulatinamente.

Tabla 9. Períodos sin viento

Duración del periodo sin viento [días]	1	2	3	4	5	15
Número de periodos al año	15	6	4	2	1	1

Fuente: Autor

La demanda de un día sin electricidad se da por hecho, la capacidad debe ser suficiente para 15 días (en un mes sin viento que se da cada año). Ya que esto es muy costoso, se puede convencer al usuario de establecer entre 2 a 4 días de almacenamiento.

4.6.1 Tamaño del sistema de almacenamiento

$$C = \frac{E (AUT)}{V (P_d)} \quad (10)$$

Dónde:

C = Cantidad de Amperios hora que suministra la batería (A – h)

$$E = \text{Consumo diario} \left[\frac{w - h}{\text{día}} \right]$$

AUT (N° días de autonomía) = 2

V = voltaje del regulador 24 VDC

P_d = Porcentaje de descarga de la batería = 80%

$$C = \frac{2 (14800)}{24 (0,8)} = 1541,66 (A-h)$$

Seleccionando - Batería de Ciclado Profundo, Millennium 31DC115 12VDC, 121Amps @ 20hrs. Más detalles de las características de las baterías **ANEXO D**.

4.6.2 Tipo de conexión de las baterías

4.6.2.1 Baterías en paralelo

$$\#baterías\ paralelo = \frac{C}{(A-h)} \quad (11)$$

$(A-h) = \text{Cantidad de Amperios hora que suministra la batería} = 121 (A-h)$

$$\#baterías\ paralelo = \frac{1541,7(A-h)}{(A-h)}$$

$$\#baterías\ paralelo = 12,7 \approx 13$$

4.6.2.2 Baterías en serie

$$\#baterías\ serie = \frac{V_{inversor}}{V_{bateria\ seleccionada}}$$

$$\#baterías\ serie = \frac{24V}{12V}$$

$$\#baterías\ serie = 2$$

El número total de baterías para el sistema de almacenamiento será:

$$\#baterías\ total = (\#baterías\ serie) (\#baterías\ paralelo)$$

$$\#baterías\ total = 2 (13) = 26baterías$$

4.7 Cableado

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

- Disponer de cables incluidos en alguno de estos casos
- Estar aislados de la intemperie por un tubo protector.
- Tener una funda aislante constituida por algún material cuya temperatura de servicio alcance los 90 °C.
- Disponer de cables con una sección tal que asegure que la caída de tensión en el conjunto del generador.
- Limitar al 1 % las caídas de tensión, debe aplicarse, y con mayor rigor, si cabe, al cableado que une el regulador a la batería.
- Este cableado debe incluir, además, un fusible en uno de los cables de salida de la batería, para evitar que se produzcan daños en esta última.

4.8 Diseño de la torre

4.8.1 Carga muerta. Son aquellas cuya magnitud y su posición, permanecen prácticamente constantes durante la vida útil de la estructura. Incluyen todos aquellos elementos de la estructura como vigas, pisos, techos, columnas, cubiertas y los elementos arquitectónicos como ventanas, acabados, divisiones permanentes. También se denominan cargas permanentes.

Tabla 10. Cargas muertas que actúan sobre la torre

Denominación	Carga (kg)
Aerogenerador	65
Tubo	5
Bridas	4
Total	74

Fuente: Autor

4.8.2 Carga por viento. Cargas de viento y explosiones producen presión o succión sobre las superficies expuestas de las construcciones. Los factores que influyen en la magnitud de esta carga son: la velocidad del viento y su variación con la altura, la magnitud de las ráfagas.

$$P_v = C_e q_s I_w C_q \quad (12)$$

$P_v =$ presión de diseño por viento $\left(\frac{kg}{cm^2}\right)$

$C_e =$ factor de ráfaga o exposición

$I_w =$ factor de importancia

$C_q =$ coeficiente de presión

$q_s =$ presión del viento

$$q_s = 0,0256 (v)^2 \quad (13)$$

Donde:

Para el cálculo se tomara de referencia a Riobamba

$$v = \text{velocidad del viento} = 80 \left(\frac{Km}{h}\right) = 22,2 \left(\frac{m}{s}\right) = 49,7mph$$

El claro de la estructura es de 20 cm

$$q_s = 0,0256 (49,7)^2$$

$$q_s = 6,32 \frac{lb}{ft^2} = 30,85 \frac{kg}{m^2}$$

$$q_s = \left(30,85 \frac{kg}{m^2} \right) (0,20m) = 6,17 \frac{kg}{m}$$

$$q_s = 6,17 \frac{kg}{m} = 0,062 \frac{kg}{cm}$$

C_e = Factor de altura, exposición y ráfaga. (tabla 16 – G)

C_e = factor de ráfaga o exposición. **Tabla 16-G ANEXO E**

Exposición tipo C por encontrarse a campo abierto

$C_e = 1.13$ para una altura de $20 ft = 6m$

I_w = factor de importancia. **Tabla 16-k ANEXO E**

$I_w = 1$ para una estructura común o almacén

C_q = coeficiente de presión. **Tabla 16-H ANEXO E**

$C_q = 1.3$ para estructuras menores o iguales a 40 ft

Por lo tanto

$$P_v = (1,13) (1) (1,3) (0,062)$$

$$P_v = 0,0911 \frac{kg}{cm} = 0,01 \frac{kg}{mm}$$

4.8.4 Carga por sismo. Estas cargas inducidas en las estructuras están en relación a su masa y elevación a partir del suelo; así como de las aceleraciones del terreno y de la capacidad de la estructura para disipar energía. (INEN, 2010)

Se determina por la siguiente ecuación:

$$V = \frac{I S_a}{R \varphi_p \varphi_E} (W) \quad (14)$$

Donde:

$V =$ Cortante basal de diseño

$Z =$ Coeficiente de zona

$\varphi_p \varphi_E =$ Factores de configuración estructural en planta y elevación

$R =$ Factor de reducción de respuesta estructural

$I =$ Factor de importancia

$S =$ Coeficiente de suelo

$T =$ Periodo de vibración

4.8.4.1 *Coeficiente de reducción de respuesta estructural.* Para estructuras de acero con elementos armados. **Tabla 2.14 ANEXO F**

$$R = 3$$

4.8.4.2 *Coeficiente de zona.* Para el diseño se considera una zona crítica en Riobamba, que se ubica en la zona 4, **Tabla 2.1 ANEXO F**

Donde:

$$Z = 0,4$$

4.8.4.3 *Factor de importancia.* Al ser una estructura común. **Tabla 2.9 ANEXO F**

$$I = 1$$

4.8.4.4 *Periodo.* El periodo se calcula por la fórmula

$$T = C_t (h_n)^\alpha \quad (15)$$

Donde:

$C_t=0,073$ y $\alpha=0,75$ para pórticos de acero. **Pág. 13 del Código Ecuatoriano de la Construcción.**

$$h_n = 6m = 20ft$$

$$T = 0,234503$$

4.8.4.5 *Coficiente de suelos.* Al tener un suelo tipo intermedio tenemos:

$$S_a = \eta Z F_a \quad \text{para } 0 \leq T \quad (16)$$

$$\eta = 2,48$$

$$Z = 0,4$$

Con perfil de suelo D según **Tabla 2.3 ANEXO F** y en la **Tabla 2.5 ANEXO F**

Se tiene $F_a=1,2$.

Reemplazando los valores.

$$S_a = (2,48) (0,4) (1,2)$$

$$S_a = 4,16$$

4.8.4.6 *Factores de configuración estructural en planta y elevación*

$\varphi_p \varphi_E = 1$, según Pág. 51 ANEXO F

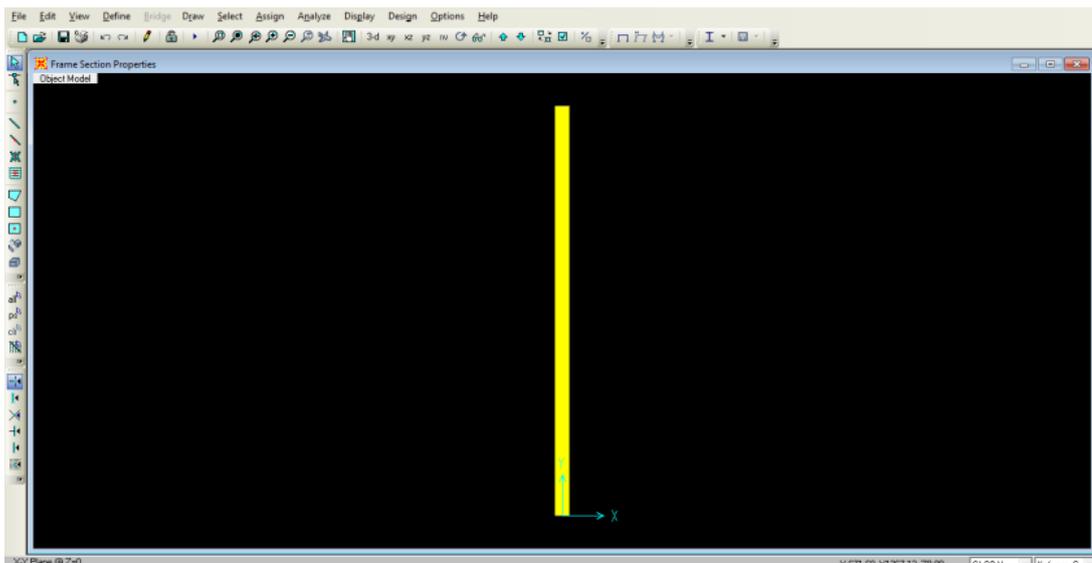
Reemplazando los valores en la Ec. 14.

$$V = 0,39143W$$

Esto quiere decir que la carga del sismo para la estructura es el 39,143% de la carga muerta. En el diseño usaremos el coeficiente 0,39143

4.8.5 Verificación de la torre del aerogenerador. Para el análisis de la estructura se ha utilizado el programa Sap 2000 V11, y los datos de las respectivas cargas determinadas anteriormente, es de suma importancia el análisis estructural para determinar las dimensiones del tubo estructural.

Figura 22. Tubo estructural



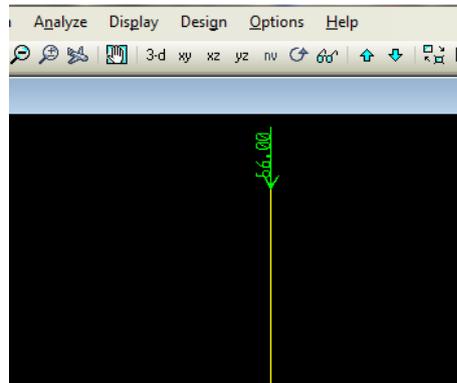
Fuente: Autor

Se realizara el análisis para una torre de 2 metros de altura, diámetro 2.5” acero estructural.

4.8.5.1 Cargas ingresadas

Muerta

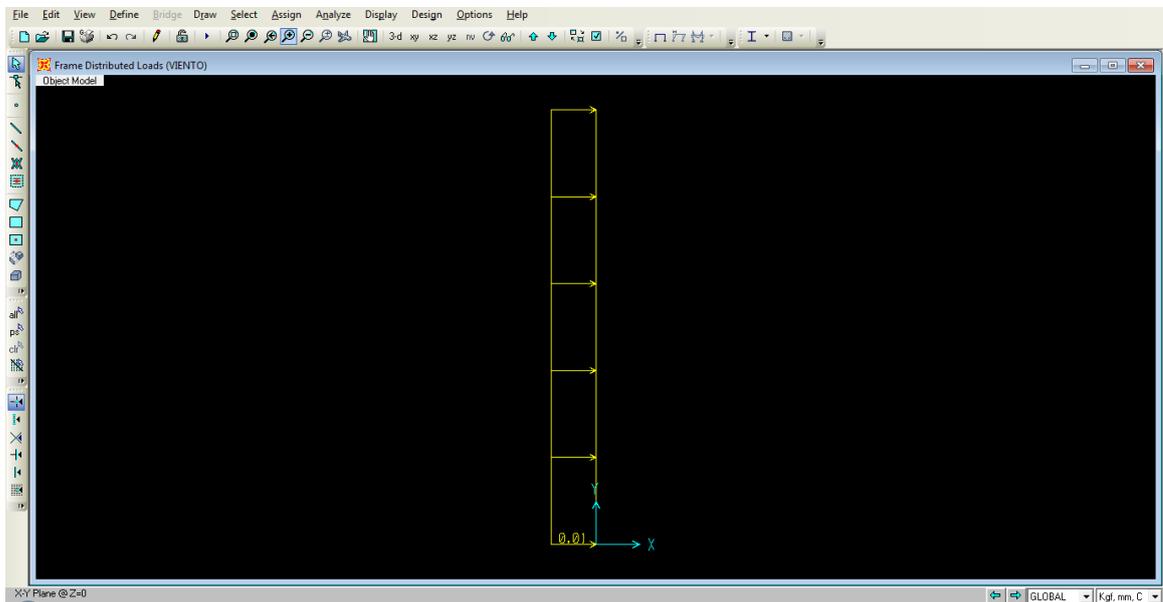
Figura 23. Carga muerta



Fuente: Autor

Viento

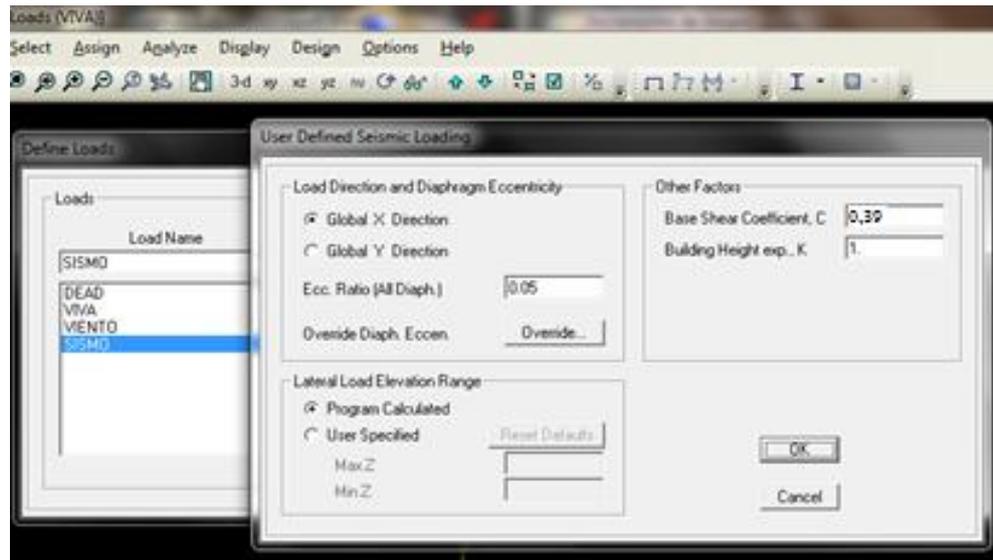
Figura 24. Carga por viento



Fuente: Autor

Sismo

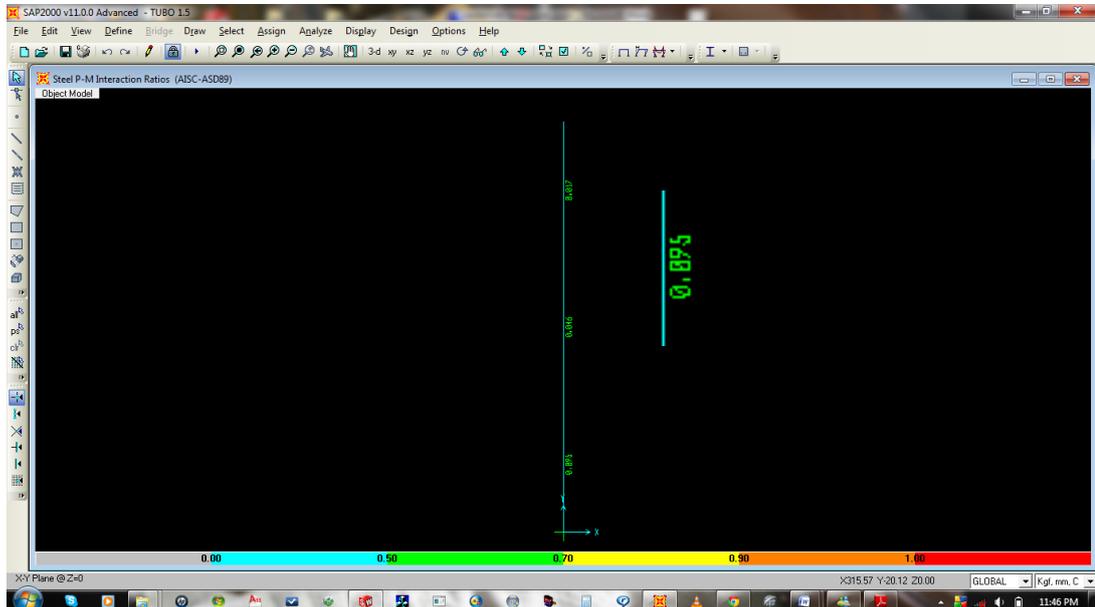
Figura 25. Carga por sismo



Fuente: Autor

4.8.5.2 Verificación del estado tensional a través de la razón de esfuerzos

Figura 26. Verificación mediante código de colores



Fuente: Autor

Mediante los códigos de colores se puede apreciar el valor de la razón de esfuerzos considerado para la estructura tubular de acero estructural de 2.5" de diámetro, que soporta tranquilamente los diferentes esfuerzos y combinaciones de cargas a las que está sometida, aunque este sobre dimensionado ya que lo normal sería que este en el rango de coloración verde y amarillo, pero se justifica a razón que las cargas de mayor valor son axiales, las misma que pueden hacer que el tubo de la torre se flexione.

CAPÍTULO V

5. ANÁLISIS DE COSTOS

5.1 Costos asociados con diseño e instalación del sistema eólico

El empleo de energías renovables a medida que mejora su eficiencia, aumenta su rentabilidad económica frente al uso de energías tradicionales, basadas principalmente en el uso de energías fósiles.

Con la instalación de un sistema eólico para la cocción de alimentos y duchado se contribuye al ahorro del consumo de Gas Licuado de Petróleo GLP y electricidad convencional éste ahorro se produce una vez amortizada la inversión inicial.

El inconveniente principal que se enfrenta el consumidor a la hora de ejecutar un proyecto de éste tipo es el alto costo de la inversión inicial, el mismo que es muy superior a la necesaria para instalar un calefón y una cocina de gas . Es importante por tanto demostrar que la implantación de un aerogenerador es una buena inversión reflejada en el ahorro económico pero sobre todo en la reducción de emisiones toxicas, cada vez éstas instalaciones son más fiables y solamente requieren de un mantenimiento rutinario, llegando a funcionar satisfactoriamente por un período de 20 a 25 años.

5.1.1 *Costos directos.* Son los costos que se identifican con productos específicos, o identificables con departamentos u entidades particulares. En cuanto a la ejecución del proyecto se entenderán como todos los costos que están directamente asociados con la implementación del sistema eólico, correspondiente a materiales, mano de obra y equipos comprometidos directamente con su ejecución. Para la instalación del equipo eólico se requerirá un operador de la concretera, un albañil, ayudantes (peones), un jefe de montaje y un maestro electricista.

Tabla 11. Costos directos

MATERIALES					
DENOMINACIÓN		CANTIDAD	PRECIO UNIT.	TOTAL(USD)	
Tubo de acero estructural 2,5" (78,74")		1	10,32	10,32	
Brida		2	5	10	
Pernos de sujeción (brida) 0,5"		6	0,5	3	
Cable # 12 (20m)		1	20	20	
Generador, aspas y controlador		1	1 690	1 690	
Inversor		1	1 300	1 300	
Baterías		26	190	4 940	
SUBTOTAL (A)				7 973,32	
ALQUILER DE MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS					
DENOMINACIÓN		TIEMPO(h)	COSTO-H.	TOTAL(USD)	
Teclé		1	8	8	
Herramienta menor		4	0,3	1,2	
SUBTOTAL (B)				9,2	
MANO DE OBRA					
DENOMINACIÓN	CANTIDAD	CATEGORÍA	HORA-HOMBRE	COSTO -H.	TOTAL (USD)
Jefe de montaje	1	C2	8	5	40
Ayudante de montaje	2	ST	8	1,25	40
Técnico eléctrico	1	C3	6	4	24
Ayudante eléctrico	1	ST	6	1,25	7,5
SUBTOTAL (C)					91,5
TRANSPORTE					
DENOMINACIÓN		UNIDAD	COSTO-UNIT	TOTAL(USD)	
Aerogenerador, inversor, regulador, baterías		1	50	50	
Sistema estructural		1	5	5	
Transporte personal		4	1,5	6	
SUBTOTAL (D)				61	
COSTO TOTAL (A+B+C+D)				8 078,02	

Fuente: Autor

5.1.3 Costos indirectos. Son aquellos costos que no intervienen directamente en el desarrollo del proyecto.

Por ejemplo: los salarios de dirección técnica, gastos administrativos, electricidad, interés de préstamo, materiales de limpieza, arrendamiento, imprevistos y utilidad, entre otros. Se considera un 25 % del total de costos directos, como costo indirecto.

Tabla 12. Costos indirectos

DENOMINACIÓN	CANTIDAD (%CD)	VALOR
Costos administrativos	2%	161,56
Seguros	0%	0
Secretaria	0%	0
Conserje	0%	0
Servicios Básicos (Luz, Agua, Telf.)	1%	80,78
Utilidad	0%	0
Diseño ingenieril	20%	1 615,60
Fiscalizador	2%	161,56
Construcciones provisionales	0%	0
TOTAL	25%	1 857,94

Fuente: Autor

5.1.4 Costos totales

Tabla 13. Costos totales del sistema eólico

COSTO TOTALES	
Costos directos.	8 078,02
Costos indirectos.	1 857,94
TOTAL (USD)	9 935,96
+IVA 12%	1 192,32
UTILIDAD 8%	794,88
COSTO TOTAL (USD)	11 923,16

Fuente: Autor

5.1.5 Periodo de amortización

5.1.5.1 Para energía eléctrica. Para determinar el costo de la energía generada se debe conocer el ahorro energético anual de todo el sistema.

$$\text{Energía generada} = 14\,500 \left(\frac{w-h}{\text{día}} \right)$$

$$\left(14\,500 \frac{w-h}{\text{día}} \right) \left(\frac{365 \text{ días}}{\text{año}} \right) \frac{1 (kw-h)}{1000 (w-h)} = 5\,292,5 \left(\frac{kw-h}{\text{año}} \right)$$

Esta cifra indica que en un año de generación tendremos $5\,402(kw-h)$, una vez obtenido este valor se calculara el ahorro económico.

$$\text{Costo del } (kw-h) = \left(\frac{0,082 \text{ dólares}}{kw-h} \right)$$

$$\frac{\text{Ahorro}_{\text{Total}}}{\text{año}} = \left(5\,292,5 \frac{kw-h}{\text{año}} \right) \left(\frac{0,082 \text{ dólares}}{kw-h} \right) = 443 \text{ USD}$$

Es decir se tiene un ahorro de 443 USD al año.

Luego se aplica un método de evaluación de inversiones. El método que empleará será el del Valor Actual Neto (VAN) siendo un método que proporciona una valoración financiera en el momento actual de los flujos de caja netos proporcionados por la inversión, es decir, presenta la relación entre los ingresos y los gastos de una inversión en función del tiempo.

$$VAN = -I_0 + \sum_n \frac{B_n}{(1+i)^n} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+i)^1} + \dots + \frac{F_n}{(1+i)^n} \quad (17)$$

Sabiendo:

$I_0 =$ Inversión inicial.

$F =$ Flujo de caja es decir lo que se ha denominado llamado ahorro total.

$i = \text{Tasa de rentabilidad de la inversión, } i = 2,5\%$

$n = \text{Número de años previsto para amortizar la instalación.}$

Para que sea rentable, el valor del VAN a de ser positivo, es decir, para conocer el número de años necesarios para amortizar la inversión bastaría con igualar el VAN a cero y despejar n . Como no se puede despejar, el cálculo se realizará de manera iterativa hasta que la expresión utilizada sea cero o positiva. Realizando éste proceso iterativo con n y sabiendo que f es el ahorro anual, I_0 la inversión inicial e i el tipo de descuento, se obtiene el periodo de amortización.

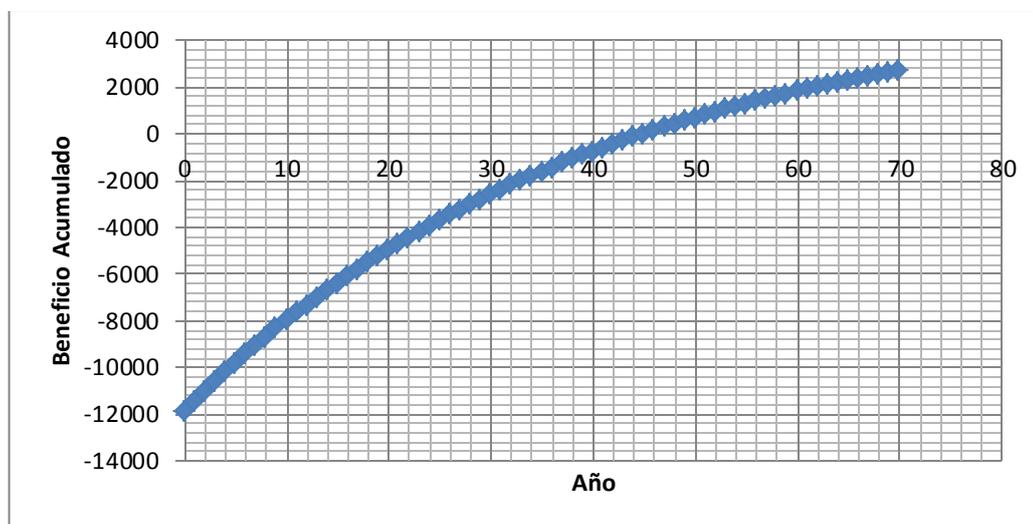
Tabla 14. Beneficio anual acumulado (con energía eléctrica)

Años	Beneficio acumulado	Años	Beneficio acumulado
0	-11 923,16	24	-4 000,11
1	-11 490,96	25	-3 761,16
2	-11 069,31	26	-3 528,04
3	-10 657,94	27	-3 300,60
4	-10 256,61	28	-3 078,71
5	-9 865,06	29	-2 862,24
6	-9 483,06	30	-2 651,04
7	-9 110,38	31	-2 444,99
8	-8 746,79	32	-2 243,97
9	-8 392,07	33	-2 047,86
10	-8 046,00	34	-1 856,52
11	-7 708,37	35	-1 669,86
12	-7 378,97	36	-1 487,74
13	-7 057,61	37	-1 310,07
14	-6 744,09	38	-1 136,73
15	-6 438,21	39	-967,62
16	-6 139,79	40	-802,63
17	-5 848,66	41	-641,67
18	-5 564,62	42	-484,63
19	-5 287,51	43	-331,42
20	-5 017,16	44	-181,95
21	-4 753,40	45	-36,13
22	-4 496,08	46	106,14
23	-4 245,04	47	244,93

Fuente: Autor

El periodo de amortización (valor de inversión inicial) para la presente instalación se lo alcanza recién a los 46 años. Según se observa en la siguiente gráfica:

Figura 27. Evolución del VAN en la instalación del equipo eólico (electricidad)



Fuente: Autor

5.1.5.2 Para el GLP. El tiempo que se tardaría en recuperar el gasto realizado. Para ello se debe conocer el ahorro anual que supone la utilización de energía eólica. Los datos necesarios para éste cálculo son los siguientes.

Tabla 15. Energía útil anual captada por el equipo eólico.

SISTEMA EÓLICO	Energía (MJ/año)
Proceso de cocción	14 191,2
Aseo (duchado)	5 256
TOTAL ENERGÍA CAPTADA	19 447,2

Fuente: Autor

Se calculara el VAN teniendo en cuenta un valor de ahorro anual.

Primero se calculara la cantidad de combustible necesario para producir una energía igual a la que se produce en la instalación eólica:

Se parte de la fórmula:

$$Q = I (m) (\eta) \quad (18)$$

$$m = \frac{Q}{I (\eta)} \quad (19)$$

Donde:

Q = Cantidad de energía igual a la producida por la instalación eólica, pero en éste caso producida por la combustión de GLP, transferida por una cocina y el Calefón.

I = Poder calórico del GLP, $I = 10\,830 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}}$ (Repsol).

m = Masa de combustible necesario para producir una energía igual a la que se produce en la instalación eólica.

η = Rendimiento térmico de los equipos ($\eta = 0,75$) (Espe).

Reemplazando los valores en la Ec. 5.3 se tiene:

$$m = \frac{19\,447,2 \text{ MJ}}{\left(10\,830 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right) \left(\frac{1 \text{ MJ}}{238,85 \text{ kcal}}\right) (0,75)} = 570,67 \text{ kg}$$

El precio actual de un kilogramo de GLP es de 0,1067 el monto del subsidio 0,262 el precio ponderado por kg de GLP es de 0,368 dólares, consecuentemente el precio de un cilindro de 15 kg es de 5,53 dólares (BCE, 2008).

Se divide el ahorro anual en dos rubros uno que beneficia directamente al dueño de la instalación eólica y el segundo beneficia al gobierno nacional del Ecuador, como se calcula a continuación.

$$Ahorro_{\text{Consumidor}} = m (0,1067) \text{ USD}$$

$$Ahorro_{\text{Consumidor}} = 60,89 \text{ USD}$$

$$Ahorro_{Gobierno} = m (0,262) USD$$

$$Ahorro_{Gobierno} = 149,52USD$$

$$\frac{Ahorro_{TOTAL}}{año} = 210,41 USD$$

Seguidamente se calcula el número de años en el que se amortizara la inversión inicial, con la Ec.17. Realizando un proceso iterativo con n y sabiendo que f es el ahorro anual, I_0 la inversión inicial e i el tipo de descuento, se obtiene el periodo de amortización.

Por último se presenta una tabla en la que se muestra el ahorro que se establece cada año. En este caso no llega un año en el que el valor del beneficio es positivo o lo que es más importante, mayor que cero, esto quiere decir que todos los años atrás han sido años de amortización.

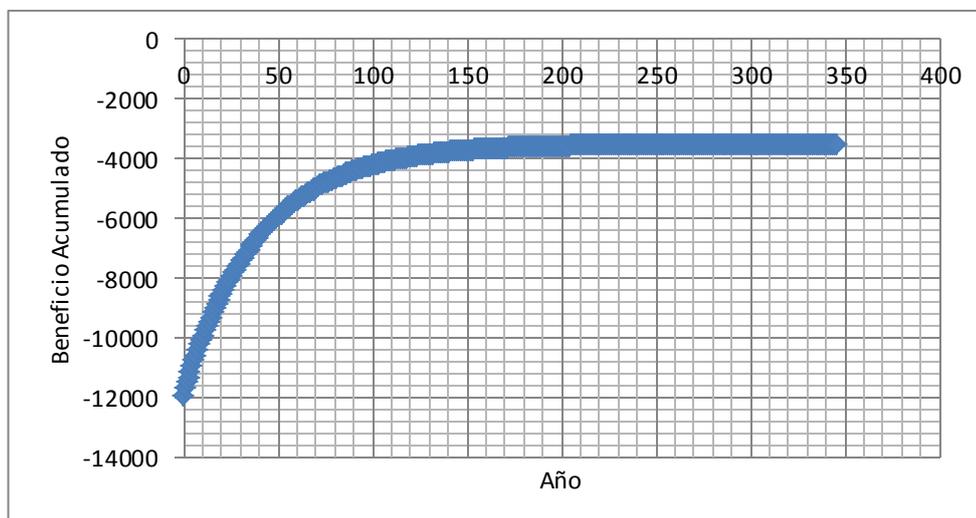
Tabla 16. Beneficio anual acumulado (con GLP).

Años	Beneficio acumulado	Años	Beneficio acumulado
0	-11 923,16	16	-9 176,26
1	-11 717,88	17	-9 037,98
2	-11 517,61	18	-8 903,07
3	-11 322,22	19	-8 771,45
4	-11 131,60	20	-8 643,04
5	-10 945,63	21	-8 517,77
6	-10 764,20	22	-8 395,55
7	-10 587,18	23	-8 276,31
8	-10 414,49	24	-8 159,98
9	-10 246,01	25	-8 046,49
10	-10 081,64	26	-7 935,76
11	-9 921,28	27	-7 827,74
12	-9 764,82	28	-7 722,35
13	-9 612,19	29	-7 619,53
14	-9 463,28	30	-7 519,22
15	-9 317,99		

Fuente: Autor

El periodo de amortización para la presente instalación no se lo puede determinar puesto que el valor de inversión inicial no se lo recupera según se observa en la siguiente gráfica:

Figura 28. Evolución del VAN en la instalación del equipo eólico (GLP).



Fuente: Autor

5.1.6 Rentabilidad ambiental del proyecto

5.1.6.1 Análisis con GLP

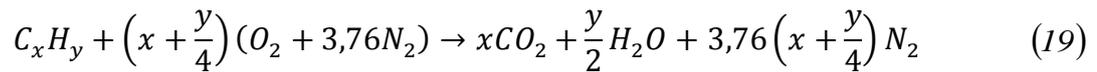
Es la reducción de CO_2 lo que realmente sustenta éste tipo de tecnologías y lo que las hace realmente rentables desde el punto de vista medioambiental. Consiguiendo un consumo de energías tradicionales más tolerante con la atmósfera y el entorno general (SISI, 2006). Para estimar la cantidad de emisiones de CO_2 evitadas, por la implantación del sistema térmico, es necesario saber entre otros parámetros la composición porcentual del GLP. (Degasextramadura, E., 2006)

Tabla 17. Composición del gas natural

Hidrocarburo.	Composición química	Porcentaje.
Metano	CH_4	91,4
Etano	C_2H_6	7,2
Propano	C_3H_8	0,8
Nitrógeno	N_2	0,6

Fuente: Autor

La combustión del gas natural es una reacción estequiométrica, dada por:



En ésta relación x e y están expresadas en moles.

Como la composición del gas natural está expresada en porcentaje de volumen se pasará a porcentaje en moles, aplicando la fórmula de la ecuación de estados para los gases ideales.

$$P V = n R T \quad (20)$$

Donde:

$P =$ Presión. En c. n. 101 325 Pa(1atm).

$V =$ Volumen total del gas (se supone 1 m³).

$n =$ Número de moles.

$R =$ Constante de los gases ideales $\left(R = 8,314 \frac{J}{mol \text{ } ^\circ K}\right)$.

$T =$ Temperatura en °K. En c. n. $T = 298 \text{ } ^\circ K$ (25°C).

Con éstos datos despejando el número de moles se obtiene:

$$n = 40,89 \text{ mol}$$

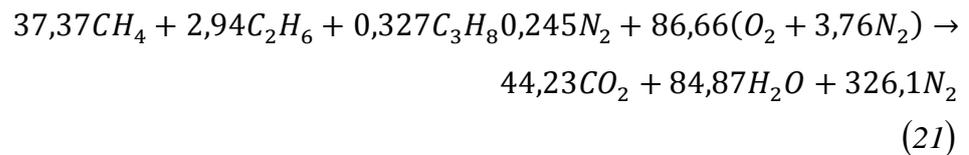
Una vez conocido el número de moles contenidas en un metro cúbico de gas ideal, se tiene que multiplicar éste valor por los correspondientes tantos por ciento de los componentes del GLP, ya que la proporción en volumen es la misma que en moles se obtiene:

Tabla 18. Moles en la composición del gas natural

Hidrocarburo.	Composición química	Moles.
Metano	CH_4	37,37
Etano	C_2H_6	2,94
Propano	C_3H_8	0,327
Nitrógeno	N_2	0,245

Fuente: Autor

Haciendo el equilibrio de Carbono, Hidrógeno, Oxígeno y Nitrógeno se tiene:



Por lo tanto se tiene 44,23 moles de CO_2 producidas por la combustión de un metro cúbico de GLP.

Ahora para conocer la masa correspondiente a los moles se utiliza la siguiente expresión:

$$n = \frac{m}{Pm} \quad (22)$$

Donde:

$n =$ Número de moles

$m =$ Masa en gramos

$Pm =$ Peso molecular del CO_2 (gramos) = 44g. (tabla periódica)

Masa del $CO_2 = 1,946Kg.$

Se sabe que la combustión de un metro cúbico de GLP produce 1,946kg de dióxido de carbono, éste metro cúbico de gas natural equivale a 0,732 kg del mismo gas en c. n.

Se tiene que 0,732 kg de GLP producen 1,946kg de dióxido de carbono. Para que un calefón y la cocina a gas produzcan la misma cantidad de energía captada por la instalación eólica necesita 347,76 kg de GLP anualmente, es decir anualmente se estaría evitando la emisión de:

$$Emisiones\ de\ CO_2 = 570,76 \frac{1,946}{0,732} Kg \quad (23)$$

$$Emisiones\ de\ CO_2 = 1\ 517,11\ Kg.$$

Ahora se calcula la emanación de CO₂ en los 25 años de vida útil que tiene los aerogeneradores.

$$Emisiones\ Totales\ CO_2 = 37\ 127,73\ kg$$

$$Emisiones\ Totales\ CO_2 = 37\ ton$$

5.16.2 Análisis con Electricidad. Para calcular las emanaciones de CO₂ se ocupa el siguiente factor de conversión. (Sunearthtools, F., 2009)

$$Factor\ de\ conversión = 0,261 \left(\frac{kg\ CO_2}{kw-h} \right)$$

$$Consumo\ anual = \left(14\ 500 \frac{w-h}{día} \right) \left(\frac{365\ días}{año} \right) \frac{1\ (kw-h)}{1000\ (w-h)} = 5\ 292,5 \left(\frac{kw-h}{año} \right)$$

$$Emisiones\ CO_2 = \left(5\ 292,5 \frac{kw-h}{año} \right) \left(0,261 \frac{kg\ CO_2}{kw-h} \right) = 1\ 381,34\ kg$$

Ahora se calcula la emanación de CO₂ en los 25 años de vida útil que tiene los aerogeneradores.

$$Emisiones\ Totales\ CO_2 = 34\ 533,6\ kg$$

Emisiones Totales CO₂=34,534 ton

Los árboles pueden ser considerados como sumideros de Carbono o depuradores de contaminación, ya que en su ciclo de vida absorben CO₂ para realizar la fotosíntesis, sintetizando hidratos de Carbono y liberando O₂.

Una forma de valorar el impacto ambiental que se genera con la emisión de CO₂ a la atmósfera debido al consumo energético, es determinar la cantidad de árboles que son necesarios para absorber todo el CO₂ que se ha generado.

Se considera que cada árbol es capaz de captar 20 kg de CO₂ atmosférico al año.

Con electricidad

$$\# \text{ de árboles} = (34\,533,56 \text{ kg CO}_2) \left(\frac{1 \text{ árbol}}{20 \text{ kg CO}_2} \right) = 1\,726,5$$

Con GLP

$$\# \text{ de árboles} = (37\,127,73,75 \text{ kg CO}_2) \left(\frac{1 \text{ árbol}}{20 \text{ kg CO}_2} \right) = 1\,851,64$$

CAPÍTULO VI

6. MANUAL DE MONTAJE Y MANTENIMIENTO

6.1 Montaje

6.1.1 *La capacitación.* Antes de realizar la instalación conviene preparar al personal participante para que se identifiquen con el procedimiento, y conozcan tanto los componentes como las herramientas que serán usadas. (Intranet2, T., 2004)

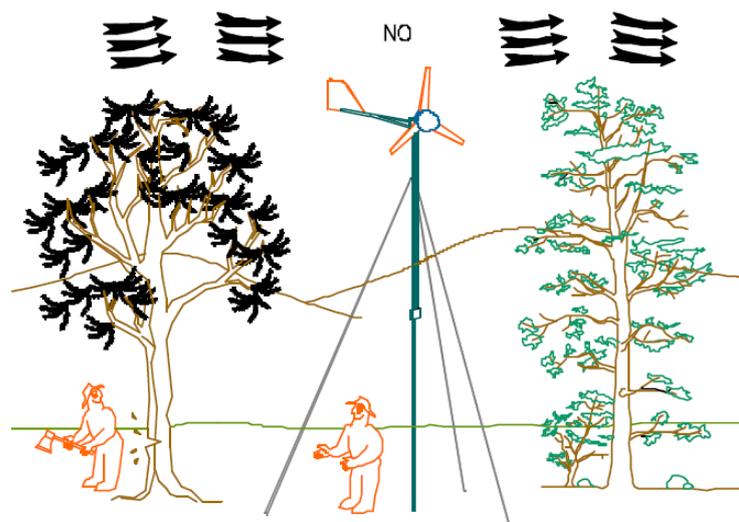
Figura 29. Capacitación del personal para la instalación eólica

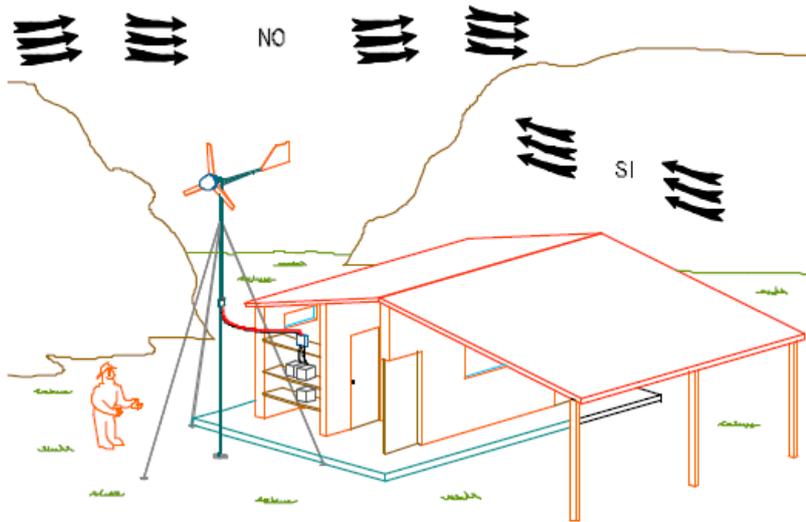


Fuente: http://intranet2.mine.m.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/uso/2/02/Inst_Mant_Aerogenerador.pdf

6.1.2 *Determinar el emplazamiento más adecuado.* Se debe realizar un estudio previo basado en observaciones continuas para poder definir la correcta ubicación de la turbina de modo que no exista ningún obstáculo que permita un funcionamiento deficiente del mismo.

Figura 30. Determinación del emplazamiento para la instalación eólica

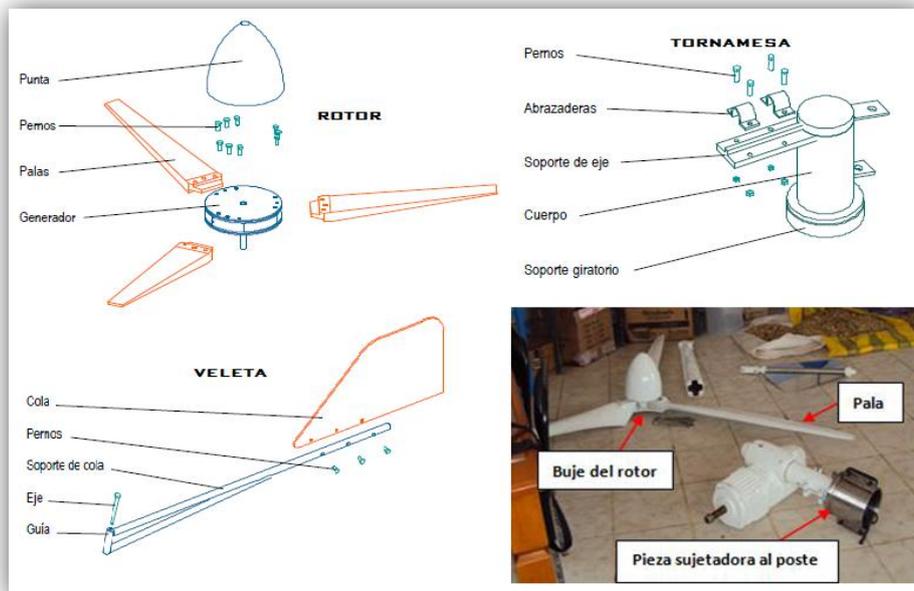




Fuente: http://intranet2.mine.m.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/uso/2/02/Inst_Mant_Aerogenerador.pdf

6.1.3 *Ensamble de la turbina eólica.* Se ensambla el aerogenerador de forma que las palas queden completamente centralizadas al buje del rotor, para ello antes se engrasaran las articulaciones de toda la góndola. De igual forma se acopla el sistema orientación del aerogenerador de forma que éste se empate con la parte superior del poste y pueda sujetar todo el peso del aerogenerador.

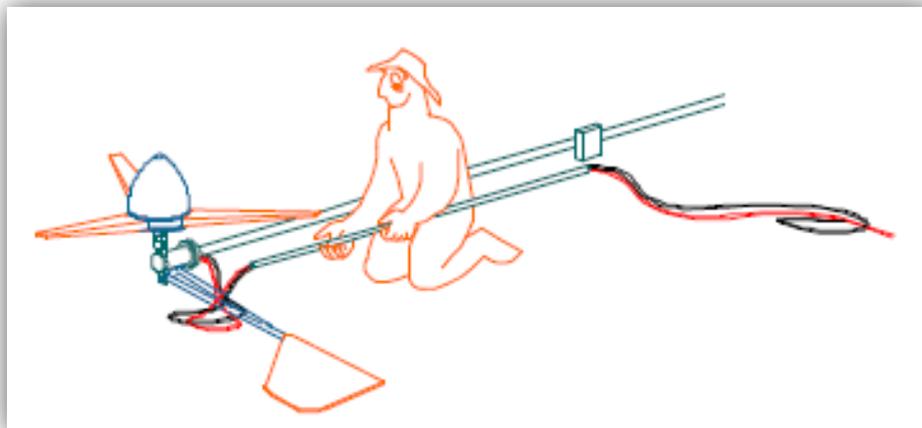
Figura 31. Ensamblaje del aerogenerador



Fuente: http://intranet2.mine.m.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/uso/2/02/Inst_Mant_Aerogenerador.pdf

6.1.4 Cableado. Previamente se realiza el cableado y el ensamble de la torre y el aerogenerador.

Figura 32. Cableado



Fuente: http://intranet2.mine.m.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/uso/2/02/Inst_Mant_Aerogenerador.pdf

6.1.5 Montaje de la turbina eólica. Es posible utilizar el tejado de un edificio para incrementar la salida de corriente, utilizando esta aceleración variara de forma considerable dependiendo del diseño de la casa de la dirección del viento. De los obstáculos locales y del terreno.

Hay diferencias considerables en la aceleración, dependiendo del ángulo y la altura de una estructura y de los obstáculos de alrededor. Sin embargo situarla a 1.5 m ó 2.5 m por encima de la estructura produce una aceleración sustancial en multitud de situaciones y es tolerante con diferentes direcciones de viento.

Aunque un tejado ó loza, puede utilizarse para acelerar el flujo de viento, una torre que es mucho más alta experimenta vientos más fuertes y una mayor salida de corriente. Las ventajas del montaje sobre un techo o columna son un montaje fácil, un costo menor de la torre y múltiples formas de instalación. Las desventajas, una menor velocidad del viento, un incremento de las turbulencias y un potencial alto de ruido. En caso de hacer un montaje de una torre ver **ANEXO F**.

Figura 33. Montaje de aerogenerador en una casa



Fuente: Autor

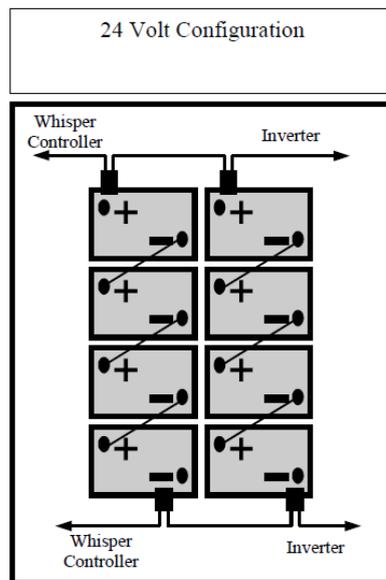
6.1.6 *Conexión del sistema de almacenamiento, inversor, regulador*

6.1.6.1 *Baterías.* Conectar las baterías en función del voltaje de las baterías que haya elegido, sus baterías deben ser conectadas en serie o en paralelo. Conecte solo baterías compatibles con el sistema híbrido RS (de existir). Los bancos de baterías deben ser instalados de acuerdo con las directrices de instalación. Sólo utilizar baterías del mismo tipo, la misma antigüedad y el mismo voltaje. (Merkasol, S., 2009)

Conexión en serie

Conecte cada batería en serie o en cadena con la siguiente para conseguir el incremento de voltaje. Por ejemplo, conectando dos baterías de 12V en serie conseguirá 24V. Conectando el positivo de una batería al terminal negativo de la siguiente consigue un nuevo banco de baterías con una tensión mayor pero de la misma capacidad de carga que el anterior.

Figura 34. Conexión en serie y paralelo



Fuente: http://www.merkasol.com/WebRoot/StoreLES/Shops/62387086/4BE6/D376/EC51/B6DF/A0F1/C0A8/28B9/57DA/ManualRS_450_750W.pdf

Conexión en paralelo

Conectando múltiples baterías en paralelo, mantendremos la tensión de la batería original, y multiplicaremos la capacidad de carga. Las conexiones en paralelo son usadas a menudo para incrementar la duración de la energía acumulada. En las conexiones en paralelo, dos baterías del mismo tipo podrán mantener el doble de carga que una sola y así sucesivamente.

Precaución

No invertir las conexiones de las baterías. Asegúrese de que las conexiones entre las baterías son firmes y seguras.

6.1.6.2 *Conexión de las baterías al controlador y al inversor.* El tamaño de los 3 cables que se conectan al controlador para cargar la batería debe seguir o superar la recomendación de la tabla 6.1. Un tamaño inadecuado puede hacer que el cable se sobrecaliente.

Asegúrese de que los extremos de todos los cables están conectados y que el positivo y negativo están conectados correctamente en sus baterías, de lo contrario, el sistema generador puede funcionar incorrectamente o algunas partes del sistema se pueden quemar.

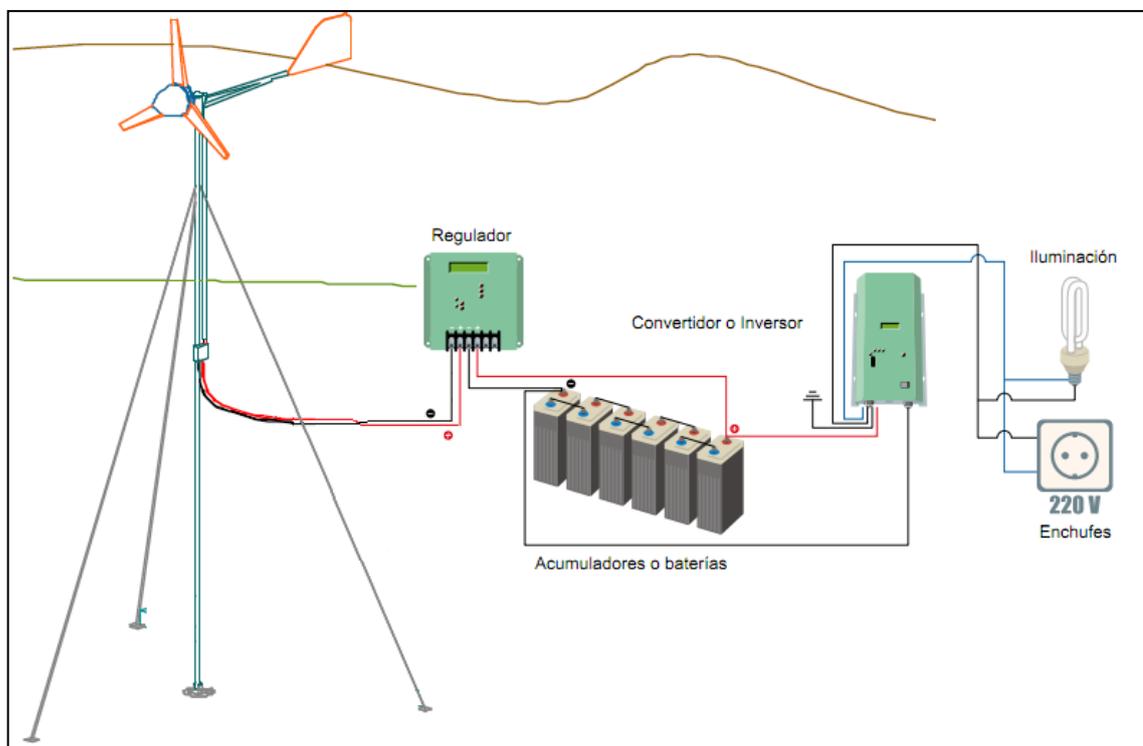
Para probar la conexión entre el controlador de carga y la batería, conecte el terminal positivo y negativo de la batería al las tomas BAT + y BAT – respectivamente, compruebe que se enciende la pantalla y que tiene lectura de la tensión. Más información ver **ANEXO C**.

Tabla 19. Tamaño de cable

VOLTAJE	12 V	24 V	24 V	48 V
50 m	1,33 mm	0,82 mm	1,33 mm	0,82 mm
100 m	1,65 mm	1,04 mm	1,65 mm	1,04 mm
≥	2,62 mm	1,32 mm	2,62 mm	1,32 mm

Fuente: Autor

Figura 35. Sistema eólico instalado



Fuente: http://intranet2.mine.m.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/uso/2/02/Inst_

Mant_ Aerogenerador.pdf

6.2 Mantenimiento de los aerogeneradores

La mayoría de las turbinas pueden funcionar durante largos periodos de tiempo sin localización de defectos ni reparaciones. Muchos fabricantes ofrecen servicio de mantenimiento para las turbinas eólicas que ellos instalan. El fabricante debe al menos haber detallado la información acerca de los procedimientos de mantenimiento y debe estar en condiciones de decirle cuándo debe ser llevado a cabo el mantenimiento.. Se lleva a cabo normalmente un mantenimiento menor sobre una base trimestral o dos veces al año. Anualmente, se requiere un mantenimiento más completo. El mantenimiento puede abarcar desde una simple comprobación del aceite, que más o menos cualquiera puede hacer, hasta subir a la góndola para inspección de engranajes o del dispositivo de orientación de las palas (estas últimas tareas requieren un alto grado de especialización). Al considerar un sistema de energía eólica, asegúrese de que tiene la capacidad técnica necesaria para mantener la instalación.

6.2.1 *Mantenimiento correctivo.* Son intervenciones no programadas o de emergencia. Las intervenciones de mantenimiento correctivo las realizará personal cualificado para realizar tal fin.

6.2.2 *Mantenimiento preventivo.* Son inspecciones programadas de mantenimiento. En la programación de estas intervenciones es recomendable seguir las indicaciones del fabricante, como mínimo incluirán:

6.2.2.1 *Buje*

Detección de fisuras.

Revisión del par de apriete de los tornillos.

6.2.2.2 *Palas*

Inspección visual de las palas.

Detección de fisuras.

Inspección del extender de las palas.

6.2.2.3 *Ejes*

Lubricación cojinetes de las bielas.

Lubricación soporte del eje transversal y del cojinete liso delantero.

Chequeo del par de apriete de los tornillos.

Chequeo de los rodamientos.

6.2.2.4 *Multiplificador*

Lubricación general.

Chequeo par de apriete de los tornillos.

Chequeo de la holgura de los rodamientos.

Chequeo fugas de aceite.

Test de aceite.

6.2.2.5 *Freno*

Chequeo del par de apriete de los tornillos.

Chequeo pinzas y pastillas de frenos.

Chequeo del disco de freno.

Eje de transmisión.

Lubricación general.

Chequeo del eje de transmisión.

6.2.2.6 *Generador*

Lubricación general.

Chequeo de los amortiguadores de caucho.

Chequeo de los rodamientos.

Chequeo del dispositivo protector del ventilador y tratamiento de la superficie.

6.2.2.7 *Motor de orientación*

Lubricación general.

Chequeo de rodamientos.

Revisión de fugas de aceite.

6.2.2.8 *Sistema de orientación*

Lubricación mordazas, vértice inferior, borde interno, dientes.

Chequeo del par de apriete de los tornillos.

Chequeo de los rodamientos de deslizamiento.

Control del material.

6.2.2.9 *Góndola y corona*

Chequeo del par de apriete de los tornillos.

Control del material.

Chequeo de soldaduras.

6.2.2.10 *Carcasa*

Revisión general.

6.2.2.11 *Torre tubular*

Chequeo del par de apriete de los tornillos y revisión general.

6.2.2.12 *Revisión de baterías.* Agregue agua destilada si está en un nivel bajo. Ajuste las conexiones de los bornes de las baterías. Remueva la corrosión y proteja los terminales. Enjuague las partes con solución de soda cáustica. Si es necesario, realice la carga de igualación de la batería

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

En el país la generación de energía a partir del viento no está explotada y son muy escasas las empresas que se dedican a la importación de equipos eólicos, además el desconocimiento del mapa eólico y el no contar con suficientes datos de presencia de viento en las estaciones meteorológicas, es un limitante ya que no se conoce las horas de viento, por lo que se debe realizar un estudio propio en cada emplazamiento donde se vaya a realizar un proyecto eólico.

El estudio de la gran variedad de modelos, tipos y diseños de aerogeneradores permitió preseleccionar los posibles modelos de generación con mayor eficiencia y al realizar un estudio técnico-económico se determinó la opción más apropiada para satisfacer la necesidad.

El diseño del sistema eólico de baja potencia se lo realiza en base a información técnica desarrollado por los países inmersos al campo de los aerogeneradores que tienen como principal fuente la energía eólica. Se toma en cuenta esto ya que en el país no existe aún una norma en la que se pueda respaldar estos criterios, además fue necesario investigar velocidades de viento para poder conocer la capacidad de producir energía eléctrica por este medio, se utilizó como fuente principal de información los datos proporcionados por el Ministerio de Electricidad y Energías Renovables (MEER).

A Pesar del avance y desarrollo tecnológico de los equipos eólicos, el periodo de retorno de la inversión no se recupera ya que el costo inicial es muy elevado y no se amortiza si no mucho después de cumplir la vida útil del sistema eólico. Esto se da porque el sistema no es utilizado con fines de comercialización de energía por lo que

con los ingresos obtenidos del ahorro no son lo suficientemente considerables para cubrir el valor de la inversión de estos equipos.

Al emplear la energía eólica como fuente de principal para el consumo en un domicilio se concluye que es probablemente el método más bondadoso de generación de energía que se conoce, ya que no existe un proceso de combustión o una etapa de transformación térmica quienes son los causantes del efecto invernadero y en consecuencia el calentamiento global, por lo que este tipo de energía es limpia, inagotable y renovable.

El consumo de energía eléctrica en función de emisión de tonelada métrica de CO₂, dio lo siguiente:

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (GLP)} = 37\text{ton.}$$

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (electricidad)} = 34,53 \text{ ton.}$$

7.2 Recomendaciones

Realizar un estudio del potencial energético eólico en los lugares reconocidos de interés para la producción de este tipo de energía.

Para la realización de este tipo de proyectos, se debe considerar realizarlos a gran escala o en lugares donde el acceso de la red eléctrica no exista, ya que solo así el proyecto es justificable desde el punto de vista económico.

Invertir en tecnologías de energías alternativas y reconocer las ventajas ambientales de las fuentes renovables, en comparación con las tecnologías convencionales.

Recomendamos a los futuros profesionales a orientarse en este sector productivo en pro del desarrollo del país, generando nuevas fuentes de trabajo pero sobre todo ayudar a contrarrestar la contaminación ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- Atmospheric fan, System. 2007.** [En línea] 19 de 03 de 2007. [Citado el: 13 de 10 de 2011.] www.extractores.com.mx/energia%20atmosferica.htm.
- BCE. 2008.** Banco Central del Ecuador. [En línea] 2008. [Citado el: 05 de 11 de 2011.] http://www.bce.fin.ec/ver_noticia.php?noti=NOT05086..
- Bettergeneration, E. 2009.** [En línea] 17 de 05 de 2009. [Citado el: 09 de 09 de 2011.] <http://www.bettergeneration.com/wind-turbine-reviews/windside-ws-4-wind-turbine.html>.
- CONELEC, E. 2011.** [En línea] Plan de la expansión de la generación, 11 de 06 de 2011. [Citado el: 19 de 09 de 2011.] <http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/PME0920CAP6.pdf>.
- Consumer, L. 2008.** [En línea] 24 de 04 de 2008. [Citado el: 04 de 08 de 2011.] <http://www.energy-spain.com/assets/flash/energia-eolica.swf>.
- Dcgasextramadura, E. 2006.** [En línea] 06 de 05 de 2006. [Citado el: 11 de 11 de 2011.] <http://www.dcgasextremadura.es/gas.htm>.
- Ecoenergética, F. 2008.** [En línea] 07 de 11 de 2008. [Citado el: 07 de 10 de 2011.] <http://www.eco-energetica.com/eolica>.
- Ecovivi, S. 2009.** [En línea] Viento, 21 de 08 de 2009. [Citado el: 07 de 09 de 2011.] <http://www.ecovive.com/los-aerogeneradores-segun-la-orientacion-del-rotor>.
- Enerpro, F. 2010.** [En línea] 13 de 07 de 2010. [Citado el: 25 de 09 de 2011.] <http://www.enerpro.com.ec/index.php/es/component/content/category/9-energias-renovables>.
- Fingedu, M. 2007.** [En línea] 15 de 07 de 2007. [Citado el: 21 de 10 de 2011.] http://www.fing.edu.uy/imfia/rige/cur_pas/material/Cuba/Cap14.pdf.
- Futuros, R. 2013.** [En línea] 13 de 10 de 2013. [Citado el: 06 de 08 de 2011.] http://www.revistafuturos.info/futuros14/energia_eolica.htm.
- INEN. 2010.** Quito : s.n., 2010. págs. 09-57.
- Intranet2, T. 2004.** [En línea] 17 de 02 de 2004. [Citado el: 23 de 11 de 2011.] http://intranet2.mine.m.gob.pe/web/dgaam/certificado_EA_new.asp.
- Mailxmai, E. 2009.** [En línea] 08 de 09 de 2009. [Citado el: 08 de 15 de 2011.] <http://www.mailxmail.com/curso-energia-eolica/aerogeneradores-tipos-primera-parte>.

Mecánica, 8° Congreso Iberoamericano de Ingeniería. 2010. *Metodología del Diseño. Aplicada a la Obtención de una Máquina Agrícola.* 2010.

Merkasol, S. 2009. [En línea] 01 de 12 de 2009. [Citado el: 25 de 11 de 2011.] http://www.merkasol.com/WebRoot/StoreLES/Shops/62387086/4BE6/D376/EC51/B6DF/A0F1/C0A8/28B9/57DA/ManualRS_450_750W.pdf ..

NOVILLO, Geovanny. 2009. *Diseño por esfuerzos admisibles.* Riobamba : s.n., 2009. págs. 50-55.

Opexenergy, G. 2008. [En línea] Energías renovables, 13 de 07 de 2008. [Citado el: 05 de 09 de 2011.] http://www.opex-energy.com/eolica/tipos_aerogeneradores.html..

ORBEGOZO, Carlos. 2010. *Manual tecnico para pequeñas instalaciones.* España : Green Energy, 2010. págs. 45-56.

Rabfis, O. 2009. [En línea] Energía eólica, 16 de 09 de 2009. [Citado el: 13 de 9 de 2011.] <http://rabfis15.uco.es/lvct/tutorial/41/inicio.htm>..

Redsauce, O. 2009. [En línea] 10 de 03 de 2009. [Citado el: 25 de 08 de 2011.] <http://alumnatbiogeo.blogspot.com/2009/03/tipos-de-aerogeneradores.html>.

SISI, T. 2006. [En línea] 19 de 09 de 2006. [Citado el: 16 de 11 de 2011.] www.sisi.org.mx/jspssi/documentos/2006/seguimiento/18577/1857700006506_055.pdf..

SMI. 2011. Energía renovables. [En línea] 21 de 05 de 2011. [Citado el: 15 de 09 de 2011.] <http://smienergias.wordpress.com/tag/aerogenerador/>.

Solenging, I. 2010. [En línea] 15 de 03 de 2010. [Citado el: 30 de 07 de 2011.] <http://www.solenging.unlugar.com/eolica.htm>.

Sunearthtools, F. 2009. [En línea] 19 de 12 de 2009. [Citado el: 20 de 11 de 2011.] http://www.sunearthtools.com/dp/tools/CO2-emissions-calculator.php#txtCO2_16..

Taringa, P. 2009. [En línea] 12 de 12 de 2009. [Citado el: 12 de 09 de 2011.] <http://www.taringa.net/posts/info/5800118/Energia-Eolica.html>..

Tech4cdm, E. 2009. [En línea] 02 de 10 de 2009. [Citado el: 28 de 09 de 2011.] <http://ebookbrowsee.net/experiencias-eol-ecu-parque-eolico-san-cristobal-pdf-d163729363>.

Upcommons, S. 2006. [En línea] 08 de 01 de 2006. [Citado el: 28 de 09 de 2011.] <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/11274/1/PFC.pdf>.

ANEXOS

PLANOS