

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS
DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS



CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECAÁNICA

TESIS DE GRADO

TEMA:

**“CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO DE BAJAS
REVOLUCIONES PARA LA ESCUELA FISCAL MIXTA
PORTOVIEJO UBICADA EN EL SECTOR DE CUCHITINGUE,
PARROQUIA ALÁQUEZ, CANTÓN LATACUNGA”**

Tesis presentada previa a la obtención del Título de Ingeniero Electromecánico

Autores:

Molina Corrales Freddy Renán
Pacheco Cepeda Luis Andrés

Director:

Ing. Efrén Barbosa

Asesor:

M.Sc. Víctor Hugo Armas

LATACUNGA - ECUADOR

Junio 2014

AUTORIA

Los criterios emitidos en el presente trabajo de investigación **“CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO DE BAJAS REVOLUCIONES PARA LA ESCUELA FISCAL MIXTA PORTOVIEJO UBICADA EN EL SECTOR DE CUCHITINGUE, PARROQUIA ALÁQUEZ, CANTÓN LATACUNGA”** como también ideas, análisis, conclusiones, y ejecución del proyecto, son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Freddy Renán Molina
C.I. 050277240-3

Luis Andrés Pacheco
C.I. 050277420-1

AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS

Yo, Ing. Efrén Barbosa en calidad de Director de Tesis y cumpliendo con expuesto en el capítulo **IV**, **Art. 9**, literal f: del reglamento de graduación en el nivel de pregrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

INFORMO QUE: el grupo de postulantes conformado por los Sres. Freddy Renán Molina Corrales y Luis Andrés Pacheco Cepeda, egresados de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; han desarrollado su trabajo de investigación previo a la obtención del Título de Ingenieros en Electromecánica con el tema:

“CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO DE BAJAS REVOLUCIONES PARA LA ESCUELA FISCAL MIXTA PORTOVIEJO UBICADA EN EL SECTOR DE CUCHITINGUE, PARROQUIA ALÁQUEZ, CANTÓN LATACUNGA”

En virtud de lo antes expuesto considero que los egresados se encuentran habilitados para presentarse al acto de la defensa de tesis.

Latacunga, 16 de Junio, 2014

Ing. Efrén Barbosa
Director de Tesis.

AVAL DEL ASESOR METODOLÓGICO DE TESIS

Yo, MSc. Hugo Armas en calidad de Asesor Metodológico de Tesis y cumpliendo con expuesto en el capítulo **IV**, **Art. 9**, literal f: del reglamento de graduación en el nivel de pregrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

INFORMO QUE: el grupo de postulantes conformado por los Sres. Freddy Renán Molina Corrales y Luis Andrés Pacheco Cepeda, egresados de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; han desarrollado su trabajo de investigación previo a la obtención del Título de Ingenieros en Electromecánica con el tema:

“CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO DE BAJAS REVOLUCIONES PARA LA ESCUELA FISCAL MIXTA PORTOVIEJO UBICADA EN EL SECTOR DE CUCHITINGUE, PARROQUIA ALÁQUEZ, CANTÓN LATACUNGA”

En virtud de lo antes expuesto considero que los egresados se encuentran habilitados para presentarse al acto de la defensa de tesis.

Latacunga, 16 de Junio, 2014

Msc. Hugo Armas
Asesor Metodológico de Tesis.

CERTIFICADO DE LA INSTITUCION BENEFICIADA



ESCUELA FISCAL MIXTA “PORTOVIEJO”



Yo, Carmen Parra portadora de C.I. 050231384-4, en mi calidad de Directora de la Institución, tengo a bien CERTIFICAR que los señores Molina Corrales Freddy Renán, portador de la cédula de ciudadanía N° 050277240-3 Pacheco Cepeda Luis Andrés portador de la cédula N° 050277420-1, realizaron la **“CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO DE BAJAS REVOLUCIONES PARA LA ESCUELA FISCAL MIXTA PORTOVIEJO UBICADA EN EL SECTOR DE CUCHITINGUE, PARROQUIA ALÁQUEZ, CANTÓN LATACUNGA”**

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a los interesados hacer uso del presente en la forma que estimen conveniente a sus intereses, siempre y cuando se use en forma legal.

Emito esta certificación al mes de Junio del dos mil catorce.

Lic. Carmen Parra
**Directora Escuela Fiscal
Mixta Portoviejo.**

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a Dios que me ha guiado por el camino correcto, por darme fuerza para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin desfallecer en el intento.

Con mucho amor se la dedico a mi madre por su apoyo incondicional para poder llegar a estas instancias de mis estudios, ya que ella siempre ha estado presente alentándome moral y psicológicamente, para cumplir este objetivo en mi vida.

Con cariño a mi prima Normi y su esposo por ser un pilar importante en mi vida, gracias por confiar en mí y enseñarme el deseo de superación para triunfar en la vida.

A mi compañero y amigo LOBO aunque no esté presente, por sus palabras de aliento, su alegría y consejos, por haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias inolvidables.

A mis familiares, por creer en mí he impulsarme a seguir adelante y no dejarme solo en los momentos difíciles.

Freddy Renán Molina Corrales

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi Padre, Luis Rodrigo Pacheco Mena (+), que desde el más allá me guía y me da sabiduría para continuar adelante, en especial le dedico a mi Madre, Gloria Eugenia Cepeda Espinosa por darme la vida y brindarme su apoyo incondicional, que ahora se ve reflejado para ser un hombre de bien, no solo en lo académico sino en la vida en general.

A mis Abuelitos

Como un padre siempre te he visto y como una madre también, gracias a su sabiduría influyeron en mí la madurez para lograr todos los objetivos en la vida, por ello les dedico este trabajo, en agradecimiento a todo su amor.

A mis hermanos

Les dedico con mucho cariño, por su paciencia, colaboración y sobre todo gracias por estar en un momento tan importante en mi vida.

De igual manera dedico a las personas que siempre me ayudaron y confiaron en mí, que de una u otra manera siempre estuvieron alentándome o molestándome en fin gracias por su apoyo.

Luis Andrés Pacheco Cepeda

AGRADECIMIENTO

Agradezco a las personas que de uno u otra forma aportaron con un granito de arena para la culminación de esta tesis, en especial al Ing. Neftalí Martínez por su colaboración en la construcción del proyecto.

Agradezco al Ing. Oscar García por facilitarnos sus conocimientos e impulsar el desarrollo de este proyecto desde sus inicios.

A la Universidad Técnica de Cotopaxi, porque en sus aulas, recibimos el conocimiento intelectual y humano de cada uno de los docentes de CIYA, en especial al Ing. Efren Barbosa por sus consejos.

Freddy Renán Molina Corrales

AGRADECIMIENTO

En especial a Dios por regalarme la vida, a mi familia quienes con su apoyo, motivación y comprensión me incentivaron a lograr la culminación de uno de mis propósitos en la vida, a las personas que me extendieron la mano con su ayuda desinteresada y de esta manera colaborando con un granito de arena.

A la prestigiosa Universidad Técnica de Cotopaxi, por darnos la oportunidad de alcanzar nuestros objetivos, de igual manera a los maestros con mucha estima y aprecio quienes impartieron sus conocimientos y experiencias para alcanzar un mejor porvenir, en especial al Ing. Efrén Barbosa como Director de Tesis, y al Ing. Segundo Cevallos, ya que con su amistad y ayuda desinteresada impulsaron a la culminación de esta tesis.

Luis Andrés Pacheco Cepeda

Índice General

Portada	i
Autoría	ii
Aval del Director de Tesis	iii
Aval del Asesor Metodológico de Tesis	iv
Certificado de Institución Beneficiada	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	viii
Índice General	x
Índice de Contenidos	xi
Índice de Figuras	xvi
Índice de Tablas	xviii
Resumen	xxi
Abstract	xxii
Aval de Traducción	xxiii
Presentación del Proyecto	xxiv
Introducción	xxv

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO I	1
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1 ENERGÍA RENOVABLE.....	1
1.1.1 Definición de la energía renovable.....	1
1.2 TIPOS DE ENERGÍA RENOVABLE.....	2
Energía solar térmica:.....	2
Energía eólica:.....	3
Energía procedente de la biomasa:.....	4
Biocombustibles:.....	5
1.3 IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA RENOVABLE.....	5
1.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA RENOVABLE ...	6
1.5 VIENTOS COMO UN FUENTE DE ENERGÍA.....	7
1.5.1 Definición de vientos como fuentes de energía.....	7
1.5.2 Cómo se produce el viento.....	9
1.6 ENERGÍA EÓLICA.....	9
1.6.1 Concepto de energía eólica.....	10
1.6.2 Conversión de la energía eólica.....	11
1.6.3 Aplicación de la energía eólica.....	12
1.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA.....	13
1.7.1 Ventajas de la Energía eólica.....	13
1.7.2 Desventajas de la energía eólica.....	14
1.8 IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGÍA EÓLICA.....	15
1.9 GENERADORES DE ENERGÍA EÓLICA.....	18

1.10 EQUIPOS PARA GENERAR ELECTRICIDAD.....	20
1.11 GENERADORES ELÉCTRICOS	21
1.12 IMPORTANCIA DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS.....	21
1.13 TIPOS DE GENERADORES ELÉCTRICOS	22
1.13.1 Generadores electromecánicos.....	22
1.13.2 Generadores electroquímicos.....	23
1.13.3 Generadores fotovoltaicos.....	24
1.14 MERCADO DE ENERGIA EOLICA	24
1.15 ENERGÍA EÓLICA EN EL ECUADOR	26
1.16 RECURSO EÓLICO DEL ECUADOR.....	27
1.16.1 Descripción del mapa eólico Ecuador 2013.....	27
1.17 PROVINCIA DE COTOPAXI.....	36
1.17.1 Reseña de la Provincia.....	36
1.17.2 Hidrografía de la Provincia.....	36
1.17.3 División Política.....	37
1.17.4 Estudios de viento en la Provincia	38
1.18 CÁLCULO TEÓRICO	40
1.18.1 Cálculo del diámetro del rotor.....	40
1.18.2 Potencia mínima del diseño	41
1.18.3 Velocidad de giro de la turbina.....	42
CAPÍTULO II	44
2. DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO	44
2.1. ESTUDIO GEOGRÁFICO DEL LUGAR A INSTALAR EL AEROGENERADOR.....	44
2.1.1 Localización del proyecto.....	44
2.1.2. Situación geográfica del lugar.....	45

2.1.3	Estudió de la velocidad del viento.....	45
2.1.4	Análisis del requerimiento energético de la Escuela.....	46
2.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	47
2.2.1.	Tipo de Investigación.....	47
2.2.2.	Métodos de Investigación.....	48
2.2.2.1.	Métodos Inductivo.....	48
2.2.2.2.	Método Deductivo.....	48
2.2.2.3.	Método Descriptivo.....	48
2.2.2.4.	Método Experimental.....	49
2.3	POBLACIÓN.....	49
2.4	MUESTRA.....	50
2.5	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	50
2.6	TABULACIÓN.....	50
2.7	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN.....	50
2.8	COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	61
2.8.1	Prueba del chi cuadrado X^2	61
1.-	Planteo de la hipótesis.....	61
2.-	Regla de decisión.....	61
3.-	Cálculo chi cuadrado X^2	62
2.9	PREGUNTAS DIRECTRICES.....	63
2.10	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
2.10.1	Conclusiones.....	64
2.10.2	Recomendaciones.....	64
CAPÍTULO III	66
3.1	INTRODUCCIÓN.....	66

3.2 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA	67
3.3 CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR EÓLICO DE IMANES PERMANENTES	68
3.3.1. Principio de funcionamiento del generador	68
3.4 FABRICACIÓN DEL ESTATOR	69
3.5. CONSTRUCCIÓN DE LAS HELICES DEL GENERADOR EÓLICO. .	70
3.6 FABRICACIÓN DEL ROTOR.....	72
3.6.1 Partes y componentes del rotor.....	72
3.6.2 Ensamblaje del rotor.	73
3.7 CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR.....	74
3.8 CÁLCULO DE LOS POLOS Y BOBINADOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.	75
3.8.1 Número de polos.	75
3.8.2 Conexión y número de las bobinas.	76
3.8.3 Número de espiras de cada bobina.....	78
3.9 SELECCIÓN DEL IMAN.....	79
3.9.1 Consideraciones magnéticas.	80
3.9.2 Fijación de los imanes.	82
3.10 VALORACIÓN TEÓRICA DE LA TENSIÓN EFICAZ.....	83
3.10.1 Valoración del flujo magnético.	83
3.10.2 Valoración de la superficie S	84
3.10.3 Valoración del campo magnético uniforme B.....	85
3.10.4 Valoración teórica de la tensión de salida del aerogenerador	87
3.10.5 Procedimiento para la conexión trifásica.	88
3.10.6 Tipo de conexión de las bobinas	89
3.11 SISTEMA DE CONVERSIÓN DE CORRIENTE DEL AEROGENERADOR AC/DC	90

3.11.1 Rectificador trifásico.....	90
3.11.2 Regulador de carga.....	92
3.11.3 Inversor DC a AC.....	93
3.11.4 Almacenamiento eléctrico.....	96
3.12 TORRE DE SOPORTE DEL AEROGENERADOR	97
3.12.1 Ubicación de la torre de soporte.....	98
3.12.2 Fijación y sujeción de los cables tensores.....	99
3.12.3 Anclajes de sujeción.	100
3.13 ENSAMBLAJE DEL GENERADOR EOLICO EN LA ESCUELA FISCAL MIXTA “PORTOVIEJO”	101
3.13.1 Diseño del montaje de la estructura y sus componentes.	101
3.13.2 Montaje de la torre de soporte.	102
3.13.3 Acople de tensores.	103
3.13.4 Ensamble de los componentes del aerogenerador.....	104
3.13.5 Ensamble de la veleta.	105
3.14 PESO DEL AEROGENERADOR.....	105
3.15 MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR.	106
3.16 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	108
3.17 PRESUPUESTO	110
3.18 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.	111
CONCLUSIONES.....	118
RECOMENDACIONES.....	119
GLOSARIO.....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	124
ANEXOS	127

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I	1
Figura 1.1. Energía fotovoltaica.....	3
Figura 1.2. Energía eólica	4
Figura 1.3. Energía procedente de la biomasa.....	4
Figura 1.4. Consumo de energía eólica a nivel global.	25
Figura 1.5. Proyeccion de energia eolica	25
Figura 1.6. Parque eólico villonaco Loja-Ecuador.....	32
Figura 1.7. Velocidad media anual del viento a 30 m de altura desde el suelo.....	33
Figura 1.8. Velocidad media anual del viento a 50 m de altura desde el suelo.....	34
Figura 1.9. Velocidad media anual del viento a 80 m de altura desde el suelo.....	34
Figura 1.10. División política de la Provincia Cotopaxi	37
Figura 1.11. Potencial eólico en la zona 3 – Específicamente a Cotopaxi.	40
Figura 1.12. Influencia de la geometría de las hélices.	42
CAPÍTULO II	44
GRÁFICO Nro. 1 PROBLEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	51
GRÁFICO Nro. 2 CUENTAS DE PAGO	52
GRÁFICO Nro. 3 ENERGIA ALTERNATIVA	53
GRÁFICO Nro. 4 UTILIZACIÓN DE OTRA FUENTES	54
GRÁFICO Nro. 5 UTILIZACIÓN DEL VIENTO.....	55
GRÁFICO Nro. 6 DEMANDA CONSIDERABLE.....	56
GRÁFICO Nro. 7 ILUMINACIÓN EN LAS INSTALACIONES	57
GRÁFICO Nro. 8 SISTEMA DE ENERGÍA	58

GRÁFICO Nro. 9 ENERGÍA ALTERNATIVA	59
GRÁFICO Nro. 10 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA	60

CAPÍTULO III..... 66

Figura 3.1. Diseño del generador eólico de imanes permanentes de flujo axial.	69
Figura 3.2. Vista explosionada del Estator.	70
Figura 3.3. Hélices del generador eólico tripala.....	71
Figura 3.4. Vista del rotor con la ubicación de los imanes.	73
Figura 3.5. Fijación del disco rotor.....	73
Figura 3.6. Distribución del número de polos.	75
Figura 3.7. Conexión de las Bobinas del estator.	77
Figura 3.8. Vista modelada de las bobinas ensambladas.....	78
Figura 3.9 Imán de neodimio N42	80
Figura 3.10. Curva características del imán.....	81
Figura 3.11. Fijación de los imanes	82
Figura 3.12. Campo magnético polo N y polo S.....	84
Figura 3.13. Líneas de campo magnético entre los imanes.	84
Figura 3.14. Ángulo entre los centros de la bobina.	87
Figura 3.15. Empalme de las bobinas.....	89
Figura 3.16 Esquema de la conexión trifásica Estrella	90
Figura 3.17. Rectificador trifásico que se utilizara.....	91
Figura 3.18. Rectificador trifásico	92
Figura 3.19. Regulador de carga	92
Figura 3.20. Sistema de inversión de 12 V DC a 115V AC de un aerogenerador.....	96
Figura 3.21. Esquema de componentes de una batería.....	96

Figura 3.22. Torre emplazada en el lugar de ejecución del proyecto.....	97
Figura 3.23. Altura, ubicación de los sensores y anclajes.....	99
Figura 3.24. Material utilizado en los anclajes y sensores.....	100
Figura 3.25. Base de soporte de la torre.....	102
Figura 3.26. Tubo de acople entre el aerogenerador y la torre.....	103
Figura 3.27. Instalación de los sensores.....	104
Figura 3.28. Generador eólico con sus componentes.....	104
Figura 3.29. Ensamblaje de la veleta de dirección.....	105
Figura 3.30 Prueba de funcionamiento mecánico.....	109
Figura 3.31. Funcionamiento prueba electrónica.....	110

INDICE DE TABLAS

CAPÍTULO I	1
Tabla 1.1. Expectativas MEER 2015 de energías renovables.....	26
Tabla 1.2. Distributivo por zonas del Ecuador.....	30
Tabla 1.3. Potencial eólico bruto del Ecuador.....	31
Tabla 1.4. Proyectos eólicos previstos en el Ecuador.....	35
Tabla 1.5. División política de Cotopaxi a detalle del área y habitantes.....	38
Tabla 1.6. Localidades con interés de energía eólica.....	39
CAPÍTULO II	44
Tabla 2.1. Datos obtenidos velocidad del viento Latacunga 2013.....	46
Tabla 2.2. Demanda energética de la Escuela fiscal mixta “Portoviejo”.....	47

Tabla 2.3. Población	49
Tabla 2.4. Preguntas seleccionadas.....	62
Tabla 2.5. Frecuencia observada	62
Tabla 2.6. Frecuencia esperada.....	62
Tabla 2.7. Cálculo del chi cuadrado.....	63

TABLAS DE LAS ENCUESTAS

TABLA Nro. 1 PROBLEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	51
TABLA Nro. 2 CUENTAS DE PAGO.....	52
TABLA Nro. 3 ENERGÍA ALTERNATIVA.....	53
TABLA Nro. 4 UTILIZACIÓN DE OTRA FUENTES.....	54
TABLA Nro. 5 UTILIZACIÓN DEL VIENTO	55
TABLA Nro. 6 DEMANDA CONSIDERABLE	56
TABLA Nro. 7 ILUMINACIÓN EN LAS INSTALACIONES.....	57
TABLA Nro. 8 SISTEMA DE ENERGÍA	58
TABLA Nro. 9 ENERGÍA ALTERNATIVA.....	59
TABLA Nro. 10 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA	60

CAPÍTULO III

Tabla 3.1. Dimensiones del imán a utilizar.	79
Tabla 3.2. Relación entre la inducción remanente y la inducción exterior.....	86
Tabla 3.3. Especificaciones del Rectificador.....	91
Tabla 3.4. Datos Técnicos del Regulador de Carga.....	93
Tabla 3.5. Data sheet del Inversor Marca Thor.....	94
Tabla 3.6. Especificaciones del Fabricante.....	94

Tabla 3.7 Componentes del Generador Eólico.....	101
Tabla 3.8. Peso específico del generador eólico.	106
Tabla 3.9. Lista de Materiales Generador Eólico.....	106
Tabla 3.10 Material eléctrico y electrónico del aerogenerador.....	108
Figura 3.30 Prueba de funcionamiento mecánico	109
Tabla 3.11. Prueba de Funcionamiento eléctrico y electrónico	109
Tabla 3.12. Presupuesto total aerogenerador.....	110

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS CARRERA DE INGENIERIA ELECTROMECHANICA

TEMA: “CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO DE BAJAS REVOLUCIONES PARA LA ESCUELA FISCAL MIXTA PORTOVIEJO UBICADA EN EL SECTOR DE CUCHITINGUE, PARROQUIA ALÁQUEZ, CANTÓN LATACUNGA”

RESUMEN

El presente trabajo de investigación describe la construcción de un generador eólico de bajas revoluciones de imanes permanentes, el diseño se realizó en base algunos modelos existentes, con el propósito de generar energía eléctrica, el generador comprende como parte principal el estator con 9 bobinas en conexión trifásica, el rotor está conformado por 12 imanes de neodimio N42, siendo la parte móvil conectada directamente por el eje con el soporte de las hélices, este aerogenerador no necesita de un arranque o un punto de excitación, es decir empieza a generar desde el primer movimiento que realice cada hélice con una medida de radio de 130 cm, el generador se encuentra ubicado a 10 m de altura soportado por un tubo galvanizado de 4 pulgadas cédula 40. La energía producida se almacena en una batería pasando por un rectificador de corriente, la misma energía posteriormente es convertida de DC / AC mediante un inversor, luego pasa al punto de entrega, es decir las instalaciones de la Escuela Fiscal Mixta “Portoviejo”. De esta manera se proporciona energía limpia renovable a un costo relativamente bajo. Este tipo de aerogenerador es muy práctico y se lo puede ubicar fácilmente en sectores rurales, el viento necesario mínimo es 3 m/s.

GENERADOR EOLICO DE IMANES PERMANENTES.



COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES ACADEMIC UNIT

Latacunga – Ecuador

TOPIC: “CONSTRUCTION OF AN EOLIC GENERATOR OF LOW REVOLUTIONS FOR THE PORTOVIEJO PUBLIC MIXED SCHOOL LOCATED IN THE CUCHITINGUE AREA, ALAQUEZ PARISH, LATACUNGA CONTOON”

ABSTRACT

The present research work describes the construction of an eolic generator of low revolutions of permanent magnets; the design was realized in base of some existing models, with the purpose to generate energy, the generator covers as main part the stator with 9 coils in three fase connection, the rotor is formed for 12 magnets of N42 neodymium, being the moving part connected directly by the axle with the helix support, this wind – driven generator does not need of a starting machine or an excitation point, namely it starts to generate since that each helix that realized the first movement with a radio measurement of 130 cm, the generator is located to 10 meters high supporting by a galvanized pipe of 4 in. schedule 40. The produced energy is stored in a battery passing by a current rectifier; subsequently the same energy is changed from DC / AC by an inverter, then passing to the delivery point, to the “Portoviejo” Public Mixed School installations. So clean renewable energy will be provided to a relatively low cost. This kind of wind – driven generator is very useful and it can be put easily in rural sectors, the minimum wind required is 3 m / s.

PERMANENT MAGNET WIND GENERATOR



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente de la Carrera de Ciencias de la Educación, Mención Inglés de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Certifico, que he realizado la revisión del Abstract, de la tesis elaborada por los alumnos: Molina Corrales Fredy Renán y Luis Andrés Pacheco Cepeda; con el tema: **“CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO DE BAJAS REVOLUCIONES PARA LA ESCUELA FISCAL MIXTA PORTOVIEJO UBICADA EN EL SECTOR DE CUCHITINGUE, PARROQUIA ALÁQUEZ, CANTÓN LATACUNGA”**, el mismo que cumple con requerimientos técnicos gramaticales del idioma Inglés.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad; pudiendo hacer uso de la presente para los fines legales pertinentes.

Latacunga, 06 de Junio de 2014

Lic. MSc. Nelly Patricia Mena Vargas
C.I. 0501574297

PRESENTACIÓN DEL PROYECTO

El presente trabajo investigativo que se plantea tiene la finalidad de garantizar servicio de energía eléctrica de manera continua, como una solución para el problema energético de las zonas aisladas tales como sectores rurales: mediante la construcción de un generador eólico, el cual no solo ayudará con el problema del déficit energético, sino que además favorecería a la preservación del medio ambiente, al ser una fuente renovable y limpia, así se logrará incentivar el uso de energías alternativas.

El presente proyecto de tesis ha sido elaborado en tres capítulos, donde se desarrollan conceptos, valoración e importancia del mismo, lo cual se expone con la siguiente temática.

En el capítulo I. Se presenta la introducción, antecedentes investigativos de energía renovable, tipos de energía renovable, vientos como fuente de energía, desarrollo de la energía eólica, impacto ambiental de la energía eólica, mercado de energía eólica, energía eólica en el Ecuador, recursos eólicos del Ecuador establecidos por el Atlas eólico del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

En el capítulo II. Se trató de un análisis e interpretación de resultados de los estudios de campo, localización del proyecto, situación geográfica del lugar, estudio de la velocidad del viento, requerimiento energético, a su vez se aplicó la metodología de investigación, población, muestra, tabulación y se realizó un análisis e interpretación de las encuestas conforme a la prueba del chi cuadrado (χ^2).

En el capítulo III. Se planteó algunos cálculos para la fabricación del generador eólico de imanes permanentes, como son el rotor, estator, soporte de hélices, cola de dirección, carcasa, sistema de control, almacenamiento de energía, cimentación de la torre de soporte, de igual manera se explica el acoplamiento del aerogenerador mediante un manual de operación como un manual de mantenimiento.

Se manifiesta las conclusiones y recomendaciones acerca de este proyecto eólico.

INTRODUCCIÓN

La situación energética que atravesó país era difícil, convirtiéndose en uno de los factores más significativos para que se realice la búsqueda de alternativas en cuanto a producción de energía eléctrica, por lo cual se incentiva al aprovechamiento de los recursos renovables para satisfacer las necesidades energéticas requeridas en este proyecto.

Las energías alternativas son fuentes de abastecimiento energético respetuosas con el medio ambiente, bajo este contexto la energía eólica es una de las principales, la cual evita la contaminación con una nula incidencia en el ambiente. El estudio de estas tecnologías limpias nos permite al aprovechamiento de los recursos disminuyendo los daños y la contaminación de nuestro medio ambiente producidos por los métodos tradicionales de producción de energía.

La provincia de Cotopaxi posee las características climáticas óptimas para la aplicación de este proyecto, debido a su situación geográfica encontrándose en la hoya montañosa de patate, donde la presencia del recurso principal de generación es el viento y este se encuentra en todas partes en una escala inagotable.

Por lo que se está seguro que la energía eólica es una gran alternativa ya que se puede generar Energía Eléctrica mediante la velocidad el viento, incluso este tipo de energía sería adaptable en todo lugar ya que no se necesita una gran aplicación en su costo beneficio como en los lugares más olvidados o alejados de la red eléctrica.

Por medio de esta investigación y al cumplir los objetivos propuestos, se pretende despertar el interés de la comunidad universitaria, en la aplicación de consumos de energía alternativa, limpia y renovable.

Este proyecto está encaminado a la construcción de un generador eólico y selección de equipos para un sistema de control, aprovechando los recursos eólicos que presenta esta zona, el mismo que servirá de apoyo para trabajos de investigación futuros.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se estudia conceptos básicos de diferentes factores que se asocian en el aprovechamiento de las energías renovables como son la energía eólica, para la producción de energía eléctrica, se analizará cómo trabaja un sistema eólico, el funcionamiento de sus componentes, obteniendo así una fundamentación teórica elemental necesaria para el diseño que proponemos realizar, el cual servirá de ayuda en lo posterior para su respectiva construcción e instalación.

1.1 ENERGÍA RENOVABLE

1.1.1 Definición de la energía renovable.

Según el Instituto de Tecnología y Formación ECA (2008) en su libro titulado Energía Solar Térmica expresa que:

“Las energías renovables son aquellas que se producen de manera continua y son inagotables a escala humana. Además tienen la ventaja adicional de poder complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas.”
(pág. 20)

Además se consideran respetuosas con el medio ambiente, y aunque ocasionen efectos negativos sobre el entorno, son menores ya que los impactos ambientales de las energías convencionales como combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), energía nuclear, etc.

Por el contrario se denomina energías renovables a las energías que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

De acuerdo a los autores la energía renovable principalmente se refiere a las fuentes naturales porque puede obtenerse de las mismas las cuales son inagotables por poseer gran cantidad de recursos y son capaces de regenerarse para el consumo humano, por ejemplo el agua, el sol y el viento.

1.2 TIPOS DE ENERGÍA RENOVABLE

SARDON J. En su libro titulado Energías renovables para el desarrollo (2008 pág. 19) expresa que “Existen varios tipos de energía renovable”

A continuación se describen los más utilizados:

- ♦ Energía solar térmica:

También llamada energía fotovoltaica es una fuente de energía de origen renovable, obtenida directamente a partir de la radiación solar mediante un dispositivo semiconductor denominado célula fotovoltaica, o bien mediante una deposición de metales sobre un sustrato denominada célula solar de película fina.

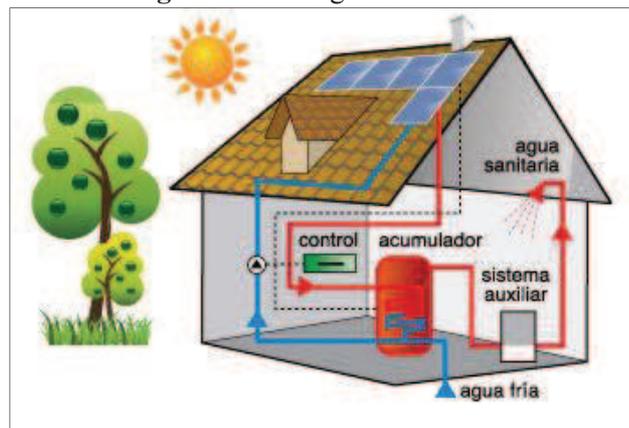
Además se puede decir que consiste en el aprovechamiento de la energía del Sol para producir electricidad y calor, que puede aprovecharse para la cocción de alimentos o para la producción de agua caliente destinada al consumo de agua doméstico, como puede ser: agua caliente sanitaria, calefacción, o para producción de energía mecánica y, a partir de ella, la producción de energía eléctrica.

Esta electricidad puede auto consumirse, la utilización habitual es en granjas o en casas rurales aisladas de la red, otro uso que puede darse a la electricidad producida es su venta a la red eléctrica. Existe una normativa al respecto que obliga a las

compañías eléctricas a comprar esta energía limpia durante toda la vida útil de la instalación y pagar una prima por ella.

En la figura 1.1. Se describe en forma gráfica la obtención de energía eléctrica mediante paneles fotovoltaicos, además la obtención de calor para calentar agua.

Figura 1.1. Energía fotovoltaica.



Fuente: http://www.tedesna.com/images/esque_termica.jpg

♦ Energía eólica:

Es la energía obtenida del viento, es decir, es generada por efecto de las corrientes de aire, y que es convertida en otras formas útiles de energía para las actividades humanas. En la actualidad, la energía eólica es utilizada principalmente para producir electricidad mediante aerogeneradores, conectados a grandes redes de distribución de energía eléctrica. Los parques eólicos construidos en tierra suponen una fuente de energía cada vez más barata, competitiva o incluso más barata en muchas regiones que otras fuentes de energía convencionales. Adicionalmente se puede argumentar que es una energía inagotable, ya que el recurso principal se encuentra en todo lado y en constante movimiento.

En la figura 1.2. Se muestra un aerogenerador con su sistema de control e inversión de energía DC/AC para el consumo de una vivienda.

Figura 1.2. Energía eólica

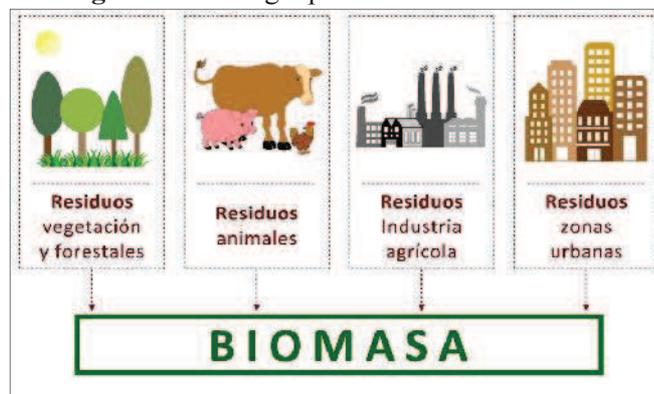


Fuente: <http://www.antisolar.cl/wp-content/uploads/2010/06/EOLICAS.jpg>

- ♦ Energía procedente de la biomasa:

Este tipo de energía procede del aprovechamiento de materia orgánica animal y vegetal o de residuos agroindustriales. Estos materiales, previo secado, se queman en calderas algo diferentes a las convencionales y también pueden utilizarse restos de industrias como las madereras, o papeleras como se observa en la figura 1.3.

Figura 1.3. Energía procedente de la biomasa.



Fuente: <http://icasasecologicas.com/wp-content/uploads/2013/05/biomasa1.jpg>

Existen dos tipos de utilidad de la biomasa:

Uso térmico: se utiliza el calor que procede de la combustión para alguno de los procesos industriales de la empresa.

Uso eléctrico: se consigue producir electricidad que, como en los casos anteriores, se vende a las compañías eléctricas que pagan por ellas una prima, por encima del precio de la electricidad convencional.

- ♦ Biocombustibles:

Suponen una alternativa a los combustibles fósiles, ya que están fabricados con aceites vegetales. Pueden utilizarse puros o con una mezcla del 30%. Algunos motores actuales ya aceptan este combustible, otros más antiguos tienen que someterse a pequeños cambios.

1.3 IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA RENOVABLE

De acuerdo a ROLDAN J. en su libro titulado Energías renovables expresa que:

La energía renovable es la forma de resolución de un problema mundial ya que las energías renovables son una fuente natural que se puede reponer naturalmente en un corto período de tiempo. Algunas de las energías renovables son las que provienen de la energía del sol, la energía del viento, y la energía del agua y energía geotérmica. (2012 pág. 48)

La energía solar puede ser utilizada para suministrar electricidad en los hogares o edificios, también puede ser utilizada directamente para proporcionar calor. También podemos convertir la energía cinética del viento en electricidad. Y la energía del agua (energía hidráulica) es otro método común para la obtención de energía. Y por último pero no menos importante otra fuente renovable utilizada hoy en día se llama energía geotérmica. La energía geotérmica es el calor y el vapor capturados dentro de la Tierra.

Las energías renovables son opciones maravillosas porque son ilimitadas. No vamos a quedarnos sin ellas. También otro gran beneficio del uso de energía renovable es que muchas de ellas no contaminan son energías limpias.

La energía renovable depende de fuentes que prácticamente son gratis: viento, luz solar, el flujo de un río. Es muy importante aprovechar este tipo de fuentes para el desarrollo de un país, pues si se depende de fuentes no renovables (petróleo, gas,

carbón, energía nuclear) se corre el peligro de depender del precio de estos combustibles y en caso de que se eleven demasiado, puede provocar una crisis energética que desemboque en inflación y devaluaciones para un país.

1.4 VENTAJAS E INCONVENIENTES DE LA ENERGÍA RENOVABLE

Según ROLDÁN, Vitoria J. en su libro titulado Energías renovables (2012, pág. 50) expresa las siguientes ventajas e inconvenientes.

Ventajas:

- ♦ No son contaminantes o tiene bajo nivel de contaminación.
- ♦ Su fuente primaria es inagotable.
- ♦ A estas energías se las denomina blancas o limpias y también verdes.
- ♦ Son bastante respetuosas con el medio ambiente.
- ♦ Reducen la dependencia respecto a los combustibles tradicionales de origen fósil.
- ♦ Su aplicación se lo realiza en todo lugar donde exista vientos moderados.

Inconvenientes:

- Pueden tener impacto ambiental elevado.
- Las instalaciones para recuperar la energía son relativamente costosas.
- Algunas de ellas no tienen, se interrumpe el suministro (luz y calor del sol, el viento, las mareas, sí). Son variables y no previsibles, las mareas, sí.
- Las instalaciones tienen bajos rendimientos.
- Ocupan mucha superficie.
- En algunos casos, su tecnología está en desarrollo.
- El suministro de energía debe ser complementado con energía procedente de fuentes contaminantes.

1.5 VIENTOS COMO UN FUENTE DE ENERGÍA

1.5.1 Definición de vientos como fuentes de energía.

MATEZANS J. en su libro titulado Geografía e historia expresa que:

La energía del viento está relacionada con el movimiento de las masas de aire que desplazan de áreas de alta presión atmosférica hacia áreas adyacentes de baja presión, con velocidades proporcionales (gradiente de presión). Por lo que puede decirse que la energía eólica es una forma no-directa de energía solar. Las diferentes temperaturas y presiones en la atmósfera, provocadas por la absorción de la radiación solar, son las que ponen al viento en movimiento”. (2008 pág. 38)

El aerogenerador es un generador de corriente eléctrica a partir de la energía cinética del viento, es una energía limpia y también la menos costosa de producir, lo que explica el fuerte entusiasmo por esta tecnología. Actualmente se utiliza para su transformación en energía eléctrica a través de la instalación de aerogeneradores o turbinas de viento. De entre todas las aplicaciones existentes de la energía eólica, la más extendida, y la que cuenta con un mayor crecimiento es la de los parques eólicos para producción eléctrica.

El gran beneficio medioambiental que reporta el aprovechamiento del viento para la generación de energía eléctrica viene dado, en primer lugar, por los niveles de emisiones gaseosas evitados, en comparación con los producidos en centrales térmicas. En definitiva, contribuye a la estabilidad climática del planeta. Un desarrollo importante de la energía eléctrica de origen eólico puede ser, por tanto, una de las medidas más eficaces para evitar el efecto invernadero ya que, a nivel mundial, se considera que el sector eléctrico es responsable del 29% de las emisiones de CO2 del planeta.

La industria eólica es un sector con indudable futuro. Las repercusiones que en materia de empleo está teniendo y va a tener esta dinámica inversión son sin duda

importantes. Este despliegue de la energía eólica puede ser una característica clave del desarrollo regional con el objetivo de dar lugar a una mayor cohesión social y económica.

Hay quienes consideran que la eólica no supone una alternativa a las fuentes de energía actuales, ya que no genera energía constantemente por falta o exceso de viento. Es la intermitencia uno de sus principales inconvenientes. El impacto en detrimento de la calidad del paisaje, los efectos sobre la avifauna y el ruido, suelen ser los efectos negativos que generalmente se citan como inconvenientes medioambientales de los parques eólicos.

La utilización del viento como una fuente de energía ha sido un tema de interés en todo el mundo en la última década. En el pasado el viento ha sido una importante fuente de energía, la cual se ha aprovechado en los molinos de viento, así también en la extracción de agua mediante un sistema de bombeo en pozos profundos.

El hombre aprovecha la energía del viento desde la antigüedad y no es raro ya que el 20 % de la energía del sol que llega a la tierra se convierte en viento. Pero no se trata solo de veleros y molinos, hoy se habla de fuentes primarias de energía renovables y no contaminantes: los generadores eólicos con un portador secundario versátil y almacenable (hidrógeno) asociado a un sistema de generación convencional (generador de combustión interna, adaptado para funcionar con mezclas gas natural e hidrógeno) y componentes de almacenamiento transitorio y reconversión a energía eléctrica (baterías recargables, celdas combustibles) y elementos de consumo doméstico y vehicular (quemadores catalíticos, calefacción y automóviles, alimentados con hidrógeno).

Para producir energía eléctrica a partir del viento se requiere un generador eólico, se fundamenta en el mismo principio que los molinos de viento. Consiste en una turbina eólica cuya energía es proporcional al cubo de la velocidad del viento. Por lo tanto, cuando el viento es suficientemente fuerte y sopla con regularidad.

1.5.2 Cómo se produce el viento.

Según VASQUEZ A. en su libro titulado Vivir del viento nos expresa que:

“El viento se produce cuando hay una diferencia de temperatura entre el aire de una región y el de otra. Debido a su menor densidad, la masa de aire más caliente se eleva, dejando un espacio que es ocupado por la masa de aire frío” (2012 pág. 32).

El viento es el resultado del desplazamiento del aire frío. El nivel de movimiento de las masas de aire es diferente; así, hay vientos suaves y otros violentos como los huracanes, cuya velocidad puede superar los 200 Km/h. La velocidad de los vientos está determinada por la cantidad de energía cinética de la masa de aire; cuanto mayor es la velocidad, mayor es la energía cinética que tiene el viento. A esta energía se le llama energía eólica.

Actualmente, las aplicaciones de la energía eólica se centran en la obtención de electricidad, la cual se genera en las centrales eólicas a partir del movimiento del viento. Estas instalaciones suelen ser amplias y cuentan con un tipo especial de molinos: las turbinas eólicas, aspas finas de rotación muy rápida. En paralelo el eje de las aspas, un mecanismo acciona un generador eléctrico que transforma la energía mecánica en energía eléctrica. Con una turbina eólica de 4,5 m de diámetro se puede conseguir almacenar unos 5000 kW/h de energía eléctrica; cantidad equivalente a lo que consume un televisor en color encendido las 24 horas del día durante 3 años.

1.6 ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica es una de las fuentes de energía con mayor crecimiento de implantación en el mundo. Su relevancia se dio a finales del siglo XX para la generación de energía eléctrica limpia, de esta manera se ha conducido rápidamente a ser una fracción importante de la generación eléctrica en muchos países.

Para que este hecho llegara a producirse, han tenido que cumplirse varios factores, entre los que se pueden calificar cinco como los decisivos:

- 1.- La necesidad, ligada al progresivo agotamiento de los combustibles fósiles.
- 2.- El potencial, existente en varias partes del planeta, del suficiente recurso eólico.
- 3.- La capacidad tecnológica, para desarrollar aerogeneradores muy eficientes.
- 4.- La visión de los pioneros en este campo, quienes en la segunda mitad del siglo pasado dirigieron el desarrollo tecnológico para conducirnos a la situación actual.
- 5.- La voluntad política para facilitar la implantación de la energía eólica, tanto en lo que se refiere a la tramitación administrativa como a la retribución para el productor.

Por este motivo se impulsa el consumo de energías renovables como la energía eólica la misma que se encuentra en un extenso crecimiento a nivel nacional como mundial.

1.6.1 Concepto de energía eólica

BALLARD M, en su libro titulado Conocimientos básicos en educación ambiental expresa que:

“La energía eólica utiliza la fuerza del viento para producir electricidad y se usa como fuerza motriz (por ejemplo, bombas de agua). La energía eólica tiene interés comercial para la producción de electricidad en las instalaciones de molinos de viento a gran escala. A pequeña escala, un molino de viento puede suministrar energía para usos locales, como la elevación de agua para el riego.” (2003, pág. 93)

De acuerdo al autor la energía eólica es la energía producida a través del viento, es decir, la energía generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas ya sea a alta o baja escala.

La energía eólica pertenece al conjunto de las energías renovables o también denominadas energías alternativas. La energía eólica es el tipo de energía renovable más extendida a nivel internacional debido a su fácil instalación y por su potencia instalada (Mw) y por su energía generada (Gwh).

La energía eólica procede de la energía del sol (energía solar), ya que son los cambios de presiones y de temperaturas en la atmósfera hacen que el aire se ponga en movimiento, provocando el viento así los aerogeneradores aprovechan el mismo para producir energía eléctrica a través del movimiento de sus hélices (energía cinética).

1.6.2 Conversión de la energía eólica

De acuerdo a VILLARUBIA M. en su libro titulado Ingeniería de la energía eólica manifiesta que:

La energía eólica se ha utilizado históricamente para tareas mecánicas que requerían de mucho esfuerzo físico, como era moler grano o elevar agua de pozos. En estos casos la energía final que se usaba era la energía mecánica, sin embargo, con el paso de los años el objetivo que se buscaba era el de producir energía eléctrica a partir del viento. (2012 pág. 126)

Por lo tanto se desarrolló, un sistema conversor de energía eólica en electricidad aprovechando la velocidad del viento, con varias funcionalidades y aplicaciones para el desarrollo de las actividades humanas cotidianamente.

El sistema de conversión, está integrado por:

- a) Rotor: Formado por un conjunto de aspas de diseño aerodinámico cuyo número y tamaño pueden variar y generalmente son construidas con fibra de vidrio, aluminio, madera epóxica o acero, en orden de frecuencia de utilización. Las aspas se unen en el centro del rotor y se acoplan a una flecha.

Este subsistema es el encargado de captar la energía cinética del viento y convertirla en energía mecánica.

- b) Caja de transmisión: Subsistema utilizado para acoplar la velocidad angular de la flecha del rotor con la velocidad angular de operación o nominal de los generadores eléctricos utilizados.

De acuerdo al autor para convertir la energía disponible en el viento, es necesario convertir su energía cinética en energía mecánica o eléctrica que pueda hacer trabajo. Esta energía se capta en hélices en el rotor que giran según fluye el viento alrededor de las mismas o choca contra ellas. Las hélices convierten la energía cinética del viento en energía mecánica. El rotor se conecta al eje y el par motor en el eje, creado por la rotación de las hélices, puede hacer trabajos mecánicos o generar electricidad.

1.6.3 Aplicación de la energía eólica.

Según el equipo INIECO en su libro titulado desarrollo de proyectos de instalaciones de energía mini-eólica aislada declara que:

“Las aplicaciones de la energía eólica son de forma autónoma y están basadas principalmente en las necesidades de pequeñas comunidades o de tareas agrícolas, pudiendo sintetizarse en los siguientes puntos”. (2011, pág. 8)

- Alumbrado y usos eléctricos diversos
- Acondicionamiento de naves de cría de ganado
- Secado de cosechas
- Calentamiento de agua
- Acondicionamiento y refrigeración de almacenes
- Refrigeración de productos agrarios
- Bombeo de agua y riego
- Generación Eléctrica

Asimismo resulta de interés el empleo de aerogeneradores para repetidores de radio y televisión, estaciones meteorológicas e instalaciones similares, situadas lejos de las redes eléctricas. En estos casos hay que prever normalmente un sistema de acumulación por baterías para hacer frente a las posibles calmas.

1.7 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA

1.7.1 Ventajas de la Energía eólica.

Según VILLARRUBIA, Miguel en su libro titulado Energía eólica describe las siguientes ventajas:

“La energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar el cambio climático. Es una tecnología de aprovechamiento totalmente madura y puesta a punto”.

Es una de las fuentes más baratas, puede competir e 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.

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.

1.7.2 Desventajas de la energía eólica.

De acuerdo a VILLARRUBIA, M en su libro titulado Energía eólica expresa las siguientes 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” (2004, pág. 13)

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.

1.8 IMPACTO AMBIENTAL DE LA ENERGÍA EÓLICA

Según TALAYERO Ana en su libro energía eólica nos expresa que:

“Los impactos ambientales producidos por el uso y explotación de la energía eólica se califican de acuerdo a una escala de niveles expresada como compatible, moderado, severo y crítico”. (2008 pág. 25)

a.- Impactos compatibles: Son aquellos en los que luego de que las acciones impactantes han cesado, el o los componentes ambientales afectados se recuperan inmediatamente, sin la necesidad de la aplicación de prácticas protectoras, correctoras.

b.- Impactos moderados: Son aquellos en los que luego de que las acciones impactantes han cesado, el o los componentes ambientales afectados no se recuperan inmediatamente, y para lograr su recuperación necesitan de la aplicación de prácticas protectoras, correctoras poco intensivas.

c.- Impactos severos: Son aquellos en los que luego de que las acciones impactantes han cesado, el o los componentes ambientales afectados precisan para su recuperación de un período de tiempo dilatado y la aplicación de prácticas protectoras, correctoras intensivas.

d.- Impactos críticos: Son aquellos en los que luego de que las acciones impactantes han cesado, el o los componentes ambientales afectados han perdido, y lo continúan haciendo, la calidad de las condiciones ambientales iniciales, sin que exista una posibilidad cierta de recuperación incluso con la adecuación de prácticas protectoras, correctoras muy intensivas.

Las centrales eólicas se pueden comparar con un bosque de árboles relativamente altos, lo que permite demostrar que la influencia sobre el clima resulta improbable. Es incuestionable que existirá una disminución de la velocidad de viento al cruzar por las aspas del aerogenerador, debido a que gran parte de la energía cinética contenida es aprovechada como energía mecánica y posteriormente eléctrica, pero el viento recuperará en poca distancia sus características cinéticas como resultado del transporte hacia abajo del momento de los vientos superiores más fuertes, sin causar mayor alteración climática. Este fenómeno es tomado en cuenta al definir el espacio o distancia entre turbinas.

Las aplicaciones de generación de energía eléctrica mediante centrales eólicas, que se enmarcan en aplicaciones de mediana y gran escala, no conciben el almacenamiento de energía en baterías o indirectamente en represas mediante bombeo de agua, debido a que económicamente resulta poco práctico guardar grandes bloques de energía en sistemas de almacenamiento.

Consecuentemente no tendrá contaminación debido al plomo de las baterías ni alteraciones ambientales, resultantes de la construcción de otras alternativas de almacenamiento.

En los sistemas eólicos no existe calor residual que eliminar, ya que sólo una pequeña parte de la energía mecánica se convierte en energía térmica como resultado de la fricción de los componentes.

No así en las centrales convencionales donde la combustión, reacción, fricción y descargas de agua caliente en forma directa o por drenaje, producen altos niveles de calor y expulsión de gases tóxicos, nocivos para la naturaleza circundante por alteración del medio.

La contaminación acústica por el gran número de aerogeneradores debido a la rotación de las aspas, es un parámetro que a pesar de que la tecnología lo ha corregido en gran parte, puede tener influencia en poblaciones humanas y animales contiguas a la zona.

Otros parámetros como precipitación, evaporación, humedad y nubosidad que podrían ser alteradas en proyectos hidráulicos, no tienen ninguna significación en generación eólica.

- **Componente hidrosférico**

Al no ser el agua la substancia de trabajo de las centrales eólicas, y no contar con sistemas de enfriamientos o drenajes que utilicen agua, el componente hidrosférico no se ve alterado.

- **Componente geosférico**

Las centrales eólicas, que generalmente se encuentran en zonas apartadas, requieren de la modificación del suelo para readecuación de vías de acceso, que servirán para la introducción de los equipos constituyentes de los aerogeneradores, así como maquinaria para el montaje y mantenimiento. Además se necesita la modificación del suelo para la construcción de las bases para la erección de la torres de los aerogeneradores, construcción de las subestaciones y para el tendido subterráneo de los alimentadores en baja y media tensión.

- **Impactos sobre el medio biótico**

Los campos de generación eólica generalmente ocupan vastas zonas, que comparándolas con centrales térmicas o hidroeléctricas podrían resultar mayores, pero en cuanto al área efectiva utilizada por las torres de los aerogeneradores es mucho menor.

Es importante destacar el hecho de que el terreno de las centrales eólicas puede ser de uso múltiple y seguir siendo utilizado para la agricultura si es el caso, sin desplazar mayormente los cultivos existentes. Los sitios con posibilidades de instalación están generalmente en lo alto de las cadenas montañosas donde la agricultura es escasa y podría permanecer la tierra en su estado natural. Los proyectos hidráulicos, que generalmente están en zonas alejadas de la población, acusan una gran deforestación por la construcción de extensas vías de acceso para la movilización de maquinarias y construcción de represas. La flora no se ve mayormente afectada.

1.9 GENERADORES DE ENERGÍA EÓLICA

Según AA.VV (2008) en su libro titulado diccionario Oxford-Complutense de física expresa que:

Es la máquina que convierte energía mecánica en energía eléctrica. Los generadores electromagnéticos son la principal fuente de electricidad y pueden ser movidos por turbinas de vapor, turbinas de agua, motores de combustión interna, molinos, o por alguna parte móvil de cualquier otra máquina. En las estaciones de producción de energía, los generadores producen corriente alterna y son con frecuencia llamados alternadores. (pág. 242)

De acuerdo al autor los generadores son los encargados de convertir la energía mecánica en energía eléctrica y estos pueden ser accionados por diferentes tipos de

procesos entre los que se encuentra el viento a través de los molinos. A este tipo de generador es llamado generador eólico.

Los generadores están compuestos por un rotor, que incluye hojas utilizadas para convertir la energía del viento en rotación de baja velocidad. Un generador, que incluye el generador eléctrico, algunos controles electrónicos y una caja de cambios para convertir la rotación de baja velocidad en rotación de alta velocidad y también tienen una estructura de soporte.

La estructura de soporte se incluye en la torre y dependiendo del tamaño, también pueden tener un mecanismo de viraje.

Los generadores eólicos son considerados como una de las principales alternativas para sustituir la energía basada en combustibles a base de petróleo. Esta es la razón por la cual tantas "granjas de viento" se instalan en diversas partes del mundo cada vez con más frecuencia.

Los beneficios de construir un generador de energía eólica son muchísimos: en primer y más importante lugar, estarás haciendo la diferencia en la lucha contra el calentamiento global; tus tarifas de electricidad bajarán su valor o, en algunos casos, serán eliminadas; si eres talentoso en proyectos como este, incluso hasta podrías llegar a hacer algunos generadores para venderlos y toda la experiencia será realmente gratificante.

En el generador es donde se produce la electricidad, y su principio de funcionamiento es básicamente el de un motor eléctrico conectado de manera inversa. Si a un motor eléctrico se le entrega electricidad, este entregará energía de rotación. Si a un generador se le entrega energía de rotación, este entrega energía eléctrica. Esta energía eléctrica va a un transformador, el cual convierte la energía eléctrica para transportar la energía por los cables de la manera más eficiente posible.

1.10 EQUIPOS PARA GENERAR ELECTRICIDAD

Según JONSON J. en su libro fuentes de energía renovable plantea que:

“Son aquellos equipos diseñados con el objetivo de transformar diferentes clase de en energía tales como química, mecánica, térmica o luminosa, entre otras, en energía eléctrica.” (2009, Pág. 145)

En la generación industrial las instalaciones destinadas a este fin son denominadas centrales eléctricas. Estas constituyen el primer escalón del sistema de suministro eléctrico. La generación eléctrica se realiza, básicamente, mediante un generador; si bien estos no difieren entre sí en cuanto a su principio de funcionamiento, varían en función a la forma en que se accionan. Explicado de otro modo, difiere en qué fuente de energía primaria utiliza para convertir la energía contenida en ella, en energía eléctrica.

Desde que se descubrió la corriente alterna y la forma de producirla en los alternadores, se ha llevado a cabo una inmensa actividad tecnológica para llevar la energía eléctrica a todos los lugares habitados del mundo, por lo que, junto a la construcción de grandes y variadas centrales eléctricas, se han construido sofisticadas redes de transporte y sistemas de distribución. Sin embargo, el aprovechamiento ha sido y sigue siendo muy desigual en todo. Así, los países industrializados o del primer mundo son grandes consumidores de energía eléctrica, mientras que los países del llamado tercer mundo apenas disfrutan de sus ventajas.

La generación de energía eléctrica se lleva a cabo mediante técnicas muy diferentes. Las que suministran las mayores cantidades y potencias de electricidad aprovechan un movimiento rotatorio para generar corriente continua en una dinamo o corriente alterna en un alternador. El movimiento rotatorio resulta a su vez de una fuente de energía mecánica directa, como puede ser la corriente de un salto de agua o la producida por el viento, o de un ciclo termodinámico. En este último caso se

calienta un fluido, al que se hace recorrer un circuito en el que mueve un motor o una turbina, el calor de este proceso se obtiene mediante la quema de combustibles fósiles, reacciones nucleares y otros procesos.

La generación de energía eléctrica es una actividad humana básica, ya que está directamente relacionada con los requerimientos actuales del hombre. Todas las formas de utilización de las fuentes de energía, tanto las habituales como las denominadas alternativas o no convencionales, agreden en mayor o menor medida el ambiente, siendo de todos modos la energía eléctrica una de las que causan menor impacto.

1.11 GENERADORES ELÉCTRICOS

Según WILSON J. en su libro de física eléctrica plantea que:

Un generador eléctrico es un dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrica entre dos de sus puntos llamados polos, terminales o bornes transformando la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura denominada también estator. (2010, pág. 77)

Si se produce mecánicamente un movimiento relativo entre los conductores y el campo, se generará una fuerza electromotriz. Este sistema está basado en la ley de Faraday. Aunque la corriente generada es corriente alterna, puede ser rectificadas para obtener una corriente continua.

1.12 IMPORTANCIA DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS

Según CUEVAS J. en su libro fotografía y ciencia expresa que:

Por ser una fuente de energía eléctrica estable y la más segura, los generadores eléctricos, cada vez adquieren más importancia e incorporan a nuevos usuarios. Un generador eléctrico, comienza a generar energía cuando se enciende el motor, alimentado de combustible y transforma la energía mecánica en energía eléctrica de manera instantánea. (2008 pág. 197)

Para solventar la necesidad de energía estable ante una falla en el suministro de red, se han creado los generadores eléctricos de emergencia. Pero también existen generadores eléctricos más complejos, capaces de abastecer de electricidad a grandes regiones por largos lapsos de tiempo.

Los fabricantes se han encargado de crear desde los generadores eléctricos más potentes, capaces de abastecer grandes regiones, hasta de emergencia o portátiles. Por eso, deberán evaluarse las prestaciones que ofrecen, para evitar uno, que no brinde la potencia o las funciones requeridas.

1.13 TIPOS DE GENERADORES ELÉCTRICOS

1.13.1 Generadores electromecánicos.

En los que un motor de cualquier tipo térmico alternativo, turbinas de vapor, o gas, hidráulico, eólico, mueve el eje de una máquina eléctrica basada en la ley de Lenz, o sea en las corrientes inducidas en los bobinados de la máquina, por los campos magnéticos que ella misma crea o existen en su interior. La mayoría son alternadores trifásicos, que producen tensiones normalizadas en corriente alterna que pueden inyectarse a la red general por medio de transformadores, y su energía puede ser consumida incluso a miles de kilómetros.

Existen también generadores electromecánicos de corriente continua, llamados dinamos, pero su importancia actual es mínima, debido a la mayor eficiencia de la producción y sobre todo del transporte de la corriente alterna. También es debido al menor costo, simplicidad, y constancia de la velocidad de giro del motor asíncrono trifásico, el más importante en la mayoría de las aplicaciones industriales. Prácticamente la totalidad de la energía eléctrica del planeta es producida por estos alternadores.

Cuando se precisa corriente continua, por ejemplo, para electrónica, o para almacenaje, se rectifica la alterna. También, la facilidad de regulación vía electrónica por los semiconductores, de los motores industriales de alterna, está propiciando la desaparición de los motores y generadores de corriente continua para potencias grandes y medias.

La energía eólica, es energía cinética del viento que mueve un generador mecánico, la energía nuclear produce calor en los reactores, calor que vaporiza el agua que mueve las turbinas de vapor que a su vez mueven generadores electromecánicos. Análogamente con las centrales hidráulicas y mareomotrices, también mueven generadores electromecánicos.

1.13.2 Generadores electroquímicos.

Son pilas o baterías recargables de acumuladores. Se basan en fenómenos electroquímicos, producidos por intercambios y trasiegos iónicos entre metales sumergidos en electrolitos. Las pilas desechables se usan en pequeñas aplicaciones eléctricas. Los acumuladores eléctricos se utilizan para almacenar la corriente eléctrica producida por otros medios y utilizarla cuando sea preciso. Se utilizan cada vez más en tracción eléctrica.

Los más extendidos son de Pb-ácido y alcalinos de Ni-Cd y Ni-MeH. El gran peso y coste respecto a la pequeña energía almacenada son sus inconvenientes. Actualmente, no se conoce un método de almacenamiento masivo y rentable de

energía eléctrica, y en su enorme mayoría debe consumirla a la velocidad que la produce.

1.13.3 Generadores fotovoltaicos.

Por su creciente importancia como energía renovable y de bajo impacto ambiental y visual, ausencia de piezas móviles, y casi nulo mantenimiento, los paneles fotovoltaicos de silicio amorfo o monocristalino, constituyen un medio de producción en constante desarrollo y creciente uso, sobre todo en zonas remotas, ya que su coste de fabricación es aun relativamente alto, y no puede competir con la red eléctrica convencional donde ésta esté implantada.

Generan corriente eléctrica continua directamente de la energía radiante solar, por fenómenos fotovoltaicos en el silicio, que no son explicables intuitivamente y requieren modelos cuánticos para una mejor comprensión. Las energías renovables son dispersas de baja concentración, y de flujo no constante, y requieren captadores relativamente extensos respecto a la potencia suministrada. En la práctica se obtienen potencias máximas de unos 100 a 150 w por m² de panel. La energía de estos paneles se acumula en baterías, y de ellas o bien se usa directamente la corriente continua, o se transforma con facilidad en alterna por onduladores electrónicos.

1.14 MERCADO DE ENERGIA EOLICA

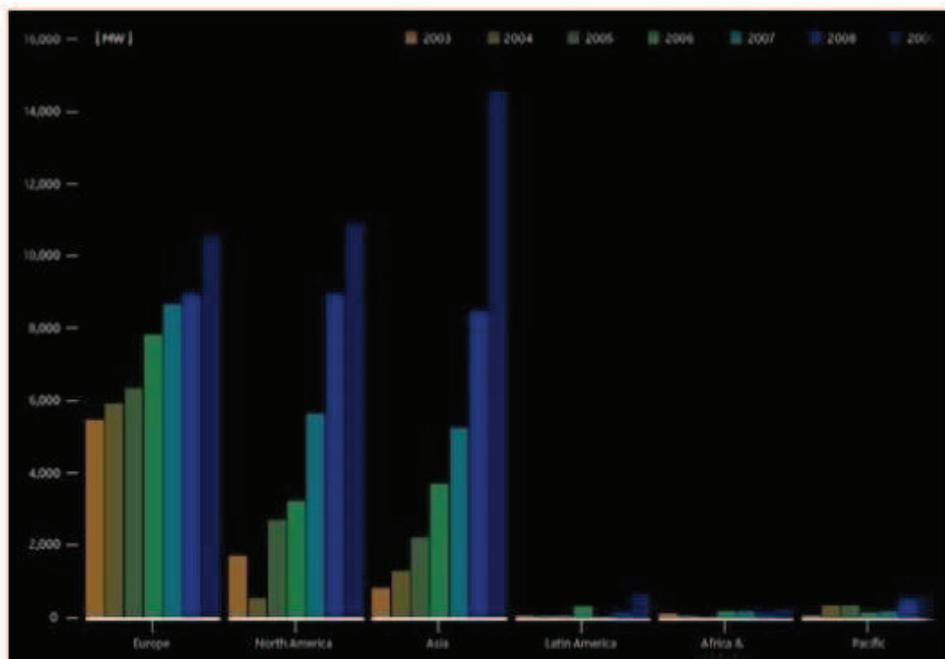
El mercado de la energía eólica está en continuo crecimiento, desarrollando tasas anuales de alrededor del 30%, habiendo pasado de los 2.500 MW en el año 1992, a 94.000 MW al 1 de enero de 2008, con lo que se proporciona energía suficiente para satisfacer las necesidades de unos 50 millones de hogares, más de 120 millones de personas.

De acuerdo a un estudio realizado por global wind energy council, expresa que Europa lidera el mercado mundial de la energía eólica, tanto en lo que se refiere a la potencia instalada como a la industria del continente.

Se puede afirmar que en la actualidad se han instalado plantas eólicas en todas partes del mundo con sistemas conectados a la red a través del uso de la energía eólica, constituyéndose como una fuente de diversificación de la actual estructura energética.

En la figura 1.4. Se observa una tabla estadística del consumo eólico a nivel global en una escala que comprende desde el año 2003 hasta el año 2009, en el cual se puede visualizar, un real incremento de la utilización de energía eólica, liderando el continente asiático con mayor utilización del recurso eólico, en segundo lugar se encuentra Norte América y seguido por el continente Europeo.

Figura 1.4. Consumo de energía eólica a nivel global.



Fuente: Global wind energy council.

Conforme al informe anual de la consultora BTM consulting, existió un crecimiento de la potencia eólica en Europa, para el período comprendido entre 2007 y 2011,

de 59.150 MW, seguida por América del Norte, con un incremento de 33.050 MW para el mismo período. De acuerdo a los datos de la agencia internacional de la energía en el año 2005, se verifica lo pronosticado para España como el segundo país del mundo con mayor porcentaje de demanda de electricidad cubierta por energía eólica, habiendo alcanzado durante el año 2007 el 9,5 %, solo por detrás de Dinamarca con valores del 20,10%.

1.15 ENERGÍA EÓLICA EN EL ECUADOR

El primer parque eólico del Ecuador se inauguró en octubre del 2007 en la isla San Cristóbal del Archipiélago de Galápagos, esta cuenta con una potencia instalada de 2,4 MW. Actualmente está en operación un segundo parque eólico ubicado en otra de las islas del Archipiélago de Galápagos, proyecto Baltra – Santa Cruz, con una potencia instalada de 3,2 MW. Dada la relevancia medioambiental del Archipiélago de Galápagos, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) de Ecuador, 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.

Tabla 1.1. Expectativas MEER 2015 de energías renovables.

EXPECTATIVAS MEER 2015	
Islas Galápagos	Cero combustibles fósiles (electricidad)
Energía eólica	40-50 MW
Solar Térmica	50.000 sistema residenciales.
Solar FV-gran escala:	2-3 MW
Geotérmico	mínimo 2 proyectos (en desarrollo)
Biogás (rellenos sanitarios)	3-4 MW

Fuente: Ministerio de electricidad y energía renovable (MEER) de Ecuador.

Elaborado: Grupo Investigador.

1.16 RECURSO EÓLICO DEL ECUADOR

En el año 2009 se comenzó a trabajar en el desarrollo del atlas eólico del Ecuador, con la finalidad de hacerlo accesible y publicarlo en la web del Ministerio de electricidad y energía renovable (MEER) de Ecuador. El cual ya se encuentra disponible y describe a detalle la velocidad del viento en cada zona de nuestro país con su aprovechamiento energético.

1.16.1 Descripción del mapa eólico Ecuador 2013

Se elaboró la modelización del recurso eólico con resolución de 200m sobre el territorio del Ecuador, el mismo ha permitido identificar la distribución de este recurso sobre el territorio. En lo que a la circulación general terrestre respecta, los vientos dominantes sobre el país son los alisios, provenientes del este y que por tanto alcanzan el país tras atravesar todo el continente. Esto hace que el viento horizontal a gran escala sea más bien débil en todo el territorio continental.

En términos generales, la orografía del Ecuador divide el territorio en cuatro zonas climáticas bien definidas, que confieren características particulares. De este a oeste, estas zonas son:

1. La Zona Oriental o Amazónica, en que la frondosa vegetación selvática influye de forma decisiva en la disminución de la velocidad de los vientos alisios en los niveles más cercanos al suelo.

2. La Zona de la Sierra, donde la Cordillera de los Andes comprime los vientos, resultando en una aceleración de los mismos, en una clara manifestación de lo que se conoce en física de fluidos como efecto Venturi. Estos elevados vientos, sin embargo, se producen en emplazamientos muy elevados, donde además de la dificultad del acceso a los mismos, la energía del viento disminuye proporcionalmente al descenso de la densidad que se produce con la altitud.

3. La Zona de la Costa, donde interaccionan los vientos alisios del este con dos circulaciones locales: la brisa que se establece por el contraste de temperaturas entre el continente y el océano, y la circulación valle-montaña por la influencia de la Cordillera de los Andes.

La combinación del viento global con el local en este caso da lugar a una mayor variación espacial del recurso y a la localización de algún área con velocidades algo superiores al entorno.

4. Islas Galápagos, reúnen tres características importantes para entender su distribución de viento:

Son islas, volcánicas y bajo la influencia de los alisios. Por el hecho de ser islas, reciben un viento global menos perturbado que en el continente; sin embargo, los vientos alisios a esta latitud tan baja son de limitada intensidad.

Por último, su carácter de archipiélago volcánico, hace que las pendientes sean considerables y que en conjunto configuren un laberinto por el que el viento converge y diverge (por lo que se acelera y se frena) en un espacio relativamente pequeño, presentando además diversos cambios de dirección.

Los datos obtenidos fueron de gran relevancia por ello el presente atlas eólico del Ecuador presenta condiciones anuales de viento para todo el territorio Ecuatoriano con una resolución de 200m x 200m. Mediante la integración de los mapas digitales, utilizando recursos de geo-procesamiento, cálculo de desempeño y producción de energía eléctrica a partir de las curvas de potencia de turbinas eólicas existentes en el mercado, se ha llegado a estimar un potencial de generación eléctrica nacional a partir de parques eólicos instalados en las zonas con mejor recurso de viento.

Este proceso indicativo de estimación de potencial eólico fue realizado considerando las siguientes premisas:

- Fueron integradas todas las áreas que presentan velocidades medias anuales iguales o mayores a 7m/s.
- Fueron consideradas curvas medias de desempeño de turbinas eólicas de última generación instaladas en torres a 80m de altura.
- Para la estimación de generación de energía, fue utilizada una densidad media de ocupación del terreno de 3MW/km. Este valor es considerado como conservador.
- Fueron adoptados intervalos con incrementos de 0,5m/s para las velocidades medias anuales de viento. El desempeño de turbinas eólicas fue calculado para los límites inferiores de cada intervalo.
- Fue adoptado un factor de disponibilidad de 0,98; considerado típico para parques eólicos comerciales.
- Fueron adoptados factores de planta que varían en un rango entre 0,2 y 0,35, los cuales fueron calculados en función de la velocidad media anual del viento. Además, para corroborar esta metodología, se hicieron análisis específicos tomando en cuenta la distribución de frecuencia del viento en algunos puntos de las zonas con potencial.
- Fueron descartados de la integración las áreas cubiertas por agua (lagos, lagunas, ríos y el mar) así también como las áreas contenidas dentro del sistema nacional de áreas protegidas (parques nacionales, reservas faunísticas, etc.)
- Para el cálculo fue usada la densidad del aire a 3500 m.s.n.m. que tiene un valor de 0,87kg/m

Para lo cual se elaboraron estimaciones de dos escenarios que se detallan a continuación:

- **Potencia bruta total**, considera todos los sitios bajo 3500 m.s.n.m., con velocidades mayores a 7m/s.
- **Potencial factible a corto plazo**, considera los sitios que están a una distancia menor o igual a 10 km de la red eléctrica y carreteras.

De acuerdo a estas consideraciones, se estimó un potencial disponible bruto total del orden de 1670 MW y un potencial factible a corto plazo de 884MW, conforme se muestra en la columna integración acumulada, por lo cual vamos a profundizar en lo que respecta a nuestra zona, que corresponde a la zona 3. De acuerdo a la forma en que el Ecuador se encuentra distribuida mediante zonas según a su posicionamiento geográfico como se lo explica en la tabla 1.2.

Tabla 1.2. Distributivo por zonas del Ecuador.

REPUBLICA DEL ECUADOR	
DISTRIBUTIVO POR ZONAS	PROVINCIAS PERTENECIENTES A CADA ZONA
Zona 1	Esmeraldas, Carchi, Imbabura y Sucumbíos
Zona 2	Pichincha, Napo y Orellana
Zona 3	Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Pastaza
Zona 4	Manabí y Santo Domingo de los Tsáchilas
Zona 5	Santa Elena, Guayas, Los Ríos y Bolívar
Zona 6	Cañar, Azuay y Morona Santiago
Zona 7	El Oro, Loja y Zamora Chinchipe
Zona de Régimen Especial	Islas Galápagos

Fuente: Grupo Investigador

Elaborado por: Fuente Investigador

A continuación se muestra una tabla con el potencial eólico bruto correspondiente a nuestra provincia de Cotopaxi, la toma de datos se realizó bajo esta consideración de 3500 m.s.n.m., con velocidades mayores a 7m/s.

Tabla 1.3. Potencial eólico bruto del Ecuador.

POTENCIAL EÓLICO - ELÉCTRICO ESTIMADO DEL ECUADOR									
PROVINCIA	POTENCIAL INSTALABLE					INTEGRACIÓN ACUMULADA			
	RANGO VELOCIDAD m/s	ÁREA km ²	POTENCIA INSTALABLE MW	FACTOR DE CAPACIDAD	ENERGÍA ANUAL GWh/año	VIENTO m/s	ÁREA km ²	POTENCIA INSTALABLE MW	ENERGÍA ANUAL GWh/año
COTOPAXI 	7,0 - 7,5	2,51	7,54	0,2	12,95	> 7	5,99	17,98	30,87
	7,5 - 8,0	1,84	5,52	0,25	11,85	> 7,5	3,48	10,44	22,41
	8,0 - 8,5	0,8	2,4	0,3	6,18	> 8	1,64	4,92	12,67
	> 8,5	0,84	2,52	0,35	7,57	> 8,5	0,84	2,52	7,57

Fuente: Atlas eólico MEER 2013 – Potencial eólico bruto

Elaborado por: Grupo Investigador

Se debe considerar que nuestra provincia no cuenta con un potencial factible a Corto Plazo, debido a que la gran mayoría de lugares rurales se encuentran a una distancia mayor de 10 km encontrándose alejadas de la red eléctrica y carretera.

De acuerdo al atlas eólico del Ecuador existen vientos suficientes para generar unos 2868,96 GW/h de electricidad anualmente con una velocidad >7 m/s. a nivel nacional.

La energía eólica constituye una verdadera apuesta del país por aprovechar sus recursos en armonía con la naturaleza y generando beneficios sociales, de acuerdo al Plan Nacional del Buen Vivir.

Tres proyectos eólicos se encuentran en funcionamiento: Villonaco, en la cordillera andina de la provincia sureña de Loja, que genera 16 MW, San Cristóbal que genera 4 MW y el proyecto Baltra-Santa Cruz que genera 4 MW, ubicados en Galápagos, cuya importancia radica en la disminución de quema de diésel en el parque nacional.

En la Figura 1.6 se puede observar el parque eólico de Villonaco, ubicado en la provincia de Loja, el mismo que se encuentra en funcionamiento.

Figura 1.6. Parque eólico villonaco Loja-Ecuador.



Fuente: Atlas eólico Meer 2013 – Parque eólico Villonaco - Loja

El recurso eólico en el país es un tanto incierto por ser muy poco explorado y conocido en el Ecuador existen registros de dirección y velocidad de viento que se obtuvieron a partir de mediciones en estaciones meteorológicas ubicados en diversos puntos que recorren toda la extensión de nuestro país.

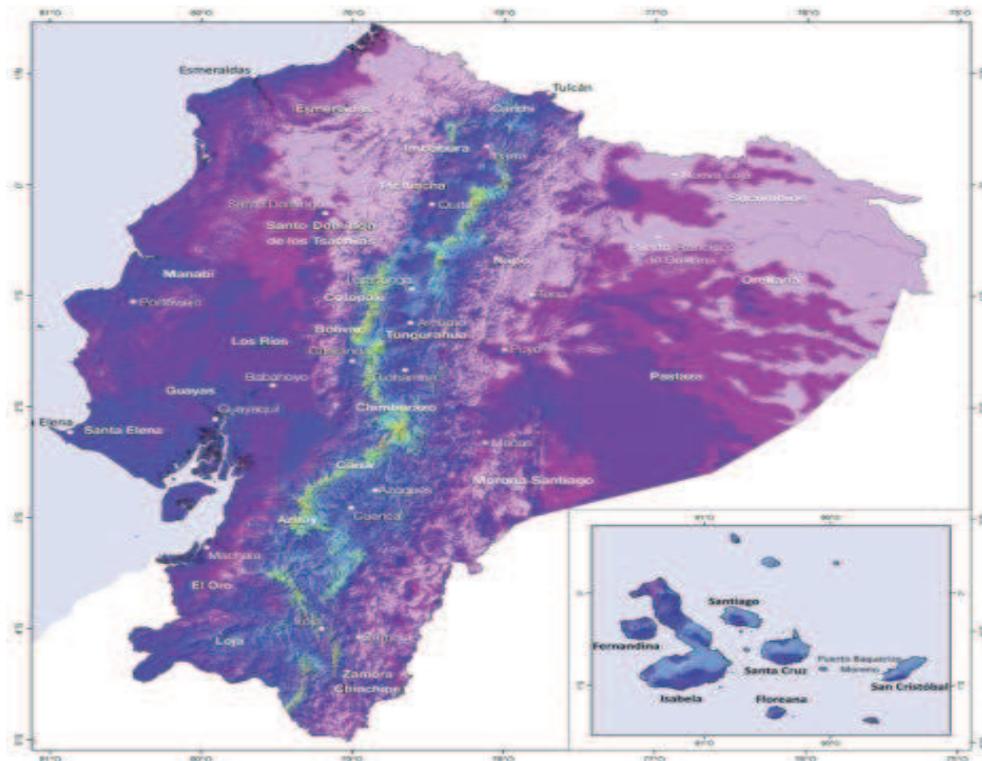
Las mediciones se realizaron a 30, 50 y 80 metros de altura sobre el nivel del suelo, y sirven como referente para la localización de sitios con mayor potencial eólico. A continuación se muestran los resultados de las mediciones a diferentes alturas respectivamente los cuales son interpretados según su velocidad media anual del

viento, indicándonos mediante una vista meteorológica, en base a una tabla de colores exponiendo los lugares con mayor potencial eólico.

Siendo así, representado por color rojo los lugares con mayor potencial eólico, es decir existe mayor presencia del viento que recorre el lugar, el color celeste representa un potencial eólico medio, es decir existe una presencia del viento moderado, y el color lila representa un potencial eólico bajo o escaso, es decir en estos lugares no es aplicable un proyecto mediante generación eólica.

Para lo cual han sido distribuidos de la siguiente manera, en la figura 1.7 se muestra la velocidad media anual del viento tomada desde una altura de 30 m con relación al suelo.

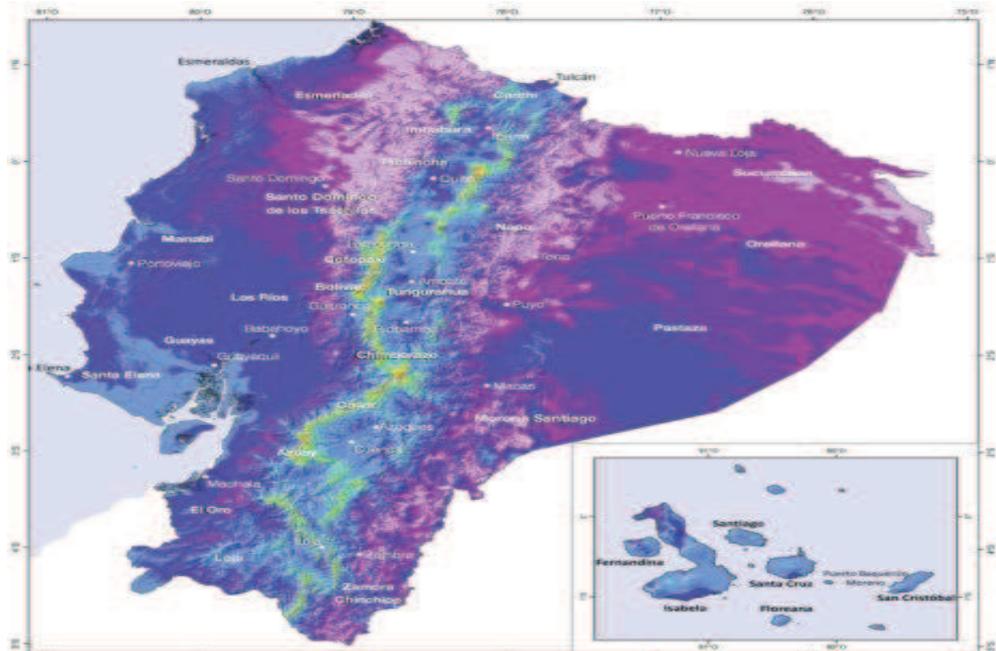
Figura 1.7. Velocidad media anual del viento a 30 m de altura desde el suelo.



Fuente: Atlas eólico Meer 2013

En la figura 1.8 se observa la velocidad media anual del viento tomada desde una altura de 50 m con relación al suelo.

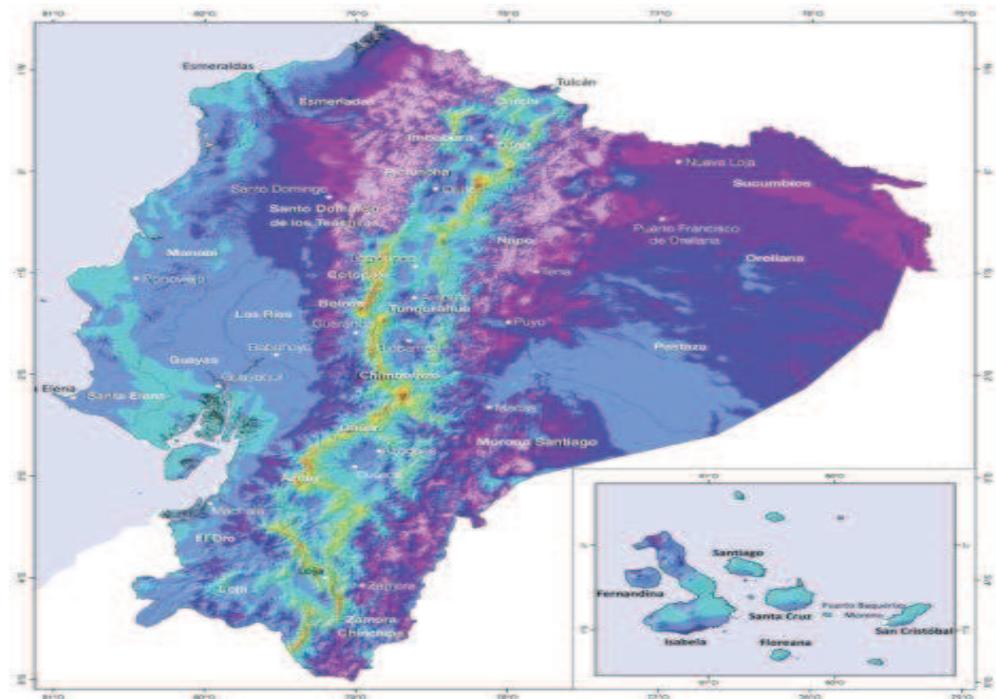
Figura 1.8. Velocidad media anual del viento a 50 m de altura desde el suelo.



Fuente: Atlas eólico Meer 2013

Y en la figura 1.9 se muestra la velocidad media anual del viento tomada desde una altura de 80 m con relación al suelo.

Figura 1.9. Velocidad media anual del viento a 80 m de altura desde el suelo.



Fuente: Atlas eólico Meer 2013

Con estos registros se identificaron sitios con un interesante potencial eólico en los cuales se han efectuado estudios puntuales y que han arrojado resultados positivos. entre estos sitios, se puede mencionar, el proyecto Salinas en la provincia de Imbabura con una potencia de 10 MW, el Villonaco en Loja con una potencia de 16 MW, Huascachaca en el límite de Azuay y Loja con una potencia estimada en 50 MW, y el proyecto San Cristóbal en Galápagos con una potencia de 2,4 MW. De los proyectos mencionados, algunos de estos ya se encuentra en ejecución como es el proyecto San Cristóbal en la región insular, que actualmente funciona con 3 aerogeneradores de 0.8 MW cada uno. Por otra parte, el proyecto eólico “Minas de Huascachaca” se encuentra en fase de factibilidad avanzada, estudios efectuados por parte de la corporación para la investigación energética.

Tabla 1.4. Proyectos eólicos previstos en el Ecuador.

PROYECTOS EÓLICOS ECUADOR			
Provincia	Nombre del Proyecto	Potencia	Observación
Galápagos	San Cristóbal	2.4 MW	en funcionamiento
	Baltra	2.2 MW	en funcionamiento
Loja	Villonaco	16 MW	en funcionamiento
Loja- Azuay	Huascachaca	50 MW	en proyecto
Imbabura	Salinas	10 MW	en proyecto

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) de Ecuador.

Elaborado por: Grupo Investigador.

La energía eléctrica en el Ecuador en su mayoría es producida por la generación hidroeléctrica, térmica, y actualmente por medio de energía eólica, en países extranjeros se está volviendo prioridad el uso de esta energías ya que son más limpias y no emiten daños ecológicos y ambientales para nuestro planeta.

En nuestro país se encuentran instalados sistemas de generación eólica en la región Insular (Islas Galápagos), ya que se hace complejo el acceso a cierto tipo de zonas por medio de tendido eléctrico, y se busca aprovechar de manera eficiente la intensidad del viento que existe en la región, además la energía eólica no contamina, es inagotable y frena el agotamiento de combustibles fósiles contribuyendo a evitar

el cambio climático. Es una de las fuentes más baratas, puede competir en rentabilidad con otras fuentes energéticas tradicionales sin tomar en cuenta aún con los costes de reparar los daños medioambientales.

Además existe en el país regiones muy alejadas como es el caso de los páramos ecuatorianos donde se hace difícil y en ocasiones imposible el acceso de líneas de energía eléctrica, tal es el caso del sector de Apagua de la provincia de Cotopaxi, siendo éste un lugar de difícil acceso, encontrándose con muchos inconvenientes para el cableado eléctrico convencional, por su crítica geografía, además las condiciones de esta zona son propicias para implementar sistemas eólicos por la alta velocidad del viento siendo este el principal recurso de generación eólica.

1.17 PROVINCIA DE COTOPAXI

1.17.1 Reseña de la Provincia.

Es una de las 24 provincias de la República del Ecuador, su independencia se dio un 11 de noviembre de 1820. La provincia toma el nombre del volcán más grande e importante de su territorio, el volcán Cotopaxi. Se encuentra localizada en la región sierra del país, su capital es Latacunga. De acuerdo al último ordenamiento territorial, la provincia de Cotopaxi pertenece a la región zona centro 3 comprendida también por las provincias de Tungurahua, Chimborazo y Pastaza. La provincia de Cotopaxi cuenta con un aeropuerto internacional de carga el mismo que será incrementado en su potencial aeroportuario, incidiendo en el crecimiento de la provincia, no obstante al contar con vías de acceso de alta velocidad y de tres carriles en cada dirección se considera como una provincia de gran desarrollo no solo por su recurso agrícola como ganadero, sino por su relevancia en su crecimiento económico.

1.17.2 Hidrografía de la Provincia.

La provincia de Cotopaxi cuenta con un gran sistema hidrográfico que lo constituye principalmente el río Cutuchi que nace en el volcán Cotopaxi, está formado a su

vez por los ríos Manzanahuayco y Rumiñahui; el sistema lo complementan el Yanayacu, Nagsiche, Chalupas, Illuchi, Patoa, Pumacunchi y Quindigua.

1.17.3 División Política.

La provincia de Cotopaxi se encuentra dividida políticamente en siete cantones. Los mismos que se puede visualizar en la figura 1.10. Y se detallan expeditamente en la tabla 1.5, que detalla el número de habitantes y área de cada cantón.

Figura 1.10. División política de la Provincia Cotopaxi



Fuente: <http://www.cotopaxi nuestro.com/sites/all/themes/corporateclean/images/ctmapa.png>

Latacunga es la capital de la provincia de Cotopaxi y cabecera cantonal del cantón homónimo. Se encuentra en la Sierra central del país que corresponde a la Zona 3, en las estribaciones de la cordillera de los andes en Ecuador, cerca del volcán Cotopaxi en la hoya de Patate. Se encuentra a 2750 metros sobre el nivel del mar y tiene una temperatura promedio de 12 grados centígrados.

Tabla 1.5. División política de Cotopaxi a detalle del área y habitantes.

DIVISIÓN POLITICA PROVINCIA DE COTOPAXI			
Cantón	Cabecera Cantonal	Área (km²)	Pob. (2010)
Maná	La Maná	663	42.216
Latacunga	Latacunga	1.377	170.489
Pangua	El Corazón	721	21.965
Pujili	Pujilí	1.308	69.055
Salcedo	Salcedo	484	58.216
Saquisili	Saquisili	208	25.320
Sigchos	Sigchos	1.313	21.944

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Cotopaxi

Elaborado: Grupo Investigador

1.17.4 Estudios de viento en la Provincia

Los vientos ascendentes de la interacción océano - atmósfera tienen incidencia sobre las zonas del noroeste de Cotopaxi pero se caracterizan por orientar masas de aire de baja energía en las zonas de influencia. Los vientos de mayor energía hacen su recorrido por la cordillera occidental originados en la parte norte del país.

La zona más adecuada o con condiciones para la explotación de la energía eólica en Cotopaxi se ubica en la parte norte de la Provincia, en las zonas aledañas a la estación meteorológica COTOPAXI - MINITRAK correspondiente a los límites geográficos con la provincia de Pichincha, en este sector se tiene un posible interés de energía eólica conforme a mediciones realizadas por el INAMHI, los mismos que se muestran en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6. Localidades con interés de energía eólica.

Plan Energético eólico CONELEC	
Provincia	Localidad
Carchi	El Ángel
Imbabura	Salinas
Pichincha	Machachi, Malchingui,
	Páramo Grande
Cotopaxi	Minitrac, Tigua
Chimborazo	Chimborazo, Tixán, Altar
Azuay	Huascachaca
Loja	Saraguro, El Tablón, Manú
	Villonaco, Membrillo
Galápagos	San Cristóbal

Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2009-2020 (CONELEC).

Los vientos que recorren en esta zona, provienen en menor grado de la interacción océano-atmósfera, y que hacen su ingreso por la cuenca del río Pilatón con componentes energéticos de poco aporte, y en mayor grado de interacciones térmicas montaña-valle de las provincias norteñas del país.

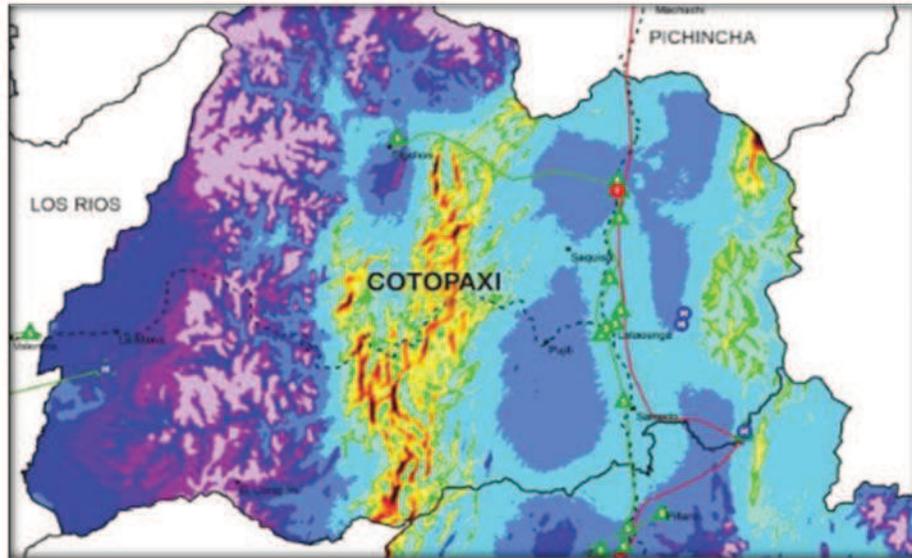
Los vientos resultantes de estas últimas interacciones son de mayor contenido energético, y poseen además gran influencia sobre la zona de Páramo Grande por la cual hacen su paso antes de llegar al área de Cotopaxi.

En la figura 1.11. Se puede visualizar el potencial eólico correspondiente a nuestra provincia específicamente, teniendo como resultado una velocidad de viento muy aceptable para la aplicación de proyectos eólicos.

En conclusión la situación geográfica de Ecuador favorece las condiciones climatológicas de la zona, contando con temperaturas constantes en la mayor parte del año por su ubicación en la franja ecuatorial. Los cambios de temperatura horaria, tanto de las masas de tierra como de la atmósfera misma, hace que existan diferencias entre los registros de viento en el mismo día.

De igual forma los pequeños accidentes orográficos locales de las zonas en estudio, tienen poca incidencia sobre la orientación de las masas de aire.

Figura 1.11. Potencial eólico en la zona 3 – Específicamente a Cotopaxi.



Fuente: Atlas eólico MEER 2013- Mapa eólico zona 3.

1.18 CÁLCULO TEÓRICO

1.18.1 Cálculo del diámetro del rotor.

El rotor, es un componente esencial del generador eólico, que conforma la parte móvil del mismo y en el van ubicados los imanes que se utilizaran. Para determinar el diámetro del rotor se debe aplicar la Ec: 0001, que corresponde a la ecuación del diámetro de la turbina eólica.

$$d = \sqrt{\frac{8 \cdot P}{\pi \cdot \rho \cdot v^3 \cdot C_p \cdot n_e \cdot n_t}} \quad \text{Ec: 0001}$$

Donde identificamos a:

d : Diámetro del rotor de la turbina eólica (m)

P : Potencia de nominal del aerogenerador (w)

ρ : Densidad del aire, (1,23 kg/m³)

V: Velocidad del viento (6.5m/s) V. Promedio

Cp: Coeficiente de potencia (adimensional)

η_e : Eficiencia del generador

η_t : Coeficiente de transmisión.

Sustituyendo los valores en la ecuación 0001:

$$d = \sqrt{\frac{8 \times 278}{\pi \times 1.23 \text{ kg/m}^3 (6 \text{ m/s}) \times 0.85 \times 0.35 \times 1}}$$

$$d = \sqrt{\frac{2224}{316}}$$

$$d = \sqrt{7.03} = 2.65 \text{ m}$$

1.18.2 Potencia mínima del diseño

La potencia de una turbina eólica tiene relación directa con la velocidad del viento, es decir, a mayor velocidad del viento, mayor potencia generada, y viceversa. Se detalla la potencia mínima para tener una idea clara de generación de acuerdo a estas variaciones de velocidad, para lo cual se expresa en la ecuación de la potencia eólica.

$$P = 0.15 \times D^2 \times V^3$$

Ec: 0002

Donde se identifica a:

P: Potencia mínima expresada en vatios (w)

D: Diámetro del rotor en metros (m)

V: Velocidad del viento (m/s)

Sustituyendo los valores en la ecuación 0002:

$$P = 0.15 \times (2.6)^2 \times (6.5)^3$$

$$P = 278.4 \text{ w}$$

1.18.3 Velocidad de giro de la turbina

La ecuación para determinar la velocidad de giro de la turbina eólica se determina de la siguiente expresión:

$$N = \left(\frac{60 \cdot \lambda \cdot V_D}{\pi \cdot d} \right) \quad \text{Ec. 0003}$$

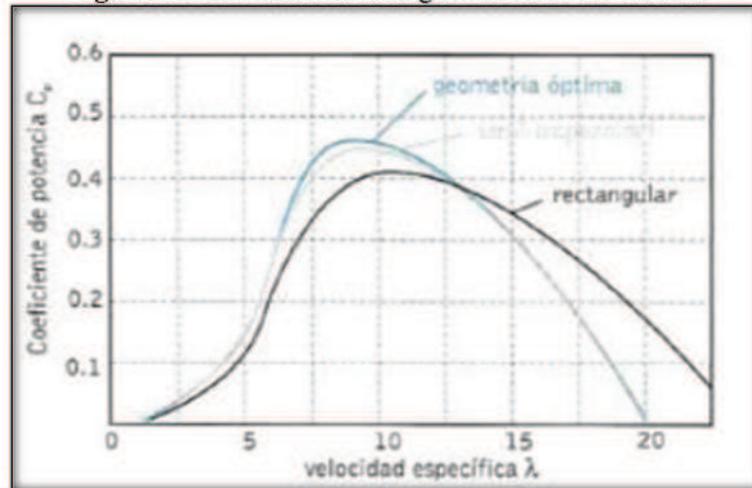
Donde identificamos a:

λ : velocidad específica o celeridad.

N: Velocidad de giro de la turbina eólica (RPM)

V_D : Velocidad de diseño (m/s).

Figura 1.12. Influencia de la geometría de las hélices.



Fuente: http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/10016/8015/2/PFC_JoseFelix_Funes_Ruiz.pdf

En la figura 1.12. Se muestra la influencia geométrica de las hélices, con su respectivo coeficiente de potencia y su velocidad específica representada en una gráfica.

Cabe indicar que la (λ) velocidad específica es un valor adimensional característico que viene establecido para turbinas eólicas, el cual oscila entre 0,5 a 14, la velocidad específica para nuestro generador es cinco de acuerdo al diámetro del rotor.

Por lo tanto **sustituyendo** los valores en la ecuación:

$$N = \left(\frac{60 \times 5 \times 6.5}{3.14 \times 2.6} \right)$$

$$N = \left(\frac{2340}{8.17} \right)$$

$$N = 286 \text{ rpm.}$$

La velocidad de giro será 286 rpm, y para calcular el número de revoluciones máximo del rotor se utiliza la siguiente expresión:

$$\text{N}^\circ \text{ R.P.M. máx.} = 2200/\text{diámetro (m)}$$

Ec. 0004

Sustituyendo los valores en la ecuación 0003:

$$\text{N}^\circ \text{ R. P. M. máx.} = \frac{2200}{2.6}$$

$$\text{N}^\circ \text{ R. P. M. máx.} = 846$$

Por lo cual se debe considerar, que si el generador eólico sobrepasara la velocidad máxima, puede llegar a ser peligroso para todo el sistema, debido a esta consideración y el tipo de generador se considera una eficiencia entre el 80 y 85%.

CAPÍTULO II

2. DESARROLLO DE INVESTIGACIÓN DE CAMPO

En el presente capítulo especificaremos la localización y el estudio de los vientos del proyecto, además el análisis del requerimiento y consumo en la Escuela Fiscal Mixta “Portoviejo”, con el propósito de determinar datos técnicos que serán utilizados, para la construcción del aerogenerador. También se ejecutara una encuesta la cual servirá para detallar las necesidades energéticas del sector.

2.1. ESTUDIO GEOGRÁFICO DEL LUGAR A INSTALAR EL AEROGENERADOR.

2.1.1 Localización del proyecto.

El generador eólico será ubicado en la Escuela Fiscal Mixta “Portoviejo”, que se encuentra localizado a 5 km de la parroquia rural Aláquez en el sector de la hacienda de cuchitingue, la vía de acceso es de tercer orden llegando en vehículo con un tiempo aproximado de una hora y veinte minutos desde la ciudad de Latacunga.

La Escuela Fiscal Mixta “Portoviejo limita con los siguientes puntos.

- ❖ Norte: Las parroquias Joseguango Bajo y Mulaló.
- ❖ Sur: Las parroquias San Buenaventura y Juan Montalvo
- ❖ Este: Los páramos de Pansachi.
- ❖ Oeste: La parroquia Guaytacama.

Entre las principales características del sector donde se encuentra ubicada la escuela se puede rescatar que es un sector altamente productivo, los moradores aprovechan las propiedades del suelo para dedicarse a la agricultura en general.

2.1.2. Situación geográfica del lugar.

La provincia de Cotopaxi se encuentra en la cuarta hoya desde el norte, denominada la hoya central oriental de patate. La hoya cuenta con extensos valles y páramos. Se extiende desde los 78° y 23' en la parte oriental hasta los 79° y 20' en el sector occidental, en la longitud de Greenwich; en sus extremos desde 0°y 20' hasta 1°y 12' de Latitud Sur. Su extensión total es de 5.956 Km² con una densidad poblacional de 52 habitantes por Km².

En la cordillera están altas cumbres nevadas que lucen como el volcán Cotopaxi, como son los Ilinizas y el Quilindaña. En el Oriente al pie del Quilindaña reposa la laguna del Yuracocha, y cerca del Cotopaxi están los páramos de Chalupas, Langoa, Baños, Salayambo, Mulatos, Pansachi y barrancas. Cerca de estos paramos con una altura menor se encuentra el sector de verde cocha, y cuchitingue siendo allí donde se va a instalar nuestro aerogenerador.

2.1.3 Estudió de la velocidad del viento.

La información obtenida es de referencia, los mismos son considerados desde el mes de enero del 2013 al mes de diciembre del 2013 y fueron realizados en base a un estudio continuo de las 24 horas del día en la estación meteorológica del Aeropuerto Internacional de Carga Cotopaxi.

La siguiente tabla detalla los datos proporcionados por dicha estación antes mencionada de manera general, sobre la velocidad del viento y una velocidad promedio del viento.

Tabla 2.1. Datos obtenidos velocidad del viento Latacunga 2013.

AÑO	MES	V. Max (m/s)	V. Min (m/s)	V. Promedio (m/s)
2013	Enero	9.80	1,54	5.70
	Febrero	10.60	1,49	6,06
	Marzo	9.82	1,33	5.60
	Abril	10.02	1,27	6.00
	Mayo	10.64	1,32	6.60
	Junio	11.60	1,53	6.60
	Julio	13.40	1,93	7.70
	Agosto	13.60	2,34	7,92
	Septiembre	13.30	2,13	7,73
	Octubre	11.70	1,31	6.50
	Noviembre	10.54	1,56	6,04
	Diciembre	9.55	1,4	5.50
			V. Promedio Total	6.50

Fuente: Aeropuerto Internacional de Carga Cotopaxi.

Elaborado por: Grupo Investigador.

2.1.4 Análisis del requerimiento energético de la Escuela.

El proyecto tiene como objetivo principal abastecer de energía eléctrica a la escuela fiscal mixta “Portoviejo”, para lo cual es muy importante analizar el requerimiento energético de la institución, para ello se realizó un estudio con el propósito de proveer condiciones de vida adecuadas mediante un fluido eléctrico constante, a través del aprovechamiento de la velocidad del viento con la que cuenta este sector. Por ello es necesario identificar y analizar las principales actividades que se realizan en la institución, con respecto al consumo energético.

Cabe indicar que antes de realizar el proyecto eólico, es necesario conocer las necesidades de consumo energético de la Escuela Fiscal Mixta “Portoviejo”, para así cubrir sus necesidades.

Tabla 2.2. Demanda energética de la Escuela fiscal mixta “Portoviejo”

Demanda energética Escuela Fiscal Mixta "PORTOVIEJO"			
Aerogenerador de Imanes Permanentes			
Artefactos Eléctricos			
Descripción	Cantidad	Potencia (w)	Potencia Total (w)
TELEVISION	1	250	250
DVD	1	100	100
RADIOGRABADORA	1	100	100
PUNTOS DE ILUMINACIÓN	4	75	300
TOTAL DE REQUERIMIENTO ENERGETICO			750

Fuente: La sección A-11 de la Norma de Distribución Eléctrica de la empresa Quito S.A
Elaborado por: Grupo Investigador

Una considerable cantidad de potencia eléctrica será utilizada en artefactos domésticos en particular los cuales son de uso didáctico, en lo que respecta a la enseñanza de la educación moderna.

2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1. Tipo de Investigación

En el proceso de la investigación planteada tiene un enfoque cualitativo-cuantitativo el cual se basó en la investigación descriptiva, para realimentar procesos de causa y efecto que ocasionaron la aplicación y diseño de un Generador Eólico de bajas revoluciones que permita el empleo de este en la escuela Fiscal Mixta Portoviejo, para la realización de este proyecto se utilizó el apoyo de los siguientes métodos a fin de sustentar la investigación señalada.

2.2.2. Métodos de Investigación

2.2.2.1. Métodos Inductivo

Este método fue necesario implantar, porque se requería que se inicie la investigación con las diferentes causas observadas en el diagnóstico hasta llegar a señalar indicadores de varios efectos que ocasionan el problema, en fin lo pertinente fue plantear una propuesta de la utilización del diseño de un Generador Eólico de bajas revoluciones que permita el empleo de este en la escuela Fiscal Mixta Portoviejo.

2.2.2.2. Método Deductivo

Este método fue pertinente aplicar en la investigación porque se requería formular planteamientos hipotéticos, los mismos que fueron comprobados y analizados en el transcurso de la investigación y luego realizamos las conclusiones de dichos resultados investigados sobre la construcción de un Generador Eólico de bajas revoluciones que permita el empleo de este en la escuela Fiscal Mixta Portoviejo

2.2.2.3. Método Descriptivo

Se empleó el método descriptivo que sirvió para realizar un estudio minucioso acerca de la aplicación de un diseño y construcción como sustento de la primera variable, además se empleó distintos procesos utilizados en la investigación y planificación del proyecto de tesis desarrollo del procedimiento didáctico, también se consideró todos los criterios y opiniones que aportaron los encuestados para conocer las necesidades a ser satisfechas, como objeto de la investigación, por consiguiente este método proporcionó la realización del análisis e interpretación de la realidad evidente para la construcción de un Generador Eólico de bajas revoluciones para el empleo de este en la escuela Fiscal mixta Portoviejo.

2.2.2.4. Método Experimental

Este método se basa en dos aspectos primordiales. Uno de ellos es la reproducibilidad, que se cataloga como la capacidad de repetir un determinado experimento en cualquier lugar y por cualquier persona que pueda hacer un ensayo. Este aspecto se basa, esencialmente, en la comunicación de los resultados obtenidos. El segundo aspecto es la falsabilidad. Es decir, que toda proposición científica tiene que ser susceptible de ser falsada (falsacionismo). Esto implica que se pueden diseñar experimentos que en el caso de dar resultados distintos a los predichos negarían la hipótesis puesta a prueba que es el funcionamiento y optimización de tiempos y recursos. La falsabilidad no es otra cosa que el modus tollendotollens del método hipotético deductivo experimental. Según James B. Conant no existe un método científico. El científico usa métodos definitorios, métodos clasificatorios, métodos estadísticos, métodos hipotético-deductivos, procedimientos de medición, etcétera. Según esto, referirse al método científico es referirse a este conjunto de tácticas empleadas para constituir el conocimiento, sujetas al devenir histórico, y que pueden ser otras en el futuro. Ello conduce tratar de sistematizar las distintas ramas dentro del campo del método científico.

2.3 POBLACIÓN

Se define como un grupo de personas u objetos que poseen alguna característica en común; En este caso para el desarrollo de las encuestas, la población referente fueron los docentes de la escuela Fiscal mixta Portoviejo donde se utilizó la técnica del censo, teniendo en cuenta que es una cantidad reducida se le pudo investigar de manera más eficaz y en su totalidad, como se evidencia en la siguiente tabla.

Tabla 2.3. Población

Informantes	Frecuencia	Porcentaje
Docentes	15	100%
Total	15	100%

Elaborado por: Grupo investigador.

2.4 MUESTRA

En cuanto se relaciona la muestra, no se calcula debido a que la misma es pequeña y no es necesario extraer la población, para aplicar los instrumentos de recolección señalado, al respecto no fue necesario aplicar la fórmula ya que la población de los integrantes no sobrepasó de un número significativo. Por lo tanto se aplicó los instrumentos a todos los integrantes de la población.

2.5 INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica que se utilizó en esta investigación fue la encuesta, la cual fue destinada para la recolección los datos, en este caso de algunos docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi; a los cuales se les formularon preguntas escritas mismas que se realizaron a través de cuestionario, con alternativas para que la información que proporcionen sea confiable y fácil de tabular.

2.6 TABULACIÓN

Al recolectarse toda la información se procedió al vaciado de datos y se procedió a la elaboración de cuadros estadísticos y gráficos, utilizando como medio electrónico la aplicación Excel la cual permitirá la realización de las gráficas.

2.7 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN

A continuación se muestra el análisis e interpretación de las encuestas propuestas a los Docentes de la Escuela Fiscal Mixta Portoviejo, del sector de cuchitingue de la parroquia Aláquez del Cantón Latacunga.

1. ¿Existe problema de energía eléctrica en su sector?

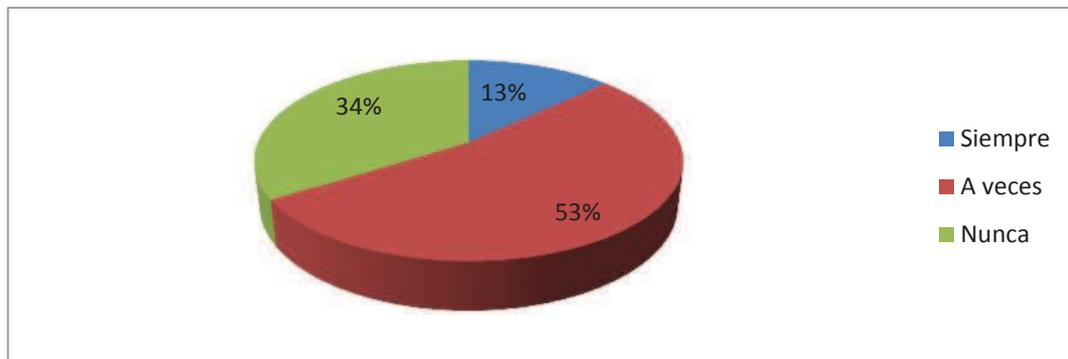
TABLA Nro. 1 PROBLEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Opciones	Frecuencia	Porcentaje %
Siempre	2	13%
A veces	8	53%
Nunca	5	34%
Total	15	100%

Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

GRÁFICO Nro. 1 PROBLEMAS DE ENERGÍA ELÉCTRICA



Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

Con un total de 15 personas encuestadas, 8 personas que representan el 53% expresan que, a veces existe problemas de energía eléctrica en su sector, 5 personas que equivalen al 34% opina que nunca, mientras que 2 personas que constituyen el 13% restante expresa que siempre.

Interpretación:

Con la implementación del generador eólico se logrará proveer de energía eléctrica limpia e inagotable, y de esta manera la institución ya no sufrirá de escasos del suministro eléctrico.

2.- ¿Las cuentas de pago por servicio de energía eléctrica son excesivos?

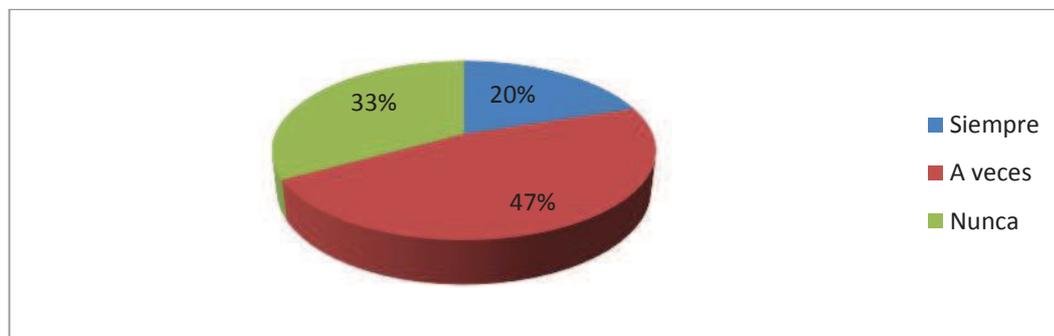
TABLA Nro. 2 CUENTAS DE PAGO

Opciones	Frecuencia	Porcentaje %
Siempre	2	20%
A veces	9	47%
Nunca	4	33%
Total	15	100%

Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

GRÁFICO Nro. 2 CUENTAS DE PAGO



Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

De un total de 15 personas, 9 personas que equivale al 47% expresan que a veces las cuentas de pago por el servicio de energía eléctrica son excesivos, el 33% que equivale a 4 personas dice que nunca, y el 20% que equivale a 2 personas dice que siempre.

Interpretación:

El costo de la producción de energía eléctrica en nuestro país es relativamente accesible en cuanto a la generación hidráulica, no obstante, cuando se trata de generación térmica debido al costo de producción ya que es mayor la utilización de combustibles teniendo como consecuencia una contaminación, es por ello que se incentiva al consumo de una energía eléctrica económica, limpia e inagotable.

3.- ¿Usted ha escuchado sobre energía alternativa?

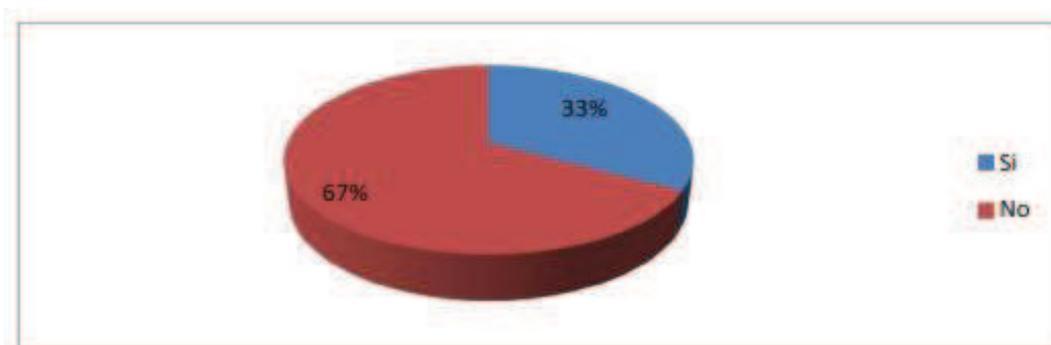
TABLA Nro. 3 ENERGÍA ALTERNATIVA

Opciones	Frecuencia	Porcentaje
Si	5	33%
No	10	67%

Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigadores

GRÁFICO Nro. 3 ENERGIA ALTERNATIVA



Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

Con un total de 15 personas, el 67% que equivale a 10 personas expresan que si ha escuchado sobre energías alternativas, y el 33% que equivale a 5 personas expresan que desconocen de las energías alternativas.

Interpretación:

Las nuevas tendencias de generación eléctrica catalogan a la generación eólica como la energía del siglo, ya que entre sus principales cualidades no es contaminante y no tiene ningún impacto ambiental, cabe recalcar su bajo costo con una aplicación en cualquier lugar y fácil utilización, por lo cual se difunde el conocimiento y utilización de las energías alternativas por un mundo libre de contaminación.

4.- ¿Alguna institución le hablo sobre la utilización de otras fuentes de energía eléctrica?

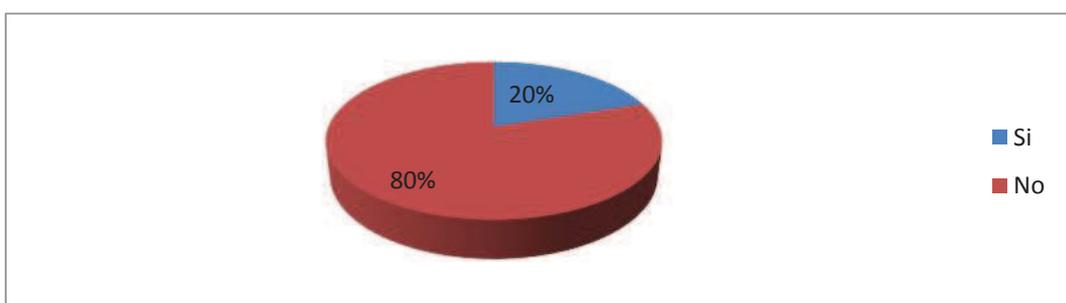
TABLA Nro. 4 UTILIZACIÓN DE OTRA FUENTES

Opciones	Frecuencia	Porcentaje %
Si	3	20%
No	12	80%
Total	15	100%

Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

GRÁFICO Nro. 4 UTILIZACIÓN DE OTRA FUENTES



Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

De un total de 15 personas, el 80% que equivale a 12 personas expresan que si les han hablado sobre la utilización de otras fuentes de energía eléctrica, el 20% que equivale a 3 personas expresa que no.

Interpretación:

Hoy en día existen diversas campañas para incentivar el cuidado de nuestro ecosistema y dejarlo libre de contaminación, motivo por el cual se está produciendo el calentamiento global, debido al avance de las industrias, por lo cual se está educando y culturalizando en la utilización de fuentes de energías alternativas, no contaminantes y de fácil aplicación inclusive para lugares de difícil acceso.

5.- ¿Piensa usted que mediante la utilización del viento se puede generar energía eléctrica?

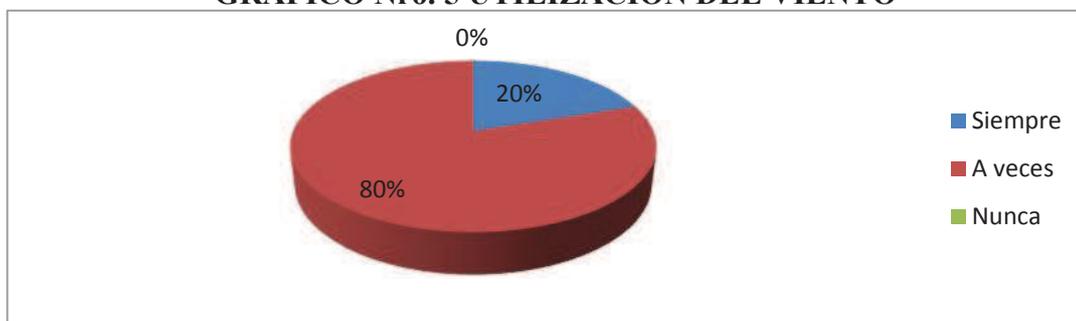
TABLA Nro. 5 UTILIZACIÓN DEL VIENTO

Opciones	Frecuencia	Porcentaje %
Siempre	3	20%
A veces	12	80%
Nunca	0	0%
Total	15	100%

Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

GRÁFICO Nro. 5 UTILIZACIÓN DEL VIENTO



Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

Con un total de 15 personas, 12 personas que equivale al 80% expresan que a veces mediante la utilización del viento se puede generar energía eléctrica, el 20% que equivale a 3 personas dice que no es posible.

Interpretación

El crecimiento de la humanidad y de la tecnología ha hecho posible la creación de utilización de diferentes recursos que tenemos en nuestro planeta como es el agua, el viento, el sol, de los cuales nosotros podemos obtener energía, en la actualidad se trata de aprovechar el viento como fuente de generación eléctrica ya que es inagotable y no contaminante.

6.- La Escuela Mixta Fiscal Portoviejo tiene demanda de una considerable cantidad de energía eléctrica?

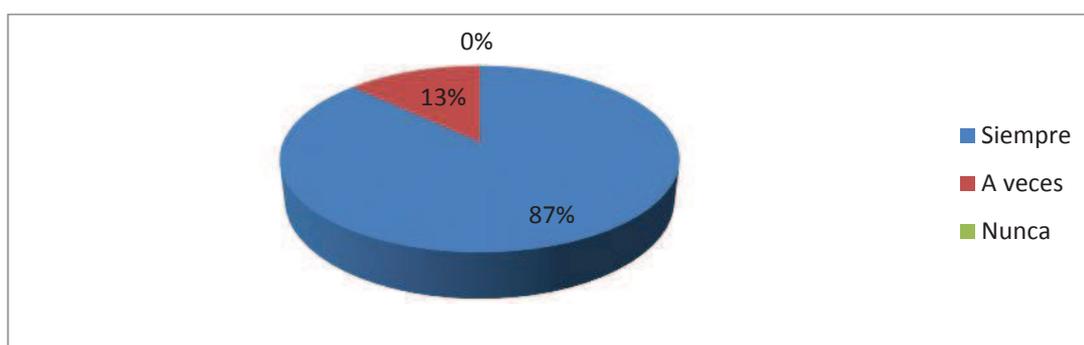
TABLA Nro. 6 DEMANDA CONSIDERABLE

Opciones	Frecuencia	Porcentaje %
Siempre	13	87%
A veces	2	13%
Nunca	0	0%
Total	15	100%

Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

GRÁFICO Nro. 6 DEMANDA CONSIDERABLE



Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

De un total de 15 personas, el 87% que equivale a 13 personas expresan que siempre existe una considerable demanda de energía eléctrica en la escuela Fiscal Mixta Portoviejo, el 13% que equivale a 2 personas dice que a veces.

Interpretación:

La Escuela Fiscal Mixta Portoviejo tiene una considerable demanda de energía eléctrica, debido a que la enseñanza moderna se imparte con instrumentos tecnológicos como son, la televisión, el dvd, las grabadoras por lo cual se considera una prioridad el servicio de energía eléctrica en el lugar.

7.- ¿La Escuela posee iluminación en las instalaciones por las noches?

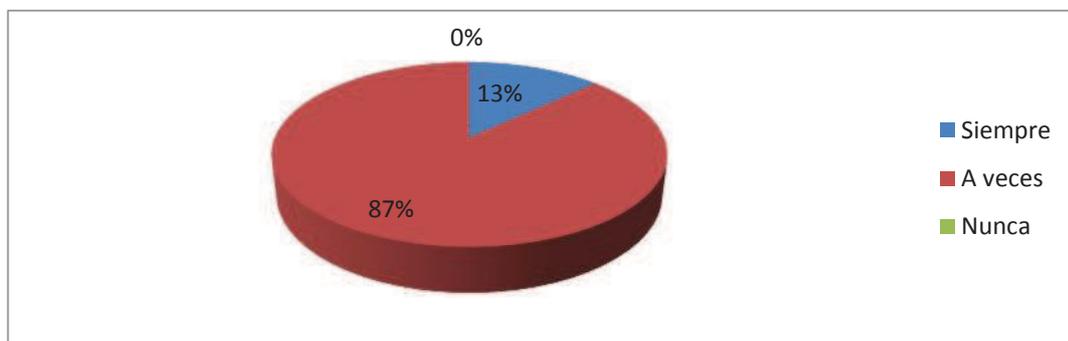
TABLA Nro. 7 ILUMINACIÓN EN LAS INSTALACIONES

Opciones	Frecuencia	Porcentaje %
Siempre	2	13%
A veces	13	87%
Nunca	0	0%
Total	15	100%

Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

GRÁFICO Nro. 7 ILUMINACIÓN EN LAS INSTALACIONES



Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

Con un total de 15 personas, el 87% que equivale a 13 personas expresan que a veces la escuela posee iluminación en sus instalaciones por las noches, el 13% que equivale a 2 personas dice que siempre.

Interpretación:

La gran bondad de la energía eólica es ser inagotable, es decir, se produce constantemente y esa energía se almacenará en acumuladores, posteriormente la energía almacenada proveerá de luminosidad nocturna en las instalaciones de la escuela Fiscal Mixta Portoviejo.

8.- ¿La escuela necesita un sistema de energía eléctrica nocturna?

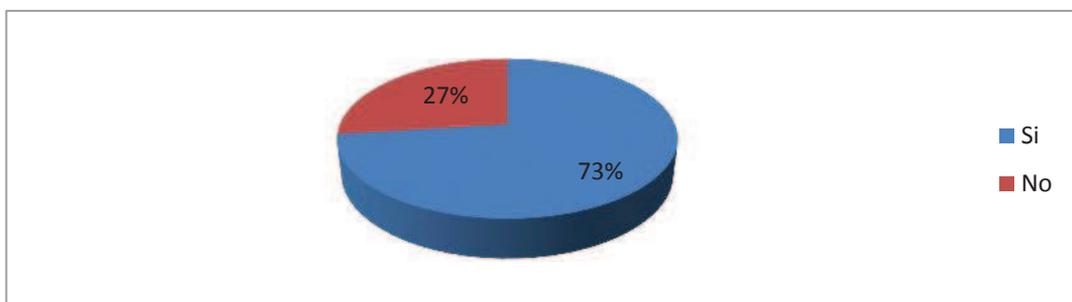
TABLA Nro. 8 SISTEMA DE ENERGÍA

Opciones	Frecuencia	Porcentaje %
Si	11	73%
No	4	27%
Total	15	100%

Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

GRÁFICO Nro. 8 SISTEMA DE ENERGÍA



Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

De un total de 15 personas, el 73% que equivale a 11 personas expresan que la Escuela si necesita un sistema de energía eléctrica nocturna, el 27% que equivale a 4 personas dice no.

Interpretación:

La luz nocturna es necesaria e indispensable, ya que al no tenerla es mantenerse desprotegido, por lo cual al consumir energías renovables a una escala inagotable, se puede disfrutar de esta bondad, y de esta manera se conseguirá mejorar el aspecto visual por las noches de la Escuela Fiscal Mixta “Portoviejo”, a su vez se brindará mayor seguridad a la misma.

9.- ¿Es importante utilizar energía alternativa dentro de la Escuela Mixta Fiscal Portoviejo?

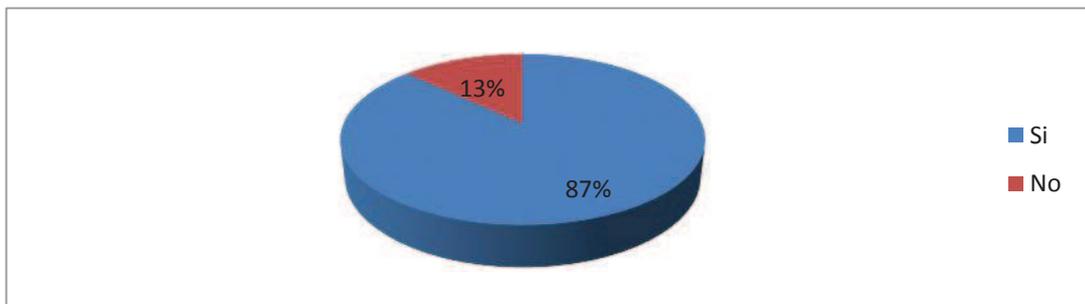
TABLA Nro. 9 ENERGÍA ALTERNATIVA

Opciones	Frecuencia	Porcentaje %
Si	13	87%
No	2	13%
Total	15	100%

Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

GRÁFICO Nro. 9 ENERGÍA ALTERNATIVA



Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

Con un total de 15 personas, el 87% que equivale a 13 personas expresan que es importante utilizar energía alternativa dentro de la Escuela Mixta Fiscal Portoviejo, el 13% que equivale a 2 personas dice no.

Interpretación:

En la actualidad es muy importante conocer las nuevas tendencias de generación eléctrica, en este caso como el consumo y producción de energías no contaminantes, y así tomar conciencia sobre la contaminación de nuestro planeta ya que se encuentra en extinción, y dentro del nivel educativo es necesario para que se desarrollen en un ambiente diferente, aprovechando todos los recursos ambientales posibles.

10.- ¿Está de acuerdo con la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica eólica?

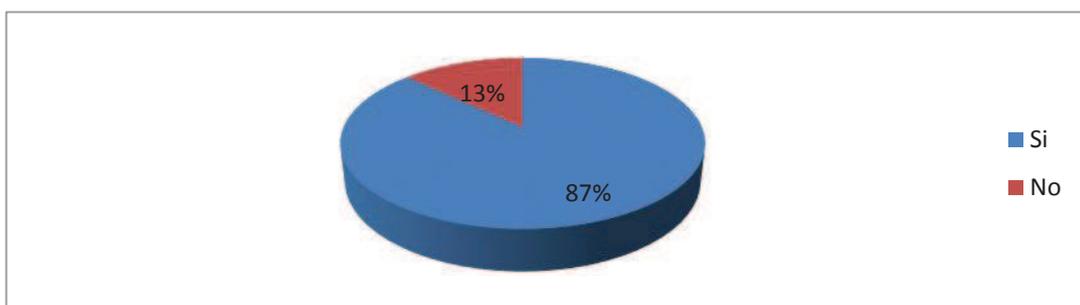
TABLA Nro. 10 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA

Opciones	Frecuencia	Porcentaje %
Si	13	87%
No	2	13%
Total	15	100%

Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

GRÁFICO Nro. 10 IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA



Fuente: Personal de la Escuela Mixta Fiscal de Portoviejo.

Elaborado por: Grupo Investigador

Análisis:

De un total de 15 personas, 13 personas que equivale al 87% expresan que si están de acuerdo con la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica eólica, 2 personas que equivalen al 13% dice que no

Interpretación:

De acuerdo a los datos obtenidos se tiene una aceptación considerable de apoyo para la implementación del generador eólico en la institución, siendo así un impulso al aprovechamiento de energías libres de contaminación, además se apoyará al desarrollo integral de niños y niñas de la Escuela Fiscal Mixta "Portoviejo"

2.8 COMPROBACIÓN DE LA HIPÓTESIS

2.8.1 Prueba del chi cuadrado X^2

1.- Planteo de la hipótesis

a) Modelo lógico

Ho: La construcción del generador eólico no suplirá de energía eléctrica a la Escuela Fiscal Mixta Portoviejo.

Hi: La construcción del generador eólico suplirá de energía eléctrica a la Escuela Fiscal Mixta Portoviejo.

b) Modelo matemático

Ho; $O = E$

Hi ; $O \neq E$

c) Modelo estadístico

$$X^2 = \sum \frac{(O-E)^2}{E}$$

Donde identificamos a:

X^2 = Chi cuadrado

O = Frecuencias observadas

E = Frecuencias esperadas

2.- Regla de decisión

$$1 - 0,15 = 0,85$$

$$gl = (c-1)(r-1)$$

$$gl = (2-1)(2-1) = 1$$

Al 85% y con $gl = X^2_t$ es igual a 2,0722

Se acepta la hipótesis alternativa si X^2_c es igual o mayor que el X^2_t , caso contrario se rechaza.

3.- Cálculo chi cuadrado X^2

En la tabla 2.4 Se observa las preguntas seleccionadas para la comprobación de la hipótesis teniendo en cuenta las variables dependientes e independientes.

Tabla 2.4. Preguntas seleccionadas.

¿Es importante utilizar energía alternativa dentro de la Escuela Mixta Fiscal Portoviejo?	
Categoría	Respuesta
Si	13
No	2
Total	15

¿Está de acuerdo con la implementación de un sistema de generación de energía eléctrica eólica?	
Categoría	Respuesta
Si	13
No	2
Total	15

Fuente: Docentes de la Institución.

Elaborado por: Grupo Investigador.

Frecuencia observada

Tabla 2.5. Frecuencia observada

ALTERNATIVAS	SI	NO	Subtotal
SI	12	1	13
NO	1	1	2
Subtotal	13	2	15

Fuente: Docentes de la Institución.

Elaborado por: Grupo Investigador.

Frecuencia esperada

Tabla 2.6. Frecuencia esperada

ALTERNATIVAS	SI	NO	Subtotal
SI	11,267	1,733	13
NO	1,733	0,267	2
Subtotal	13	2	15

Fuente: Docentes de la Institución.

Elaborado por: Grupo Investigador.

Tabla de cálculo chi cuadrado.

Tabla 2.7. Cálculo del chi cuadrado

O	E	(O-E)	(O-E)²	(O-E)²/E
12	11,267	0,733	0,538	0,048
1	1,733	-0,733	0,538	0,31
1	1,733	-0,733	0,538	0,31
1	0,267	0,733	0,538	2,017
CHI CALCULADO				2,685

Fuente: Docentes de la Institución.

Elaborado por: Grupo Investigador.

$$X^2_c = 2,685$$

$$X^2_t = 2,0722$$

CONCLUSIÓN

De acuerdo a la regla de decisión, la hipótesis nula se rechaza y se aprueba la alterna, debido a que el chi tabla es menor al chi calculado.

2.9 PREGUNTAS DIRECTRICES

En la construcción del generador eólico se debe considerar algunos factores de vital importancia, como son el funcionamiento de un aerogenerador de flujo axial, sus componentes principales y su mantenimiento, porque de ello dependerá su vida útil, adicional a esto hay que tener en cuenta parámetros esenciales como la velocidad, dirección y frecuencia del viento que recorre en el sector de aplicación del aerogenerador.

Considerando los conocimientos teóricos adquiridos es indispensable conocer la demanda energética, es decir las necesidades eléctricas básicas con la que requiere la Escuela Fiscal Mixta “Portoviejo”, de esta manera se mejorará la calidad de vida y de enseñanza de la institución, siendo que la educación moderna es muy tecnológica, además de ello se propone incentivar el consumo de energías limpias y renovables.

2.10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.10.1 Conclusiones.

Al realizar la investigación de campo y tabular la encuesta con los docentes de la Escuela Fiscal Mixta “Portoviejo” se concluyó lo siguiente:

- La construcción e implementación de un generador eólico de bajas revoluciones, está en la capacidad de cubrir la demanda energética básica de la Escuela Fiscal Mixta “Portoviejo”.
- La población es importante, y por medio de este tipo de proyectos se logró involucrar y dar a conocer a los pobladores del sector de Cuchitingue, sobre nuevas tecnologías energéticas que existen en la actualidad y que para la mayoría de ellos eran totalmente desconocidas.
- En el Ecuador se están aprovechando los recursos naturales como es el viento siendo un recurso renovable inagotable, que permite ser utilizado para la generación de energía eléctrica en lugares aislados del Sistema Nacional Interconectado., además es muy cuidadosa con el medio ambiente.

2.10.2 Recomendaciones.

Es importante incentivar el consumo de la energía renovable, brindando información sobre sus beneficios y aplicación en sectores rurales o lugares de difícil acceso, que se encuentran lejanos de la red eléctrica o en algunos casos carecen de suministro eléctrico.

Al implementar este tipo de proyectos se debe tomar en cuenta algunos factores importantes que dependerán del funcionamiento del mismo como: ubicación, velocidad, dirección y frecuencia del viento donde va hacer instalado.

Es necesario concientizar y capacitar a los habitantes de las zonas rurales que carecen de energía eléctrica, al aprovechamiento de sus recursos naturales para cubrir sus necesidades energéticas, convirtiéndose en una propuesta respetuosa con el medio ambiente, cabe recalcar que, los páramos de la provincia de Cotopaxi cuentan con un gran potencial eólico.

Por lo cual se recomienda difundir, capacitar e informar a las autoridades, docentes, estudiantes y habitantes de nuestra provincia, a invertir en tecnologías de energías alternativas y reconocer las ventajas ambientales de las fuentes renovables, en comparación con las tecnologías convencionales.

Además se puede acotar que este tipo de trabajos son de investigación, por lo cual es muy importante su aplicación, tanto en la universidad como en la vida cotidiana en general, y se recomienda continuar con proyectos de este nivel para toda nuestra provincia.

CAPÍTULO III

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo vamos a enfocarnos específicamente en la construcción y dimensionamientos del generador eólico de bajas revoluciones.

Uno de los parámetros más importantes a valorar para el dimensionamiento de un generador eólico, es la ubicación donde se empleara; considerando que la potencia obtenida varía con respecto a la velocidad del viento.

Concluyendo, que para alcanzar un mayor rendimiento se debe buscar lugares de mayor altura y donde el viento tenga mayor velocidad, asumiendo la proporcionalidad de la velocidad del viento con respecto a la altura para evitar obstáculos que puedan intervenir o alterar su potencia y dirección. Además se debe considerar la densidad y estabilidad que presente el viento, es decir, debe existir una frecuencia constante del viento.

Las dimensiones del aerogenerador, fueron desarrolladas según las condiciones del lugar donde se va a instalar, las evidencias del viento, la carga que alimentará, entre otras causales. Tras estas características mencionadas se decide construir un generador de bajas revoluciones con imanes permanentes de flujo axial, donde la carga y las características antes mencionadas del lugar decidirá el tamaño del rotor, números de polos y bobinas, equipos de electrónica que se requieren para la operación de éste.

3.2 JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA

Se plantea como solución, la fabricación de un generador eólico de bajas revoluciones de imanes permanentes y que sea eficiente, además de geometría axial; que genere electricidad a partir de la fuerza del viento, tanto en el día como en la noche, compuesto por un generador, el cual contiene un disco móvil de imanes permanentes para obtener un flujo magnético de campo y un disco fijo, formado por tres piezas diferentes: placa principal de armadura de material ferromagnético, cabezales de bobinas de material ferromagnético, núcleos de material ferromagnético, que conforman el estator, para obtener el máximo rendimiento.

El motivo por el que se escoge un generador eólico para dar suministro eléctrico a la Escuela son las siguientes:

1. Las características del viento y la posible utilización o aprovechamiento de las mismas.
2. El fácil ensamble de las partes del aerogenerador (rotor, estator, bobinas, imanes, aspas, etc.) y la eliminación de una caja multiplicadora de revoluciones del modelo.

La adición de imanes, bobinas y hélices perfectamente equilibradas al modelo, y la eliminación de la caja reductora o multiplicadora, contribuye al aumento de la eficiencia y simplicidad del equipo, reduciendo vibraciones, ruidos, fatigas y mantenimiento, al sistema de generación, como también la fabricación de como tal.

3. En principio, el rotor es de imanes permanentes, proporcionando un arranque con escaso viento y a su vez pueden actuar como ventiladores, refrescando los enrollados de estator.

4. Aumenta la eficiencia y disminución del costo de operación del equipo, al eliminar las corrientes de excitación y sus pérdidas.

Lo antes expuesto se basa en que es un generador eólico de baja potencia.

5. La relación existente entre potencia y tamaño es alta.

Se aumenta la robustez, durabilidad y confiabilidad al eliminar componentes y a su vez disminuye el mantenimiento.

3.3 CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR EÓLICO DE IMANES PERMANENTES

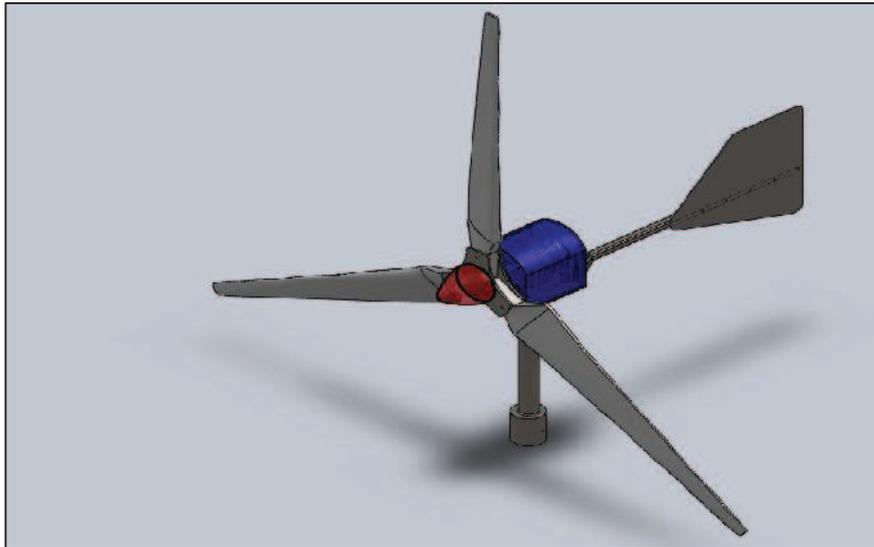
3.3.1. Principio de funcionamiento del generador

El aerogenerador de imanes permanentes, transforma la energía cinética del viento en energía eléctrica, generándose mediante la inducción magnética, donde la inducción magnética no es más que el fenómeno que origina la producción de una diferencia de potencial cuando el flujo magnético atraviesa una bobina alternando su polaridad y a la vez desplaza el sentido del flujo de los electrones del conductor desde un extremo hasta el otro para originar la corriente alterna.

El generador eólico está constituido por: un rotor, imanes, estator, carcasa, soportes, hélices y dirección; todos estos elementos unidos por un eje longitudinal.

Para un mayor conocimiento se puede mostrar una idea con el modelo que se pretende desarrollar para este trabajo, a través de la figura 3.1 se puede visualizar un modelado sobre el aerogenerador que va a construirse, el mismo que se detallará en este proyecto.

Figura 3.1. Diseño del generador eólico de imanes permanentes de flujo axial.



Fuente: Grupo Investigador – Vista modelada del aerogenerador.

3.4 FABRICACIÓN DEL ESTATOR

El estator, es el elemento principal que opera como base, ya que determinara en primera instancia la eficiencia neta del generador, la armadura del estator es la pieza que contendrá las bobinas de alambre magneto y a través de este manipulara y dirigirá el campo magnético del conjunto de imanes a través de cada una de las espiras, permitiendo que desde ese punto se lleve a cabo la generación eléctrica.

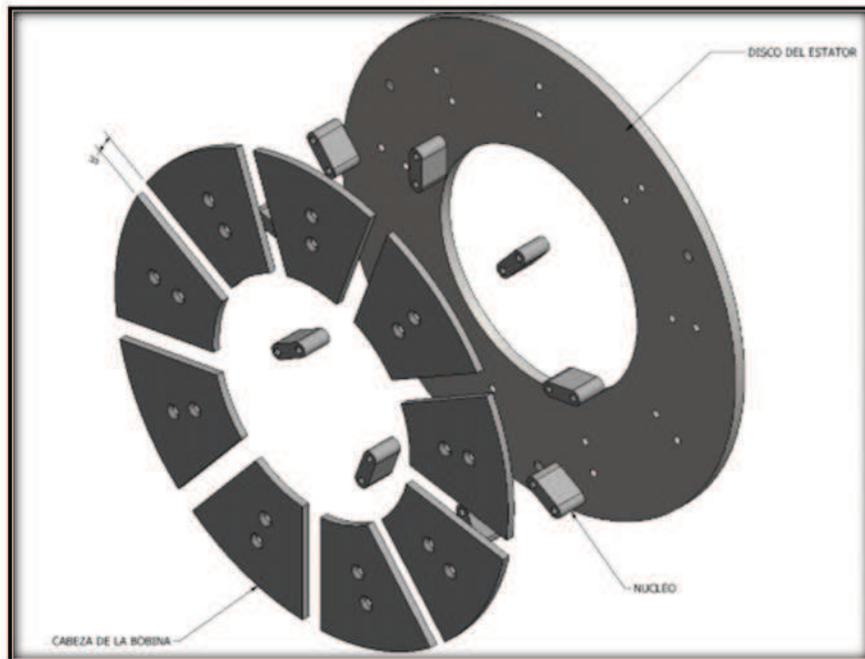
De forma general, la construcción del estator es una de las etapas cruciales en la fabricación de un generador eléctrico, el cual no se mueve mecánicamente, pero si magnéticamente; según recomendaciones del Ing. Oscar García el disco estator se monta en una base fija, donde contendrá 9 bobinas en su armadura, allí se inducirá un voltaje, producto del flujo variable que existirá entre el conjunto de imanes y el campo magnético a través de cada una de las espiras.

A continuación se describe el conjunto de piezas que compone el estator para este proyecto:

1. (1) Placa principal de armadura de material ferromagnético ST-40.
2. (9) Cabezales de bobinas de material ferromagnético ST-40.
3. (9) Núcleos de material ferromagnético ST-40.
4. (18) tornillos de acero inoxidable (3/16 x 1" NF) de cabeza cónica.

En la figura 3.2 se muestra una vista explosionada del diseño del estator explicando gráficamente sus componentes.

Figura 3.2. Vista explosionada del Estator.



Fuente: Diseño del Estator - Grupo Investigador
Elaborado por: Grupo Investigador

3.5. CONSTRUCCIÓN DE LAS HELICES DEL GENERADOR EÓLICO.

El componente esencial en el aerogenerador son las hélices ya que son los encargados de transmitir el movimiento producido por la fuerza del viento, la idea consiste en la fabricación de un álabe de fibra de vidrio de una longitud de 120 cm, dentro de las características del material se puede argumentar que posee una serie de propiedades mecánicas que la convierten en un refuerzo ideal para la fabricación de diferentes piezas, de acuerdo a la teoría del ala, este material hace que la hélice sea más ligera, rígida y resistente, lo que permitirá optimizar al máximo la

producción energética y alcanzar a la vez una relación resistencia/peso única, a diferencia de otros materiales empleados en la construcción de los álabes.

En la figura 3.3 se observa las hélices fabricadas en fibra de vidrio, las mismas que se utilizarán en este proyecto, cabe recalcar que el generador eólico será tripala.

Figura 3.3. Hélices del generador eólico tripala.



Fuente: Grupo Investigador

Las hélices, estarán sometidas constantemente a condiciones de trabajo hostil, entre ellas podemos mencionar:

- a) Fenómenos de corrosión,
- b) Fenómenos de erosión,
- c) Contracciones y dilataciones debidas a las vibraciones (fatiga),
- d) Turbulencias.

Asociados todos estos fenómenos al material con que se construyan las aspas, sobre todo cuando son materiales baratos no adecuados de poca resistencia al régimen de trabajo, como pueden ser: telas, maderas, estructuras de aleaciones de aluminio (duraluminio) con chapa fina, larguero central resistente y costillas que le

proporcionen una cierta rigidez, este último interesante, con una simple concepción pero quizás sea la más cara, también se puede sustituir el aluminio por acero con el inconveniente de un mayor peso para resistencias análogas, etc.

3.6 FABRICACIÓN DEL ROTOR

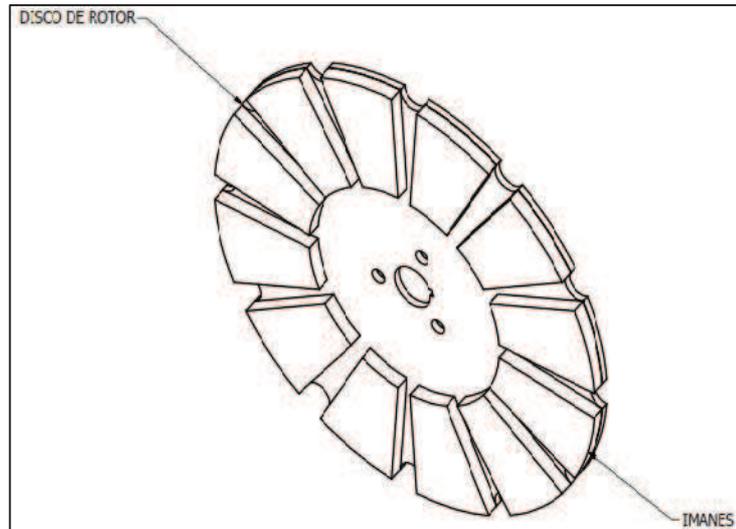
El rotor, es la pieza que induce el campo magnético en el estator para producir la energía en una máquina eléctrica, en este caso, se habla de un rotor de campo magnético permanente, para el cual se utiliza imanes permanentes de alto desempeño, o sea de Neodimio, que técnicamente multiplican por 2 su potencia y reducen 3 veces su grosor, material empleado por pioneros en la fabricación de generadores eléctricos, los que mejoran las prestaciones específicas y especialmente en velocidades de viento bajas y medias; permitiendo generar electricidad, y a diferencia de los generadores de inducción que necesitan como mínimo una fuente de energía externa para generar el campo magnético.

3.6.1 Partes y componentes del rotor.

El rotor está compuesto por varios elementos que se detallan a continuación y se pueden visualizar en la figura 3.4. Y en especial se observa cómo irán ubicados los imanes en el disco rotor.

1. Un disco metálico (de 2032 mm de diámetro y 6 mm de espesor)
2. Doce (12) imanes de neodimio tipo (N42 en forma de trapecoide)
3. Un eje de acero inoxidable SAE 1018 de 1" de espesor.
4. Una chaveta de 1/4x1/2 con terminado circular.
5. Un perno de 1/2x3/4 NC

Figura 3.4. Vista del rotor con la ubicación de los imanes.

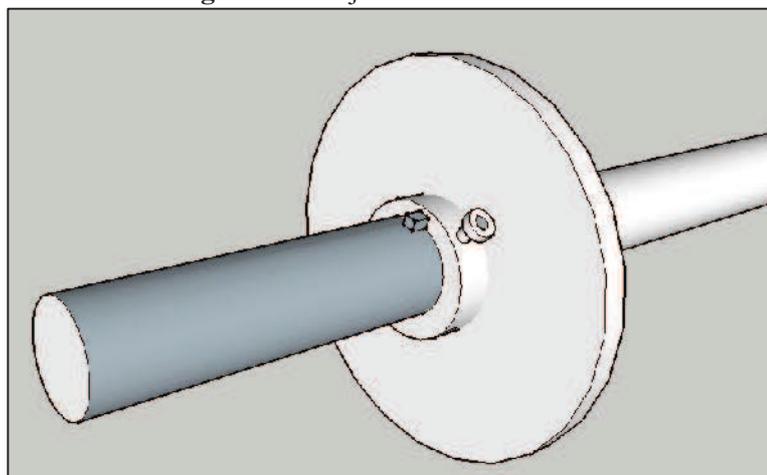


Fuente: Grupo Investigador
Elaborado por: Grupo Investigador

3.6.2 Ensamblaje del rotor.

El disco metálico con las medidas establecidas, conducirá el campo magnético generado por el grupo de imanes, este disco girará libremente ya que se encuentra montado sobre un eje de acero inoxidable tipo SAE 1018 de 254 mm de espesor, que a su vez está acoplada mediante una chaveta de 1/4x1/2 con terminado circular el cual nos dará una mayor sujeción al disco, adicional a esto se implantó un prisionero para mayor fijación con el eje, como se muestra en la figura 3.5.

Figura 3.5. Fijación del disco rotor.



Fuente: Grupo Investigador
Elaborado por: Grupo Investigador

3.7 CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR

Se puede argumentar que el generador es una máquina eléctrica capaz de transformar la rotación de un eje en una corriente eléctrica, que se puede suministrar corriente alterna o continua según el tipo de generador, dentro de la corriente alterna se clasifican la alterna monofásica o polifásica, dentro de esta última y la más usada es la trifásica.

El generador escogido para este desempeño como se expuso anteriormente, es de corriente alterna con un rotor inductor de imanes permanentes. Donde el campo magnético que se necesita para generar la corriente eléctrica es originado por dichos imanes, que giran montados sobre el disco rotor, el cuál girará por efecto del movimiento de las hélices.

Ventajas:

- 1) No se consume energía de ningún tipo para producir los campos magnéticos.
- 2) Se elimina el uso de bobinas giratorias, colectores y escobillas, que sufran desgaste y precisen un mantenimiento periódico.

Se debe considerar los siguientes parámetros para el diseño del aerogenerador de imanes permanentes:

- Velocidad nominal igual a la de la turbina (286 r.p.m.)
- Imanes permanentes.
- Generación de corriente alterna y rectificada a corriente continua.
- Poco peso y fácil construcción.

3.8 CÁLCULO DE LOS POLOS Y BOBINADOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

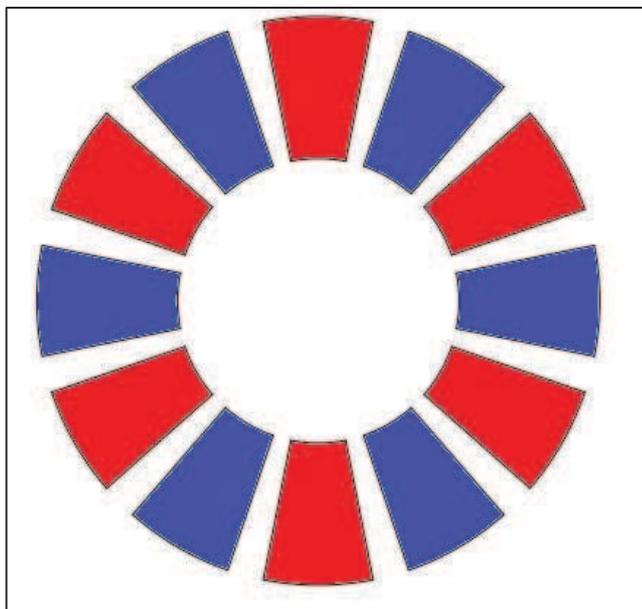
3.8.1 Número de polos.

En un generador eólico, el número de polos tiene una relación directa con la frecuencia del voltaje a generar, la frecuencia establecida en el país es de 60 Hz.

Por las características del viento en la zona, y el tipo de aerogenerador que pretendemos utilizar, por lo que se va utilizar un sistema de rectificación e inversión de corriente eléctrica, este ayudará a llegar a los 60 Hz con un número menor de polos. De esta manera es que se eligen 6 pares de polos.

La polaridad de los imanes es alternativa, es decir, un imán tiene al lado otro imán con la polaridad contraria. Por ello al tener 12 imanes tendremos 6 polos norte y 6 polos sur alternativos, por lo que tendremos 6 pares de polos como se muestra en la figura 3.6.

Figura 3.6. Distribución del número de polos.



Fuente: Grupo Investigador
Elaborado por: Fuente Investigador

3.8.2 Conexión y número de las bobinas.

Para empezar, la conexión de bobinas determinará el voltaje del generador eléctrico, el tipo más común de conexión es la trifásica estrella, esta, permite el incremento del voltaje de forma favorable aunque las revoluciones que se obtengan sean bajas por las condiciones del viento según sea el caso.

Se puede agregar que este tipo de conexión es compatible con la gran mayoría de controladores comerciales de carga para baterías, esto lo convierte en el más conveniente a ser utilizado, considerando la facilidad de cambiar el tipo de conexión por trifásico delta o incluso conexión en serie y experimentar con los resultados.

La relación entre el número de bobinas posibles de implementar y el número de polos de un generador trifásico, se puede determinar utilizando las siguientes ecuaciones:

$$Nb = \frac{3 * P}{K} \quad \text{Ec. 0005}$$

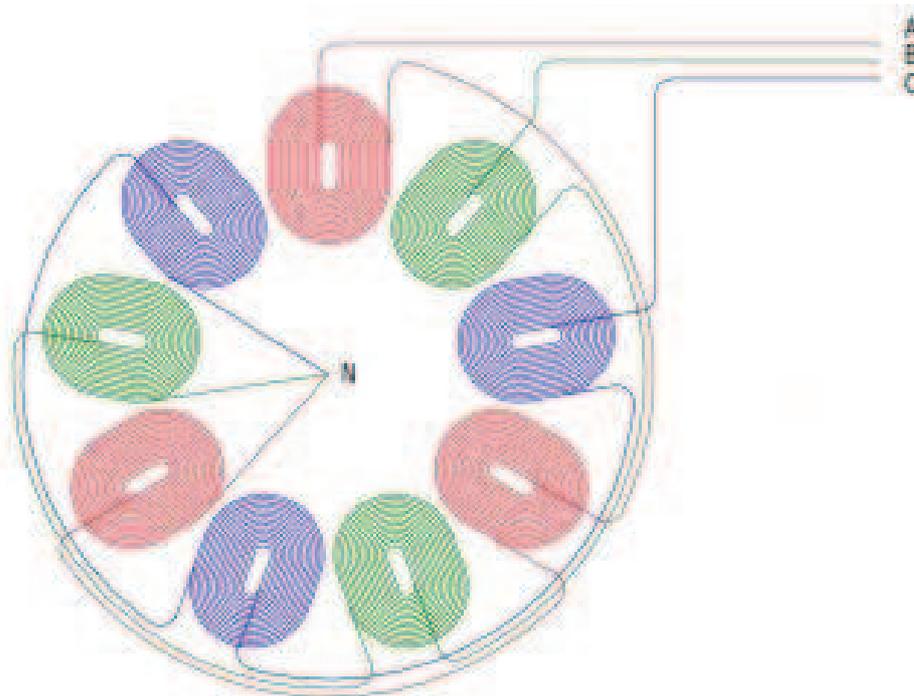
Sustituyendo en la ecuación: $k=2$

$$Nb = \frac{3 * 6}{2}$$

$$Nb = \frac{18}{2} = \mathbf{9 \text{ bobinas}}$$

Siendo k una constante y considerándose como igual a 2, se obtiene que colocando 6 polos en el generador, se requiere 9 bobinas, es decir (3 por fase), con la posibilidad de conectarlas de manera, que genere o exista una sumatoria entre los campos enlazados. Por tal razón, el diagrama de conexión es el siguiente como se puede visualizar en la figura 3.7.

Figura 3.7. Conexión de las Bobinas del estator.



Fuente: Grupo Investigador

Elaborado por: Grupo Investigador

La conexión es trifásica estrella en paralelo, y para lograr alta eficiencia en este modelo, se utilizará: alambre magneto número 21 AWG. Los cabezas de las bobinas son 9 piezas individuales, las cuales también están construidas de placa de acero tipo ST-40 de menor grosor que la placa principal, para así capturar el campo magnético de cada uno de los imanes y transmitirlo al núcleo de la bobina, este es el objetivo de estas placas individuales.

Los núcleos de las bobinas también están fabricados de material ferromagnético, de acero ST-40 con las respectivas perforaciones roscadas que le permite montarse en la placa principal y colocar las respectivas cabezas de la bobina.

Las bobinas deben poseer un área mayor que la que tienen los imanes, para poder enlazar la totalidad del flujo magnético generado por los mismos, para un mayor entendimiento en la figura 3.8 se muestra una vista modelada de las bobinas.

Figura 3.8. Vista modelada de las bobinas ensambladas.



Fuente: Grupo Investigador
Elaborado por: Grupo Investigador

3.8.3 Número de espiras de cada bobina.

Para el número de las bobinas de este generador se consideró un valor N_c , un tanto inconsistente, el cual debe cubrir el espesor del imán, es decir deberá variar si no cumple las exigencias necesarias para el desarrollo del proyecto.

Para calcular el número de espiras por fase del aerogenerador se estimó:

- $N_c = 330$ Número de espiras por fase
- $M_b = 3$ Número de bobinas por fase

Este número se determina por lógica, o sea, si contamos con 9 bobinas, y hablamos de un sistema trifásico, entonces le corresponde a cada fase 3 bobinas.

$$Nb = \frac{Nc}{Mb}$$

Ec. 0006

Dónde sustituyendo se obtiene:

$$Nb = \frac{330}{3} = 110 \text{ Espiras por bobina.}$$

Por lo cual se debe enrollar un total de 110 espiras por bobina, dejando alrededor de 1500 mm para la posterior conexión al circuito.

3.9 SELECCIÓN DEL IMAN

Para el disco magnético se consideran 12 imanes permanentes de neodimio, de equivalencia N42 en forma de trapezoide, a continuación se describe sus dimensiones en la siguiente tabla.

Tabla 3.1. Dimensiones del imán a utilizar.

Dimensiones Imán N42 forma de Trapezoide		
Altura		60 mm
Ancho	superior	40 mm
	inferior	19 mm
Grosor		6 mm

Fuente: Grupo Investigador

Elaborado por: Grupo Investigador

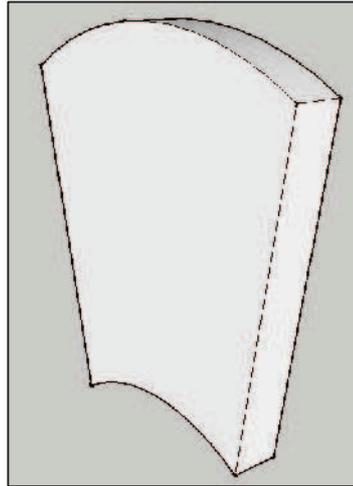
Estos imanes se clasifican según el tipo de material con el que esté combinado por ejemplo (N35, N38, N42, N38SH). Como regla general, hay que considerar que cuanto más alto es el grado (el número que sigue a la "N"), más potencia tiene el imán. El grado más alto que tiene este tipo de imán, en la actualidad, es el N52.

Las letras que siguen o continúan éste grado, pertenecen o definen al grado de temperatura del imán. De no ser el caso o sea si a continuación no sigue ninguna

letra, esto quiere decir que la temperatura del imán es la estándar. Algunos grados de temperatura se pueden clasificar en: - M - H - SH - UH - EH.

En la Figura 3.9 se observa una vista modelada del imán que se utilizará en este proyecto, el cual es de forma de trapecoide y tiene una equivalencia de N42.

Figura 3.9 Imán de neodimio N42



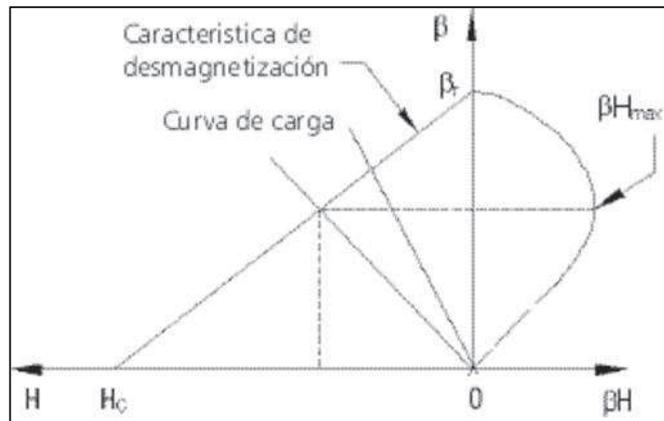
Fuente: Grupo Investigador
Elaborado por: Grupo Investigador

3.9.1 Consideraciones magnéticas.

El flujo del campo magnético se establece por los imanes permanentes; lo que a su vez generará un voltaje inducido de acuerdo con la Ley de Faraday. Para optimizar el flujo de campo magnético depende del circuito magnético, o sea, los materiales y la geometría involucrada son factores que de una forma u otra determinan un mayor o menor aprovechamiento del campo magnético de este tipo de imán permanente.

El objetivo en cuestión, es obtener un punto o el punto de operación del imán, el cual se determina por la intersección de la curva de carga con la curva de magnetización de dicho imán, por encima del punto de energía máxima del imán o (BHmax), como se puede visualizar en la figura 3.10.

Figura 3.10. Curva características del imán



Fuente: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/ecosolar/Ecosolar04/HTML/articulo01.htm>

Utilidad de los imanes permanentes:

1. Almacenan una gran cantidad de energía eléctrica la cual no se agota o consume durante el funcionamiento del generador.
2. Cuentan con la capacidad de retener la energía durante un periodo indefinido de tiempo. Cuando se utilizan dentro de los límites de funcionamiento.

Ventajas de la utilización de imanes permanentes:

1. No genera pérdidas en el cobre al producir el campo magnético.
2. Son materiales magnéticos duros que se caracterizan por tener grandes ciclos de histéresis.

El imán de neodimio cuenta con algunas propiedades fundamentales que lo hacen que sea el número uno de los imanes de tierras raras.

Características notables del imán de neodimio:

1. **Coercitividad:** Tiene la capacidad de mantener su campo magnético en condiciones diferentes y al igual que sus influencias y no se desmagnetizarán.

2. **Alta resistencia a la des magnetización:** Se debe a su estructura cristalina interna; lo cual los convierte en una opción completamente ideal para su uso en diferentes y variadas aplicaciones industriales.
3. **La remanencia:** Esta característica en específico, les da un la fuerza del campo que supera a la de otros imanes.

Estos imanes en su gran mayoría, son pequeños pero muy poderosos, tienen la mayor fuerza magnética de cualquier otro imán de herradura en el mercado actual. Su uso está definido por su costo relativamente bajo y por supuesto, sus excelentes propiedades.

3.9.2 Fijación de los imanes.

Al ubicar los imanes al disco del rotor se debe tener en cuenta su polaridad ya que debemos invertir los polos norte y sur respectivamente, para fijar los imanes debemos usar pegamento epóxico para metales, mezclando ambos reactivos hasta asegurarnos que la cara del imán este bien pegada a la superficie del disco metálico del rotor, presionándolos en la posición correcta por unos segundos hasta que el pegamento seque lo suficiente para que el imán mantenga su posición

Figura 3.11. Fijación de los imanes



Fuente: Grupo Investigador

3.10 VALORACIÓN TEÓRICA DE LA TENSIÓN EFICAZ INDUCIDA EN UNA BOBINA.

3.10.1 Valoración del flujo magnético.

Al valorar la tensión eficaz o fuerza electromotriz inducida (ϵ) en una bobina se debe calcular en primer plano, cómo varía el flujo en un tiempo, debido a que la tensión inducida se calcula con la siguiente expresión:

$$\epsilon = \frac{-d\phi}{dt} \quad \text{Ec: 0007}$$

Donde:

ϵ : Fuerza electromotriz inducida (V)

ϕ : flujo magnético (Wb)

El flujo en este caso se obtiene utilizando la siguiente fórmula:

Donde:

$$\phi = B_{(t)} \cdot S \cdot N \quad \text{Ec: 0008}$$

$B_{(t)}$: inducción o campo magnético en función del tiempo (T)

S: superficie de una espira de la bobina atravesada por el campo magnético (m^2)

N: número de espiras que constituyen una bobina.

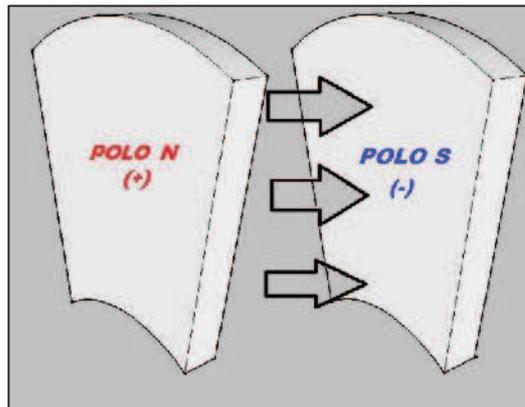
Por lo tanto el flujo magnético para este tipo de generador es de un flujo axial (es decir el giro del eje es paralelo al campo magnético del aerogenerador), de manera que el rotor de imanes permanentes generan un campo magnético entre cada uno de sus pares de polos de manera alterna.

3.10.2 Valoración de la superficie S

En este cálculo siempre se debe considerar que la superficie a tener en cuenta es inferior a la superficie media de la bobina, pues, la superficie que cubren las dimensiones de la bobina es mayor que la superficie que abarca el flujo de campo magnético.

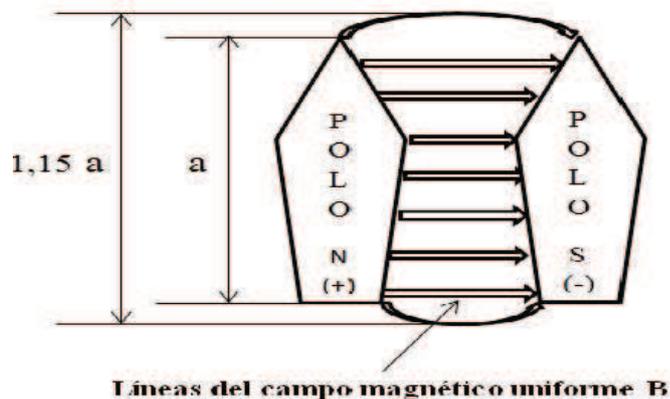
De esta manera se acentúa la idea de que las líneas de inducción magnética abarcan una superficie cuadrada casi igual a la superficie de los bloques magnéticos, pero con una pequeña superioridad, a causa de la distancia existente entre los imanes, la disposición de las líneas de campo magnético se abomban, como se pueden apreciar en las figuras 3.12. y 3.13.

Figura 3.12. Campo magnético polo N y polo S.



Fuente: Grupo Investigador
Elaborado por: Grupo Investigador.

Figura 3.13. Líneas de campo magnético entre los imanes.



Fuente: Grupo Investigador.

El cálculo aproximado de la superficie, se pueda determinar, cuando la superficie media abarcada por una espira sea mayor que la superficie de los imanes, utilizando la ecuación siguiente:

$$S = (1,15 * a)^2 \quad \text{Ec: 0009}$$

Donde identificamos a:

S: (m²)

a: Dimensión del bloque magnético (m)

Sustituyendo valores en la ecuación anterior:

$$S = (1,15 * 0,06 \text{ m})^2$$

$$S = 0,0047 \text{ m}^2$$

3.10.3 Valoración del campo magnético uniforme B.

Para el cálculo del campo magnético uniforme (B), se debe conocer algunos parámetros característicos de estos imanes en específico, como pueden ser:

1. La forma de colocarlos.
2. La clase de material que se interpone entre ellos.

Parámetros de los cuales depende el campo magnético (B) que se crea entre los imanes:

- Distancia entre imanes 6 mm
- Dimensión de un polo del imán (60x40mm). En forma de trapezoide.
- Inducción remanente en Br (T) es una característica del tipo de imán (para los imanes de Neodimio demandados en este proyecto es de 1,11 T)

Para concluir, es sumamente importante el tipo de material que se halla entre los imanes y las propiedades magnéticas del mismo.

De acuerdo a un estudio que realizó ITDG y la UNI se determinó que el campo magnético uniforme (B) para imanes de Neodimio es de 0,585 T. De esta manera se demuestra que hay una relación proporcional entre la inducción creada en el estator B y la inducción remanente Br, que se mantiene constante como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 3.2. Relación entre la inducción remanente y la inducción exterior.

Relación entre Br y B.	
Neodimio (NdFeB)	
Inducción remanente Br (T)	1,11
Inducción creada en el estator B(T)	0,585
Relación Br/B	1,897

Fuente: Datos extraídos del estudio de ITDG y la UNI.

Elaborado por: Grupo Investigador.

Por tanto, el campo magnético uniforme B (T), que se crea en el plano intermedio del rotor y estator, para el aerogenerador de imanes permanentes descrito en este documento puede tomarse como:

$$B = \frac{Br}{1,9} \quad \text{Ec: 0010}$$

Sustituyendo los valores:

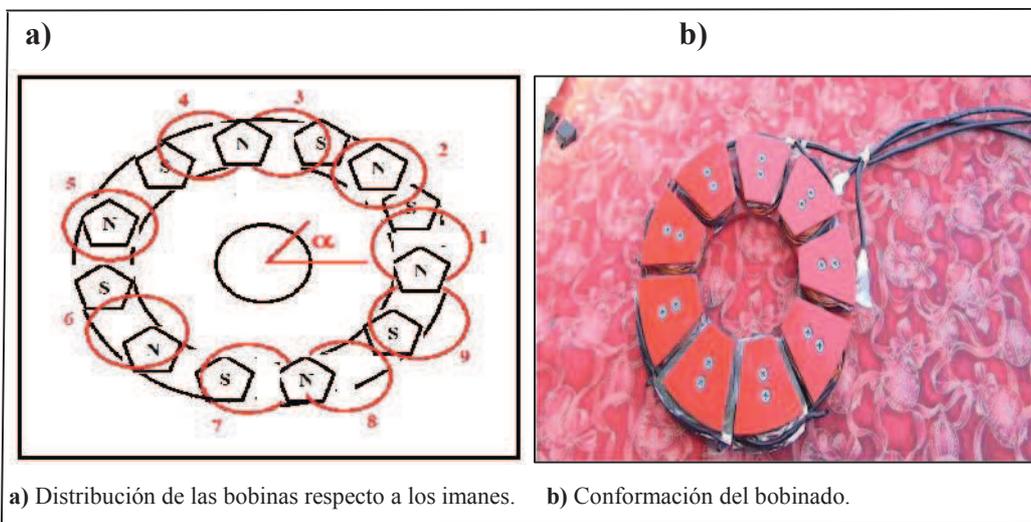
$$B = \frac{1,11}{1,9} = 0,58T$$

$$B = 0,58T$$

3.10.4 Valoración teórica de la tensión de salida del aerogenerador

Para realizar el cálculo de la tensión alterna de salida que aportan todas las bobinas que forman el estator del aerogenerador, hay que considerar el número de bobinas, y su colocación en el estator. En este caso específico, se tienen 9 bobinas, dispuestas de forma equidistante y el ángulo entre los centros de las bobinas adyacentes es de 40°, como se puede apreciar en la figura 3.14.

Figura 3.14. Ángulo entre los centros de la bobina.



Fuente: Grupo Investigador

Como se aprecia en la figura 3.14 en el literal a, la distribución de las bobinas están en fase de a tres, explicado de otra manera las bobinas 1, 4 y 7 se ven afectadas por las mismas variaciones de campo magnético, y de igual forma les sucede a las bobinas 2, 5 y 8 como también a las bobinas 3, 6 y 9.

Por lo que, la ecuación de la tensión en una bobina se define como:

$$U = \frac{\beta * S * N * 2 * \pi * n}{15\sqrt{2}} \quad \text{Ec: 0011}$$

Sustituyendo los valores:

$$U = \frac{0.58 * 0,0047 * 110 * 2 * 3.1416 * n}{15\sqrt{2}} = \frac{1,88}{21}$$

$$U = 0,089 \text{ V} * n$$

El valor teórico de la tensión que se obtiene en cada una de las bobinas está en función de las revoluciones por minuto (rpm):

$$U = 0,089 \text{ V} * n$$

Ec: 0012

Por lo que al sustituir valores con diferente rpm, se obtienen diferentes tensiones de salida en las bobinas, como se puede demostrar a continuación:

$$U = 0,089 * 25 \text{ rpm} = 2,2 \text{ V}$$

$$U = 0,089 * 50 \text{ rpm} = 4,4 \text{ V}$$

$$U = 0,089 * 100 \text{ rpm} = 8,9 \text{ V}$$

$$U = 0,089 * 200 \text{ rpm} = 17,8 \text{ V}$$

3.10.5 Procedimiento para la conexión trifásica.

Al tener lista las nueve bobinas correctamente enrolladas y colocadas en su posición sobre la placa de la armadura del estator, se debe realizar la prueba de corto circuito a cada una de las mismas, y de esta forma comprobar que el alambre magneto no haga contacto con el metal de la armadura para evitar pérdida de la energía que se genere o disminuya su desempeño. Realizada la comprobación de corto circuito, se debe tomar como prioridad, mantener aislado el cobre de la armadura y para esto se utilizó espaguetis aislantes para las 18 salidas de las 9 bobinas con el objetivo de mantener aislados los extremos de los fillos de la armadura, adicionalmente debemos interconectar los lados entre si paso a paso como el diagrama de conexión explica, comenzando por el extremo de salida de la bobina # 1 que va interconectada con el extremó de entrada al núcleo de la bobina #3 y posteriormente el extremó de

salida de la bobina #3 con el extremo de salida de la bobina #6 y así sucesivamente, antes de interconectar se debe raspar o lijar los extremos del alambre magneto para retirar el esmalte de resina y luego con un empalme aseguramos que no se suelten, como se muestra en la figura 3.15.

Figura 3.15. Empalme de las bobinas



Fuente: Grupo Investigador.

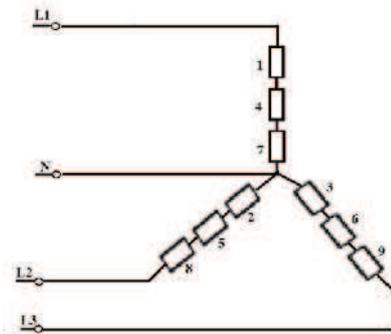
Terminado los empalmes entre cada uno de los 3 circuitos se unirá a la línea de neutros, que significa unir las tres series entre sí en uno de los dos extremos, utilizaremos cable eléctrico #12 THW para extender las líneas que serán conectadas al dispositivo de control, este ofrecerá la flexibilidad para la manipulación con el exterior, sin olvidar que se debe aislar los puntos de unión.

En conclusión, se aislarán las soldaduras de las tres líneas de salida, y se aseguraran los tres cables con un cincho de plástico para evitar que se muevan independientemente.

3.10.6 Tipo de conexión de las bobinas

La conexión que se ha desarrollado entre las bobinas, como se explicó anteriormente, determinara en primera instancia el voltaje del generador eléctrico, en este proyecto el tipo de conexión será trifásica estrella, la cual permitirá incrementar el voltaje favorablemente aun teniendo bajas revoluciones.

Figura 3.16 Esquema de la conexión trifásica Estrella



Fuente: Grupo Investigador.

La conexión de las bobinas es en paralelo, están en fase las bobinas 1, 4 y 7; en fase las bobinas 2, 5 y 8, y en fase las bobinas 3, 6 y 9; pues al conectar parejas de bobinas en paralelo o en serie como es el caso, se obtiene un sistema de generación eléctrico trifásico; y este será conectado a un rectificador.

3.11 SISTEMA DE CONVERSIÓN DE CORRIENTE DEL AEROGENERADOR AC/DC

3.11.1 Rectificador trifásico.

Es un dispositivo que es empleado para convertir una señal de corriente alterna de entrada (V_i) en corriente continua de salida (V_o). A diferencia del rectificador de media onda, en este caso, la parte negativa de la señal se convierte en positiva o bien la parte positiva de la señal se convertirá en negativa, según se necesite una señal positiva o negativa de corriente continua.

Para seleccionar un rectificador hay que conocer sus datos como la tensión y la intensidad de la corriente que circula a través de él. Por lo cual es importante especificar las características del rectificador que se va utilizar para este proyecto.

Tabla 3.3. Especificaciones del Rectificador.

Rectificador Trifásico	
Marca:	SEMIKRON
Modelo:	SKD30-12A1
Voltaje:	1200 V
Corriente:	30 Amp

Fuente: Grupo Investigador

Elaborado por: Grupo Investigador.

Para la conexión hay que tomar en cuenta las salidas del aerogenerador A, B, C y conectarlas en las tres borneras de entrada, cabe recalcar que la energía que ingrese será alterna, y se recomienda realizar la sujeción del cable de una manera adecuada para así evitar algún tipo de pérdidas. A la salida del rectificador se obtendrá una corriente continua ya rectificada, la cual será conectada al sistema de control de carga. Como se puede visualizar en la figura 3.17 se tiene el rectificador que se utilizará en este proyecto.

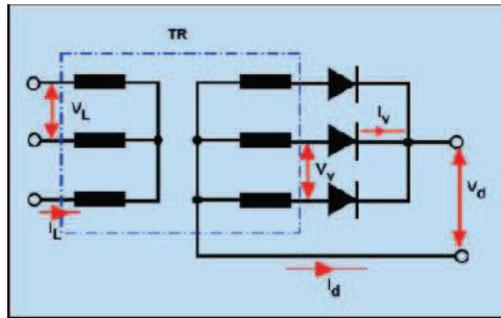
Figura 3.17. Rectificador trifásico que se utilizara.



Fuente: Grupo Investigador

En la figura 3.18 se muestra el esquema interno de conexión del rectificador trifásico.

Figura 3.18. Rectificador trifásico



Fuente: Grupo Investigador

3.11.2 Regulador de carga.

Se incorporó un regulador de carga, ya que es el dispositivo encargado de proteger a la batería frente a sobrecargas y sobre descargas profundas. Además el regulador controla constantemente el estado de carga de las baterías mostrándonos mediante leds y regula la intensidad de carga de las mismas para alargar su vida útil. A continuación se detalla los datos técnicos de dicho elemento que se utilizara en este proyecto. En la figura 3.19 se puede observar el regulador de carga PWM (pulse-width modulation).

Figura 3.19. Regulador de carga



Fuente: Grupo Investigador.

Tabla 3.4. Datos Técnicos del Regulador de Carga.

REGULADOR DE CARGA SOLAR PWM	
Características	
Color	Negro
Corriente de carga	10A
Sistema de Tensión	12v/24 v
Modo de Control	Control de luz + control de tiempo
Protección	Electrónica
Funcionamiento	Completamente Automático
Modo de carga	SOC
Compensación de Temperatura	Externa
Doble Pantalla digital LED	
Umbers al ajuste del temporizador	
Micro controlador digital de precisión.	

Fuente: Manual regulador de carga solar PWM

Elaborado por: Grupo Investigador

3.11.3 Inversor DC a AC.

Para conocer un poco se debe argumentar que la función de un inversor es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario o el diseñador, siendo así la frecuencia utilizada en nuestro país es de 60 Hz.

Cabe mencionar que los inversores son utilizados tanto para uso doméstico como industrial, es decir también se utilizan para convertir la corriente continua generada por los paneles solares fotovoltaicos, generadores eólicos, acumuladores o baterías, etc. en corriente alterna y de esta manera poder ser inyectados en la red eléctrica o usados en instalaciones eléctricas aisladas.

Sin embargo no se puede dejar de citar que todos los instrumentos, aparatos eléctricos y electrónicos funcionan al máximo de capacidad a nivel del mar, pero se debe aclarar que está disminuye un porcentaje dependiendo de la altura.

Considerando que el aerogenerador se va a instalar a una altura de (1597 m) sobre el nivel del mar, la eficiencia de los instrumentos y elementos disminuye en un porcentaje, por lo cual se consideró un inversor del doble de potencia establecida en condiciones normales.

En la tabla 3.5 y 3.6 se detallan las características y especificaciones del inversor que se utilizara en este proyecto.

Tabla 3.5. Data sheet del Inversor Marca Thor.

DATA SHEET		
THOR MANUFACTURING	Model:	TH750 TYPE 2
	Input:	12 Vdc 75 A
	Output:	115VAC - 60Hz. 750W

Fuente: Manual del Inversor – Thor manufacturing

Elaborado por: Grupo Investigador

Tabla 3.6. Especificaciones del Fabricante.

ESPECIFICACIONES TECNICAS	
Potencia continua máxima	750w
Capacidad de sobretensión (potencia máxima)	1500 w
Corriente de Salida	6,5 Amps
Voltaje de la salida	CA RMS de aproximadamente 115 voltios 60 hertzios
Salida del puerto USB	5 voltios +- 5%, 500mA
Alama de bala tensión	< 10,5 voltios de CC
Apagado por bajo voltaje	100 +- 0,5 voltios de CC
Apagado térmico	Automático

Forma de onda	onda de seno modificada (MSW)
Conexión de la salida	Receptáculos estándar norteamericanos
Fusibles	Internos
Cuerdas/cables de la entrada	Clips de la batería
Temperatura de funcionamiento	10-20°C (50-68°F)
Temperatura de almacenaje	0-40°C (32-104°F)
Humedad relativa de operación	5 a 95% no condensada
Corriente de Salida	6,5 Amps
Corriente de Entrada (clasificada)	12.8 v
Rango de Corriente de Salida	115 v
Frecuencia de Salida	60 Hz
Eficacia Máxima	Aprox 87%
Eficacia de carga completa	80%
Drenaje actual sin carga	1A
Cierre de sobre voltaje	15-16.5 VDC
Cierre de Voltaje Bajo	9.5 - 10.5 VDC
Fusibles	35A x 3pcs

Fuente: Manual del Inversor – Thor manufacturing

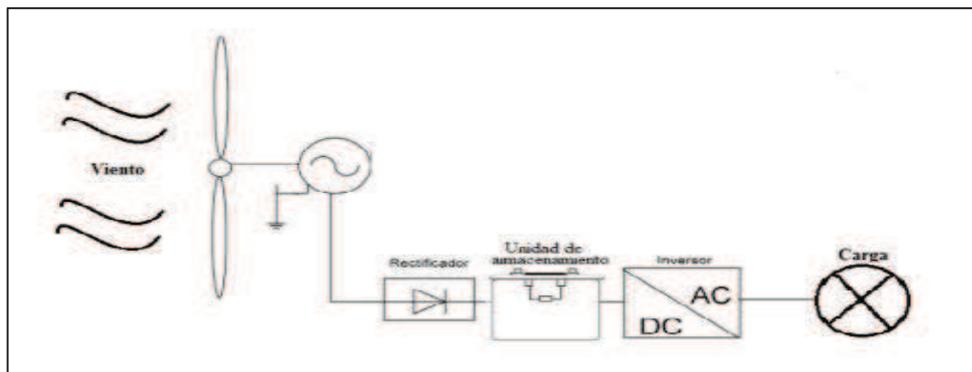
Elaborado por: Grupo Investigador

Como ya se mencionó con anterioridad un generador eólico genera corriente alterna en diferentes frecuencias y amplitudes a consecuencia de la variabilidad de las magnitudes y características del viento.

Para mantener una amplitud constante y frecuencia constante a la hora de generar corriente alterna útil usando las características del viento es muy importante considerar dos pasos:

1. La energía que sale del aerogenerador pasa por un rectificador y a la salida se obtiene de este una onda rectificada de 12 voltios utilizada luego para cargar baterías que asimilen el mismo voltaje.
2. Desde la batería de 12 voltios se debe conectar un inversor de 110 V AC a 60 Hz que se encargará de transformar la energía almacenada.

Figura 3.20. Sistema de inversión de 12 V DC a 115V AC de un aerogenerador.

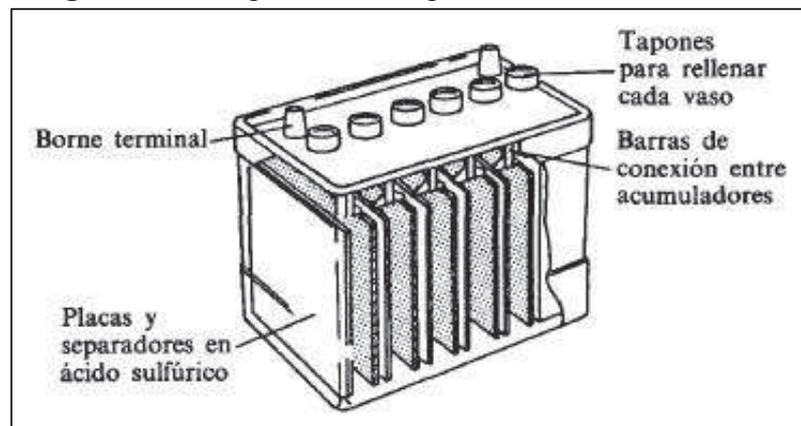


Fuente: Grupo Investigador.

3.11.4 Almacenamiento eléctrico.

La batería o acumulador es el dispositivo que almacena la energía generada por el aerogenerador, suministrándola posteriormente para su consumo, las baterías en general se componen por placas de plomo separadas y unidas por barras de conexión de polos positivos y negativos.

Figura 3.21. Esquema de componentes de una batería.



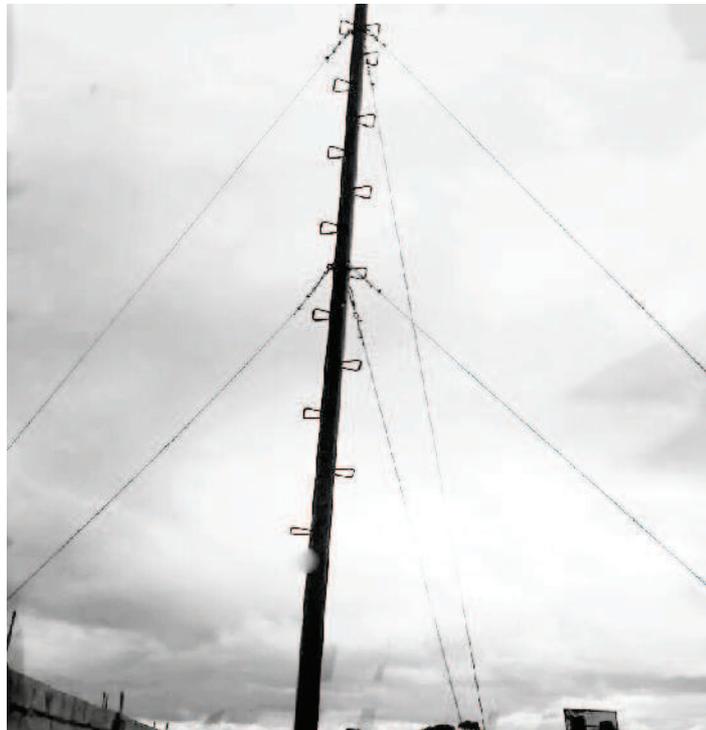
Fuente: Grupo Investigador.

El acumulador es muy esencial en el proyecto ya que va almacenar la energía necesaria producida en el día para utilizarla en el momento que sea necesaria, cabe indicar que la batería va conectada directamente al regulador de carga, por lo cual se recomienda el uso de baterías de ciclo profundo de 12 V, debido a las características de este tipo de baterías creadas pensando en este tipo de aplicaciones de electrificación rural, además se requiere que exista un mantenimiento continuo de la batería para mejorar así su vida útil.

3.12 TORRE DE SOPORTE DEL AEROGENERADOR

Constituye el elemento de apoyo del aerogenerador de forma general, situándolo a una mayor altura sobre el nivel del suelo, donde los vientos son de mayor intensidad permitiendo el giro de las hélices. La torre debe ser capaz de tolerar el peso de éste y las diversas exigencias y características del viento en el lugar escogido para el emplazamiento del generador. Como se puede visualizar en la figura 3.22 se encuentra la torre de soporte que se utilizara en este proyecto.

Figura 3.22. Torre emplazada en el lugar de ejecución del proyecto



Fuente: Grupo Investigador

3.12.1 Ubicación de la torre de soporte.

El objetivo de este proyecto es el de implementar un generador eólico que genere electricidad para la Escuela fiscal mixta Portoviejo ubicada en el sector de Cuchitingue, parroquia Aláquez, cantón Latacunga, a la hora de determinar la construcción, se tomó en cuenta la altura determinante de la torre, el lugar de instalación para erigir la misma, la selección del material apropiado para su construcción, y todos los detalles que se deben considerar para su adecuada instalación.

Parámetros que fueron considerados para el alzamiento de la torre:

1. Que la altura de la torre será de 10 mts. por las condiciones satisfactorias del lugar y las características del viento.
2. Se escogió una superficie libre de obstáculos, ubicada en una planicie elevada, pero con buenas características del viento.
3. El material escogido para su construcción fue seleccionado tomando en consideración la resistencia a la corrosión, rigidez, y peso, características más importantes con respecto a otras.
4. Como última consideración el traslado, el hasta o torre debía ser de un material fácil de maniobrar y de fácil traslado.

Después de estas consideraciones se decidió que la torre de soporte se construyera de tubos de acero galvanizado cédula 40 de 4" de diámetro, considerando algunos detalles como pueden ser:

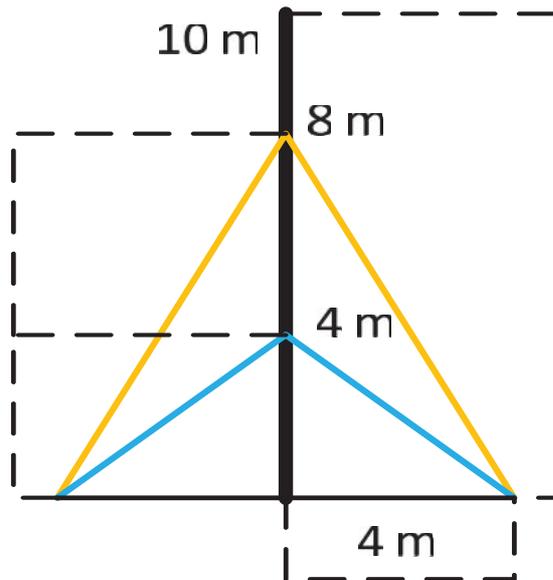
- Resistencia a la corrosión.
- Rigidez superior.
- Buen peso.

Las clavijas en donde se colocaran los tensores de soporte de la torre, se acomodaron de forma triangular, soldadas a los 4m y 8m de altura respectivamente y de forma ascendente.

Los tensores evidentemente tendrán una separación de 120° uno del otro a una distancia considerable de 4m entre sus anclajes, de la base de la torre, tomando en cuenta la altura a las que estarán colocadas las clavijas, se necesita 50 m de cable en total para los tensores.

A continuación en la figura 3.23 se muestra gráficamente la altura, la ubicación de los tensores y anclajes.

Figura 3.23. Altura, ubicación de los tensores y anclajes



Fuente: Grupo Investigador.

3.12.2 Fijación y sujeción de los cables tensores.

Los cables tensores, deben estar suficientemente ajustados y regulados para poder ubicarla a nivel y así sostener la torre. El cable tensor no debe tener curvaturas, esta

sería la evidencia de que aún no se encuentra bien ajustado; por lo que se recomienda su ajuste según se desarrolle el proceso de instalación de la torre.

Cabe indicar que la torre de soporte va sujeta por 6 cables sensores en las medidas anteriormente explicadas, el cable tensor que se utilizó en este proyecto es de acero inoxidable 1x19 Aisi 316, los mismos que van sujetos por grilletes en forma de “u”, dos en cada extremo del cable.

3.12.3 Anclajes de sujeción.

Antes de seleccionar los anclajes se debe tener en cuenta las características del suelo donde se va a realizar el emplazamiento para proceder al enclavamiento de los mismos. Cabe recalcar que los anclajes tienen la función de sostener y soportar las turbulencias presentadas por nuestro aerogenerador, para lo cual se utilizó lo siguiente.

Se emplearon 3 varillas de anclajes de 1.80m de largo de $\frac{5}{8}$ de pulgada de diámetro, en la base se ubicarán bloques de cemento armado de una dimensión de 50x50x15 cm, estos bloques están enterrados a una profundidad de 1,60 cm.

Figura 3.24. Material utilizado en los anclajes y tensores.



Fuente: Grupo Investigador

En la figura 3.24 se mostró los componentes que se utilizaron en el anclaje como son: los bloques de anclaje, varillas de anclaje, cables tensores, sujeción de tensores y fijación de la torre de soporte del aerogenerador para este proyecto.

3.13 ENSAMBLAJE DEL GENERADOR EOLICO EN LA ESCUELA FISCAL MIXTA “PORTOVIEJO”

3.13.1 Diseño del montaje de la estructura y sus componentes.

Se puede destacar como un detalle especial, que todo el sistema del aerogenerador fue diseñado en su totalidad desarmable, como se muestra en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Componentes del Generador Eólico

COMPONENTES DEL AEROGENERADOR	
GENERADOR DE IMANES PERMANENTES	
HELICES (Fibra de Vidrio)	
VELETA o COLA	
SOPORTE AL POSTE	
CARCASA	

Fuente: Grupo Investigador
Elaborado por: Grupo Investigador

El propósito de este diseño particular, es para brindar un mantenimiento adecuado, ya que podemos desarmarlo y armarlo según sea necesario, y de esta manera se aumentara la vida útil del mismo.

Se detallan cinco partes principales del generador, el cual pueden ser consideradas como esenciales, cabe mencionar que cada parte está constituida de materiales diferentes, pensando en la optimización y durabilidad de los mismos.

3.13.2 Montaje de la torre de soporte.

La torre de soporte está compuesta por una base de cimentación ya preparada anteriormente, la cual consta de una profundidad de 150cm y un ancho de 100x100cm, la cual fue estructurada para soportar a la torre mediante la sujeción de 8 pernos ubicados y soldados tanto a la base de la varilla como a la placa de soporte, es importante mencionar que la cimentación cuenta con varias capas de cemento armado como se puede observar en la figura 3.25.

Figura 3.25. Base de soporte de la torre.



Fuente: Grupo Investigador

Como se puede visualizar así queda acoplado la torre con la cimentación, mediante los pernos antes mencionados, la torre tiene una longitud de 9,5 m de altura, se consideró realizar unas placas de soporte a esta altura con la finalidad de acoplar un tubo de 50 cm de 2", que va a tener la función de acoplar el aerogenerador hacia el soporte de la torre, adicional a esto también va a ser el encargado de transportar la energía producida del aerogenerador hacia el sistema de control, mediante unos anillos de cobre instalados como se muestra en la figura 3.26.

Figura 3.26. Tubo de acople entre el aerogenerador y la torre.



Fuente: Grupo Investigador.

3.13.3 Acople de tensores.

Los tensores fueron ubicados en forma triangular a 120° cada uno, a diferentes alturas como es de 4 y 8 metros respectivamente. Se utilizó terminales tipo u para evitar que al momento de tensionarlos los cables sufran daños, los mismos se encuentran sujetos por dos grilletes tipo u en cada uno de sus extremos, en la figura 3.27 se encuentra la torre enlazada.

Figura 3.27. Instalación de los tensores.



Fuente: Grupo Investigador

3.13.4 Ensamble de los componentes del aerogenerador.

El aerogenerador está mecanizado para un ensamblaje total de sus componentes, es decir se debe utilizar cada estructura que compone el mismo, como por ejemplo los prisioneros, rodamientos, pernos, tuercas, tornillos ya establecidas para cada uno de sus partes, en la figura 3,28 se muestra el generador con sus componentes.

Figura 3.28. Generador eólico con sus componentes.



Fuente: Grupo Investigador.

3.13.5 Ensamble de la veleta.

La veleta o cola está compuesta por dos partes, la una es la base de soporte que tiene una longitud de 100 cm, a la cual va sujeta la plancha de dirección, esta plancha tiene un espesor de 4 mm y se acopla mediante 5 pernos de acero inoxidable. Como se puede observar en la figura 3.29.

Figura 3.29. Ensamblaje de la veleta de dirección.



Fuente: Grupo Investigador.

La función de esta veleta es de dar dirección a nuestro aerogenerador, es decir debe ponerle perpendicular a la velocidad del viento, y por ello se consideró que nuestro aerogenerador podrá girar libremente 360°, para poder aprovechar en su totalidad al recurso natural como lo es el viento.

3.14 PESO DEL AEROGENERADOR.

A continuación se detalla especificaciones de peso, de los diferentes componentes del generador eólico.

Tabla 3.8. Peso específico del generador eólico.

PESO ESPECÍFICO DEL AEROGENERADOR	
DESIGNACIÓN	PESO KG.
Generador	25 kg.
Hélices	8Kg.
Veleta o cola	3 Kg.
Peso Total	36 Kg.

Fuente: Grupo Investigador

Elaborado por: Grupo Investigador

3.15 MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR.

En la presenta tabla, se muestra a detalle los materiales más relevantes que se utilizaron en el ensamblaje y en la construcción del aerogenerador.

Tabla 3.9. Lista de Materiales Generador Eólico.

GENERADOR EÓLICO UTC-2014			
ETAPA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS
CIMENTACIÓN	6	metros de varilla de construcción	1/4" de diámetro
	4	metros de varilla de construcción	1/2" de diámetro
	2	kilos de alambre de amarre	
	4	sacos de cemento	
	2	galones de acelerante	
	8	sacos de arena	
	10	sacos de ripio	
	1	libra de clavos	
TORRE DE SOPORTE	1	Placa de acero reforzado	25cm x 25 cm x 1"
	4	Placa de acero reforzado	15cm x 15cm x 1"
	2	tubos galvanizados cedula 40	4 " de diámetro
	1	tubo galvanizado cedula 40	2" de diámetro
	8	Pernos de Acero Inoxidable	3/4" x 3"
	8	Tuercas de presión	3/4"
ANCLAJES Y TENSORES	3	Bloques de anclaje de cemento	50x50x15 cm
	3	Varillas de anclaje 1,80 cm	5/8 "
	50	Metros cable tensor de acero	1 x 19 AISI 139
	12	Terminales en U	1" de diámetro
	6	Reguladores de tensión	15 cm

	24	Grilletes de sujeción al cable	1/4"
HÉLICES	3	Hélices de fibra de vidrio	120 cm
	2	Placas de soporte de hélices	25x25x6 cm
	1	Punta de diseño aerodinámico	15 cm x 15 cm
	6	Pernos de presión	2"x1/2"
ROTOR	1	Placa de disco de acero ST-40	8" de diámetro x .25"
	12	Imanes de neodimio	60h x 40Ds x 19Di x 6 mm
	1	Eje de acero SAE 1045	30 cm
	1	Chaveta de soporte	1/4"x1/2"
ESTATOR	1	placa de disco de acero ST-40	8" de diámetro x .25"
	9	Núcleos maquinados en acero ST-40	6x10mm
	6	Cabezales de bobinas maquinados en acero St-40	254x254x 6 mm
	18	Pernos de acero de cabeza cónica	1/2 x 3/\$ NC
BOBINADO	1	Conductor esmaltado AWG 21	70 m
	1	Espaguete de recubrimiento	3 m
	1	Frasco de resina para bobinas	
	1	Aislante de protección de bobinas.	2 m
VELETA O COLA	1	Tubo galvanizado	100 cm
	1	Plancha de acero de 3 mm	50x50 cm
	5	Pernos de sujeción al tubo	1/2" x 1" NFC

Fuente: Grupo Investigador

Elaborado por: Grupo Investigador

Estos materiales constituyen la parte mecánica del aerogenerador por lo cual es importante también hacer una mención a los componentes eléctricos como electrónicos que también se utilizaron en este proyecto.

En la Tabla 3.10 se muestra a detalle los componentes eléctricos y electrónicos que se utilizaron para el sistema de control de este proyecto, tomando en cuenta varios factores importantes como son: Conversión de energía Ac/Dc, regulador de carga, inversor, cables eléctricos, protecciones, etc.

Tabla 3.10 Material eléctrico y electrónico del aerogenerador.

GENERADOR EOLICO UTC-2014			
ETAPA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	MEDIDAS
CONSTRUCCIÓN	1	Cable THM # 10	15m
	1	Cable AWG #18 conexión bobinas	3 m
	1	Inversor de 750 W continuos	
	1	Rectificador Trifásico	50x50 mm
	1	Cable AWG #14 conexión del rectificador y regulador de carga	3 m
	1	Regulador de carga	
	1	Cable para conexión de baterías	2 m
	1	Batería de 12v - 70 A	
	1	Alambre solido # 12	50 m
	2	Lámparas fluorescentes	
	2	Interruptores sobre puestos	
	2	Toma corrientes sobre puestos	
	1	Alambre gemelo #12	15 m
	12	Canaletas	
	1	Multímetro	
	1	Sinchos	2 paquetes
	1	Grapas de sujeción de Cables	2 paquetes
	1	Reflector de 300W	
	1	Foto celda	
	1	Voltímetro análogo	
1	Amperímetro análogo		
2	Luces del indicadores		
1	Armario de control		

Fuente: Grupo Investigador

Elaborado por: Grupo Investigador

3.16 PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Se realizó las pruebas de funcionamiento y comprobación de todo el circuito es decir tanto el sistema mecánico, como el sistema eléctrico y electrónico, del cual se obtuvieron los siguientes resultados.

➤ Prueba de funcionamiento mecánico.

El generador fue sometido a una prueba mecánica, la cual se trató en ver la eficacia del sistema mecánico tanto a bajas, como altas revoluciones por minuto, para esto

utilizamos un torno como variador de velocidad. Teniendo como resultado que, el sistema mecánico soporta perfectamente las condiciones donde va hacer aplicado. Se recomienda por seguridad del sistema no sobre pasar las 1000 rpm máximas que soporta en diseño establecido. En la figura 3.30 se observa cómo se realizó dichas pruebas de funcionamiento.

Figura 3.30 Prueba de funcionamiento mecánico



Fuente: Grupo Investigador.

➤ **Prueba de funcionamiento eléctrico y electrónico.**

En esta prueba se comprobó la generación de energía eléctrica con diferentes rpm, en donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 3.11. Prueba de Funcionamiento eléctrico y electrónico

Valores obtenidos		
Rpm	AC	DC
67	2,2 v	
95	3 v	
67	2.2 v	
132	4.4 v	8 v
190	6,2 v	12 v
265	8,7 v	12,2 v
375	10,2 v	12,47 v
530	10,5 v	12,73 v

Fuente: Grupo Investigador

Elaborado por: Grupo Investigador

De esta manera se determinó que a partir de una velocidad de 132 rpm, el sistema eléctrico nos entrega una corriente adecuada para empezar a cargar la batería, esta energía es transformada de AC a DC por el rectificador trifásico el cual se conecta al regulador de carga que consta de una entrada de energía producida, salida de carga a la batería y salida de voltaje rectificado al inversor.

Figura 3.31. Funcionamiento prueba electrónica.



Fuente: Grupo Investigador

3.17 PRESUPUESTO

A continuación se muestra el presupuesto final en una manera general del valor del proyecto.

Tabla 3.12. Presupuesto total aerogenerador.

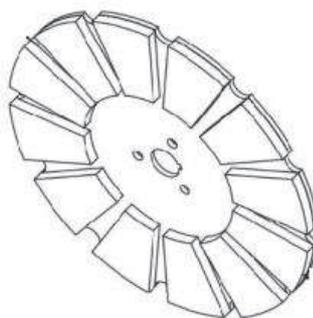
PRESUPUESTO FINAL	
CIMENTACION	120
CONSTRUCCUION DE LA TORRE	500
CONSTRUCCION HELICES	250
CONTRUCCION BOBINAS	120
CONSTRUCCION GENERADOR	400
IMPORTACION DE IMANES	300
SISTEMA DE CONTROL	350
TOTAL	2040

Fuente: Grupo Investigador

Elaborado por: Grupo Investigador

3.18 MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO.

GENERADOR EÓLICO DE IMANES PERMANENTES



MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

AUTORES:

MOLINA CORRALES FREDDY RENAN
PACHECO CEPEDA LUIS ANDRES

UTC - 2014

Información importante de seguridad

La mayoría de los accidentes relacionados con la operación, el mantenimiento o la reparación se deben a que no se observan las precauciones y reglas básicas establecidas como norma de Seguridad. Con frecuencia, se puede evitar un accidente si se reconoce una situación que puede ser peligrosa antes de que ocurra el accidente. Por lo cual es indispensable que el personal que vaya a operar o realizar el debido mantenimiento debe estar alerta a la posibilidad de peligros.

INTRODUCCIÓN.

La generación eólica se ha convertido en una fuente de energía muy utilizada por ser muy bondadosa con el ecosistema, las pequeñas turbinas con la electrónica más eficiente y avanzada cada vez más.

Nuestra meta es impulsar el consumo de energías renovables para lo cual construimos generadores eólicos como otras fuentes de energía eléctrica, los mismos deben ser operados como lo explica el presente manual de instrucciones, respetando todas las directrices establecidas.

Es muy importante que lea por completo el manual antes de realizar cualquier operación o mantenimiento para evitar accidentes.

PRECAUCIÓN DE SEGURIDAD.

Se debe tomar mucho cuidado al operar el generador, ya que dicho generador eólico, está constituido de una parte mecánica y de una parte eléctrica, los cuales pueden causar alguna lesión o descarga eléctrica.

PRINCIPALES NORMAS DE SEGURIDAD

1.- Seguridad en la instalación

La rotación de las hélices puede ser lo suficiente rápidas para causar lesiones muy graves, no instalar las aspas del generador hasta que se monte sobre la torre de soporte. **POR FAVOR, NO INSTALE las hélices si no está en el lugar apropiado.**

Un cable de menor sección de la recomendada o una mala conexión puede ocasionar un exceso de corriente eléctrica y peligro de sobrecalentamiento en los sistemas de control, pudiendo provocar daños personales como daños electrónicos.

Es muy importante desconectar todos los cables del generador eólico al instalarse, y seguir cuidadosamente paso a paso el procedimiento especificado para evitar lesiones personales.

Durante la instalación del generador en la torre, no debe existir ninguna persona debajo de la misma.

En la instalación del generador en la torre es necesario de que existan personas que le ayuden en el izamiento del mismo, **no es posible instalar una sola persona puede ocasionar un accidente.**

POR FAVOR, NO PERMITA QUE PERSONAS AJENAS A LA INSTALACIÓN DEL GENERADOR PERMANEZCAN CERCANAS.

2.- Seguridad en la Operación.

Compruebe todas las soldaduras de la torre, sujeción de tornillos, tuercas, tensores antes de realizar cualquier operación, incluso antes de subir a la torre.

Si va a trabajar en la torre **POR FAVOR** suba con un arnés de seguridad o a su vez con línea de vida, y sujete las hélices a la torre de soporte.

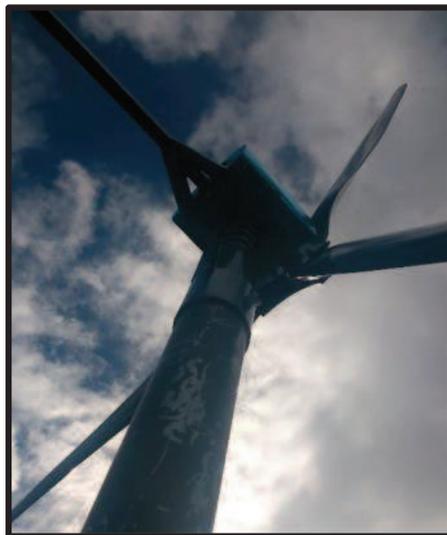
Al realizar alguna operación verifique las conexiones eléctricas como mecánicas, si va a realizar un mantenimiento desconectar el sistema de control.

Las hélices pueden romperse con el contacto de cualquier objeto extraño, por ello es necesario actuar con mucha precaución y así evitar accidentes.

POR FAVOR, NO PERMITA QUE PERSONAS AJENAS SUBAN A LA TORRE DEL GENERADOR, ESTO PUEDE CAUSAR ACCIDENTES.

INSTALACIÓN DEL GENERADOR

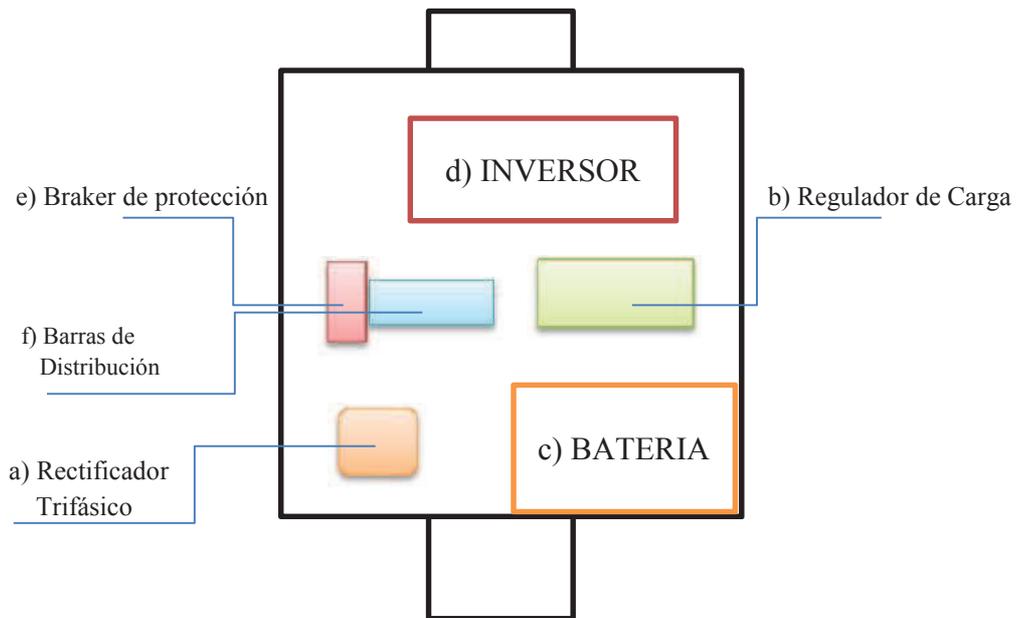
- 1.- Transportar el generador con sus componentes de forma adecuada para que no sufran ningún daño mecánico como eléctrico.
- 2.- Verificar el estado de los componentes y ubicarlos cerca de la torre de soporte.
- 3.- Ensamblar el generador con la parte eléctrica, es decir, juntar el generador con el tubo de soporte de una longitud de 50 cm y de 2" de diámetro, y realizar las conexiones eléctricas así como también la sujeción de sus pernos.
- 4.- Utilizar una polea de apoyo para el izamiento del generador con el tubo de soporte, esta polea de apoyo también se puede utilizar para transportar los otros componentes.
- 5.- Acoplar el generador a la torre de soporte
- 6.- Transporta las hélices mediante un cabo hasta el generador, esta acción realizar de forma individual es decir una por una.
- 7.- Armar las hélices con mucho cuidado teniendo la cara aerodinámica al frente y sujetar bien las tuercas de presión, no soltar las hélices hasta finalizar la instalación total.
- 8.- Ubicar el cono aerodinámico de las hélices y sujetarla bien
- 9.- Armas la cola y sujetar bien al generador mediante los pernos de presión.
- 10.- Luego del armado de sus componentes y seguros de a ver verificado la sujeción de sus partes, ubicar la carcasa de protección del generador.
- 11.- Al bajar de la torre soltar las hélices siempre y cuando no exista ningún objeto que pueda causar algún daño.



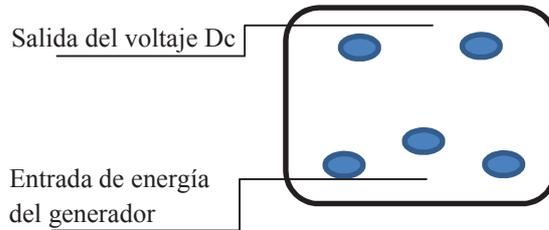
OPERACIÓN DEL GENERADOR

El generador eólico cuenta con un sistema de control en donde podemos verificar la generación del mismo.

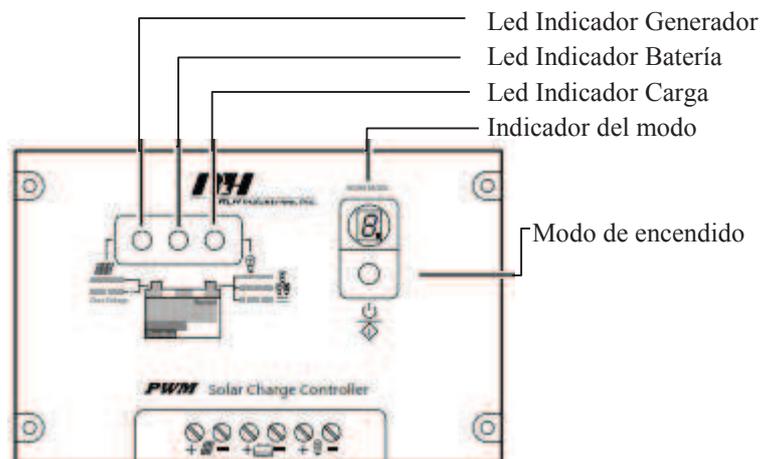
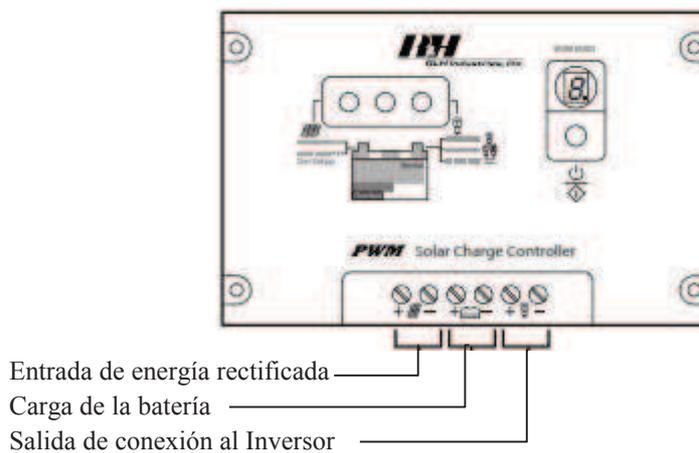
1.- Panel de control del generador eólico



- a) Rectificador Trifásico: Aquí ingresa la energía que se produce en el generador eólico las fases ABC, esta energía es alterna para medirlo hay que ubicar las pinzas del multímetro en el punto AB, AC, BC; Respectivamente la función del rectificador también es convertir la energía AC a Dc.



- b) Regulador de carga: Es el encargado de recibir la energía rectificada y cargar a la batería.



Led Indicador del Generador

Cuando el led indicador permanece en color verde quiere decir que tiene el voltaje correcto para la carga de la batería.

Led Indicador de la Batería

Cuando el led indicador permanece en color verde quiere decir que se está cargando la batería.

Cuando el led indicador en color verde es intermitente quiere decir que la batería está cargada,

Cuando el led indicador permanece en amarillo quiere decir que la batería se está descargando.

Cuando el led indicador permanece en color rojo quiere decir que la batería se encuentra en estado crítico, por descarga o sobre voltaje,

Led de Carga

Cuando el led indicador permanece en color verde quiere decir que se está enviando la energía necesaria al inversor.

Cuando el led indicador permanece en color rojo quiere decir que hubo un cortocircuito o un sobre voltaje.

Nota: En este caso se debe reiniciar el sistema es decir se desconecta el borne positivo de la batería y luego se aplasta el botón de encendido del regulador, de esta manera se reiniciar el sistema.

El inversor debe permanecer encendido ya que se regula y protege el sistema por medio de breakers de protección y divididos por las barras de distribución, para revisar si se está enviando el voltaje correcto verificar el voltímetro instalado.

En este manual se explica de manera práctica una posible falla el cual ya se lo explico de como reiniciar el sistema. En el mantenimiento del mismo se debe observar el manual de instalación y en la parte de control se debe verificar las conexiones del sistema de control.

CONCLUSIONES

En la actualidad los generadores eólicos juegan un papel importante en nuestro país, tanto en la garantía de suministro eléctrico como en la seguridad del sistema eléctrico para los diferentes sectores rurales en nuestra provincia.

Es así con la elaboración de este proyecto colaboramos las necesidades que tiene la escuela y además observamos que las energías renovables como el aire deben ser consideradas como una opción viable y directa para la generación de energía para así poder atender las necesidades de los campesinos.

Se logró diseñar y construir el aerogenerador para la generación de energía eléctrica para dar solución a la carencia de suministro eléctrico en la Escuela Fiscal Mixta Portoviejo.

Con la implementación del aerogenerador no solo se generó energía eléctrica, sino también una esperanza para los niños de la institución, de igual manera se les invita al aprovechamiento de este recurso mediante este tipo de proyectos de interés nacional como mundial.

Además comprendimos que la ingeniería no es solamente simulación, sino que es aplicación; y que mejor aplicación que con el apoyo de la tecnología se puede ayudar a las personas que habitan en este sector y toda nuestra provincia y país.

RECOMENDACIONES

El aerogenerador de bajas revoluciones de imanes permanentes se debe instalar en un lugar libre de obstáculos y donde la velocidad del viento sea la más frecuente posible.

La construcción de pequeños aerogeneradores es una muy buena alternativa para suministrar energía eléctrica a zonas rurales aisladas del Sistema Nacional Interconectado, por lo que se confía impulsar este tipo de proyectos para el desarrollo de comunidades con la utilización de pequeñas máquinas.

Proporcionar energía eléctrica mediante un aerogenerador de baja potencia constituye una importante opción energética, ya que permitirá el desarrollo de pueblos y comunidades olvidadas de nuestro país.

Además se recomienda incentivar el consumo de esta energía por ser limpia renovable e inagotable, se debe realizar una campaña a nivel social para que se puedan instalar más aerogeneradores como el de este proyecto.

También se recomienda que se podría mejorar este proyecto teniendo en cuenta ya la práctica de uno construido, se podría mejorar en el aumento del número de espiras del bobinado para obtener un mayor voltaje.

Es importante descubrir lo aprendido y aplicado en la práctica por lo cual se recomienda que se promuevan este tipo de investigaciones para las futuras generaciones, siendo este un tema de interés local como nacional.

GLOSARIO

Aerogenerador: Máquina que transforma la energía del viento en energía eléctrica.

Área del rotor: En los aerogeneradores de eje horizontal el área se mide verticalmente. El área del disco cubierto por el rotor y las velocidades del viento determinan cuánta energía podemos recoger en un año. Si se dobla el diámetro del rotor se obtiene un área de barrido cuatro veces superior. Esto significa que la potencia disponible también será cuatro veces mayor.

Acceso a la red eléctrica: Derecho a emplear la red de transporte o de distribución de toda persona física o jurídica que suministre electricidad a esa red o reciba suministro de ella.

Acero: Material con gran resistencia mecánica e inalterabilidad a temperaturas elevadas.

Acumulador: Dispositivo que almacena como energía química la energía eléctrica que le ha sido previamente entregada para restituirla cuando se considere necesaria. Es un componente fundamental en los pequeños sistemas distribuidos de energía para poder hacer frente a la demanda.

Almacenamiento de energía: Acumulación de energía o transformación para su posterior empleo.

Anclaje: Sistema por el cual se fija un equipo mediante el tendido de sus anclas y el tensado de sus cadenas o cables.

Bobina: Conjunto constituido por una o más secciones de bobina rodeada generalmente por un aislante común.

Campo magnético: Magnitud física que expresa el campo imanador que produce una corriente. Se expresa por la diferencia entre los vectores inducción magnética y polarización magnética en un medio, dividida por la permeabilidad magnética del vacío: $H = (B - J) / \mu_0$. Unidad en el Sistema Internacional: amperio por metro. Simba. H.

Conexión: Cierre de un interruptor automático, manualmente o por la acción de dispositivos de control o de protección.

Corriente continua: Corriente eléctrica que, independientemente del valor de su intensidad, tiene siempre el mismo sentido.

Corriente alterna: Corriente eléctrica que invierte periódicamente su sentido.

Coefficiente de potencia: El coeficiente de potencia mide la eficiencia con la que el aerogenerador convierte la energía eólica en electricidad. Se obtiene dividiendo la potencia eléctrica disponible entre la potencia eólica de entrada.

Densidad del aire: La energía cinética del viento depende de la densidad del aire, es decir, de su masa por unidad de volumen, esto es, cuanto "más pesado" sea el aire más energía recibirá la turbina.

Disponibilidad: Relación entre el número de horas en las que un aerogenerador produce energía y el número de horas en que han existido velocidades de viento dentro del rango de funcionamiento del aerogenerador.

Energía cinética: Es una energía que surge en el fenómeno del movimiento.

Energía mecánica: Es parte de la física que estudia el equilibrio y el movimiento de los cuerpos sometidos a la acción de fuerzas.

Energía eólica: Es la energía obtenida del viento, es decir, la energía cinética generada por efecto de las corrientes de aire, y que es transformada en otras formas útiles para las actividades humanas.

Estructura tubular: Armazón que soporta el aerogenerador formado por una cubierta cilíndrica.

Generador síncrono: También denominado generador síncrono bipolar de imán permanente. Es síncrono porque el imán del centro girará a una velocidad constante síncrona (girando exactamente como el ciclo) con la rotación del campo magnético y bipolar porque tiene un polo norte y un polo sur. Se llama motor de imán permanente debido a que la aguja de la brújula del centro es un imán permanente, y no un electroimán.

Celeridad: Es la relación entre la distancia recorrida y el tiempo empleado en recorrerla. Su magnitud se designa como v .

Mecanismo de orientación: El mecanismo de orientación de un aerogenerador es utilizado para girar el rotor de la turbina en contra del viento, de forma que pase a través del rotor la mayor proporción posible de energía eólica.

Multipalas: Tipo de aerogenerador de baja velocidad caracterizado por su gran número de palas así como por la disposición del eje de giro perpendicular a la velocidad del viento y que presenta una forma adecuada para su uso aerodinámico.

Multiplicador: Sistema mecánico inverso al reductor de velocidad que mediante un conjunto de engranajes comunica al eje arrastrado o de salida una velocidad de giro mayor que la del eje motor o de entrada.

Pala: Elemento del aerogenerador que por aprovechamiento aerodinámico transforma la energía cinética del viento en energía mecánica en el eje del generador.

Perfil de pala: Sección de la pala perpendicular a la misma y que presenta una forma adecuada para su uso aerodinámico.

THM: (Thermoplastic, Heat and Water Resistant) Cable con aislamiento termoplástico resistente al calor y al agua.

Torre: Soporta el generador y el rotor. Es mejor cuanto más alta ya que a mayor altura mayores velocidades de viento. Las torres pueden ser tubulares (más seguras) o, de celosía (más baratas).

Velocidad de arranque: Velocidad mínima de viento por encima de la cual el rotor comienza a girar.

Velocidad de diseño: Velocidad del viento incidente para la cual se obtiene la potencia máxima.

Velocidad media anual del viento: Valor medio del módulo de la velocidad del viento en un emplazamiento y altura dados a lo largo de un año.

Carcasa: La carcasa es la parte que protege y cubre al estator y al rotor, el material empleado para su fabricación depende del tipo de motor, de su diseño y su aplicación. Así pues, la carcasa puede ser:

- a) Totalmente cerrada
- b) Abierta
- c) A prueba de goteo
- d) A prueba de explosiones
- e) De tipo sumergible

Base: La base es el elemento en donde se soporta toda la fuerza mecánica de operación del motor, puede ser de dos tipos:

- a) Base frontal
- b) Base lateral

Inversor: Transforma la electricidad almacenada en forma de corriente continua, en electricidad apta para uso doméstico: corriente alterna a 220 V. puede incorporar un cargador de recarga de baterías en caso de disponer de una fuente externa de CA como un grupo electrógeno.

Regulador: Controla la generación eléctrica del aerogenerador y paneles solares, y el estado de la batería. Previene la sobrecarga y descarga de las baterías.

Velocidad de arranque. Velocidad mínima de viento por encima de la cual el rotor comienza a girar.

Velocidad de diseño. Velocidad del viento incidente para la cual se obtiene la potencia máxima.

Velocidad media anual del viento. Valor medio del módulo de la velocidad del viento en un emplazamiento y altura dados a lo largo de un año.

Mecanismo de orientación. El mecanismo de orientación de un aerogenerador es utilizado para girar el rotor de la turbina en contra del viento, de forma que pase a través del rotor la mayor proporción posible de energía eólica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIBLIOGRAFÍA CITADA.

1. AEROPUERTO INTERNACIONAL COTOPAXI. Datos Meteorológicos del año 2013 correspondiente al Cantón Latacunga
2. Atlas Eólico del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER Quito 2013.
3. BALLARD, Melissa (2003, pág. 93) en su libro titulado Conocimientos básicos en educación ambiental
4. CORCHO Freddy (2008 pág. 473) en su libro Teoría y diseño
5. COYNE: Electricidad Práctica y Aplicada. sin año ni editorial. Pág. 366.
6. FRAILE MORA Jesús. Maquinas Eléctricas. 5ª edición. 2003. Pág.501.
7. FRANZINI Joseph B. y FINNEMORE E. John. Mecánica de Fluidos con Aplicaciones en Ingeniería. 9ª edición. 1999. Pág. 441.
8. GARCIA Alberto (2009 pág. 463) en su libro Prácticas del laboratorio
9. GARCIA Oscar, Manual de Construcción Generador Eólico, Tijuana 2013 (pág. 20-45)
10. GOMEZ EXPOSITO, Antonio. Análisis y Operación de sistemas de energía Eléctrica. Edición. España: Mc. Graw-Hill/Interamericana, 2002.Pág.22.
11. INIECO (20011, pág. 8) en su libro titulado Desarrollo de proyectos de instalaciones de energía mini-eólica aislada
12. Instituto de Tecnología y Formación ECA (2008) en su libro titulado Energía Solar Térmica pág. 20
13. JIMÉNEZ, Blanca Elena (2002, pág. 812) en su libro titulado La Contaminación Ambiental en México
14. MATEZANS Jaime (2008 pág. 38) en su libro titulado Geografía e historia
15. Plan climático estratégico INAMHI Ecuador 2012
16. Plan Energético Eólico CONELEC 2009 – 2010 (pág. 45-47)
17. ROLDAN J. en su libro titulado Energías renovables (2012 pág. 48)
18. ROLDÁN, Viloría José (2012, pág. 50) en su libro titulado Energías renovables.
19. SARDON José (2008 pág. 19) en su libro titulado Energías renovables para el desarrollo

20. TALAYERO Ana (2008 pág. 25) en su libro Energía eólica en el mundo.
21. VASQUEZ Alberto (2012 pág. 32) en su libro titulado Vivir del viento
22. VILLARUBIA Miguel (2012 pág. 126) en su libro titulado Ingeniería de la energía eólica.
23. VILLARUBIA, Miguel (2004, pág. 12 - 13) en su libro titulado Energía eólica

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.

1. AA.VV (2008) en su libro titulado Diccionario Oxford-Complutense de Física
2. ANDREW L. Simón. Hidráulica Básica. 1ª edición. 1983.
3. Atlas Eólico del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER Quito 2013.
4. AVALLONE Eugene A. y BAUMEISTER III Theodore. Marks Manual del Ingeniero mecánico. 9ª edición. Mc. Graw Hill/INTERAMERICANA DE MEXICO S.A. 1995.
5. BOHMAN I. Manual de Aceros del Colegio DON BOSCO. Quito.
6. COZ Federico. “Manual de Mini y Micro Centrales Hidráulicas”, Lima ITDG. 1995.
7. CUEVAS José (2008 pág. 197) en su libro Fotografía y ciencia “Electricidad y Energía”, Ediciones Nueva Lentes, Madrid. 1985.
8. FOX MCDONALD. Introducción a la Mecánica de Fluidos. Mexico.1997.
9. GARCIA Oscar, Manual de Construcción Generador Eólico, Tijuana 2013
10. GERBER. Manual de Selección de Rodamientos de la SKF, Catalogo 3200 Sp. Impreso en Alemania.
11. JONSON J. (2009) en su libro Fuentes de Energía Renovable.
12. MUÑOZ José (2009 pág. 214 al 220) en su libro Aguas minerales del Ecuador
13. PHILLIP Maher and NIGEL Smith, ITDG, Manual PICO HYDRO FOR POWER, 2ª. edición 2001.
14. PINILLA S. ÁLVARO, Manual de Aplicación de la Energía eólica, 1997.
15. ROLDAN J. en su libro titulado Energías renovables 2012

16. VILLARUBIA, Miguel en su libro titulado Energía eólica 2004
17. VILLAGRAN Juan Carlos .Metodología para la rehabilitación y repotenciación de pequeñas centrales eólicas. [Tesis].2009. Loja.
18. WILSON, Jerry (2010, pág. 77) en su libro de Física eléctrica

PÁGINAS ELECTRÓNICAS.

1. Atlas Eólico Ministerio de Electricidad y Energía Renovable Meer.
<www.energia.gob.ec>
2. AWS TRUEPOWER, SLU
<www.awstruepower.com>
3. Catalogo SKF. Catalogo interactivo de ingeniería, Manual de Selección de Rodamientos de la SKF, Catalogo 3200 Sp. [en línea] 2010. Disponible en
<http://www.skf.com/portal/skf/home/products?lang=es>.
4. DIPAC, MANTA. Productos de acero, Ejes en acero inoxidable, especificaciones generales. [en línea]. 2011. Disponible en
<www.dipacmanta.com/alineas.php?ca_codigo=3698>.
5. Energías Alternativas
<http://www.antusolar.cl/wp-content/uploads/2010/06/EOLICAS.jpg>
<http://www.tedesna.com/images/esque_termica.jpg>
<http://icasasecologicas.com/wp-content/uploads/2013/05/biomasa1.jpg>
6. Generador Eólico, España
<http://sustentator.com/blog-es/blog/2010/02/05/como-funciona-un-generador-eolico/>
7. Manual de Construcción Generador Eólico
<www.manualgeneradoreolico.pdf>
8. Racso Tecnologías Renovables
<www.racsotech.com>
9. Wikipedia Provincia de Cotopaxi
<http://es.wikipedia.org/wiki/Provincia_de_Cotopaxi>

ANEXOS