



## **DECLARACION.**

La presente Tesis constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en Electromecánica en la UNIDAD ACADEMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADAS de la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.

Por lo que, nosotros, Endara Lema Luis David y Toctaguano Casa Pablo Fernando, declaramos: que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal nuestra y los resultados y conclusiones a los que hemos llegado son de nuestra absoluta responsabilidad.

Atentamente.

Luis Endara.

Pablo Toctaguano

## CERTIFICACIÓN

HONORABLE CONSEJO ACADÉMICO DE LA UNIDAD ACADÉMICA DE  
CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS DE LA UNIVERSIDAD  
TÉCNICA DE COTOPAXI

De mi consideración:

Cumpliendo con lo estipulado en el capítulo IV, (art. 26 literal d), del reglamento del curso pre profesional de la Universidad Técnica de Cotopaxi, informo que los postulantes Endara Lema Luis David y Toctaguano Casa Pablo Fernando, han desarrollado su tesis de grado de acuerdo al planteamiento formulado en el plan de tesis con el tema: **“Construcción de un Generador Eólico de bajas revoluciones por minuto para una vivienda rural, ubicada en el sector de Pansachí el Morro perteneciente a la Parroquia Mulaló del Cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi”**, cumpliendo sus objetivos respectivos.

En virtud de lo antes expuesto considero que la presente tesis se encuentra habilitada para presentarse al acto de la defensa correspondiente.

Latacunga, 08 de febrero del 2011.

Ing. MSc. Segundo Cevallos.  
Director de Tesis.

Latacunga, 08 de febrero del 2011.

Lic. Msc.

Hugo Armas

**DIRECTOR DE LA UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA  
INGENIERÍA Y APLICADAS.**

Presente.-

De mi consideración:

Por medio de la presente, me dirijo a usted para darle a conocer que se ha desarrollado la revisión de la traducción al idioma Inglés, el resumen de la tesis de los señores postulantes Endara Lema Luis David y Toctaguano Casa Pablo Fernando de la Universidad Técnica de Cotopaxi especialidad Electromecánica, con el tema: **“Construcción de un Generador Eólico de bajas revoluciones por minuto para una vivienda rural, ubicada en el sector de Pansachí el Morro perteneciente a la Parroquia Mulaló del Cantón Latacunga Provincia de Cotopaxi”**, cumpliendo con las expectativas respectivas.

ATT.

Lic. Mónica Casnanzuela

Nº CI. 0502952104

Código Profesional: 1020-07-769529

## **DEDICATORIA**

Agradezco en primer lugar a Dios quien me ha bendecido del placer de tener vida, a mi familia, mis padres por su apoyo incondicional, verdaderos gestores de mi esfuerzo y superación, que está refleje en parte mi inmenso amor y sea luz que guía e ilumine el camino que sigan en su existencia.

**Luis Endara**

Después de muchas derrotas, pero infinitas victorias el presente trabajo se lo dedico a mi amigo incondicional **DIOS**, de quien proviene la sabiduría, por darme la fortaleza para seguir adelante, a mis padres por darme ese apoyo incondicional durante todo este tiempo y en los momentos más críticos de mi vida, a mis hermanos y hermanas por haberme apoyado siempre y en todo momento, como también a ti que te tomas un tiempo de tu vida y estás leyendo esta tesis.

**Pablo Toctaguano.**

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestros más sinceros agradecimientos a todas las personas e instituciones que colaboraron de manera desinteresada para la culminación de la presente Tesis. Nuestra gratitud en especial a:

La Universidad Técnica de Cotopaxi por avernos dado la oportunidad de alcanzar uno de nuestros objetivos de la vida largamente halagados.

Al Ing. MSc. Segundo Ángel Cevallos Betún quien con profundos conocimientos y mixtica profesional guio la presente investigación.

Además, nuestro reconocimiento a las siguientes personas por haber participado directa o indirectamente, por ayudarnos a que nuestro sueño se haga realidad.

Al Ing. Efrén Barbosa e Ing. Oscar Mallitasig, quienes con todo su conocimiento colaboraron de una manera desinteresada en la realización de la pruebas de funcionamiento del aerogenerador.

El agradecimiento inmenso al Ing. Javier Espín que generosamente ofreció su colaboración para la construcción del presente proyecto, como también a los habitantes de la Hacienda Tejar Miraflores que siempre estuvieron prestos a recibirnos.

**Luis Endara.**

**Pablo Toctaguano.**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y  
APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TEMA: “CONSTRUCCIÓN DE UN GENERADOR EÓLICO DE BAJAS  
REVOLUCIONES POR MINUTO PARA UNA VIVIENDA RURAL,  
UBICADA EN EL SECTOR DE PANSACHI EL MORRO  
PERTENECIENTE A LA PARROQUIA MULALÓ DEL CANTÓN  
LATACUNGA PROVINCIA DE COTOPAXI”

**AUTORES:** *Endara Lema Luis David.*

*Toctaguano Casa Pablo Fernando.*

**TUTOR:** *Ing. MSc. Segundo Ángel Cevallos Betún.*

**FECHA:** *08 de Febrero del 2011*

## RESUMEN.

El presente trabajo investigativo consiste en la construcción de un Generador Eólico de Bajas Revoluciones utilizando imanes permanentes para la captación de la energía del viento y convertirla en electricidad con la finalidad de abastecer de energía eléctrica a habitantes de zonas rurales aisladas de la provincia. La investigación inicio con el estudio del recurso viento en la zona de Pansachí el Morro, posteriormente se realizo el estudio de demanda eléctrica de una vivienda rural de la zona, la misma que sirvió como base para la realización de los cálculos del aerogenerador y la construcción del mismo. Con el fin de optimizar el suministro de energía eléctrica, se incorporó un sistema de rectificación AC-DC, el cual se encarga de transformar la corriente AC-DC y maximizar la eficiencia en la conversión en función de la variación de la velocidad de giro de la turbina eólica. Además se dimensionó un sistema de acumulación de energía con el fin de aprovechar el excedente de energía en momentos de baja fluencia del viento. Se consideró además la incorporación de un inversor de voltaje a fin de disponer de electricidad en corriente alterna a 110 V y 60 Hz. Finalmente, se realizó la evaluación económica en la cual se consideró los costos de construcción y operación del generador eólico. La conclusión a la que llegamos luego de realizado el proyecto es la factibilidad de utilizar este tipo de recurso renovable como solución al abastecimiento eléctrico dentro de zonas rurales aisladas de la provincia y que sean climáticamente aptas.

**DESCRIPTORES:** *Energía Eléctrica, Generador Eólico, Recurso Renovable*

# COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY

ACADEMIC UNIT OF SCIENCES OF ENGINEERING AND APPLIED

CAREER OF ELECTROMECHANICAL ENGINEERING

**THEME: “CONSTRUCTION OF AN AEOLIAN GENERATOR OF LOW REVOLUTIONS PER MINUTE FOR A RURAL HOUSING, LOCATED IN PANSACHI SECTOR THE MORRO BELONGING TO MULALO PARISH OF LATACUNGA CANTON OF COTOPAXI PROVINCE”**

**AUTHORS:** *Endara Lema Luis David.*

*Toctaguano Casa Pablo Fernando.*

**TUTOR:** *Ing. MSc. Segundo Ángel Cevallos Betún.*

**DATE:** *February 08, 2011*

## SUMMARY

The present research work consists in the construction of an Aeolian Generator of Low Revolutions using permanent magnets for the capture of energy of the wind and turn it into electricity in order to supply electrical energy to inhabitants of isolated countryside of the province. The investigation began with the study of wind resource in the Pansachi zone of Morro, later the study of electrical demand in a rural housing of the zone was realized, the same that served as base for the accomplishment of the calculations of the aerogenerator and the construction of the same. In order to optimize the provision of electrical energy, a system of rectification AC-DC was gotten up, which is in charge to transform the current AC-DC and maximize the efficiency in the conversion based on the variation of the speed of draft of the aeolian turbine. In addition a system of accumulation of energy was determine with the purpose of take advantage of the surplus energy in moments of low flow of the wind. In addition besides it was considered the incorporation of a voltage investor in order to have electricity in alternating current to 110 V and 60 Hz. Finally, the economic evaluation was realized in which was considered the costs of construction and operation of the Aeolian Generator. The conclusion that arrived after that realized the project is the feasibility to use this type of renewable resource as solution to the electrical supply inside isolate countryside rural zones of the province and that are climatically apt.

**DESCRIPTORS:** *Electrical energy, Aeolic Generator, Renewable Resource.*

## INDICE

	Pág.
Portada.....	i
Declaración Expresa.....	ii
Avales.....	iii
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen.....	vii
Índice.....	ix
Índice de figuras.....	xvi
Índice de tablas.....	xix
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
 <b>CAPITULO I</b>	
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
1.1. Antecedentes.....	5

<b>1.2. EL VIENTO.....</b>	<b>8</b>
<b>1.2.1. Origen del viento.....</b>	<b>9</b>
<b>1.2.2. Patrones globales de la circulación del viento.....</b>	<b>10</b>
<b>1.2.3. Tipos de vientos.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.4. Clasificación de los vientos locales.....</b>	<b>11</b>
<b>1.2.5. Tipos de vientos en las regiones del Ecuador.....</b>	<b>12</b>
<b>1.2.6. Relación Potencia Mecánica-Velocidad del viento. ....</b>	<b>13</b>
<b>1.2.7. Utilidad o formas de uso del viento.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3. LOS AEROGENERADORES.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.1. Tipos de aerogeneradores.....</b>	<b>17</b>
<b>1.3.2. Clasificación de los Sistemas eólicos.....</b>	<b>22</b>
<b>1.3.3. Componentes de un aerogenerador de flujo axial.....</b>	<b>24</b>
<b>1.3.3.1. Rotor o turbina eólica.....</b>	<b>24</b>
<b>1.3.3.2. Generador.....</b>	<b>25</b>
<b>1.3.3.3. Estator.....</b>	<b>25</b>
<b>1.3.3.4. Sistema de Orientación y Protección.....</b>	<b>26</b>

1.3.3.5. Torre.....	26
1.3.3.5.1. Tipos de Torres.....	27
1.3.4. Funcionamiento general de un aerogenerador.....	28
1.3.5. Ventajas de la energía eólica.....	28
1.3.6 Desventajas de la energía eólica.....	29
 <b>CAPITULO II</b>	
2.1. ASPECTOS GENERALES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.....	31
2.2. VELOCIDADES DEL VIENTO TOMADAS EN LA ZONA DONDE SE INSTALO EL PROYECTO.....	35
2.3. REQUERIMIENTOS BÁSICOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA RURAL.....	36
2.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	37
2.5. METODOLOGÍA.....	38
2.6 Preguntas directrices.....	38
2.7 Fuente de datos primarios.....	39
2.8. Fuente de datos secundarios.....	39
2.9 Población.....	40

<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>40</b>
<b>CAPITULO III.</b>	
<b>3.1. JUSTIFICACION DE LA PROPUESTA.....</b>	<b>43</b>
<b>3.2. COSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR</b>	
<b>    DE BAJAS REVOLUCIONES POR MINUTO.....</b>	<b>44</b>
<b>3.2.1. Principio de funcionamiento.....</b>	<b>44</b>
<b>3.3. CONSTRUCCIÓN DE LAS ASPAS</b>	
<b>    DEL GENERADOR EÓLICO.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3.1. Calculo del diámetro del rotor.....</b>	<b>45</b>
<b>3.3.2. Selección del alabe.....</b>	<b>48</b>
<b>3.4. CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR ELÉCTRICO.....</b>	<b>51</b>
<b>3.5. CÁLCULO DEL NUEMRO DE POLOS Y BOBINADOS</b>	
<b>    PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA.....</b>	<b>52</b>
<b>3.5.1. Número de polos.....</b>	<b>52</b>
<b>3.5.2. Número y tamaño de las bobinas.....</b>	<b>53</b>
<b>3.5.2.1 Tamaño de las bobinas.....</b>	<b>54</b>
<b>3.5.2.2 Número de espiras.....</b>	<b>55</b>
<b>3.5.2.2.1 Selección del conductor.....</b>	<b>56</b>

<b>3.6. SELECCIÓN DE LOS IMANES A UTILIZAR.....</b>	<b>56</b>
<b>3.7. CÁLCULO TEÓRICO DE LA TENSIÓN EFICAZ INDUCIDA EN UNA BOBINA.....</b>	<b>58</b>
<b>3.7.1. Cálculo de la superficie S.....</b>	<b>59</b>
<b>3.7.2. Cálculo del campo magnético uniforme B.....</b>	<b>61</b>
<b>3.7.3. Cálculo teórico de la tensión de salida del generador.....</b>	<b>62</b>
<b>3.7.3.1. Conexión en Doble-Estrella.....</b>	<b>64</b>
<b>3.8. SELECCIÓN DEL CONVERTIDOR DC A AC.....</b>	<b>65</b>
<b>3.8.1 Rectificador.....</b>	<b>65</b>
<b>3.8.2. Selección del Inversor adecuado.....</b>	<b>67</b>
<b>3.9. CÁLCULOS Y CONSTRUCCIÓN DE LA TORRE DEL GENERADOR EÓLICO.....</b>	<b>69</b>
<b>3.9.1. Diseño de la Torre.....</b>	<b>70</b>
<b>3.9.1.1. Recomendaciones para el Emplazamiento de la Torre.....</b>	<b>72</b>
<b>3.9.1.2. Preparación del emplazamiento.....</b>	<b>72</b>

<b>3.9.1.3. Tensión de los Cables.....</b>	<b>72</b>
<b>3.9.1.4. Anclajes.....</b>	<b>73</b>
<b>3.10. ALMACENAMIENTO DE BANCO DE BATERÍAS.....</b>	<b>73</b>
<b>3.10.1. Almacenamiento de la energía eléctrica en el banco de baterías.....</b>	<b>73</b>
<b>3.10.2. Especificación de las baterías para el almacenamiento de la energía.....</b>	<b>74</b>
<b>3.11. MONTAJE DEL EQUIPO EN LA ZONA DE LA VIVIENDA.....</b>	<b>75</b>
<b>3.11.1. Armado de la estructura y los componentes.....</b>	<b>75</b>
<b>3.11.1.1. Armado de la estructura.....</b>	<b>75</b>
<b>3.11.2. Armado de los tensores.....</b>	<b>76</b>
<b>3.11.3. Ensamble de los componentes.....</b>	<b>76</b>
<b>3.11.4. Ensamble de la veleta.....</b>	<b>78</b>
<b>3.11.5. Conexión eléctrica.....</b>	<b>78</b>
<b>3.11.6. Izamiento del poste.....</b>	<b>78</b>
<b>3.12. PESO DEL AEROGENERADOR.....</b>	<b>80</b>
<b>3.13. MATERIALES UTILIZADOS PARA LA</b>	

<b>COSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR.....</b>	<b>81</b>
<b>3.14. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....</b>	<b>83</b>
<b>3.15. PRESUPUESTO.....</b>	<b>85</b>
<b>3.16. MANTENIMIENTO.....</b>	<b>86</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>87</b>
<b>ABREVIATURAS.....</b>	<b>91</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>93</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>95</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>100</b>

<b>INDICE DE FIGURAS.</b>	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1: Aerogenerador de La Cour (Dinamarca).....</b>	<b>5</b>
<b>Figura 2: Dirección del viento en la Tierra.....</b>	<b>9</b>
<b>Figura 3: Representación del patrón global de circulación de vientos.....</b>	<b>10</b>
<b>Figura 4: Generación de vientos tierra y mar.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 5: Vientos de montaña y valle.....</b>	<b>13</b>
<b>Figura 6: Interacción del rotor con el flujo de aire.....</b>	<b>14</b>
<b>Figura 7: Aerogeneradores de eje horizontal.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 8: Veletas de orientación para ejes horizontales.....</b>	<b>19</b>
<b>Figura 9: Aerogenerador con rotor Savonius.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 10: Aerogenerador con rotor Darrieus.....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 11: Esquema de instalación eólica de baja potencia con acumulador.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 12: Dimensiones y estructura de la veleta.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 13: Parroquia y cantones de Cotopaxi.....</b>	<b>33</b>
<b>Figura 14: Estructura de un generador eólico de imanes permanentes de flujo axial.....</b>	<b>44</b>

<b>Figura 15: Diagrama y dimensiones del rotor</b>	
eólico acoplado al generador tipo disco.....	48
<b>Figura 16: Ubicaciones de las secciones del álabe.....</b>	<b>49</b>
<b>Figura 17: Palas de fibra de vidrio para</b>	
pequeños aerogeneradores.....	51
<b>Figura 18: Rotor frontal y posterior del aerogenerador.....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 19: Número de polos distribuidos en los rotores.....</b>	<b>53</b>
<b>Figura 20: Distribución de las bobinas en el estator.....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 21: Tamaño de la bobina con respecto</b>	
al bloque magnético.....	55
<b>Figura 22: Curva de magnetización</b>	
de un material magnético.....	57
<b>Figura 23: Curva de magnetización de diferentes</b>	
tipos comerciales de imanes permanentes.....	58
<b>Figura 24: Líneas de campo magnético</b>	
y su ocupación entre los imanes.....	60
<b>Figura 25: Distribución de las</b>	
bobinas respecto a los imanes.....	63
<b>Figura 26: Esquema de la conexión en</b>	
doble estrella de las bobinas.....	64
<b>Figura 27: Conexión de los diodos tipo puente.....</b>	<b>66</b>

<b>Figura 28: Esquema del Sistema de inversión de</b>	
<b>12 V DC a 110 V AC de un aerogenerador.....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 29: Torre emplazada en el lugar</b>	
<b>de ejecución del proyecto.....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 30: Vista de la Torre y ubicación de los anclajes.....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 31: Anclaje para los tensores.....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 32: Esquema de un Acumulador.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 33: Preparación de la torre para su emplazamiento....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 34: Torre en el momento de la instalación.....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 35: Vista del la torre ajustándose a los anclajes.....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 36: Curva de voltaje del aerogenerador sin carga.....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 37: Curva de voltaje del aerogenerador con carga.....</b>	<b>84</b>

<b>INDICE TABLAS.</b>	<b>Pág.</b>
Tabla 1: Capacidad eólica por países.....	7
Tabla 2: Tipos de vientos.....	11
Tabla 3: Tipos de vientos en las regiones del Ecuador.....	12
Tabla 4: Clasificación de los sistemas eólicos según su eje.....	18
Tabla 5: Comparación de los distintos tipos de aerogeneradores.....	22
Tabla 6: Clasificación de los sistemas eólicos.....	23
Tabla 7: Tipos de torres existentes.....	27
Tabla 8: Área por cantones de la provincia de Cotopaxi.....	32
Tabla 9: Parroquias y cantones de Cotopaxi.....	34
Tabla 10: Valores de la velocidad de viento del año 2009.....	35
Tabla 11: Requerimientos de energía básica de una vivienda.....	37
Tabla 12: Características de las palas de los rotores de un aerogenerador.....	50
Tabla 13: Dimensiones de los imanes.....	56
Tabla 14: Relación entre la inducción remanente y la inducción exterior.....	62

<b>Tabla 15: Especificaciones de peso de los diferentes</b>	
<b>componentes del generador.....</b>	<b>81</b>
<b>Tabla 16a: Materiales utilizados en la</b>	
<b>construcción del aerogenerador.....</b>	<b>82</b>
<b>Tabla 16b: Materiales utilizados en la</b>	
<b>construcción del aerogenerador.....</b>	<b>83</b>
<b>Tabla 17: Presupuesto de los materiales para</b>	
<b>la construcción del aerogenerador.....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 18: Presupuesto de la</b>	
<b>construcción del aerogenerador.....</b>	<b>85</b>
<b>Tabla 19: Presupuesto final de la tesis.....</b>	<b>86</b>

## INTRODUCCIÓN

La energía eólica es la energía cuyo origen proviene del movimiento de las masas de aire es decir del viento. Actualmente el viento es un recurso energético seguro y económico en las instalaciones situadas alrededor del mundo. Los avances tecnológicos de los últimos años han colocado a la energía eólica en posición de competir, en un futuro próximo, con la generación de energías convencionales. El coste de producción de electricidad por la acción del viento ha disminuido aproximadamente en un 80% en los últimos años. Al mismo tiempo, la capacidad instalada ha aumentado enormemente en comparación con el coste de producción actual de las plantas nucleares e hidráulicas y de combustible fósil.

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

En el Ecuador el tema de la eficiencia energética y energía renovable no ha sido tan desarrollado en los últimos 30 años, por lo tanto esto provocó que tengamos un gran déficit de energía y que por lo mismo

debamos comprarla a nuestros países vecinos a precios elevados. Sin embargo, desde el año 2007 se han emprendido programas para tratar de suplir este déficit, entre los cuales se encuentran varios proyectos hidroeléctricos como el Coca – Codo – Sincler, Toachi – Pilatón, Mazar entre otros, además de estos se está investigando las posibilidad de construir proyectos utilizando energías limpias o renovables como son: la energía solar, la eólica y geotérmica.

Hay que destacar que los ahorros son muchos entre los que se puede mencionar tenemos que en los hogares ecuatorianos se disminuye el valor a pagar de las planillas de electricidad. El Estado también se beneficia, porque reduce el subsidio que hace a los combustibles que se utilizan para generar energía.

También hay un beneficio para el medio ambiente, en el sentido de que hay un menor consumo de combustibles fósiles (hidrocarburos) para generación eléctrica, además, hay una menor emisión de CO<sub>2</sub> al ambiente. Aquí se puede destacar el proyecto que impulsa el Estado de construir un aeropuerto ecológico en Galápagos (Baltra), en el cual utilizará energía eólica.

En el País la energía eólica se dio a conocer con el Proyecto San Cristóbal, que fue el primero en su género en territorio ecuatoriano, este se encuentra en operación desde el 1 de octubre del 2007 en las Islas Galápagos.

Como se ha explicado anteriormente la energía eólica es una fuente de generación de energías renovables por lo que los investigadores del presente proyecto consideran que es de mucha importancia la ejecución del mismo.

## **OBJETIVOS.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

- Construir un Generador Eólico de bajas revoluciones por minuto, para dotar de energía eléctrica a una vivienda rural, ubicada en el sector de Pansachi el Morro perteneciente a la Parroquia Mulaló del Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Conocer el funcionamiento científico del generador Eólico, para utilizar la fuerza del viento como fuente generadora de energía eléctrica.
- Identificar las necesidades energéticas básicas de los habitantes de zonas rurales para dimensionar el generador eólico.
- Generar energía eléctrica para cubrir las necesidades básicas y mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en zonas aisladas del cantón y la provincia.

## CAPITULO I

Al iniciar cualquier trabajo de investigación es necesario profundizar en los conocimientos teóricos del tema a ser investigado, para este caso en particular se hace necesario profundizar en el conocimiento de algunos aspectos teóricos como son: el viento, tipos de vientos, determinación de la velocidad del viento, partes que forman los aerogeneradores, tipos de aerogeneradores, etc.

El conocimiento sobre los aspectos antes mencionados servirá para encaminar esta investigación, en dar solución a uno de los muchos problemas que tienen los habitantes de las zonas rurales alejadas del cantón y la provincia, como es, la falta de suministro de energía eléctrica.

La propuesta de esta investigación está dirigida a dar solución al problema antes mencionado, a través de la construcción de una máquina que funcione con la fuerza del viento (generador eólico), cuyo recurso natural puede llegar a ser una alternativa atrayente de solución para los sectores rurales alejados y el país ya que se están utilizando fuentes de energías renovables.

Por estas razones el presente capítulo está dedicado a obtener la mayor información teórica necesaria de diversos autores e investigadores, la misma que servirá para la elaboración del presente proyecto investigativo.

## 1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

### 1.1. ANTECEDENTES.

La ubicación geográfica de la presente investigación hace que en este lugar existan variadas corrientes de aire que pueden ser aprovechadas para la implementación de generadores eólicos.

**SÁNCHEZ S.** comenta que: “La fuerza del viento ha sido aprovechada por los seres humanos desde las primeras civilizaciones para sus necesidades de fuerza y transporte.” **(2003, p 75).**

Un ejemplo claro de esto son los barcos de vela, en los cuales se podía transportar productos y personas a grandes distancias, otro, son los famosos molinos de Dinamarca los mismos que servían para la molienda de granos y así se pueden mencionar más.

Figura 1

Aerogenerador de La Cour (Dinamarca)



Fuente: La energía eólica en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

El primer aerogenerador construido con fines de generar energía eléctrica fue desarrollado en los Estados Unidos de Norte América en 1888, este equipo generaba 12 Kw y estuvo hecho de madera.

La crisis energética de los años 70 y 80 debido a los altos costos del petróleo hace que varios países busquen nuevas fuentes de energía, es allí en donde el desarrollo de estas energías limpias tiene su mayor impulso, pero lamentablemente al reducirse nuevamente los precios del petróleo el desarrollo de estas nuevas tecnologías por sus altos costos entonces, se las dejo de lado.

A finales de los años 90 y comienzos del nuevo milenio, el mundo toma nuevamente conciencia de los efectos que tiene sobre el medio ambiente la quema por el consumo de productos orgánicos como son, el carbón, el petróleo y sus derivados. El año 2000 aproximadamente es el punto de inflexión para el avance y desarrollo de tecnología amigables con el ambiente como son la eólica, solar, geotermal y mareomotriz.

Actualmente las aplicaciones más importantes de la energía eólica son para generación eléctrica y para el bombeo de agua.

En la tabla que a continuación se muestra se puede observar como países que no tienen petróleo o lo tiene muy poco han ido incrementando su capacidad de generación de energía eléctrica utilizando aerogeneradores de gran capacidad. Otro aspecto importante es que la tabla muestra como la capacidad eólica se triplicó desde el año 1998 hasta el año 2002 a nivel mundial.

**Tabla 1**  
**Capacidad eólica por países**

<b>País</b>	<b>1998</b>	<b>1999</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>
<b>Alemania</b>	2.874	4.072	6.113	8.734	12.560	14.609
<b>USA</b>	1.952	2.502	2.555	4.245	4.658	6.370
<b>España</b>	834	1.722	2.402	3.335	4.951	6.328
<b>Dinamarca</b>	1.450	1.733	2.297	2.417	2.921	
<b>India</b>	968	1.077	1.220	1.507	1.861	
<b>Italia</b>	197	277	424	682	786	
<b>Holanda</b>	363	428	448	483	812	
<b>UK</b>	334	356	409	485	588	
<b>China</b>	224	300	340	399	469	
<b>Resto Mundo</b>	643	755	1.498	2.165	2.807	
<b>TOTAL</b>	9.839.	13.222	17.706	24.471	32.400	
<b>Crecimiento</b>	30 %	37 %	32 %	38 %	32 %	

**Fuente: Asociación de Productores de Energías Renovables - APPA. Unidad de medida: MW (megavatios)**

Las cifras expuestas anteriormente proveen un futuro prometedor para la generación eólica, principalmente porque el consumo ha sido creciente y se mantendrá así durante los próximos años. La energía eólica es una fuente poco contaminante y agresiva con el medio ambiente, el crecimiento anual ronda el 30%, la potencia media de los aerogeneradores es cada vez mayor y disminuye el precio de cada MW instalado.

La energía eólica esta siendo, cada vez más, una alternativa creíble, deseable y económicamente viable a los combustibles fósiles en la generación de electricidad, debido tanto al agotamiento progresivo de dichos combustibles, como a la potenciación de los aspectos medioambientales.

La energía eólica es la fuente no convencional de energía renovable preferida en los proyectos de generación 'limpios', puesto que es una energía fiable y altamente predecible y controlable. La implementación de instalaciones de generación a partir del viento está empezando a tener un impacto significativo en la reducción del calentamiento global y proporciona una protección contra la escalada de precios de los combustibles fósiles.

Por todas las razones expuestas anteriormente el presente trabajo de investigación está encaminado a solucionar de una parte de los problemas de suministro de energía eléctrica que padecen un grupo grande de ecuatorianos que viven en zonas rurales alejadas del Sistema Nacional Interconectado, pero mediante la utilización de energías renovables se pretende cubrir esta necesidad, para este caso se utilizará el viento en la producción de energía eléctrica con la construcción de un generador eólico de bajas revoluciones.

## **1.2. EL VIENTO.**

**FERNÁNDEZ D.** dice:

**Se considera viento a toda masa de aire en movimiento, que surge como consecuencia del desigual calentamiento de la superficie terrestre, siendo la fuente de energía eólica, o mejor dicho, la energía mecánica que en forma de energía cinética transporta el aire en movimiento. (2000. P. 4)**

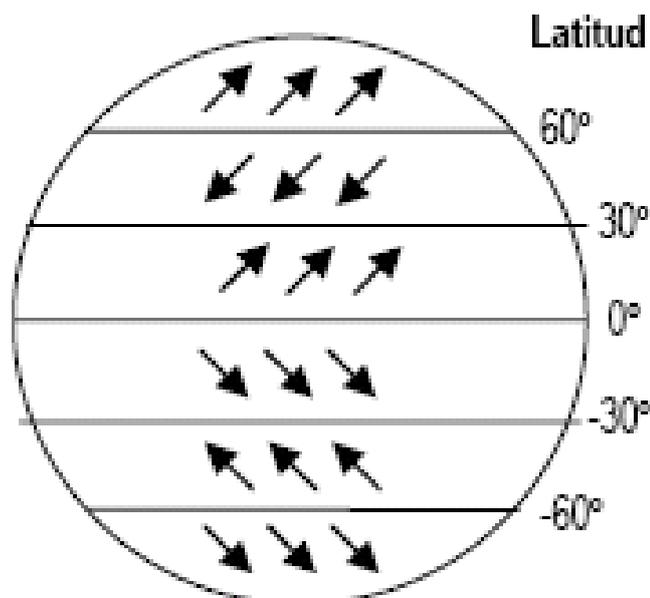
### 1.2.1. ORIGEN DEL VIENTO.

**SÁNCHEZ S.** comenta que “Los vientos tienen su origen en la diferencia de temperatura y presión que se produce cuando el aire caliente en la zona ecuatorial se mueve hacia los trópicos que están más fríos.” (2003, P. 76)

Nuestro interés como investigadores son los vientos de superficie que se producen por efecto de la rugosidad de la superficie de la tierra debido a la formación de valles y sistemas montañosos.

En el caso del Ecuador, por estar situado en la línea equinoccial los vientos son locales y se producen por diferencias térmicas entre los valles, en la zona de Los Andes o en las costas a causa de las brisas marinas.

**Figura 2**  
Dirección del viento en la Tierra.



Fuente: ENERGIAS RENOVABLES Conceptos y Aplicaciones.

## 1.2.2. PATRONES GLOBALES DE CIRCULACIÓN DEL VIENTO.

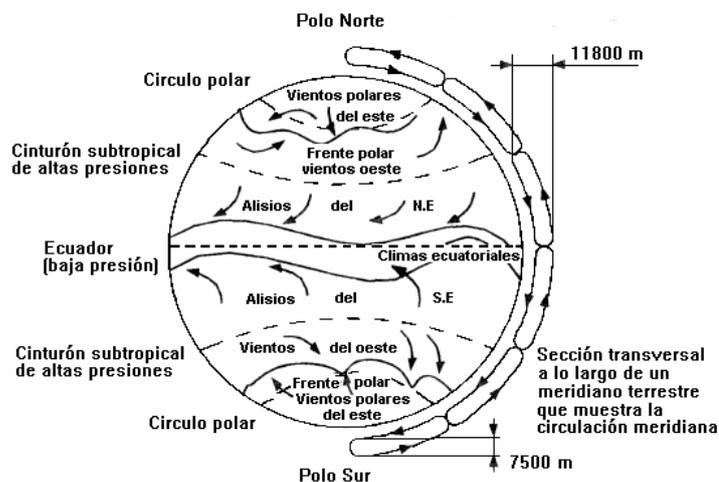
PINILLA A. comenta que:

El viento es aire en movimiento y es una forma indirecta de la energía solar. Este movimiento de las masas de aire se origina por diferencias de temperatura causada por la radiación solar sobre la superficie terrestre, que junto a la rotación de la tierra, crean entonces los, llamados, patrones globales de circulación. (1997, P. 6)

A escala global las regiones alrededor del Ecuador reciben una ganancia neta de energía mientras que en las regiones polares hay una pérdida clara de energía por radiación.

En la siguiente figura se puede observar el patrón de circulación de los vientos.

**Figura 3**  
Representación del patrón global de circulación de vientos.



Fuente: Manual de Aplicación de la Energía Eólica.

### 1.2.3. TIPOS DE VIENTOS.

Estos dependen primordialmente de la ubicación geográfica de cada país, el Ecuador está situado en Sudamérica y es atravesado por la línea ecuatorial por lo tanto se halla en la zona tórrida del continente americano, está ubicado entre los paralelos 1° 30.0' N. y 03° 23.5' S., y los meridianos 75° 12.0' W. y 81° 00.0' W. Además tiene tres cadenas montañosas, las cuales cruzan de norte a sur y posee una variada gama de climas.

### 1.2.4. CLASIFICACIÓN DE LOS VIENTOS LOCALES.

Estos se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 2**  
**Tipos de vientos.**

<b>Clasificación</b>	<b>Características</b>
Vientos regulares	Corren en forma permanente siguiendo una dirección determinada.
Vientos variables	Son aquellos que constantemente varían de dirección que siguen, debido a la influencia de ciertos fenómenos atmosféricos.
Vientos ocasionales o periódicos	Se presentan ocasionalmente o en cierto periodo determinado.
vientos Alisios	Soplan de los polos y se dirigen a la línea ecuatorial siguiendo una trayectoria de Noroeste y Suroeste, del polo Norte y Sur respectivamente
vientos Contralisios	Corren desde la Zona Tórrida que se encuentran más cerca de la línea ecuatorial hacia los polos, es decir siguiendo una dirección contraria a los Alisios.
Vientos de Drenaje	Se originan durante la estación fría, acumulando grandes cantidades de aire frío los altiplanos y zonas montañosas, este aire tiende a fluir por las laderas acumulándose en los valles y planicies y llegando hasta la costa como una brisa moderada y débil; sin embargo, cuando se aproxima a través de las grietas de las montañas, valles y cañones, el aire frío es acelerado y llegará como una cascada de aire frío con vientos fuertes, normalmente la diferencia de temperatura entre la costa y el interior será tan grande que el aire llegará a la costa como una corriente fría, los cuales son particularmente fuertes y algunas veces destructivos.

**Fuente. Grupo investigador.**

### 1.2.5. TIPOS DE VIENTOS EN LAS REGIONES DEL ECUADOR.

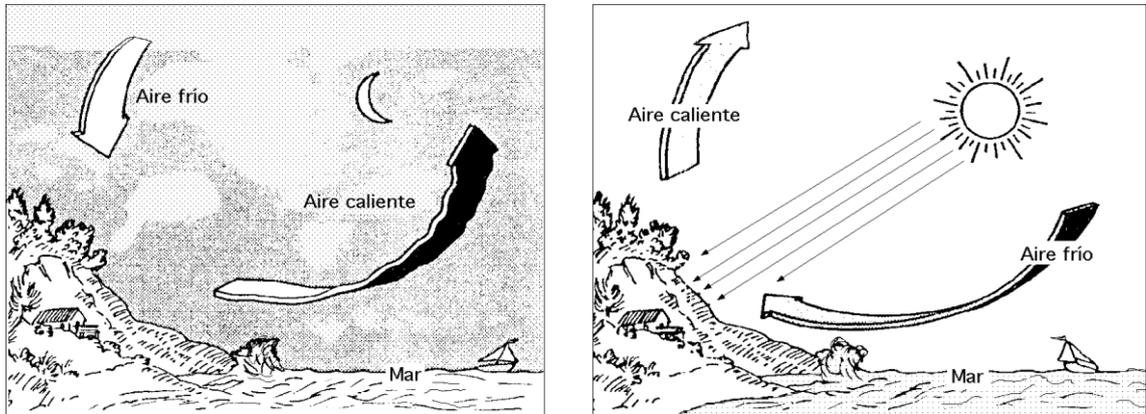
Los vientos del Ecuador dependen de sus regiones y se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 3**  
**Tipos de vientos en las regiones del Ecuador.**

<b>Tipos</b>	<b>Características</b>
Región Litoral o Costa	* Climas: seco, tropical sabana, tropical semi-húmedo. Temperaturas máximas y mínimas diferentes.  * Superficies bastante bajas y planas, con elevaciones montañosas pequeñas.  * La velocidad del viento es baja, lo que no justifica hacer una inversión para obtener energía eólica y considerarle rentable o explotable.
Región Interandina o Sierra	* Climas: Mesotópico húmedo, Mesotópico semi-húmedo, clima seco, frío Andino (2.500 hasta los 4.700 m. s. n. m.)  * Temperaturas entre los 10° C y 15° C.  * Vientos de drenaje, de montaña y valle.
Región Oriental o Amazónica	* Climas: tropical húmedo, vegetación abundante y posee pequeñas elevaciones, las cuales son poco pronunciadas.  * Viento es casi nula.
Región Insular o Archipiélago de Galápagos	* Clima: bastante seco en sus costas, clima de páramo en su región central, en donde predominan las brisas de mar y tierra, teniendo una velocidad de viento bastante aceptable lo cual nos permite el aprovechamiento de energía eólica en esta región del país.

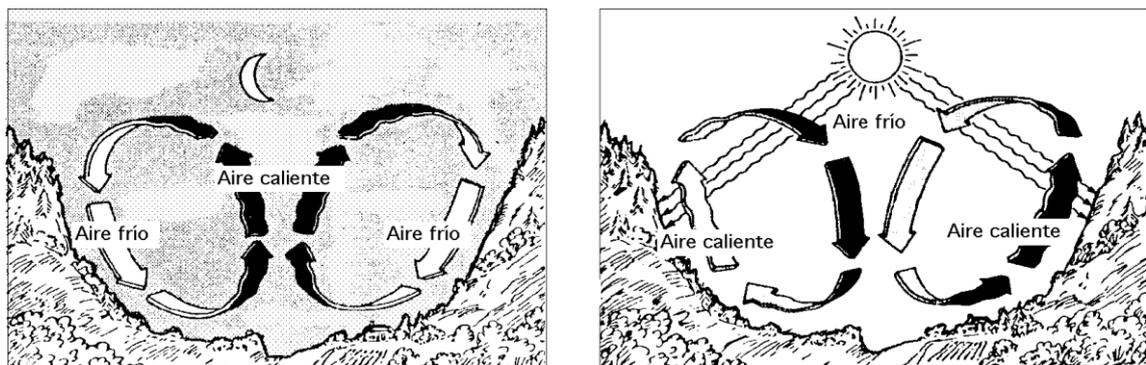
**Fuente: Grupo investigador.**

**Figura 4**  
**Generación de vientos tierra y mar.**



Fuente: Energía Eólica Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética (Universidad de Cantabria)

**Figura 5**  
**Vientos de montaña y valle.**



Fuente: Energía Eólica Departamento de Ingeniería Eléctrica y Energética (Universidad de Cantabria)

### 1.2.6. RELACIÓN POTENCIA MECÁNICA – VELOCIDAD DEL VIENTO.

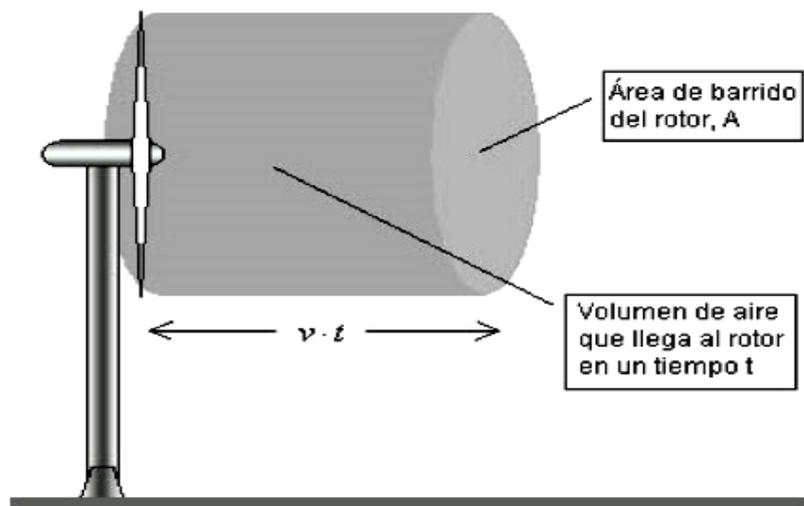
El funcionamiento de un aerogenerador inicia cuando este capta la energía cinética del viento por medio del rotor y las aspas, para luego transformar esta energía cinética en energía eléctrica.

**BURGOS A.** comenta que “La cantidad de energía transferida al rotor por el viento depende de la densidad del aire, " $\rho$ ", del área de barrido del rotor, " $A$ ", y de la velocidad del viento, " $v$ ".

Para deducir la formula correspondiente: Considere la figura (6) siguiente donde una cierta masa  $m$  de aire atraviesa las palas de rotor en un tiempo  $t$ :

Figura 6

Interacción del rotor con el flujo de aire.



Fuente: ENERGIA EÓLICA.

La energía cinética de la masa de aire, " $m$ ", moviéndose a una velocidad, " $v$ ", responde a la expresión:

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

Ec: 01

Si el volumen de aire que se mueve es " $V$ " y tiene una densidad " $\rho$ " su masa será:  $m = V \cdot \rho$ , con lo que su energía cinética será:

$$Ec = \frac{1}{2}\rho Vv^2$$

Ec: 02

La cantidad de aire que llegará al rotor de un aerogenerador en un tiempo "t" dependerá de: el área de barrido del rotor "A" y de la velocidad del viento.

El volumen del aire que llega al rotor será:

$$V = Avt$$

Ec: 03

La energía cinética que aporta el aire al rotor en un tiempo "t" será:

$$Ec = \frac{1}{2} \rho Avtv$$

Ec: 04

$$Ec = \frac{1}{2} \rho Atv^3$$

Ec: 05

Y la potencia aportada al rotor será:

$$P = \frac{1}{2} \rho Av^3$$

Ec: 06

A es el área del rotor tal que  $A = r^2$ , y r es el radio del rotor, esto es la longitud de la pala.

Aquí radica la importancia de conocer el comportamiento del viento en cualquier zona donde se evalúe y se desee instalar un aerogenerador. Cabe señalar que el análisis anterior corresponde a turbinas eólicas del tipo hélice de eje horizontal, que es el usado en nuestro proyecto y en la mayoría de los casos.

### **1.2.7. UTILIDAD O FORMAS DE USO DEL VIENTO.**

El uso final que se dé a la energía que se obtiene del viento puede ser muy variado y depende de la necesidad que se tenga en cualquier momento.

**CAMPOS T.** señala que:

**Los principales usos de este recurso energético han sido: bombeo de agua, molienda de granos y generación de electricidad. Podemos decir que las dos primeras aplicaciones tienen muchos años en la historia de la humanidad, mientras que la generación de electricidad es un tema de mucha importancia actual. (1997. Pág. 1).**

El principal aporte de la energía eólica por muchos años ha sido en bombeo de agua para uso doméstico y abrevar ganado. Esto se lo puede observar en miles de pequeñas granjas en diferentes partes del mundo.

Otra de las actividades en las que el hombre aprovechaba la energía eólica es en la molienda de granos secos, pero esto en el transcurso de los años ha pasado a segundo plano.

En el presente a la energía eólica se quiere aprovechar para la generación de electricidad, tanto para suministrar a la “red” como para atender pequeñas demandas domésticas (unifamiliares), en zonas

aisladas de las redes de distribución eléctrica, a través del cargado de baterías.

### **1.3. LOS AEROGENERADORES.**

Las máquinas empleadas para transformar la fuerza cinética del viento en electricidad reciben el nombre de turbinas eólicas o aerogeneradores. Estos se colocan sobre una columna o torre debido a que la velocidad del viento aumenta con la altura respecto al suelo. Además, se procura situarlos lejos de obstáculos (árboles, edificios, etc.) que crean turbulencias en el aire y en lugares donde el viento sopla con una intensidad parecida durante todo el tiempo, a fin de optimizar su rendimiento.

#### **1.3.1. TIPOS DE AEROGENERADORES.**

Los aerogeneradores principalmente se clasifican de acuerdo a la orientación de su eje de rotación, es así que durante varios años de investigación se han desarrollado varios tipos de aerogeneradores los mismos que se va a tratar de resumir en la tabla 4, estos son aplicables dependiendo de la zona geográfica en donde se encuentre el proyecto.

**PINILLA A.** comenta que “Durante las dos últimas décadas se dio un gran impulso al desarrollo de los equipos de conversión de energía eólica, siempre con miras en la búsqueda de alternativas al suministro de combustibles fósiles, como fuente de energía”. **(1997. Pág. 15)**

**Tabla 4**

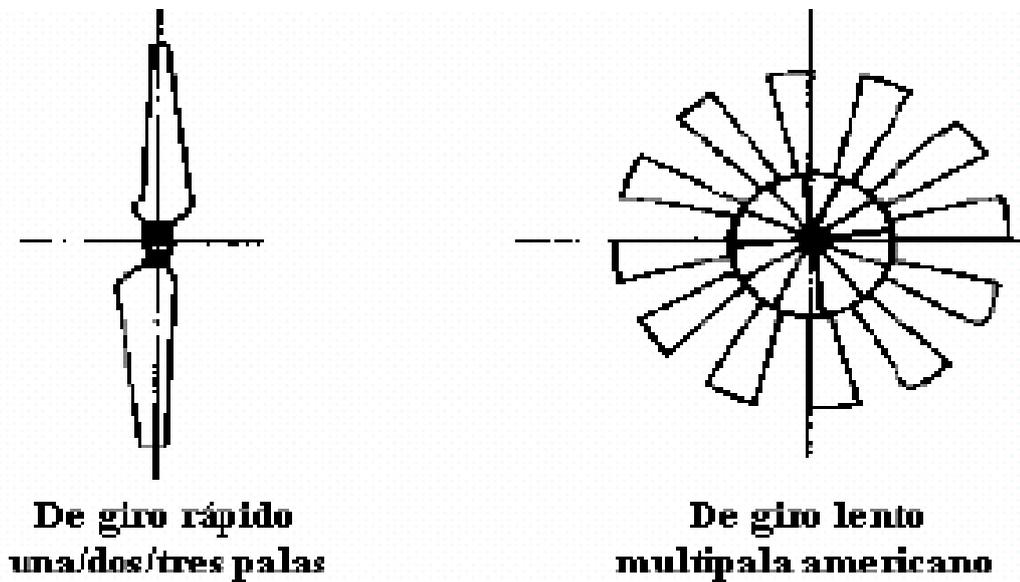
**Clasificación de los sistemas eólicos según su eje.**

<b>Tipos</b>	<b>Características</b>
Los Sistemas de Conversión de energía eólica de eje Horizontal	Estas máquinas están constituidas por una aeroturbina tipo rotor, que acciona un alternador eléctrico. El número de palas es, normalmente, de dos o tres, si bien existe también en la actualidad un prototipo de aerogenerador monopala. El principio de extracción de energía del viento es tal como sucede con los perfiles en las alas de los aviones.(Ver fig. 7, 8)
Los Sistemas de Conversión de Eje Vertical	Máquina de rotor tipo Savonius, cuya aleta recta tiene forma de S y en la que la acción fundamental del viento sobre ella tiene el carácter de resistencia. Esta máquina tiene un rendimiento bajo. (Ver fig. 9)
	Máquinas de rotor tipo Darrieus integrada por varias palas recta tiene la forma de un perfil aerodinámico. Las palas están unidas por sus extremos al eje vertical, estando arqueadas en una forma similar a la que tomaría una cuerda girando alrededor del eje, el ingenio resulta muy difícil de creer, que pueda girar por la acción del viento. Su funcionamiento resulta más lioso como ocurre con rotores de tipo hélice. (Ver fig. 10)

**Fuente: Grupo investigador.**

Figura 7

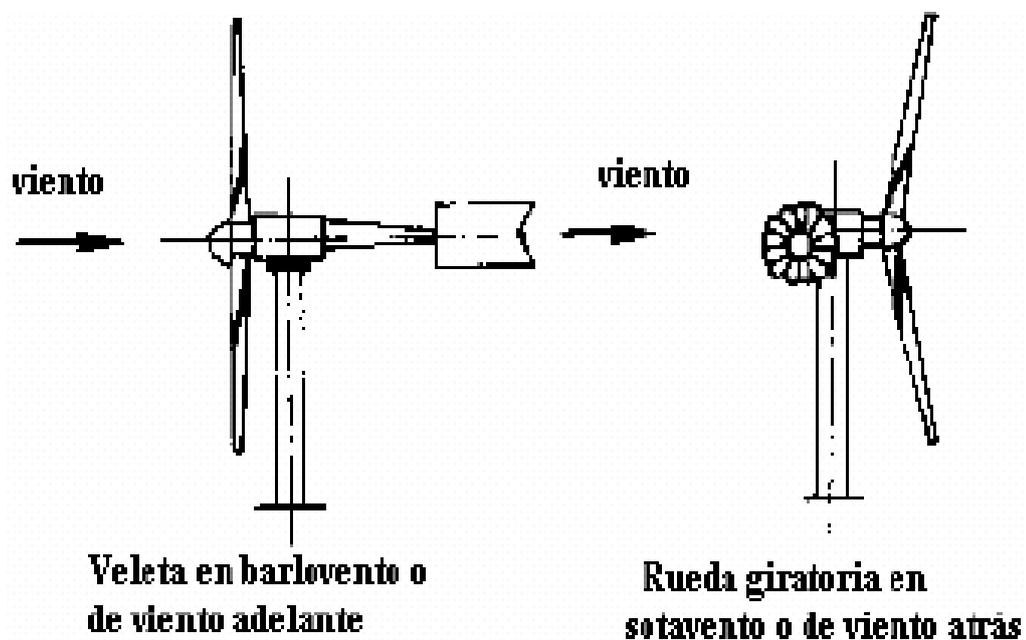
Aerogeneradores de eje horizontal.



Fuente: ENERGIAS RENOVABLES Conceptos y Aplicaciones.

Figura 8

Veletas de orientación para ejes horizontales.



Fuente: ENERGIAS RENOVABLES Conceptos y Aplicaciones.

**Figura 9**  
**Aerogenerador con rotor Savonius.**



**Fuente: La energía eólica en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia**

**Figura 10**  
**Aerogenerador con rotor Darrieus.**



**Fuente: La energía eólica en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia**

Las ventajas que presentan los aerogeneradores de eje horizontal son las siguientes:

- Su rendimiento es mayor que los de eje vertical.
- Su velocidad de rotación es más elevada que la de los aerogeneradores Darrieus, por lo que requieren cajas de engranajes con menor relación de multiplicación.
- La superficie de la pala es menor que en los modelos de eje vertical para una misma área barrida.
- Los sistemas de sujeción de los modelos Darrieus impiden elevar la turbina tanto como en los modelos de eje horizontal.

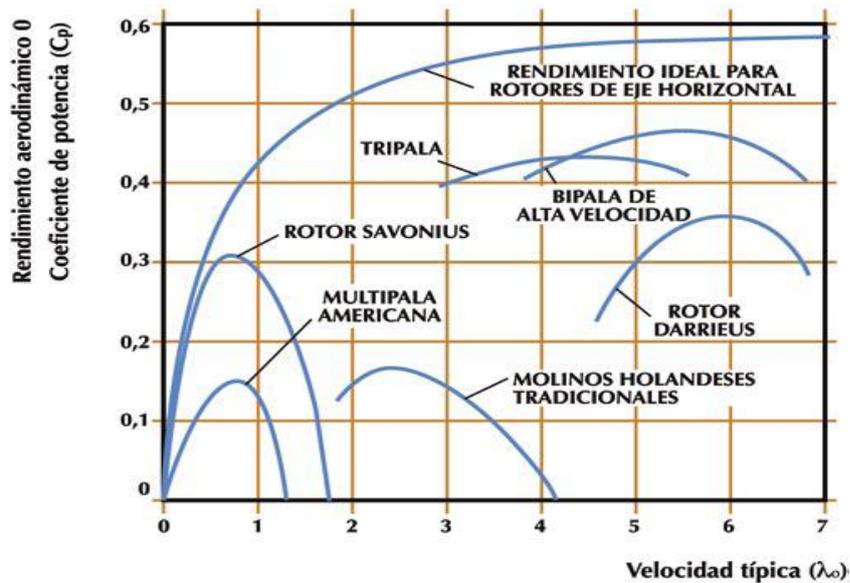
Como contrapartida, los aerogeneradores Darrieus tienen las siguientes ventajas:

- Su simetría vertical hace innecesario el uso de un sistema de orientación, como ocurre con las máquinas de eje horizontal para alinear el eje de la turbina con la dirección del viento.
- La mayoría de los componentes que requieren mantenimiento están localizados a nivel del suelo.
- No requieren mecanismo de cambio de paso en aplicaciones a velocidad constante.

En la tabla siguiente se pueden observar los rendimientos aerodinámicos de los distintos tipos de aerogeneradores.

Tabla 5

Comparación de los distintos tipos de aerogeneradores



Fuente: La energía eólica en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia

### 1.3.2. CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS EÓLICOS.

DELGADO J. comenta que:

Las aplicaciones de la energía eólica pueden agruparse en tres bloques principales: producción de energía eléctrica, transformación en trabajo y otras aplicaciones industriales. La primera de éstas es la más extendida y la que más se está utilizando en la actualidad. Estas aplicaciones básicas, se pueden llevar a cabo con sistemas de baja, media y alta potencia. (1998, P 29)

En la siguiente tabla se describen las características de los sistemas eólicos.

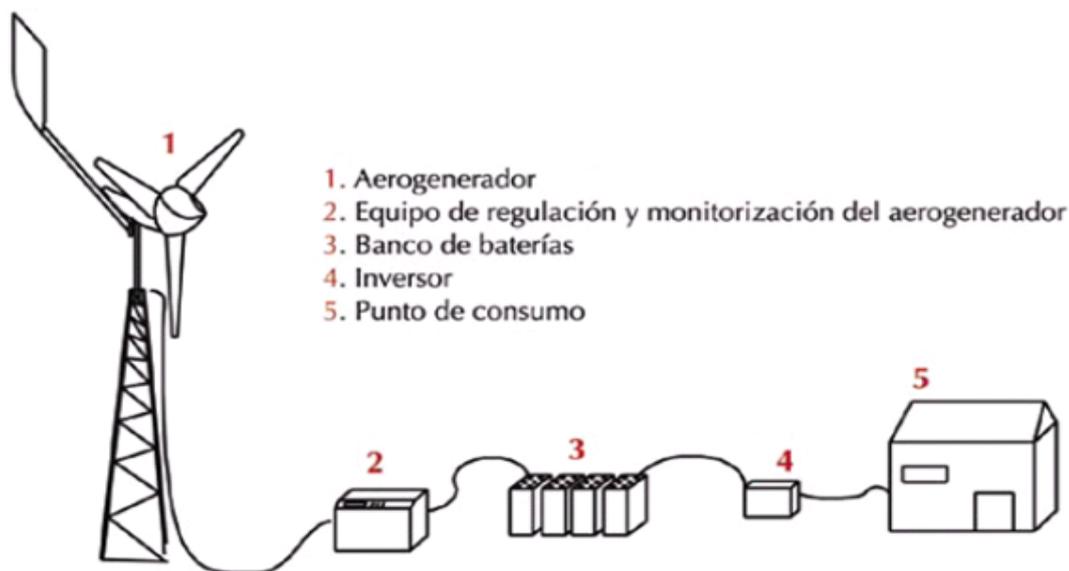
**Tabla 6**  
**Clasificación de los sistemas eólicos.**

<b>Clasificación</b>	<b>Características</b>
Sistemas de baja potencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Son máquinas pequeñas que se utilizan para alimentar cargas que están alejadas de las redes eléctricas, se combinan con bancos de baterías para almacenar la electricidad. (Ver fig. 11)</li> <li>➤ Suministran una potencia inferior a los 150 Kw</li> <li>➤ Sistema de abastecimiento totalmente autónomo y con una calidad de electricidad muy alta.</li> </ul>
Sistemas de media potencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ La potencia media de generación ronda los 150 Kw.</li> <li>➤ Estos sistemas se aplica a colectividades mayores,</li> <li>➤ Su utilización es como fuente complementaria conectada a la red local.</li> </ul>
Sistemas de alta potencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Son máquinas de gran tamaño que se conectan a una red eléctrica.</li> <li>➤ Los tamaños, en cuanto a producción de potencia se refiere, oscilan entre 300 Kw. y 2.500 Kw.</li> </ul>

**Fuente: Grupo investigador.**

Figura 11

Esquema de instalación eólica de baja potencia con acumulador.



Fuente: La energía eólica en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia.

### 1.3.3. COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR DE FLUJO AXIAL.

Un generador eólico de flujo axial consta de las siguientes partes:

- Rotor o turbina eólica
- Generador
- Estator
- Sistema de orientación y protección
- Torre

**1.3.3.1. Rotor o turbina eólica.-** Es un elemento mecánico formado por hélices o palas que giran sobre un eje perpendicular al plano formado por ellas. El número de palas puede variar desde rotores contruidos con una

sola pala, hasta los llamados rotores multipala que pueden tener una docena de palas o más, como los utilizados en los típicos molinos para bombear agua.

Los materiales empleados en la construcción de palas también son muy variados: madera, chapas metálicas, compuestos de resinas y telas de fibras, etc. Hay que tener en cuenta que las palas están sometidas a grandes esfuerzos debido a las potencias que deben transmitir al eje. Ello hace que sufran deformaciones debidas a flexión y torsión, además de estar sometidas a una gran fatiga, a las inclemencias atmosféricas y a los rayos solares, por lo que deben tener la suficiente resistencia.

**1.3.3.2. Generador.-** Es una máquina eléctrica que convierte la rotación de un eje en corriente eléctrica. Según el tipo de máquina, la corriente suministrada puede ser continua o alterna y dentro de esta última puede ser alterna monofásica o polifásica. Dentro de las polifásicas la más usada es la trifásica. Para el tipo de máquinas artesanales los generadores más empleados son los de corriente alterna con rotor de imanes permanentes. Esto es una ventaja ya que no se tiene que consumir ningún tipo de energía para producir los campos magnéticos necesarios, además de evitar el uso de bobinas giratorias, colectores y escobillas que sufren desgaste y precisan mantenimiento.

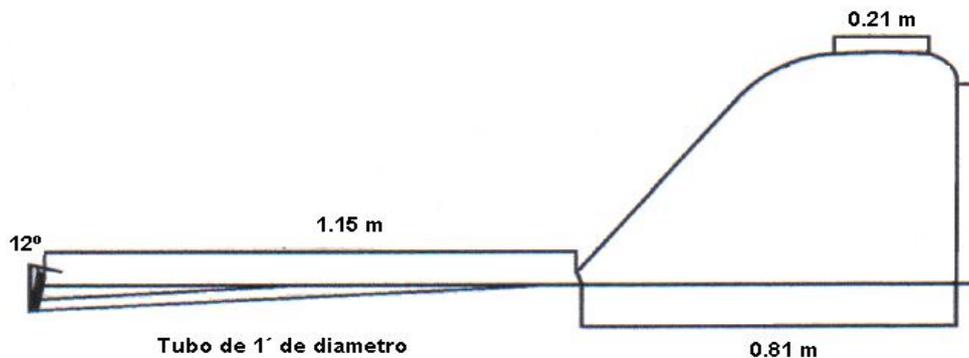
**1.3.3.3. Estator.-** Es un componente mecánico que está formado por un soporte en forma de disco. Es la parte interna del generador, tiene

características geométricas que facilitan el montaje de bobinas por las cuales atraviesan las líneas del campo magnético producido por el rotor.

**1.3.3.4. Sistema de Orientación y Protección.-** Es un componente mecánico cuya función es la de orientar a la turbina, manteniéndola siempre en la dirección del viento. Este sistema está compuesto por una veleta móvil que actuará como protección cuando la velocidad del viento supere los 12 m/s. Asimismo, esta veleta está dimensionada para lograr el equilibrio estático con el peso del conjunto turbina-generator, a fin de que su giro en la dirección del viento no presente dificultades y para evitar vibraciones.

Figura 12

Dimensiones y estructura de la veleta.



Fuente: Soluciones Prácticas, ITDG. / Fuente: Grupo investigador.

**1.3.3.5. Torre.-** Es el elemento mecánico que va a sostener a todo el conjunto que integra el aerogenerador, por lo tanto es una parte integrante del sistema de energía eólica. Las torres deben ser capaces de resistir rayos, vientos extremos, granizo, y formación de hielo.

**1.3.3.5.1. Tipos de Torres.-** Hay cuatro tipos básicos de torres: tubulares, de celosía (o enrejado), de mástil tensado e híbridas, en el siguiente cuadro enunciaremos las diferentes características que tienen cada uno de los tipos de torres.

**Tabla 7**  
**Tipos de torres existentes.**

<b>Tipos</b>	<b>Características</b>
<b>Torres Tubulares</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Suelen ser de acero con sección circular.</li> <li>✓ Dependiendo del tamaño pueden presentar con forma cilíndrica, troncocónica o una mezcla de ambas.</li> <li>✓ Suelen ser muy seguras para realizar las tareas de mantenimiento.</li> <li>✓ Estéticamente es agradable y moderno</li> <li>✓ Su instalación es fácil y rápida pero su costo es relativamente alto.</li> </ul>
<b>Torres de Celosía</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Este tipo de torres no se utiliza para grandes sistemas debido a que se debe llevar una revisión periódica en las uniones de los ángulos de acero y tornillos.</li> <li>✓ Tienen un costo relativamente bajo, son de fácil construcción y transporte.</li> </ul>
<b>Torres de Mástil Tensado</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Son las apropiadas para pequeños aerogeneradores por la ventaja del ahorro del peso y del costo, por lo que en nuestro proyecto es el tipo de torre a utilizar.</li> <li>✓ El difícil acceso a la zona alrededor de la torre es una principal desventaja.</li> </ul>
<b>Torres Híbridas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Están hechas con las diferentes combinaciones de las ya mencionadas.</li> <li>✓ Podría decirse que es un híbrido entre una torre de celosía y una torre tensada.</li> </ul>

**Fuente: Grupo investigador.**

#### **1.3.4. FUNCIONAMIENTO GENERAL DE UN AEROGENERADOR.**

El principio de funcionamiento de un aerogenerador es el de captar la energía cinética del viento por medio de su rotor aerodinámico y transformarlo en energía mecánica en el eje de rotación y esta energía mecánica se transforma en energía eléctrica por medio del generador.

#### **1.3.5. VENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA.**

La energía eólica presenta varias ventajas con respecto a los otros tipos de energía no convencional entre las cuales se pueden destacar las siguientes:

- El impacto al medio ambiente es mínimo ya que no emite sustancias tóxicas o gases, tampoco existen vertidos o grandes movimientos de tierra y no contribuye al efecto invernadero y al calentamiento global.
- El viento es una fuente de energía inagotable y abundante. Se estima que, teóricamente, existe el potencial eólico para suplir 15 veces la demanda actual de energía en el mundo.
- La tecnología no usa combustibles y el viento es un recurso del propio país, por lo que es una de las fuentes más baratas: cuando existe potencial comercialmente explotable puede competir en rentabilidad económica con otras fuentes tradicionales que tienen un impacto ambiental mucho mayor.
- En comparación con otras tecnologías aplicadas para electrificación rural, la operación de un sistema eólico es muy barata y simple. El

sistema no requiere mayor mantenimiento, aparte de una revisión periódica de las baterías, y una limpieza de las palas.

- Proyectos de energía eólica se pueden construir en plazos relativamente rápidos; por ejemplo, un parque eólico de 50 MW se puede instalar en un año.

### **1.3.6. DESVENTAJAS DE LA ENERGÍA EÓLICA.**

Como toda fuente de energía, la eólica tiene sus desventajas también:

- La variabilidad del viento: para proyectos aislados se requiere de un mecanismo de almacenamiento en batería de la energía generada, para poder disponer de energía cuando no haya suficiente viento. Esto representa un costo adicional al sistema.
- El alto costo inicial: en comparación con fuentes térmicas de generación, un proyecto eólico tiene un alto costo inicial. Si bien, a lo largo de su vida útil puede resultar más económico por sus bajos costos de operación y mantenimiento, la inversión inicial requerida puede ser una barrera para la realización del proyecto, sobre todo en zonas rurales aisladas.
- Cantidad de viento: es una opción factible y rentable sólo en sitios con suficiente viento, lo cual significa que no se puede aplicar en cualquier lugar.

- El impacto visual: desde el punto de vista estético, produce un impacto visual inevitable, ya que, por sus características, precisa emplazamientos físicos que normalmente evidencian la presencia de las máquinas.
  
- El impacto ambiental: debido a esto es necesario realizar un análisis ambiental que tiene como objetivo identificar, describir y valorar los efectos previsibles que el proyecto en sí puede provocar sobre los recursos naturales y el medio ambiente. Para ello se deben evaluar todos los posibles impactos en todas las fases del proyecto. Esto se lo debe realizar en aquellos proyectos en donde se planifique construir parques eólicos y cuya generación sobrepase los 5 MW de energía eléctrica.

## **CAPITULO II**

El presente capítulo está dedicado a la obtención de información complementaria, necesaria para el desarrollo óptimo de la tesis, por tanto el mismo inicia con una breve introducción de la provincia de Cotopaxi, sus características y división política. Se va a poner mayor énfasis en la parroquia rural de Múlalo perteneciente al Cantón Latacunga porque en este lugar nuestro proyecto investigativo se ha desarrollado.

La investigación empieza realizando un análisis de requerimientos energéticos básicos para una vivienda característica de este sector, además se midió las velocidades promedio que tiene el viento en distintas temporadas del año, para luego, con los resultados obtenidos proceder a diseñar y dimensionar el aerogenerador de bajas revoluciones.

Otros aspectos que también se ponen en consideración en el presente capítulo son los concernientes al planteamiento del problema, objetivo general y objetivos específicos, preguntas directrices que guiaron la investigación, el tipo de investigación empleado, los métodos y técnicas utilizados para el buen desarrollo de la misma, además se indica la importancia y relevancia que tienen investigaciones de este tipo así como también se indican limitaciones y supuestos resultados a obtener.

### **2.1. ASPECTOS GENERALES DE LA PROVINCIA DE COTOPAXI.**

La provincia de Cotopaxi ocupa 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 Km<sup>2</sup>, con una densidad poblacional de 52 habitantes por Km<sup>2</sup>. La cordillera luce altas cumbres nevadas como el Cotopaxi, Los Ilinizas y el Quilindaña. En el Oriente al pie del Quilindaña reposa la laguna del Yuracocha. Cerca del Cotopaxi están los páramos de Chapulas, Langoa, Baños, Salayambo, Mulatos y Pansachí, siendo en este último el lugar de ejecución de este proyecto.

La provincia de Cotopaxi tiene 7 cantones, con 45 parroquias, de las cuales 33 son rurales y 12 urbanas. Las parroquias están conformadas por comunidades, barrios o recintos (dependiendo si están en la costa, en las ciudades o en una jurisdicción indígena).

**Tabla 8**

**Área por cantones de la provincia de Cotopaxi.**

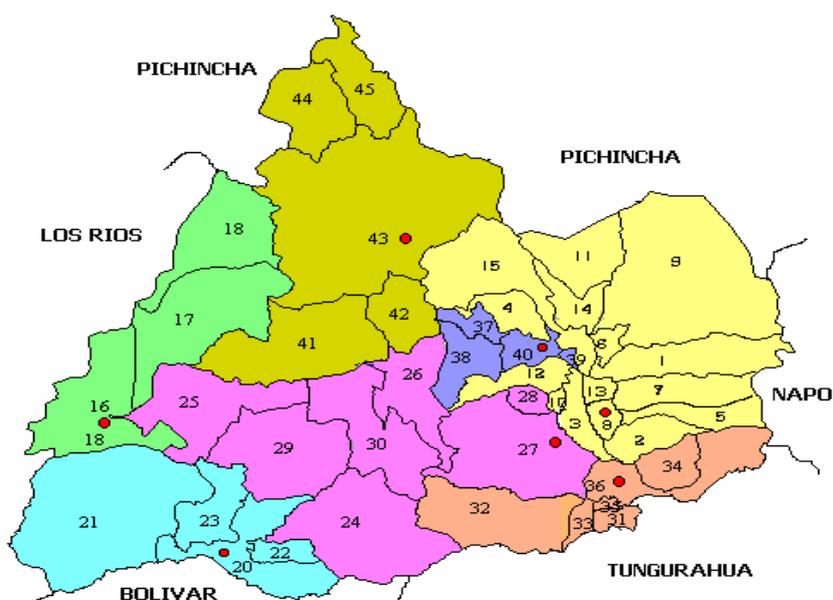
<b>CANTONES</b>	<b>AREA (Km.)</b>
Latacunga	1506 Km2
La Mana	663 Km2
Pangua	721 Km2
Pujilí	1308 Km2
Salcedo	443 Km2
Saquisilí	150 Km2
Sigchos	1175 Km2
<b>Total provincial.</b>	<b>5956 Km2</b>

**Fuente: Instituto Geográfico Militar  
Grupo investigador.**

De los siete cantones antes mencionados, 4 se ubican en la Región Sierra (Latacunga, Pujilí, Salcedo, Saquisilí), Sigchos comparte territorio entre la Región Sierra y la ceja de la montaña de la cordillera occidental y dos cantones (Pangua y La Mana) están ubicados en la zona occidental de la provincia, pertenecen a la zona subtropical y pertenecen a la Región Costa.

Latacunga es la capital de la provincia y lleva el mismo nombre que su cantón, está constituida por Parroquias urbanas que son: Eloy Alfaro (San Felipe), Ignacio Flores (Parque Flores), Juan Montalvo (San Sebastián), La Matriz y San Buenaventura; y las Parroquias rurales: Aláquez (Aláquez), Belisario Quevedo (Guanailín), Guaitacama (Guaytacama), Joséguango Bajo, Mulaló, 11 de Noviembre (Ilinchisi), Poaló, San Juan de Pastocalle, Tanicuchí y Toacaso.

**Figura 13**  
**Parroquia y cantones de Cotopaxi.**



**Fuente: Fuente: INFOPLAN, 2000**  
**Elaboración: Equipo Técnico del PPDC**

Tabla 9

Parroquias y cantones de Cotopaxi.

Código	Parroquia	Código	Parroquia	Código	Parroquia	Código	Parroquia
1	Aláquez	13	San Buenaventura*	24	Angamarca	35	Panzaleo
2	Belisario Quevedo	14	Tanicuchi	25	El Tingo	36	San Miguel*
3	Eloy Alfaro*	15	Toacaso	26	Guangaje	37	Canchagua
4	Guaytacama	16	El Carmen*	27	La Matriz Pujilí*	38	Cochapamba
5	Ignacio Flores*	17	Guasaganda	28	La Victoria	39	Chantilín
6	José Guango Bajo	18	Matriz La Maná*	29	Pilaló	40	La Matriz Saquisilí*
7	Juan Montalvo*	19	Pucayacu	30	Zubahua	41	Chugchilán
8	Matriz Latacunga*	20	El Corazón*	31	Antonio J. Holguín	42	Isinlivi
9	Mulaló	21	Moraspungo	32	Cusubamba	43	La Matriz Sigchos*
10	Once de Noviembre	22	Pinllopata	33	Mulalillo	44	Las Pampas
11	Pastocalle	23	Ramón Campaña	34	Mulliquindil Santa Ana	45	Palo Quemado
12	Poaló						

Fuente: Fuente: INFOPLAN, 2000  
 Elaboración: Equipo Técnico del PPDC  
 \* Parroquias urbanas.

La parroquia Mulaló se encuentra ubicada al norte del cantón Latacunga, cuenta con 21 comunidades y alrededor de 1620 familias, sus límites son: al norte con la provincia de Pichincha, al sur con las parroquias Aláquez y Joseguango Bajo, al este con la provincia de Napo y al oeste con las parroquias de Pastocalle y Tanicuchi. En su límite norte se encuentra ubicado el páramo de Pansachí el Morro con una altitud más o menos de 4000 msnm, en la cual se encuentra emplazada la Hacienda Tejar Miraflores que es en la cual se ejecutó el proyecto de construcción de un generador eólico de bajas revoluciones por parte de los postulantes a Ingenieros Electromecánicos de la Unidad Académica de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

## 2.2. VELOCIDADES DEL VIENTO TOMADAS EN LA ZONA DONDE SE INSTALÓ EL PROYECTO.

La información que se tomo como referencial para la realización de este proyecto es la que se pudo obtener del Aeropuerto Internacional de Carga Cotopaxi, las mediciones fueron realizadas en forma continua desde enero a diciembre del año 2009, las 24 horas del día.

En la siguiente tabla se detalla un resumen de los valores de velocidad del viento proporcionados por la institución antes mencionada.

**Tabla 10**  
**Valores de la velocidad de viento del año 2009.**

Año	Mes	V máx.	V min	Promedio
		m/s	m/s	m/s
2009	Enero	9,80	1,54	5,70
2009	Febrero	10,60	1,49	6,06
2009	Marzo	9,82	1,33	5,60
2009	Abril	10,02	1,27	6,00
2009	Mayo	10,64	1,32	6,00
2009	Junio	11,60	1,53	6,60
2009	Julio	13,40	1,93	7,70
2009	Agosto	13,50	2,34	7,92
2009	Septiembre	13,34	2,13	7,73
2009	Octubre	11,70	1,31	6,50
2009	Noviembre	10,53	1,56	6,04
2009	Diciembre	9,53	1,40	5,50
<b>Promedio General</b>				<b>6,45</b>

Fuente: Aeropuerto Internacional de Carga Cotopaxi.  
Grupo investigador.

### **2.3. REQUERIMIENTOS BÁSICOS DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN UNA VIVIENDA RURAL.**

El presente proyecto se desarrolló pensando principalmente en abastecer de energía eléctrica para cubrir las necesidades energéticas de la población rural o zonas a las que no abastece el Sistema Nacional Interconectado. Es importante indicar también, que antes de realizar los diseños técnicos y presentar la propuesta, fue necesario determinar las necesidades energéticas del sector rural a fin de dimensionar un modelo que por un lado ofrezca solucionar el problema de la falta de energía eléctrica en la población rural y por otro lado que su costo sea lo más accesible para ellos.

De acuerdo a investigaciones realizadas por las empresas eléctricas del país se ha determinado que el consumo en zonas rurales del país que tienen acceso a la energía eléctrica oscila entre los 10 y 20 kWh al mes. Se determinó también que el consumo de energía eléctrica en estos sectores está dirigido al alumbrado, reproductores de sonido pequeños y muy eventualmente algunos electrodomésticos pequeños.

En el diseño y construcción del generador eólico de bajas revoluciones se consideró la utilización de elementos y aparatos eléctricos y electrónicos con alto grado de eficiencia energética, los mismos que ayudaran a optimizar el uso de este aerogenerador.

En la tabla siguiente se detalla el uso que tendría la energía eléctrica generada por el aerogenerador de bajas revoluciones.

**Tabla 11**

**Requerimientos de energía básica de una vivienda.**

CARGA	UD	I (A)	V (V)	Uso semanal		n	P (W)	P sem. (Wh/sem)
				(h/d)	(d/se)			
iluminación patio	1	0,2	110	12	7	100%	25	2100
iluminación cocina	1	0,2	110	3	7	100%	25	525
iluminación dormitorio	1	0,2	110	4	7	100%	25	700
Radio - grabadora	1	0,1	110	8	7	100%	15	840
Electrodoméstico	1	6	110	2	7	100%	60	840
20% reserva							30	5005
<b>Total</b>							180	6006

Fuente: Grupo investigador.

## 2.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN.

El tipo de investigación aplicado en el desarrollo del presente proyecto fue de Tipo Experimental: Se presentó mediante la manipulación de una variable experimental no comprobada, en condiciones rigurosamente controladas, con el fin de describir ¿de qué modo? o ¿por qué causa? se produce una situación o acontecimiento particular.

Se trata de un experimento porque precisamente el investigador provoca una situación para introducir determinadas variables de estudio

manipuladas por él, para controlar el aumento o disminución de esa variable, y su efecto en las conductas observadas. El investigador maneja deliberadamente la variable experimental y luego observa lo que sucede en situaciones controladas. La experimentación es la repetición voluntaria de los fenómenos para ser verificados.

## **2.5. METODOLOGÍA.**

Las etapas desarrolladas durante la investigación experimental fueron las siguientes:

1. Delimitar y definir el objeto de la investigación o problema.
2. Plantear preguntas directrices de trabajo.
3. Elaborar el diseño experimental.
4. Realizar el experimento.
5. Analizar los resultados.
6. Obtener conclusiones.
7. Elaborar un informe por escrito.

## **2.6. PREGUNTAS DIRECTRICES.**

En el desarrollo del aerogenerador hay que tener en cuenta varios factores teóricos como son el funcionamiento de un generador eólico de flujo axial, sus componentes principales, su vida útil como también su

mantenimiento en caso de que se lo requiera, también hay que tener en cuenta parámetros como la velocidad, dirección y frecuencia del viento.

Teniendo en cuenta los conocimientos teóricos se debe conocer las necesidades eléctricas básicas de una vivienda rural para poder determinar factores como la potencia para el que será dimensionado el generador eólico, esto permitirá cubrir las necesidades eléctricas que demanda la vivienda ubicada en la hacienda Tejar Miraflores de Pansachí el Morro y mejorar el bienestar social de los habitantes del sector antes mencionado.

## **2.7. FUENTE DE DATOS PRIMARIOS.**

Para la obtención de los datos primarios se realizó un encuentro con la persona encargada del cuidado de la Hacienda Tejar Mira Flores, en este encuentro logró obtener información valiosa para poder iniciar con el diseño del aerogenerador eólico que hoy se encuentra instalado en ese sector de la provincia de Cotopaxi.

## **2.8. FUENTE DE DATOS SECUNDARIOS.**

Estos se obtuvieron de diversas fuentes, entre las que están, la información propia de la zona, datos históricos del clima y el diario vivir de los habitantes del sector, estos datos son internos debido a que se originan dentro de la zona en la cual se realizó la investigación.

Como fuente de datos externos están la información de la Torre del Aeropuerto Internacional Cotopaxi, que cuenta con un centro

meteorológico, el mismo que nos proporcionó datos relacionados con la velocidad del viento en los diferentes meses del año, además de información teórica obtenida de publicaciones tales como libros, artículos, revistas especializadas e información de Internet.

## **2.9. POBLACIÓN.**

El sector de Pansachi el Morro se caracteriza por tener un número reducido de habitantes, debido a la falta de recursos básicos para poder subsistir en el medio. De las pocas personas que habitan en este lugar la gran mayoría trabaja en actividades relacionadas con los recursos naturales como, la ganadería y la agricultura. La pesca es un medio de recreación debido a que en la zona existen varios riachuelos en donde habitan pequeñas especies de peces de agua dulce (truchas).

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CONCLUSIONES.**

Luego de realizada la investigación de campo y una entrevista informal con los habitantes de la Hacienda Tejar Miraflores se concluyó lo siguiente:

La implementación de un Generador Eólico de Bajas Revoluciones está en la capacidad de cubrir la demanda energética básica de la vivienda y mejorar el bienestar social y económico de sus habitantes.

El viento se presenta como un recurso renovable inagotable, que permite ser utilizado para la generación de energía eléctrica en lugares aislados del Sistema Nacional Interconectado.

La generación de energía eléctrica mediante recursos renovables constituye una opción importante, ya que es una tecnología que está en crecimiento y que ayuda a la conservación del medio ambiente.

### **RECOMENDACIONES.**

Con la implementación de este proyecto piloto se busca obtener aceptación para ser aplicado en otras zonas rurales de la provincia o donde se lo requiera, por lo que se recomienda a las instituciones públicas y privadas a que impulsen el desarrollo de esta tecnología renovable, ayudando así al desarrollo social de los pueblos alejados que carecen de suministro eléctrico.

Concientizar y capacitar a los habitantes de las zonas rurales a la utilización de los recursos renovables para cubrir necesidades energéticas, a la vez se impulsará con la conservación del medio ambiente.

En los páramos de la provincia de Cotopaxi al tener un potencial eólico aceptable se recomienda la difusión de esta tecnología, que en un futuro sea una opción importante para el abastecimiento de energía eléctrica a estas zonas alejadas de las redes de distribución eléctrica.

### CAPITULO III

Este capítulo está dedicado exclusivamente al dimensionamiento y construcción del Generador Eólico de Bajas Revoluciones para los cuales se tomó como punto de partida la información previa de la tesis.

Para el dimensionado de un generador eólico se precisa valorar determinados parámetros. Uno de ellos es la ubicación donde se emplazara el aerogenerador; es necesario tener en cuenta que la potencia obtenida varía con respecto al cubo de la velocidad del viento. Por tanto, el mayor rendimiento se obtendrá en los lugares de mayor velocidad. Además, hay que tomar en cuenta que la velocidad aumenta con la altura, mientras que las zonas con obstáculos interfieren y alteran su potencia y dirección. Otro punto de importancia radica en la estabilidad que presente el viento.

El dimensionamiento del generador se lo realizó con la información obtenida de la zona, respecto a la velocidad del viento y debido a los datos obtenidos se propone como solución la construcción de un generador eólico de bajas revoluciones con imanes permanentes de flujo axial, además con esta información se realizan los cálculos matemáticos y de ingeniería para dimensionar el tamaño del rotor, número de polos y bobinas y además los equipos de electrónica que se requieren para la operación de éste.

### 3.1. JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA.

La solución propuesta es la construcción de un aerogenerador eólico de bajas revoluciones de flujo axial con imanes permanentes, el mismo que consistente en un generador sincrónico confeccionado con discos móviles de imanes permanentes con el que se obtiene el flujo magnético de campo y un disco fijo de enrollados que conforman el estator.

Las razones por las cuales se eligió este tipo de equipo como solución, son las que se exponen a continuación:

- Acoplamiento directo de las partes móviles del generador con las aspas, que evita el uso de una caja multiplicadora de revoluciones. Estas cajas multiplicadoras agregan vibraciones, ruido y fatiga al sistema de generación, además de requerir lubricación y mantenimiento.
- Los rotores, con los imanes que los componen actúan como ventiladores, enfriando los enrollados de estator.
- Se aumenta la eficiencia, al eliminar las corrientes de excitación y las pérdidas que éstas conllevan, con lo que finalmente se disminuye el costo de operación del equipo.
- Alta relación potencia/tamaño.
- Se aumenta la confiabilidad del equipo al disminuir las piezas que lo componen.

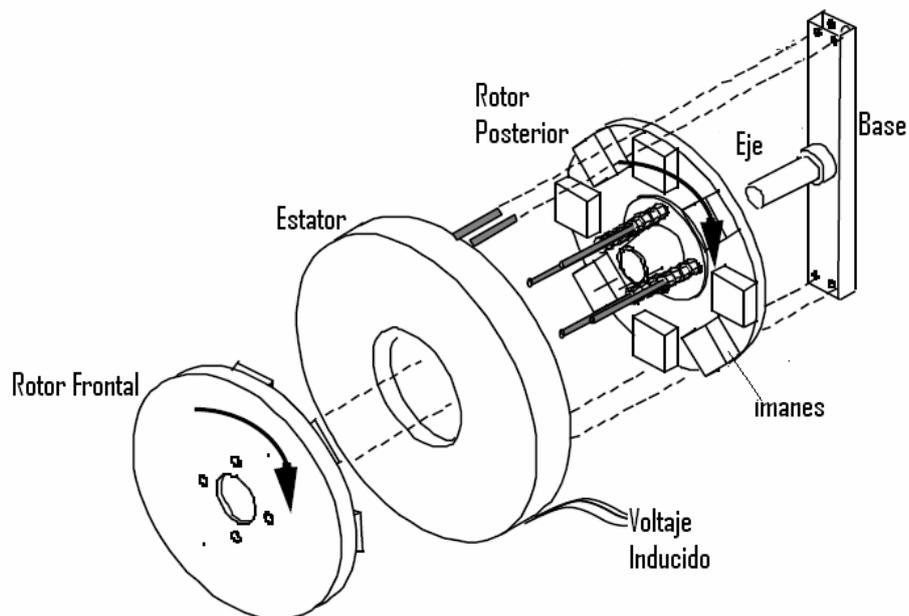
## 3.2. CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR DE BAJAS REVOLUCIONES POR MINUTO.

### 3.2.1. Principio de funcionamiento.

En un generador de flujo axial, el flujo magnético pasa por las bobinas en dirección paralela al eje de la máquina. Se compone de un rotor frontal, un estator y un rotor posterior. Ambos rotores están unidos por un eje longitudinal. La disposición de estas partes en el generador se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 14

Estructura de un generador eólico de imanes permanentes de flujo axial.



Fuente: Diseño de Aerogeneradores con Imanes Permanentes para Aplicaciones en Electrificación Rural/ Grupo investigador.

El estator contiene bobinas de alambre de cobre, en las cuales se induce el voltaje producto del flujo variable que produce el campo

magnético de los imanes permanentes ubicados en los rotores frontal y posterior. El estator está montado en una base fija, inmóvil.

Los imanes permanentes se ubican de forma tal que el flujo magnético pasa de un rotor a otro, cruzando a través de las bobinas del estator, mientras el eje del rotor gira; se induce así el voltaje sinusoidal en los terminales de las bobinas.

### 3.3. CONSTRUCCIÓN DE LAS ASPAS DEL GENERADOR EÓLICO.

El diseño del alabe está basado en la teoría del ala, utilizando un perfil estandarizado para las secciones de los alabes. Para el cálculo de las dimensiones del rotor se ha empleado las siguientes ecuaciones aerodinámicas:

#### 3.3.1. Cálculo del diámetro del rotor.

Se obtiene a partir de la ecuación de potencia de la turbina eólica:

$$d = \sqrt{\frac{8 \times P}{\pi \times \rho \times v^3 \times C_p \times \eta_e \times \eta_t}}$$

Ec: 07

Donde:

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

P: Potencia de diseño del aerogenerador (W)

$\rho$ : Densidad del aire, (1,23 kg/m<sup>3</sup>)

V: Velocidad del viento (m/s)

A: Área barrida por la turbina (m<sup>2</sup>)

$C_p$ : Coeficiente de potencia (adimensional)

$\eta_e$ : Eficiencia del generador

$\eta_t$ : Coeficiente de transmisión.

Reemplazando tenemos:

$$d = \sqrt{\frac{8 \times 180}{\pi \times 1.23 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \times (6.5 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3 \times 0.80 \times 0.35}}$$

$$d = \sqrt{\frac{1440}{297}}$$

$$d = \sqrt{4.84}$$

$$d = 2.2$$

La velocidad de giro de la turbina eólica se obtiene de la siguiente expresión:

$$N = \left( \frac{60 \cdot \lambda \cdot V_D}{\pi \cdot d} \right)$$

Ec: 08

Donde:  $\lambda$ : Celeridad

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

$V_D$ : Velocidad de diseño (m/s).

Reemplazando tenemos:

$$N = \left( \frac{60 \times \lambda \times V_D}{\pi \times d} \right)$$

$$N = \frac{60 \times 5 \times 6.5}{\pi \times 2.2}$$

$$N = \frac{1960}{6.5}$$

$$N = 301.5 \text{ rpm}$$

El número de revoluciones máximo del rotor se calcula mediante la siguiente expresión, si se sobrepasara esta cifra puede ser peligroso para el sistema:

$$N^\circ \text{ R.P.M. máx.} = 2000/\text{diámetro (m)}$$

Ec: 09
--------

Reemplazando valores se obtiene:

$$N^\circ \text{ R.P.M. max} = \frac{2000}{2.2}$$

$$N^\circ \text{ R.P.M. max} = 909 \text{ rpm}$$

Dado que los generadores actuales tienen eficiencias sobre el 90%, sin embargo, puesto que en este caso se trata de un generador de bajo costo, sin todas las mejoras que pueden ayudar a lograr dichas eficiencias, se considera una eficiencia del 80%.

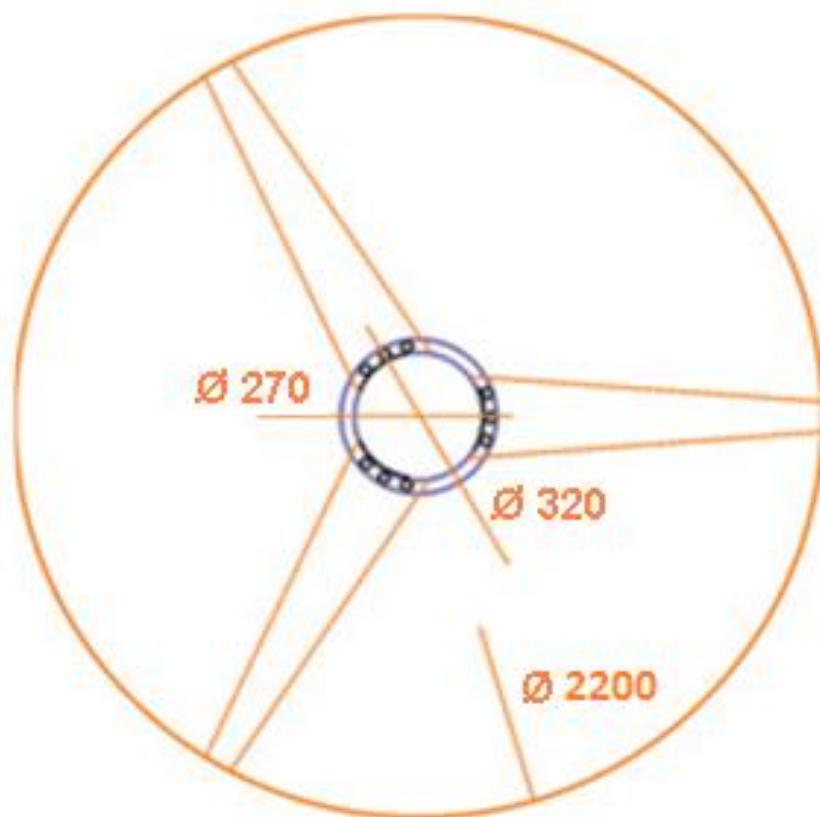
El valor seleccionado para la celeridad de diseño, es un valor moderado, conveniente para zonas de régimen de vientos moderados,

como es el caso de la mayoría de zonas de posible aplicación de esta turbina eólica, se puede considerar también como un valor conservador.

En la siguiente figura se describe el diagrama de distribución de las palas en el rotor eólico con sus respectivas dimensiones.

**Figura 15**

**Diagrama y dimensiones del rotor eólico acoplado al generador tipo disco.**



**Fuente: Grupo investigador.**

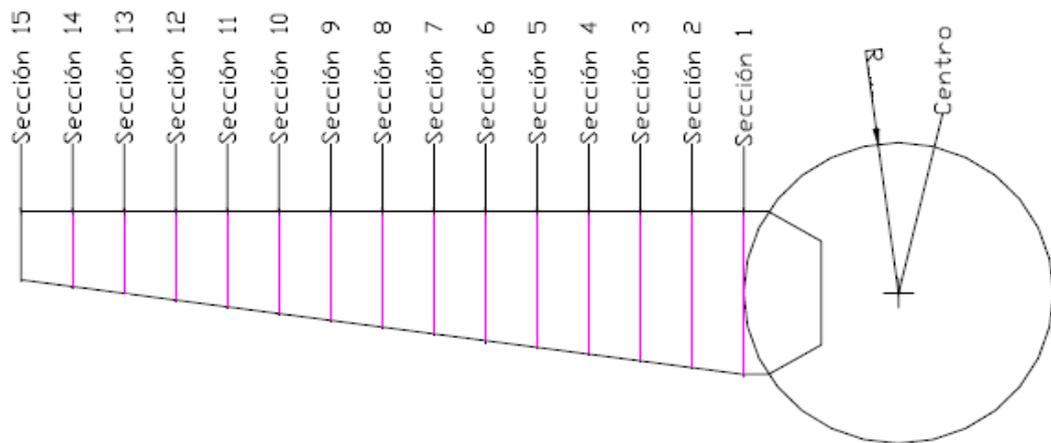
### **3.3.2. Selección del alabe.**

Se selecciono el perfil NACA 4412 por su buen  $C_l$  (Coeficiente de sustentación), su facilidad para la fabricación y porque tiene una sección

relativamente gruesa que permite soportar los esfuerzos en la raíz del álabe, aunque esta rigidez tiene que ver también con los materiales que se utilizan.

**Figura 16**

**Ubicaciones de las secciones del álabe.**



**Fuente: Desarrollo Tecnológico de Micro aerogeneradores Eólicos. Perú 2001**

Las palas están fabricadas y diseñadas con el fin de alcanzar un balance óptimo en la captación eficaz de la energía del viento y lograr una mínima carga sobre la turbina, al mismo tiempo que un funcionamiento libre de problemas.

Las palas de un aerogenerador se diseñan bajo formas constructivas y con materiales que deben atender los requisitos que se describen en la siguiente tabla.

**Tabla 12**

**Características de las palas de los rotores de un aerogenerador.**

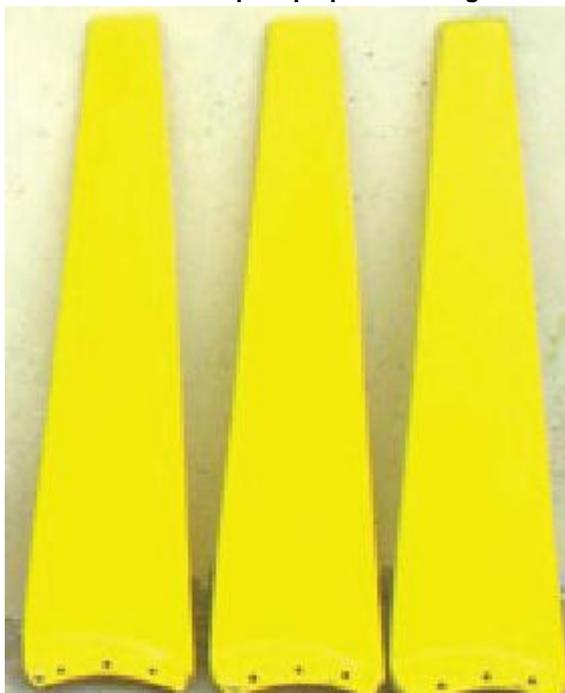
<b>Requisitos</b>	<b>Características</b>
Resistencia estructural	Capaces de soportar cargas máximas permisibles que puedan ocurrir durante la vida útil de la maquina sin causar daños.
Resistencia a la fatiga	Capaces de soportar las cargas de fatiga durante el funcionamiento de la máquina.
Rigidez	Rigidez mayor que la mínima necesaria para evitar inestabilidades.
Peso	Debe ser mínimo para evitar las cargas de tipo inercial y gravitatorio sobre los diversos componentes de la máquina.
Fabricación	Facilidad de fabricación que requiere técnicas y materiales adaptado a la maquinaria y tecnología existente en el medio.
Resistencia a los medios ambientales	Resistencia ala corrosión en ambientes húmedos y a la degradación por la radiación solar.
Minimizar la emisión de ruido acústico	Diseño encaminado a producir el mínimo impacto acústico para facilitar la instalación de estos sistemas cerca de sitios habitados,

**Fuente: Grupo investigador.**

El material empleado para la construcción de las palas de este aerogenerador es la fibra de vidrio, puesto que este material está siendo últimamente utilizado en la construcción de aerogeneradores de pequeño tamaño, ya que posee indudables ventajas como son: su baja densidad, alta disponibilidad en el mercado, buenas características de fatiga, bajo coste y fácil mecanizado.

**Figura 17**

**Palas de fibra de vidrio para pequeños aerogeneradores.**



**Fuente. Micro aerogenerador IT-PE-100 para Electrificación Rural. Soluciones Prácticas ITDG.**

### **3.4. CONSTRUCCIÓN DEL GENERADOR ELÉCTRICO.**

El generador eléctrico que se utiliza es de imanes permanentes, su elección se debe principalmente al hecho de que este tipo de generadores trabaja muy bien a velocidades de giro variables que son las que se obtienen con una turbina de viento.

Para el diseño del generador de imanes se consideraron los siguientes parámetros:

- Velocidad nominal igual a la de la turbina (301 r.p.m.)
- Imanes permanentes.
- Generación de corriente alterna y rectificad a corriente continúa.

- Poco peso y fácil construcción.

En la siguiente figura se puede apreciar el rotor frontal y trasero que componen el aerogenerador.

Figura 18

Rotor frontal y posterior del aerogenerador.



Fuente: Grupo investigador/ Tomado en el momento de la construcción

### 3.5. CÁLCULO DEL NÚMERO DE POLOS Y BOBINADOS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

#### 3.5.1. Número de polos.

El número de polos que presentará el aerogenerador tiene directa relación con la frecuencia del voltaje que se desea generar, en nuestro caso 60 Hz que es la frecuencia a nivel nacional.

$$v = 6.5 \frac{m}{s} \Rightarrow P = \frac{60}{0.37 \times 6.5} = 39 \text{ polos} \quad \boxed{\text{Ec: 10}}$$

Como se puede apreciar realizados los cálculos necesarios tomando como dato la velocidad promedio del viento en la zona donde se implantó el proyecto llegamos a la conclusión de que necesitarían 39

polos lo cual hace no factible su construcción debido a inconvenientes de costo, peso y espacio principalmente.

Por estas razones se optó utilizar un sistema de rectificación e inversión de corriente eléctrica, el mismo que nos ayuda a llegar a los 60 Hz con un número menor de polos. Es así que se eligen 8 pares de polos. La configuración a usarse, de rotor delantero y trasero, ambos con imanes permanentes nos indica que son 16 imanes los que se van a utilizar para la construcción del aerogenerador. Obsérvese la siguiente figura.

**Figura 19**  
**Número de polos distribuidos en los rotores.**



Fuente: Grupo investigador/ Tomada en el momento de la construcción.

### **3.5.2. Número y tamaño de las bobinas.**

Para este caso, el de un generador trifásico, se tiene la siguiente relación entre el número de bobinas posibles de implementar y el número de polos del generador:

$$Nb = \frac{3 \times P}{K}$$

$$K=1,2,3,4\dots$$

Ec: 11

$$Nb = \frac{3 \times 8}{4} = \frac{24}{4} = 6 \text{ bobinas}$$

Tomando  $k = 4$ , y colocando 8 polos en el generador, se requiere 6 bobinas (2 por fase), las cuales es posible conectarlas de forma tal que los campos enlazados por ellas puedan sumarse.

En la siguiente figura se puede observar la forma de distribución de las seis bobinas en el estator, como también su forma y las dimensiones con las que fueron construidas.

**Figura 20**

**Distribución de las bobinas en el estator.**



Fuente: Grupo investigador/ Tomado en el momento de la construcción.

### **3.5.2.1 Tamaño de las bobinas.**

Las bobinas deben enlazar la totalidad del flujo generado por los imanes, por lo tanto deben poseer un área mayor que la que tienen los imanes.

Figura 21

Tamaño de la bobina con respecto al bloque magnético.



Fuente: Grupo investigador/ Tomado en el momento de la construcción.

Así se eligió una bobina que sigue la forma del imán, con una holgura de 10 mm. Por lado, lo que la deja con dos lados de 50 mm., uno de 80 mm., y uno de 40 mm dando un perímetro total de 220 mm. Ver figura 21

### 3.5.2.2 Número de espiras.

Para el número de espiras por fase del generador eólico se toma un valor  $N_c$  un tanto arbitrario (tratando de cubrir el espesor del imán), el cual tendrá que variar posteriormente en caso no cumplir con las expectativas de este proyecto. Para el primer cálculo se tomaron los siguientes valores:

$N_c = 200$                       Número de espiras por fase

$M_b = 2$                          Número de bobinas por fase

El número de bobinas por fase se determina debido a que contamos con 6 bobinas, y dado que se trata de un sistema trifásico, a cada fase le corresponde 2 bobinas.

$$Nb = \frac{Nc}{Mb} = 100 \quad \text{Número de espiras por bobina.}$$

Ec: 12

### 3.5.2.2.1 Selección del conductor.

Para este tipo de aplicaciones se recomienda utilizar cables cuyos tamaños vayan entre 14 y 18 AWG, ya que esos tamaños son suficientemente gruesos como para disminuir las pérdidas óhmicas, y a la vez suficientemente delgados como para poder manejarlos y confeccionar las bobinas. Por tanto, se ha elegido utilizar cable de cobre esmaltado N° 18 AWG para este caso.

## 3.6 SELECCIÓN DE LOS IMANES A UTILIZAR.

Para la construcción de los discos de imanes permanentes cuyo conjunto corresponde al rotor del aerogenerador, se consideraron imanes de Ferrita. Los mismos que son de forma cuadrada y sus dimensiones aproximadamente son las indicadas en la siguiente tabla.

**Tabla 13**  
**Dimensiones de los imanes.**

Largo	50 mm
Ancho	50 mm
Espesor	20 mm

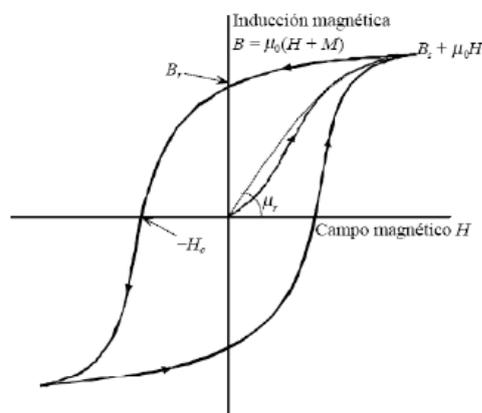
**Fuente. Grupo investigador.**

La principal utilidad que tienen los imanes es que almacenan gran cantidad de energía eléctrica y esta no se consume durante el funcionamiento de la máquina. Cuando se utilizan dentro de los límites de funcionamiento los imanes retienen la energía durante un periodo indefinido de tiempo.

El utilizar imanes permanentes tiene otras ventajas entre las que se puede mencionar está el que no genera pérdidas en el cobre al producir el campo magnético.

Los imanes permanentes son materiales magnéticos duros que se caracterizan por tener grandes ciclos de histéresis. Cuando un material magnético se sitúa dentro de un campo magnetizante (entre los polos de un electroimán) la densidad de flujo del material crece siguiendo la curva desde el origen hasta el punto máximo de la figura, que es la curva de magnetización inicial. Este valor es indicativo de la cantidad de flujo magnético que el material puede producir.

**Figura 22**  
**Curva de magnetización de un material magnético.**

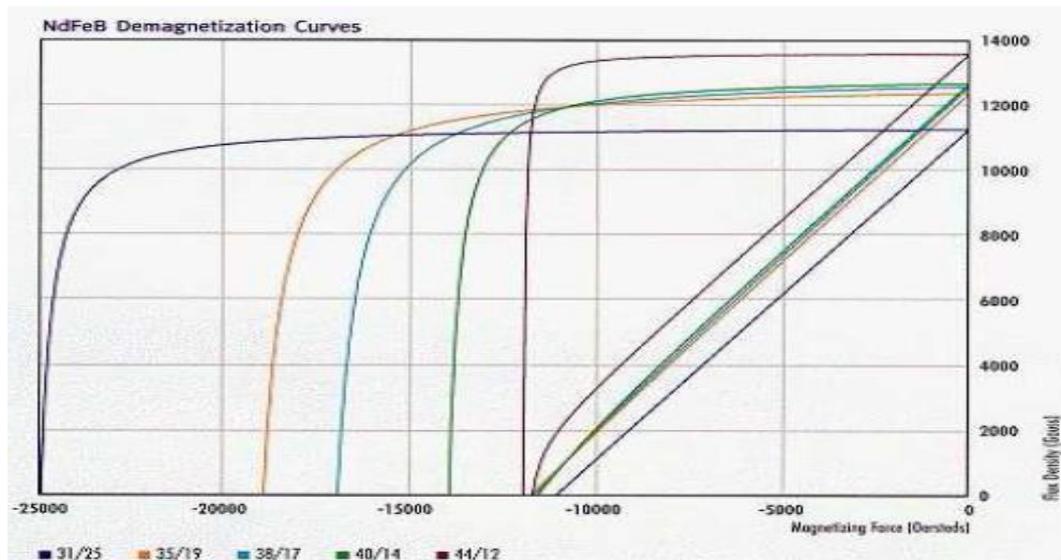


**Fuente: Diseño e Integración de Instalación de un Sistema de Producción de Energía Eólica Doméstica.**

La curva de magnetización de los diferentes tipos de imanes permanentes comerciales con características aptas para la construcción de un generador de imanes permanentes como los que se requirieron en este proyecto se la puede apreciar en el siguiente gráfico.

Figura 23

Curva de magnetización de diferentes tipos comerciales de imanes permanentes.



Fuente: Diseño e Integración de Instalación de un Sistema de Producción de Energía Eólica Doméstica

### 3.7 CÁLCULO TEÓRICO DE LA TENSIÓN EFICAZ INDUCIDA EN UNA BOBINA.

Para calcular la tensión o fuerza electromotriz inducida ( $e$ ) en una bobina habrá que calcular primeramente cómo varía el flujo en el tiempo, ya que la tensión inducida se calcula con la siguiente expresión:

$$e = \frac{-d\phi}{dt}$$

Ec: 13

Donde:

$e$  = fuerza electromotriz inducida (V)

$\varphi$  = flujo magnético (Wb)

El flujo en este caso se obtiene utilizando la fórmula:

$$\varphi = B(t) \cdot S \cdot N$$

Ec: 14
--------

Donde:

$B(t)$  = 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 (número de vueltas)

El flujo magnético en este tipo de aerogenerador es un flujo axial (es decir perpendicular al radio de giro del aerogenerador), de manera que los rotores de imanes permanentes generan un campo magnético entre cada uno de sus pares de polos de manera alterna.

### **3.7.1. Cálculo de la superficie S.**

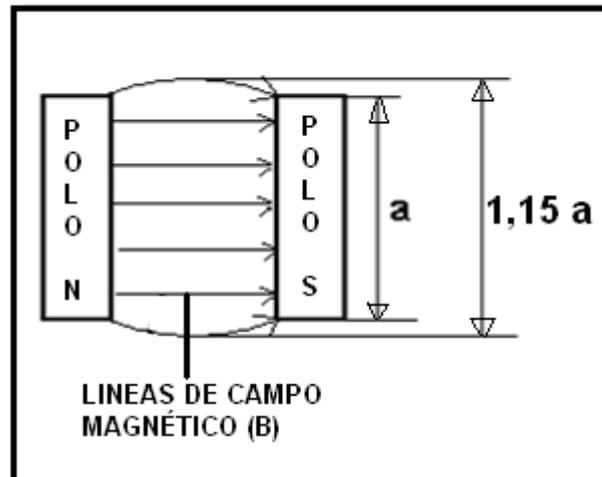
La superficie a tener en cuenta es inferior a la superficie media de la bobina ya que el flujo de campo magnético abarca una superficie inferior a las dimensiones de las bobinas.

De esta manera se puede suponer que las líneas de inducción magnética abarcan una superficie cuadrada casi idéntica a la superficie

de los bloques magnéticos, pero algo superior ya que la disposición de las líneas de campo magnético son un poco abombadas debido a la distancia existente entre los imanes. Ver la siguiente figura.

Figura 24

Líneas de campo magnético y su ocupación entre los imanes.



Fuente: Grupo investigador.

Cuando la superficie de los imanes sea inferior a la superficie media abarcada por una espira se utilizará la siguiente fórmula:

$$S = (1.15 * a)^2$$

Ec: 15

Donde:

a = dimensión del bloque magnético (m)

S = (m<sup>2</sup>)

Al reemplazar valores se obtiene:

$$S = (1.15 * a)^2$$

$$S = (1.15 * 0.05m)^2$$

$$S = 0.00033m^2$$

### 3.7.2. Cálculo del campo magnético uniforme B.

Para calcular el campo magnético uniforme B, que se crea al colocar dos imanes de las mismas características, enfrentados con polaridad opuesta, hay que conocer varios parámetros característicos de los imanes como son: forma de colocación y clase de material que se interpone entre ellos.

Los parámetros de los que depende el campo magnético B creado entre los imanes son: la distancia entre imanes, la dimensión de un polo del imán (50x50mm), la inducción realizada en Br (T) característica del tipo de imán (para los imanes de Ferrita demandados en este proyecto es de 0,38 T) y finalmente es determinante el tipo de material que se encuentra entre los imanes y las propiedades magnéticas de éste.

En un estudio realizado por ITDG y la UNI se determinó que el campo magnético uniforme B para imanes de Ferrita es de 0,2 T. Con lo que se demuestra que hay una relación proporcional entre B y Br, que se mantiene constante como se ha deducido en la siguiente tabla:

Tabla 14

Relación entre la inducción remanente y la inducción exterior.

Tipo de imán	Inducción remanente Br (T)	Inducción creada en el estator B(T)	Relación Br/B
Ferrita	0,38	0,2	1,900

Fuente: Datos de ITDG y la UNI.

Grupo investigador.

Por lo tanto, el campo magnético uniforme  $\beta$  (T), creado por los dos rotores (plano del estator), para el generador de imanes permanentes descrito en este documento puede tomarse como:

$$\beta = \beta_r / 1,9.$$

Ec: 16

$$\beta = \frac{0.38}{1.19}$$

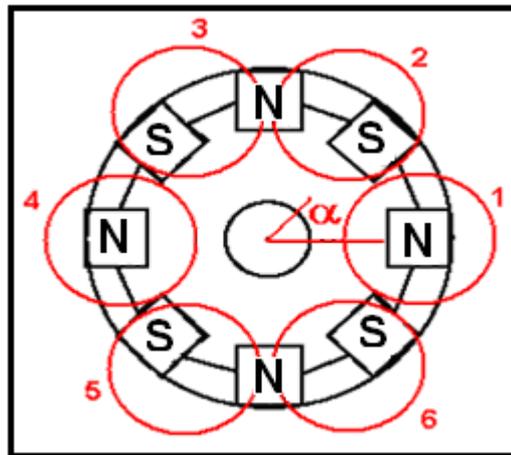
$$\beta = 0.327 T$$

### 3.7.3. Cálculo teórico de la tensión de salida del generador.

Para calcular la tensión alterna de salida que aportan todas las bobinas que forman el estator del generador, hay que tener en cuenta el número de bobinas, y su colocación en el estator. En nuestro caso se tienen 6 bobinas, dispuestas de forma equidistante y el ángulo entre los centros de las bobinas adyacentes es de  $60^\circ$ , como se indica en el figura.

Figura 25

Distribución de las bobinas respecto a los imanes.



Fuente: Grupo investigador.

Observando esta disposición se puede apreciar que las bobinas están en fase dos a dos, es decir, que las bobinas 1 y 4 se ven afectadas por las mismas variaciones de campo magnético, y de igual modo les sucede a las bobinas 2 y 5 y a las bobinas 3 y 6.

Por lo tanto, la ecuación de la tensión en una bobina es:

$$U = \frac{\beta \cdot S \cdot N \cdot 2 \cdot \pi \cdot n}{15 \cdot \sqrt{2}}$$

Ec: 17

$$U = \frac{0.327 \cdot 0.0033 \cdot 100 \cdot 2 \cdot 3.1416 \cdot n}{15 \sqrt{2}}$$

$$U = \frac{0.67}{21}$$

$$U = 0.0316V \cdot n$$

El valor teórico de la tensión que se obtiene en cada bobina está en función de las rpm:

$$U = 0,0316V \cdot n$$

Ec: 18

Por lo tanto al reemplazar valores a diferentes rpm, se obtienen distintas tensiones de salida en las bobinas, por ejemplo:

$$U = 0.0316 * 100rpm = 3.16V$$

$$U = 0.0316 * 200rpm = 6.32V$$

$$U = 0.0316 * 300rpm = 9.84V$$

$$U = 0.0316 * 400rpm = 12.64V$$

Al conectar las parejas de bobinas, o bien en serie o bien en paralelo las bobinas 1 con la 4, la 2 con la 5 y la 3 con la 6, se obtiene un sistema de generación eléctrica trifásico.

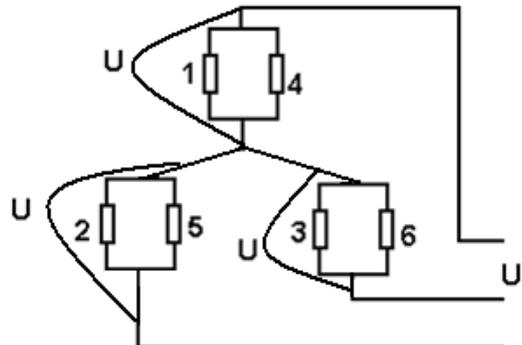
### 3.7.3.1. Conexión en Doble-Estrella.

La conexión elegida para el aerogenerador del presente proyecto es:

- Conexión Doble-Estrella.

Se eligió esta conexión debido a que es la ideal para trabajar y producir electricidad a velocidades bajas, el esquema se muestra en la siguiente figura.

Figura 26  
Esquema de la conexión en doble estrella de las bobinas.



Las 3 fases existentes son: bobinas 1 y 4 en fase, bobinas 2 y 5 en fase, y bobinas 3 y 6 en fase. La explicación es geométrica y se debe a que las bobinas opuestas sufren variaciones de campo magnético iguales en el tiempo.

Así pues en esta conexión se tiene que la bobina 1 está conectada en paralelo con la 4, la 2 en paralelo con la 5, la 3 en paralelo con la 6, y estas tres ramas que se obtienen se conectan en estrella a los 2 rectificadores.

### **3.8. SELECCIÓN DEL CONVERTIDOR DE DC A AC.**

#### **3.8.1 Rectificador.**

Un rectificador es un dispositivo que convierte tensión alterna en tensión continua. En nuestro caso se utiliza un puente de diodos rectificadores. Su función es la de transformar la corriente que sale del generador de imanes permanentes de forma alterna trifásica en corriente continua.

A continuación se detalla los pasos a seguir para realizar la conexión del rectificador o diodos.

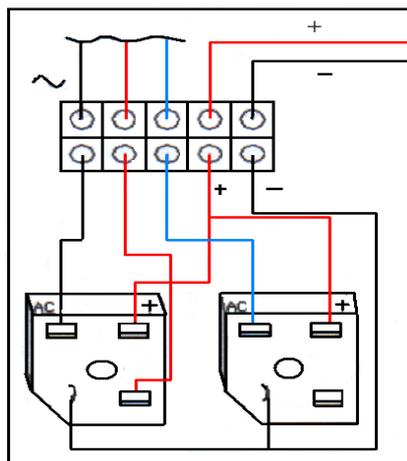
1. Hay que conectar cada línea a la bornera que se encuentra dentro de la caja de conexiones, siempre respetando el color o numeración respectiva de los cables.
2. Tomando en cuenta que cada diodo tiene cuatro terminales dos AC, un positivo y otro negativo, conectar dos líneas que vienen del

generador a los terminales AC de uno de los diodos, que se encuentran opuestos entre si.

3. La tercera línea que viene del generador debe ir conectada a un terminal AC del otro diodo.
4. De cada terminal positivo de los diodos debe salir un cable y unirse en un punto común de la bornera; a su vez, de este punto debe salir el cable que va conectado al terminal positivo de la batería.
5. De cada terminal negativo de los diodos debe salir un cable y unirse en un punto común de la bornera, de este punto debe salir la línea negativa que va a la batería.

En el siguiente gráfico se realiza el esquema de conexión de los diodos tipo puente.

**Figura 27**  
**Conexión de los diodos tipo puente.**



Fuente: Grupo investigador.

### 3.8.2. Selección del Inversor adecuado.

La función del inversor **DC/AC** es la de transformar la tensión DC de salida del banco de baterías en tensión AC. Típicamente, un inversor es un conjunto de interruptores de potencia con cierre coordinado según una estrategia de control.

El aspecto de un inversor es similar al de un puente rectificador de diodos trifásico con la diferencia de que los diodos son sustituidos por elementos conmutables externamente controlados.

Hay que mencionar que todos los instrumentos y aparatos eléctricos y electrónicos funcionan al máximo de capacidad a nivel del mar, pero está disminuye un porcentaje dependiendo de la altura. Para este proyecto que se encuentra sobre los 4000 m.s.n.m la eficiencia de los instrumentos y elementos se disminuye en un 50%. Por lo que inversor a elegir debe ser el doble que en condiciones normales.

El inversor seleccionado tiene las siguientes características y especificaciones.

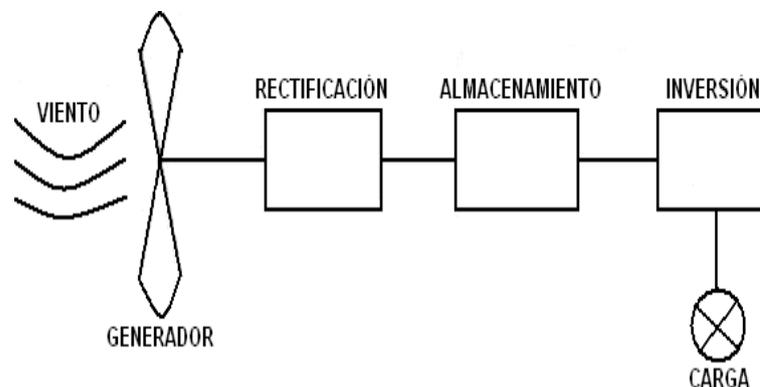
Max.Continuous Power:	1000Watt
Surge Capability (Peak Power):	2000Watt
No load Current Draw:	< 0.3 A
Wave form:	Modified Sine Wave
Input Voltage Range:	10 – 15 VDC

AC outlets:	110V AC 3 prong grounded
Fuse:	40 amp (spade type)
Dimensions:	17.87×8.13×4.16 inch
Weight:	aprox. 4.07 lbs.

El aerogenerador genera corriente alterna en diferentes frecuencias y amplitudes debido a que la magnitud del viento es variable. Para generar corriente alterna útil debe ser de amplitud constante y frecuencia constante. Por esta razón hay que agregar 2 pasos que son:

1. La energía que sale del generador eólico pasa por un rectificador y se obtiene a la salida de este una onda rectificada de 12 voltios que se utiliza para cargar las baterías de 12 voltios.
  2. De la batería de 12 voltios va a un inversor de 110 V AC a 60 Hz.
- Como se muestra en el esquema de la siguiente figura.

**Figura 28**  
**Esquema del Sistema de inversión de 12 V DC a 110 V AC de un aerogenerador.**



**Fuente: Grupo investigador.**

### **3.9. CÁLCULOS Y CONSTRUCCIÓN DE LA TORRE PARA EL GENERADOR EÓLICO.**

Las torres constituyen el elemento de apoyo del resto de subsistemas del aerogenerador. Su función es mantener el aerogenerador a la altura correcta de funcionamiento por sobre el nivel del suelo, debiendo ser capaz de tolerar el peso de éste y las diversas exigencias que conllevan la exposición a fuertes vientos y el sostener un cuerpo rotando.

En la siguiente figura se puede apreciar la torre ya emplazada en el lugar de ejecución del proyecto.

**Figura 29**

**Torre emplazada en el lugar de ejecución del proyecto**



**Fuente: Grupo investigador/ Tomada en después de su instalación.**

### **3.9.1. Diseño de la Torre.**

Siendo el objetivo de este proyecto el de implementar un generador eólico para la zona rural de Pansachí el Morro de la Provincia de Cotopaxi, para su aprovechamiento en generación de electricidad, se procedió a diseñar la torre del aerogenerador. El diseño consistió en determinar la altura de la torre, el material apropiado para su construcción, y todos los detalles que se deben considerar para su adecuada instalación.

Se determinó entonces una altura de 10 m, la cual se consideró adecuada para la zona en donde se instaló el proyecto, ya que se trata de una superficie libre de obstáculos y está ubicada en la pendiente de la montaña. Una vez determinada la altura, se procedió a seleccionar el material adecuado para su construcción. La principal limitante en torno a la selección del material fue el peso de la torre, ya que el peso dificultaría tanto el traslado como el levantamiento de la torre en el sitio.

Considerando lo anterior, se tenían dos opciones: la primera construirla con tubos de acero al carbón, siendo la ventaja de este material su rigidez y su principal desventaja el peso.

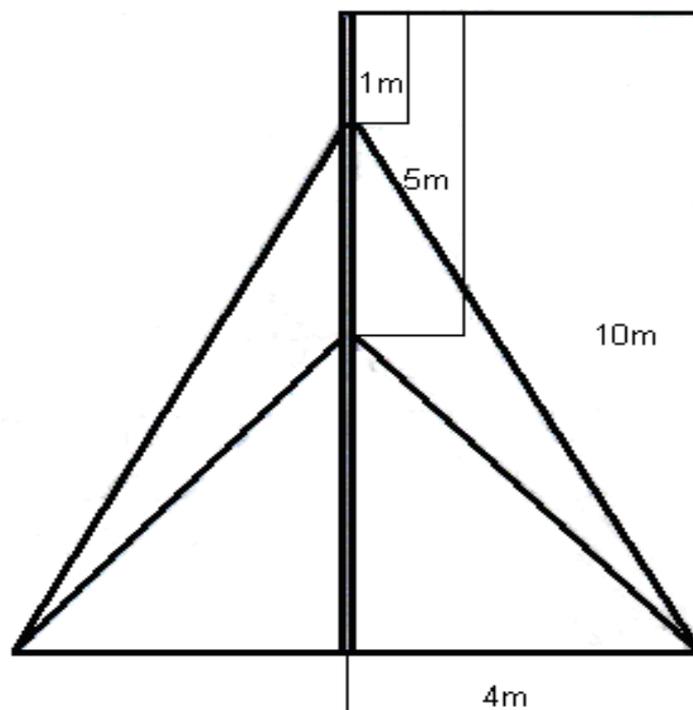
La segunda opción era el acero galvanizado, cuya principal ventaja sobre el acero al carbón era su resistencia a la corrosión y su rigidez, y en la práctica se observó que en cuánto al peso no ofrecía gran diferencia con respecto a la primera opción. Se optó entonces por construirla en acero galvanizado.

Como segunda limitante se tenía al traslado. El proveedor proporcionaba el tubo galvanizado en tramos de 6 m de largo aproximadamente, por lo que se optó por trasladar dos tramos de 5 m cada uno. Además se situaron, las clavijas en donde se colocarían los tensores para soportar a la torre, en un arreglo triangular. Las clavijas serán soldadas a los 5 m y 9 m de altura de la torre.

Estos tensores están separados cada uno a  $120^\circ$ . Considerando que se colocaron los anclajes a 4 m de la base de la torre y tomando en cuenta la altura a las que estarán colocadas las clavijas, se necesitó 55 m de cable en total para los tensores. En la figura 23 se puede apreciar el detalle de la torre.

Figura 30

Vista de la Torre y ubicación de los anclajes.



Fuente: Grupo investigador.

### **3.9.1.1. Recomendaciones para el Emplazamiento de la Torre.**

Se tomaron en cuenta las siguientes recomendaciones para el emplazamiento de la torre, la tensión de los cables y los anclajes:

### **3.9.1.2. Preparación del emplazamiento.**

Debe de haber una distancia de 1.5 veces la altura de la torre, desde la placa base hasta cualquier límite del terreno, líneas eléctricas, carreteras, cultivos, casas, etc. Para nuestro caso la distancia es de 15m.

La torre debe de ser situada de forma que pueda ser izada en contra del viento dominante.

Se recomienda además que para la cimentación de los anclajes se haga un hoyo cuadrado de suficiente profundidad; colocar el ancla y hormigonear unos 30 cm de profundidad; cubriendo con ello la punta y parte de la barra del anclaje.

El personal para la elevación de la torre debe ser lo más necesario posible con esto facilita el trabajo y evita realizar grandes esfuerzos al levantarlo.

### **3.9.1.3. Tensión de los Cables.**

La tensión de los cables debe estar suficientemente ajustados para poder tener una torre en línea. En caso de haber una ligera curvatura con su centro o punta, (esto se debe a cables demasiado tensos o demasiado

flojos), durante la instalación de la torre se deben de ajustar los tensores para rectificar la torre.

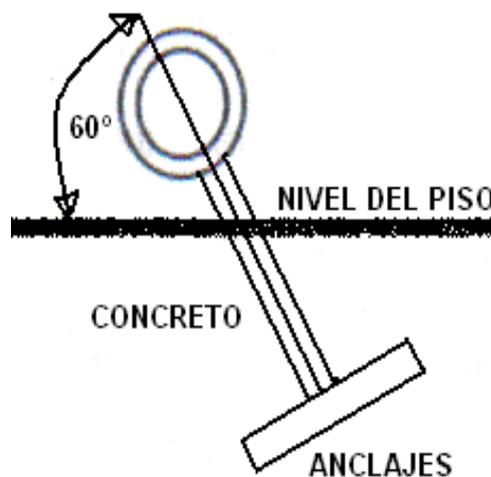
#### **3.9.1.4. Anclajes.**

Para la selección de los anclajes se debe de tomar en cuenta principalmente el tipo de suelo ya que es donde estarán empotrados.

Para ello se construyeron 3 anclas de 0.6 m de largo de varilla de construcción de ½ pulgada de diámetro.

En la siguiente figura se realiza el esquema del anclaje que se utilizo para la instalación de los tensores de nuestro aerogenerador.

**Figura 31**  
**Anclaje para los tensores.**



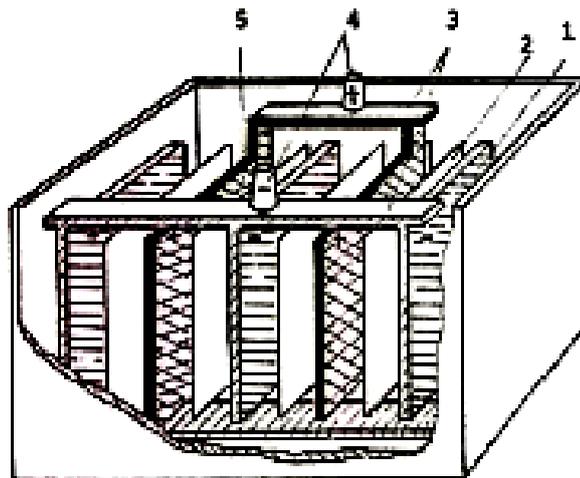
Fuente: Grupo investigador.

### **3.10. ALMACENAMIENTO DE BANCO DE BATERÍAS.**

#### **3.10.1 Almacenamiento de la energía eléctrica en el banco de baterías**

La batería es, una pila capaz de cargarse de electricidad cuando se hace que sea atravesada por una corriente eléctrica del tipo de corriente continúa. Este acumulador consta, como se muestra en la figura 32 de una serie de placas de plomo antimonioso (1) dispuestas una al lado de otra y separadas entre sí por medio de los separadores (2). Las placas son unas rejillas donde se deposita la energía química que estando así, forma una pasta que se llama materia activa. Las placas van unidas entre sí por medio de una barra de conexión (3) de manera que unas son positivas y otras negativas.

**Figura 32**  
**Esquema de un Acumulador.**



Fuente: Diseño e Integración de Instalación de un Sistema de Producción de Energía Eólica Domestica

### **3.10.2 Especificación de las baterías para el almacenamiento de la energía.**

Para el aerogenerador de bajas revoluciones se uso baterías estacionarias, en nuestro caso es una, ya que este tipo de acumuladores están hechas pensando en este tipo de aplicaciones de electrificación

rural, donde se requiere almacenar energía generada en un momento del día para ser usada un poco más tarde. La conexión de las baterías es en paralelo, cada una con un voltaje de 12 V y un voltaje de flotación de 13,4 V, a fin de conseguir un nivel de tensión de 120 V.

### **3.11. MONTAJE DEL EQUIPO EN LA ZONA DE LA VIVIENDA.**

#### **3.11.1. Armado de la estructura y los componentes.**

##### **3.11.1.1. Armado de la estructura.**

La torre debe ser unida al anclaje por medio de pernos que están incrustadas en el anclaje y deben ser ajustadas con unas tuercas y arandelas planas y de presión. Luego se debe colocar el extremo final de la torre sobre cualquier apoyo, que podría ser un cilindro, o preparar uno con dos maderos amarrados en forma de X.

**Figura 33**  
**Preparación de la torre para su emplazamiento.**



**Fuente:** Grupo investigador/ Tomada en el momento de su emplazamiento.

##### **3.11.2. Armado de los tensores.**

Para el poste se eligió una altura de 10 m que se hablo en el diseño de la torre, se coloca en cada argolla del poste los tensores. Para la parte superior tiene que cortarse 3 segmentos de cable de acero de 11 m de longitud; de igual manera, para la parte inferior hay que cortar 3 tramos de alambre de 8 m de longitud, en los otros extremos de los tensores se debe colocar los templadores, que van enganchados a la argolla del anclaje. También se debe considerar la longitud de templador y éste debe estar totalmente abierto. Ver Anexo F.

### **3.11.3. Ensamble de los componentes.**

Para acoplar las palas al generador, hay que guiarse por la numeración que ambos tienen (del uno al tres), para este trabajo siga el siguiente procedimiento.

Colocar el bastidor en el poste, habiéndose aplicado antes grasa gruesa tanto en la zona interna del bastidor como en la superficie donde se ubicará. Este componente lleva un punto de engrase exterior que permite colocar el lubricante con una grasera. Colocado el bastidor, a continuación, en el extremo de la torre se coloca un anillo que sirve de tope. Este anillo es sujetado con tres prisioneros que están colocados alrededor de este e impide que el bastidor pueda salirse del poste.

Posteriormente, se debe colocar el eje del generador eléctrico sobre la canaleta o asiento de apoyo que se encuentra en el bastidor sujetado con los dos pernos tipo U (abrazaderas); hay que tener en cuenta que el rotor debe tener una separación mínima del asiento o apoyo

del eje, aproximadamente, de 6 mm a 10 mm. Esto es muy importante para que exista un equilibrio entre el rotor y la veleta.

Una vez fijado el generador al bastidor, mediante su eje, se debe acoplar cada pala al rotor del generador por medio de tres pernos. Estos deben ser colocados de tal manera que la cabeza del perno quede en la parte frontal y debe llevar una arandela plana al inicio, y en el otro lado una arandela de presión. Finalmente, hacer el ajuste correspondiente con la tuerca.

El ensamble de las palas al generador debe ser con la parte cóncava en posición frontal, y la convexa va en dirección opuesta, dirección del eje. La parte más delgada de la pala debe ser colocada hacia abajo.

El acople de las palas al generador se hace una a una, de acuerdo con la numeración **1-1,2-2,3-3**.

Esta numeración, desde luego, representa la posición de las palas cuando ya se ha balanceado; si dicho proceso previo no hubiera sido llevado a cabo, el equipo quedaría desbalanceado y es muy posible que se presenten vibraciones que afectarán a todo el sistema.

Los pernos no deben ser ajustados exageradamente. Terminado el acople de las palas, el rotor junto con las palas deben girar con facilidad, con un pequeño movimiento efectuado con la mano; de no ser así, la

explicación reside en el hecho de que los pernos fueron colocados demasiado ajustados, por lo que se deben aflojar un poco.

#### **3.11.4. Ensamble de la veleta.**

La veleta va unida al bastidor por medio de un perno con contratuerca que le permite tener un giro libre, este mecanismo es el que pone al sistema en forma paralela (frontal) al rotor eólico cuando la velocidad supera los 12 m/s.

#### **3.11.5. Conexión eléctrica.**

Las conexiones a la caja de diodos se deben realizar después de haberse izado el poste. Para realizar las conexiones de los cables que salen del generador, debemos seguir los pasos enunciados en el ítem

#### **3.8.1.**

#### **3.11.6. Izamiento del poste.**

Para el izamiento del poste se requiere de personal de apoyo, cuya cantidad dependerá del tamaño de la estructura construida. Para este trabajo se prepara mecanismos de ayuda, y siempre tener en cuenta la seguridad de las personas.

Preparar dos apoyos tipo horqueta. Se utilizo dos maderas, este mecanismo se preparo en campo donde se emplazo el aerogenerador. La forma de evitar el deslizamiento de la torre es preparando dos apoyos

uniendo a dos maderas con una soga a unos 20 cm de las puntas en forma de horqueta o de Y. ver la siguiente figura.

**Figura 34**  
**Torre en el momento de la instalación.**



**Fuente: Grupo investigador/ Tomada en el momento de la instalación.**

Si el mecanismo de bisagra es el adecuado, el izamiento del poste de 10 m no requiere de grandes esfuerzos pero si de mucha concentración y cuidado. A continuación describimos una forma de realizar esta acción.

Dos personas deben colocarse en la zona opuesta a la bisagra, cada uno cerca de un anclaje.

Su trabajo es sostener los tensores de la parte superior, y evitar que el poste se incline hacia algún lado cuando se está levantando y se pierda el equilibrio.

Tres personas, o más, deben levantar el poste hasta ponerlo en forma vertical, para lo cual deben usar los apoyos preparados en forma de

T u horqueta. Cuando el poste esté en forma vertical las personas que están sosteniendo los cables deberán enganchar los templadores superiores a sus respectivos anclajes, para lo cual una o dos de ellas deben permanecer en la base del poste para mantener el equilibrio. Véase la siguiente figura.

**Figura 35**  
**Vista del la torre ajustándose a los anclajes.**



**Fuente: Grupo investigador/Tomada en el momento de su instalación.**

Una vez colocado en forma vertical el poste, se debe empezar a ajustar los templadores hasta lograr una tensión adecuada. Verificar que el poste quede en posición totalmente vertical, la inclinación hacia algún lado indicaría que hay una mayor tensión en ese punto. Ver la siguiente figura.

### **3.12. PESO DEL AEROGENERADOR.**

Para conocer el peso que debe soportar la montura del aerogenerador, así como el peso total del aerogenerador que debe resistir

la estructura en forma de torre tubular con tirantes, se ha tomado el peso de todos y cada uno de los componentes del aerogenerador.

En la siguiente tabla se detalla el peso (Kg.) de los diferentes elementos del sistema de aerogeneración utilizado en nuestro proyecto.

**Tabla 15**

**Especificaciones de peso de los diferentes componentes del generador.**

<b>Designación</b>	<b>Peso(Kg)</b>
Peso del generador	20Kg
Peso de rotor eólico (hélices)	2.4Kg
Peso de la montura	4.9Kg
Peso de la veleta o cola	4.5Kg
Peso total del aerogenerador	31.8Kg

**Fuente: Grupo investigador.**

### **3.13. MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL AEROGENERADOR.**

Los materiales utilizados para la construcción del aerogenerador de bajas revoluciones, se detalla en la siguiente figura.

Tabla 16a

Materiales utilizados en la construcción del aerogenerador.

MATERIALES	CANTIDAD NECESARIA	TIPO
<b>ENCASTAMIENTO</b>		
Resina con catalizador	2.500 gr	Resina con poliéster con catalizador
Polvo de talco	1400 gr	Talco lavado
Fibra de vidrio	1 m <sup>2</sup>	Rollo de 1 m de ancho
<b>ACERO</b>		
Plancha de acero	2 discos de 305 mm de diámetro.	Espesor 6 mm
Eje hueco	170 mm	
Rodamientos	2	De bolas
Cinta de aluminio	2	De sujeción
Tubo medida estandar	300 mm	2.5" de diámetro
Tubo medida estandar	167 mm	3.5" de diámetro
Tubo	90 mm	1" de diámetro y 3mm de espesor
Plancha		4 mm de espesor
Plancha galvanizada	80 x80	1.5 mm de espesor
Tubo galvanizado	1 tubo	¾ de diámetro y 2mm de espesor
Tubo galvanizado	2 de 6m de longitud.	de. 75 mm , di 69 y 4mm de espesor
Cable	55 m	De acero N° 10
Tensores	6	N 8
Mordazas para el cable	24	Para cable N° 10
Pernos	5/8 con tuercas	
Plancha de hierro	500 x 500 x 6	Para la base.
Tubo	100 mm	Para la unión de la torre.
Pernos	9	6/16 x 3"
Arandelas	18	Planas de 5/16
Tuercas	9	5/16
Arandelas	9	De presión 5/16
Pernos	4	3/8 x 1"
Prisioneros	3	3/8
Abrazaderas	2	Tipo U con pernos y arandelas planas y de presión

Fuente: Grupo investigador.

Tabla 16b

Materiales utilizados en la construcción del aerogenerador.

MATERIALES	CANTIDAD NECESARIA	TIPO
<b>ELEMENTOS ELECTRICOS</b>		
Hilo de cobre esmaltado	170 m (bobinas)	Nº. 18 AWG
Cable flexible	70 m	Nº. 10 AWG
Bloques magnéticos	16 bloques de 50x50x20	Ferrita.
Alambre de estaño	150 mm	Alambre de 105 mm de diámetro.
Rectificadores monofásicos	2	KBPC 5010 de 50 A.
Disipador de calor	1	Alumino negro.
Acumulador	1	Estacionarias
Borneras	2	
Inversor	1	1000 W
<b>OTROS</b>		
Grasa	1000gr	
Mangera	300 mm	Corrugada
Cinta aislante	2	Diferentes colores.
Pintura	4 litros	Sintético

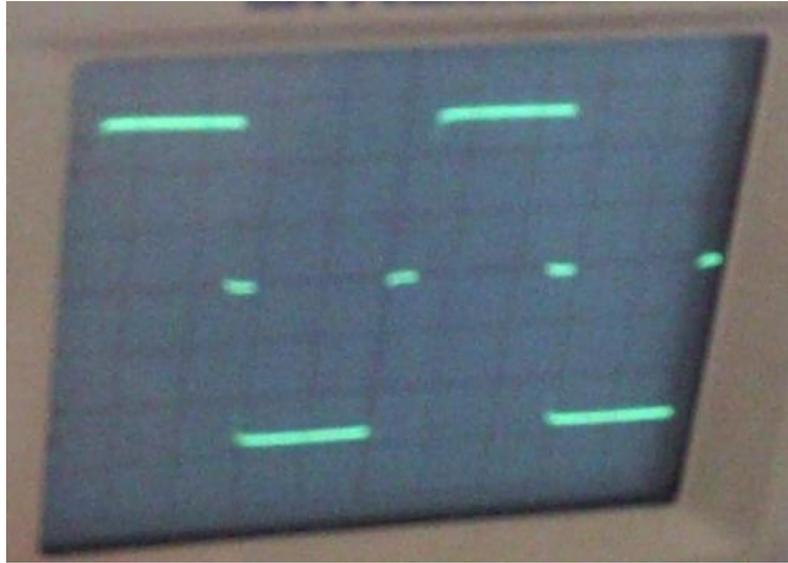
Fuente: Grupo investigador.

### 3.14. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.

La prueba del aerogenerador se lo realizó en el sector de Pansachi el Morro lugar en el cual se encuentra instalado el aerogenerador, el día 11 de noviembre del 2010.

Una de las características de este proyecto es su adaptabilidad al entorno, utilizando un osciloscopio y una pinza amperimétrica facilitados por parte de la Universidad Técnica de Cotopaxi, se efectuó las pruebas de funcionamiento y se pudo determinar los valores de voltaje que entrega el aerogenerador. Véase las siguientes figuras.

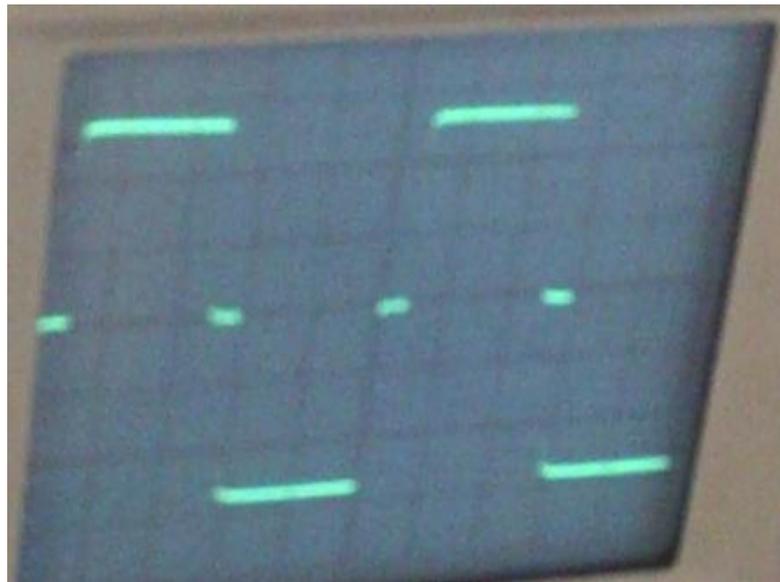
**Figura 36**  
**Curva de voltaje del aerogenerador sin carga.**



**Fuente: Grupo investigador.**

En la figura 35 se puede observar la curva del voltaje tomado del aerogenerador sin carga el mismo que facilitó como resultado un valor 122.9 V. y una frecuencia de 60 Hz.

**Figura 37**  
**Curva de voltaje del aerogenerador con carga.**



**Fuente: Grupo investigador.**

En figura 36 se puede observar la curva de voltaje tomado del aerogenerador con una carga de aproximadamente 90 Watts el mismo que proporcionó como resultado un valor 121.2 V y una frecuencia de 60Hz.

### 3.15. PRESUPUESTO.

El presupuesto se descompone en el valor de los materiales para el aerogenerador, así como el costo de la construcción y montaje.

Así pues, en primer lugar se muestra el presupuesto de la adquisición de los materiales:

**Tabla 18**  
**Presupuesto de los materiales para la construcción del aerogenerador.**

<b>MATERIALES</b>	<b>VALOR. USD</b>
ENCASTAMIENTO	20
ACERO	220
ELEMENTOS ELECTRICOS	600
OTROS	180
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 1020</b>

Fuente: Grupo Investigador.

**Tabla 19**  
**Presupuesto de la construcción del aerogenerador.**

<b>CONCEPTO</b>	<b>VALOR</b>
MANO DE OBRA	300
TRANSPORTE	50
<b>TOTAL</b>	<b>350</b>

Fuente: Grupo Investigador.

De la construcción del aerogenerador y la elaboración del presente proyecto se obtiene el presupuesto final.

**Tabla 20**  
**Presupuesto final de la tesis.**

<b>CONCEPTO</b>	<b>VALOR</b>
PRESUPUESTO DE LOS MATERIALES.	1020
PRESUPUESTO DE LA CONSTRUCCION	350
ELABORACION ESCRITA DE LA TESIS	320
<b>TOTAL</b>	<b>1690</b>

**Fuente: Grupo Investigador.**

### **3.16. MANTENIMIENTO.**

Dentro de las tareas de mantenimiento preventivo se deben realizar inspecciones de:

1. Inspección y ajuste de tuercas.
2. Inspección de las palas.
3. Inspección de los ejes.
4. Inspección del generador (revisar voltajes de salida).
5. Engrasar los rodamientos del rotor.
6. Inspección de las conexiones eléctricas.

## **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 rodeadas 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. Símb. 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.

**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.

## **ABREVIATURAS.**

**MW** (Megavatios)

**Kw** (Kilovatios)

**Km** (Kilómetros)

**m/s** (metro/segundo)

**KWh** (Kilovatio/hora)

**W** (Watt)

**Kg/m<sup>3</sup>** (Kilogramo/ metro)

**m<sup>2</sup>** (metro cuadrado)

**rpm** (revoluciones por minuto)

**CI** (Coeficiente de sustentación)

**Hz** (Hertz)

**mm** (milímetro)

**Nc** (Número de espiras por fase)

**Mb** (Número de bobinas por fase)

**AWG** (American Wire Gauge)

**e** (Fuerza electromotriz inducida)

**$\phi$**  (Flujo magnético )

**Wb** (Webber)

**V** (Voltios)

**UNI** (Universidad Nacional de Investigación. Perú)

**A** (Amperio)

**H** (Campo Magnético)

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

### **CONCLUSIONES**

Con la elaboración de este proyecto conocimos las necesidades que tiene el sector más alejado del cantón Latacunga 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 dimensionar una máquina eólica para la generación de energía eléctrica que de solución a la carencia de suministro eléctrico en la Hacienda Tejar Miraflores.

Entendimos que la ingeniería no es solamente simulación, sino que es aplicación; y que mejor aplicación que el apoyo con tecnología a las personas que habitan en este sector de nuestro querido Ecuador.

## **RECOMENDACIONES**

El aerogenerador de bajas revoluciones 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.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

### **BIBLIOGRAFÍA CITADA.**

1. **AEROPUERTO INTERNACIONAL COTOPAXI. Datos Meteorológicos del año 2009.**
2. **Asociación de Productores de Energías Renovables - APPA**
3. **BAILLARIE ROSENMANN PAUL, DISEÑO DE AEROGENERADORES CON IMANES PERMANENTES PARA APLICACIONES EN ELECTRIFICACIÓN RURAL. CHILE 2007. Págs. 14-38**
4. **BURGOS PÉREZ ANA, ENERGIA EÓLICA, Valladolid. Págs. 8-9**
5. **CUENCA GARRIDO PATRICIA, Diseño e Integración de Instalación de un Sistema de Producción de Energía Eólica Domestica, Madrid 2009. Págs. 68-72**
6. **CHUMIROQUE QUEZADA ROBERTO CARLOS, Construcción de un aerogenerador, Perú. Págs. 5-12**
7. **DELGADO MARÍN JOSÉ PABLO, La energía eólica en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, de la Agencia de Gestión de Energía de la Región de Murcia. Págs. 25-34**
8. **FERNÁNDEZ DIEZ PEDRO, ENERGÍA EÓLICA. 2000. Págs. 4-12**
9. **HULSHORST WALTER, Manual Práctico de evaluación de una instalación de energía eólica a pequeña escala, Madrid. Págs. 6-7**
10. **MONTECÓ JUAN ANTONIO y IBAÑEZ NAXTO de MARCO, Especificación técnica para la réplica en la**

- UPC de un aerogenerador de baja potencia, España. Págs. 33-69
11. MORA HIDROVO EDUARDO WILLIAN, UTILIZACION DE ENERGIA EOLICA PARA EXTRACCION DE AGUA, 1983. Págs. 62-65
  12. PINILLA S. ÁLVARO, Manual de Aplicación de la Energía Eólica, 1997. Págs. 6-15
  13. POWER EXPRESS, Owner's Manual 1000 Watt Power Invertir.
  14. Plan Participativo de Desarrollo Provincial de Cotopaxi Honorable Consejo Provincial de Cotopaxi.
  15. PLAN PARTICIPATIVO DE DESARROLLO DEL CANTON LATACUNGA, ILUSTRE MUNICIPIO DEL CANTON LATACUNGA 2004.
  16. RODRÍGUEZ BARRIGA BRENDA, Determinación del patrón de viento en una región de la República Mexicana. 2003. Págs. 90-93
  17. SÁNCHEZ CAMPOS TEODORO, ALGUNOS ELEMENTOS SOBRE LA ENERGÍA EÓLICA., *Presentado en el "II Seminario Internacional sobre Energías Renovables", Bolivia.* 1997 Págs. 2-3
  18. SÁNCHEZ MIÑO SANTIAGO J., ENERGÍA RENOVABLES, Conceptos y Aplicaciones, 2003. Págs. 75-76
  19. Soluciones Prácticas ITDG Micro aerogenerador IT-PE-100 para Electrificación Rural., Lima. 2003. Pág. 12-67

## **BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.**

- 1. ANCHALUIZA MOSQUERA MARCELO GREGORIO, Evaluación de una Central experimental de energía eólica instalada en el CENAE, Guayaquil 2007.**
- 2. ANDRÉS MATAS MARTÍNEZ, ENERGÍA EÓLICA. Capitulo 4**
- 3. BAILLARIE ROSENMANN PAUL, DISEÑO DE AEROGENERADORES CON IMANES PERMANENTES PARA APLICACIONES EN ELECTRIFICACIÓN RURAL. CHILE 2007.**
- 4. BURGOS PÉREZ ANA, ENERGIA EÓLICA, Valladolid.**
- 5. CUENCA GARRIDO PATRICIA, Diseño e Integración de Instalación de un Sistema de Producción de Energía Eólica Domestica, Madrid 2009.**
- 6. CHUMIROQUE QUEZADA ROBERTO CARLOS, Construcción de un aerogenerador, Perú.**
- 7. CHIROQUE JOSÉ, DÁVILA CELSO, Microaerogeneradores de 100 y 500 W. Modelos ITP 100 y SP 500.. Lima Soluciones Prácticas ITDG. 2008.**
- 8. DELGADO MARÍN JOSÉ PABLO, La energía eólica en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia, de la Agencia de Gestión de Energía de la Región de Murcia.**
- 9. FERNÁNDEZ DIEZ PEDRO, ENERGÍA EÓLICA. 2000. Págs. 4-12**
- 10. HULSHORST WALTER, Manual Práctico de evaluación de una instalación de energía eólica a pequeña escala, Madrid.**

11. **MONTECUBIO MONTECUBO JUAN ANTONIO y IBÁÑEZ NAXTO** de MARCO, Especificación técnica para la réplica en la UPC de un aerogenerador de baja potencia, España.
12. **MORA HIDROVO EDUARDO WILLIAN, UTILIZACION DE ENERGIA EOLICA PARA EXTRACCION DE AGUA, 1983.**
13. **MORAGUES JAIME A. y RAPALLINI ALFREDO T., ASPECTOS AMBIENTALES DE LA ENERGÍA EÓLICA.**
14. **PINILLA S. ÁLVARO, Manual de Aplicación de la Energía Eólica, 1997.**
15. **Plan Participativo de Desarrollo Provincial de Cotopaxi Honorable Consejo Provincial de Cotopaxi.**
16. **PLAN PARTICIPATIVO DE DESARROLLO DEL CANTON LATACUNGA, ILUSTRE MUNICIPIO DEL CANTON LATACUNGA 2004.**
17. **RODRÍGUEZ BARRIGA BRENDA, Determinación del patrón de viento en una región de la República Mexicana. 2003.**
18. **SÁNCHEZ CAMPOS TEODORO, ALGUNOS ELEMENTOS SOBRE LA ENERGÍA EÓLICA., *Presentado en el "II Seminario Internacional sobre Energías Renovables", Bolivia. 1997.***
19. **SÁNCHEZ CAMPOS TEODORO, RAMÍREZ ATAHUI SAÚL, DESARROLLO TECNOLÓGICO DE MICROGENERADORES EOLICOS, Presentado en el CONIMERA, Octubre 2001.**
20. **SÁNCHEZ MIÑO SANTIAGO J., ENERGÍA RENOVABLES, Conceptos y Aplicaciones, 2003.**
21. **SOLÓN PINO GIRALDO, SISTEMAS DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA EÓLICA, MEDELLIN 2008.**

**22. Soluciones Prácticas ITDG Micro aerogenerador IT-PE-100 para  
Electrificación Rural., Lima. 2003.**

# ANEXO 2

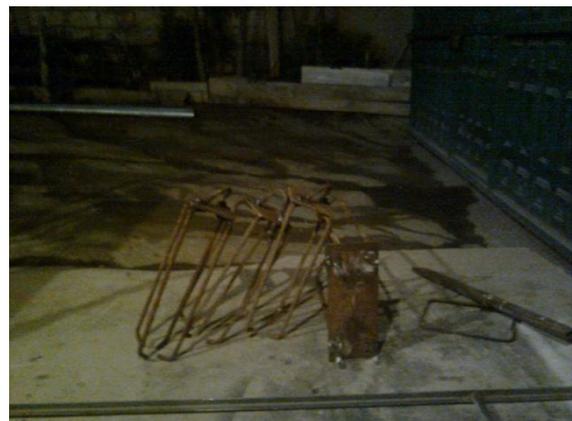
Anexo A

Lugar de emplazamiento del Proyecto, antes de la fase de construcción.



Anexo B.

Construcción de las base de la torre y anclajes de los tensores



Anexo C.

Empotrado de la base y anclajes de la torre.



Anexo D.

Ensamble del aerogenerador.



## Anexo E.

### Levantamiento y ajuste de la torre.



Anexo F.

Ajuste de los tensores y alineación de la torre.



## Anexo G

### Conexiones del sistema eléctrico.



Anexo H.

Iluminación en la hacienda con la energía obtenida del aerogenerador.

