



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**TESIS EN OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE  
MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**Título:**

---

“EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD EÓLICA Y SOLAR DEL SECTOR RURAL LANGOA DEL CANTÓN LATACUNGA – 2013. DISEÑO TECNOLÓGICO Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA ALTERNATIVA.”

---

Autor:

NOROÑA Álvarez Diego Fernando

Tutor:

HERNÁNDEZ Ramírez Gabriel Ing. MSc.

LATACUNGA – ECUADOR

Septiembre – 2015



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
**Latacunga – Ecuador**

---

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe en consideración de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Noroña Álvarez Diego Fernando, con el título de tesis: **“EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD EÓLICA Y SOLAR DEL SECTOR RURAL LANGOA DEL CANTÓN LATACUNGA – 2013. DISEÑO TECNOLÓGICO Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA ALTERNATIVA”**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, septiembre de 2015.

Para constancia firman:

.....  
MSc. Paulina Freire  
PRESIDENTA DEL TRIBUNAL

.....  
PhD. Iliana Gonzáles  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....  
MSc. Fabián Salazar  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

.....  
PhD. Gustavo Rodríguez  
OPONENTE DEL TRIBUNAL





**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
**Latacunga – Ecuador**

---

**AVAL DEL TUTOR DE TESIS**

Latacunga, septiembre de 2015

En mi calidad de Tutor de Tesis presentada por el Ing. Noroña Álvarez Diego Fernando, Egresado de la Maestría en Gestión de Energías, previa a la obtención del mencionado grado académico, cuyo título es **“EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD EÓLICA Y SOLAR DEL SECTOR RURAL LANGOA DEL CANTÓN LATACUNGA – 2013. DISEÑO TECNOLÓGICO Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA ALTERNATIVA”**.

Considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del tribunal examinador.

Atentamente

.....  
Ing. MSc. Gabriel Hernández Ramírez.  
TUTOR DE TESIS



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
**Latacunga – Ecuador**

---

**AUTORÍA**

Yo, Noroña Álvarez Diego Fernando, portador del número de cédula de identidad 0502360928, declaro que la presente Tesis de Grado, es de mi autoría, fruto del esfuerzo, responsabilidad y disciplina, logrando que los objetivos propuestos se culminen con éxito.

Atentamente

.....  
Diego Fernando Noroña Álvarez  
CI. 0502360928

## **AGRADECIMIENTO**

*Primero el agradecimiento a Dios por darme el privilegio de estar vivo y la fortaleza para seguir adelante.*

*A mis queridos padres, hermanos y sobrinos quienes me apoyan a lo largo de mi vida.*

*A mi esposa Mary que con su amor me apoya incondicionalmente y me complementa.*

*A mis amigos Eduardo y Gabriel por sus enseñanzas en esta etapa de mi vida.*

*Y a todas las personas que con su buena voluntad, experiencia y conocimientos han aportado para la realización de este proyecto.*

*Diego Fernando ....*

## **DEDICATORIA**

*Este proyecto es para la familia Noroña Álvarez quienes con su amor, dedicación, esfuerzo y comprensión hicieron realidad este sueño; de manera especial a mis padres Efraín y Martha que son mi ejemplo en la vida.*

*A mis amados abuelitos Fidel y Carmelita que aunque ya no están a mi lado, siempre los llevare en mi corazón.*

*Diego Fernando ....*



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
**Latacunga – Ecuador**

---

**CERTIFICACIÓN DE CRÉDITOS QUE AVALAN LA TESIS**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
**Latacunga – Ecuador**

---

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**PROGRAMA: “MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS”**

**“EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD EÓLICA Y SOLAR DEL  
SECTOR RURAL LANGOA DEL CANTÓN LATACUNGA – 2013.  
DISEÑO TECNOLÓGICO Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE  
GENERACIÓN ELÉCTRICA ALTERNATIVA”.**

Autor: NOROÑA Álvarez Diego Fernando

Fecha: Septiembre de 2015



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
**Latacunga – Ecuador**

---

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO: “EVALUACIÓN DE LA POTENCIALIDAD EÓLICA Y SOLAR DEL SECTOR RURAL LANGOA DEL CANTÓN LATACUNGA – 2013. DISEÑO TECNOLÓGICO Y PROPUESTA DE UN SISTEMA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA ALTERNATIVA”**

**AUTOR:** NOROÑA Álvarez Diego Fernando

**TUTOR:** HERNÁNDEZ Ramírez Gabriel Ing. MSc.

### **RESUMEN**

El presente trabajo de tesis Evaluación de la potencialidad eólica y solar del sector rural Langoa del cantón Latacunga – 2013. Diseño tecnológico y propuesta de un sistema de generación alternativa, se elabora con el propósito de realizar el diseño tecnológico y propuesta de un sistema de generación eléctrica con la utilización de fuentes alternativas de energías, a partir de un estudio de potencialidad eólica y solar del sector rural Langoa, ubicado en el cantón Latacunga, de la provincia de Cotopaxi. Con el objetivo de poder electrificar viviendas rurales sin acceso a energía eléctrica, permitiendo mejorar la calidad de vida a sus habitantes. Para realizar este trabajo, se partió de la recopilación de información del Atlas Eólico del Ecuador, Atlas Solar del Ecuador y de mediciones en campo de velocidad del viento realizadas con un anemómetro a 10 metros de altura. Con esta información y el Software WINDOGRAPHER, se procedió a correlacionar los valores medidos con los valores de los Atlas para obtener un año promedio tipo de mediciones. Se seleccionó la vivienda tipo a electrificar, se determinó la cantidad de energía eléctrica que se puede generar con un sistema de generación de energía alternativa y se dimensionó el sistema, determinando todos los elementos necesarios para su funcionamiento. Luego con la ayuda del Software HOMER se realizó la simulación del sistema con el fin de tener un sistema eficiente determinando que fuente de energía es mejor para el sistema de generación y se realizó la valoración técnica, económica y ambiental de la propuesta.

**DESCRIPTORES:** Potencialidad eólica y solar, Electrificar viviendas rurales, Energía alternativa, WINDOGRAPHER, HOMER, Langoa.



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**  
**Latacunga – Ecuador**

---

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**UNIT POSTGRADUATE**

**MASTERS IN MANAGEMENT OF ENERGIES**

**TITLE: “EVALUATION OF WIND AND SOLAR POTENTIAL OF THE RURAL SECTOR LANGOA IN THE CANTON LATACUNGA – 2013. TECHNOLOGICAL DESIGN AND PROPOSAL OF A SYSTEM OF ALTERNATIVE GENERATION”**

**AUTHOR:** NOROÑA Álvarez Diego Fernando

**TUTOR:** HERNÁNDEZ Ramírez Gabriel Ing. MSc.

**ABSTRACT**

The research about evaluation of wind and solar potential of the rural sector Langoa in the Latacunga canton – 2013. Technological design and proposal of an alternative generation system is carried out with the purpose of conducting the technological design and proposal of an electrical generation system with the use of alternative sources of energy, from a study of wind and solar potential in the rural sector Langoa, located in Latacunga canton, in Cotopaxi province. With the aim to electrify rural housing without access to electricity, allowing to improve the life quality of its inhabitants. To develop this research, it was necessary to start on the collection of information from Wind Atlas of Ecuador; Ecuador Solar Atlas and field measurements of wind speed with an anemometer located ten meters high. With this information and the benefits of WINDOGRAPHER Software, it was come to correlate the measured values with the Atlas values for an average year rate measurement type. Housing type was selected to electrify, the amount of electricity was determined that can be generated with an alternative energy generation; the system was sized determining all the necessary elements for its running. Then with the help of HOMER Software the system simulation was performed in order to get a powerful and efficient system by determining which energy source is best for the generating system and the technical, economic and environmental assessment of the proposal was made.

Descriptors: Wind and solar potential, Electrify rural households, alternative energy, WINDOGRAPHER, HOMER, Langoa.



## ÍNDICE GENERAL

PORTADA.....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	ii
AVAL DEL TUTOR DE TESIS .....	iii
AUTORÍA.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
RESUMEN.....	ix
ABSTRACT.....	x
ÍNDICE GENERAL.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xv
ÍNDICE DE CUADROS.....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I.....	3
EL PROBLEMA .....	3
1.1    Antecedentes del Problema .....	3
1.2    Formulación del Problema .....	5
1.3    Objeto de Estudio .....	5
1.4    Campo de acción .....	5
1.5    Justificación de la Investigación.....	5
1.6    Objetivos .....	7
1.6.1    Objetivos Generales .....	7
1.6.2    Objetivos Específicos.....	7
1.7    Conclusiones del capítulo.....	8
CAPÍTULO II .....	9
MARCO TEÓRICO.....	9
2.1    Antecedentes de la Investigación .....	9
2.2    Fundamento Teórica.....	13
2.2.1    Consumo de energía.....	13
2.2.2    Energía solar.....	13
2.2.3    Radiación solar.....	13
2.2.4    Hora solar pico (HSP).....	14
2.2.5    Ángulo de incidencia.....	14
2.2.6    Pérdidas del sistema .....	14
2.2.7    Cálculo de la energía diaria del sistema.....	14

2.2.8	Dimensionamiento del generador solar.....	15
2.2.9	Recurso eólico.....	15
2.2.10	Datos de velocidad del viento.....	15
2.2.11	Dirección del viento.....	16
2.2.12	Distribución de la velocidad del viento.....	16
2.2.13	Potencial Eólico.....	16
2.2.14	Dimensionamiento del aerogenerador.....	17
2.2.15	Dimensionamiento del regulador.....	19
2.2.16	Dimensionamiento del acumulador.....	20
2.2.17	Dimensionamiento del inversor.....	20
2.2.18	Dimensionamiento de conductores eléctricos.....	21
2.2.19	Dimensionamiento de protecciones eléctricas.....	21
2.2.20	Factor de probabilidad de pérdida de carga.....	21
2.2.21	Factor de capacidad.....	22
2.2.22	Eficiencia energética.....	22
2.2.23	Disminución de emisiones contaminantes.....	22
2.2.24	Análisis económico.....	23
2.2.25	Relación entre desarrollo humano y suministro de energía.....	23
2.2.26	Necesidades básicas.....	23
2.2.27	Soluciones tecnológicas para la electrificación rural.....	25
2.2.28	Proyectos de electrificación con energía eólica-solar.....	26
2.3	Marco Legal Vigente.....	27
2.3.1	Proyectos de electrificación Rural.....	28
2.4	Definición de términos.....	30
2.5	Conclusiones del Capítulo.....	34
CAPÍTULO III.....		35
METODOLOGÍA.....		35
3.1	Diseño de la investigación.....	35
3.1.1	Modalidad de la Investigación.....	35
3.1.2	Tipo de Investigación.....	39
3.2	Operacionalización de variables.....	41
3.3	Hipótesis.....	42
3.4	Procedimiento de la Investigación.....	42
3.5	Población y Muestra.....	43
3.6	Métodos y Técnicas.....	45
3.6.1	Observación Directa.....	45

3.6.2	Entrevista no estructurada.....	45
3.6.3	La medición.....	46
3.6.4	Software WINDOGRAPHER.....	49
3.6.5	Software HOMER.....	50
3.7	Ubicación del emplazamiento.....	51
3.7.1	Coordenadas geográficas.....	51
3.7.2	Datos del emplazamiento.....	55
3.7.3	Consumo eléctrico.....	55
3.8	Conclusiones del capítulo.....	58
CAPÍTULO IV.....		59
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....		59
4.1	Entrevista a los moradores del sector rural Langoa.....	59
4.2	Determinación del recurso eólico.....	63
4.2.1	Medidas de velocidad del viento.....	63
4.2.2	Datos de dirección del viento.....	67
4.2.3	Distribución de la velocidad del viento.....	67
4.2.4	Distribución de Weibull.....	70
4.2.5	Densidad de potencia eólica (P/A).....	74
4.2.6	Densidad de energía eólica (E/A).....	76
4.2.7	Factor de capacidad.....	77
4.3	Determinación del recurso solar.....	78
4.3.1	Valores de insolación global en la zona de estudio.....	78
4.3.2	Cálculo de la radiación sobre superficie inclinada y horas solares..	79
4.3.3	Cálculo del rendimiento global del sistema (PR).....	81
4.3.4	Cálculo de la potencia pico del arreglo fotovoltaico.....	83
4.4	Conclusiones del capítulo.....	84
CAPÍTULO V.....		85
LA PROPUESTA.....		85
5.1	Título de la propuesta.....	85
5.2	Objetivo de la propuesta.....	85
5.3	Justificación de la propuesta.....	85
5.4	Estructura de la propuesta.....	85
5.4.1	Dimensionamiento del sistema con energía eólica.....	85
5.4.2	Dimensionamiento del sistema con energía solar.....	92
5.4.3	Dimensionamiento del inversor.....	93
5.4.4	Dimensionamiento del regulador.....	94

5.4.5	Dimensionamiento del banco de baterías.....	95
5.4.6	Cálculo de conductores .....	97
5.4.7	Selección de protecciones .....	99
5.4.7.1	Cálculo de protecciones para la instalación fotovoltaica.....	100
5.4.7.2	Cálculo de protecciones para la instalación eólica.....	102
5.5	Análisis económico .....	102
5.5.1	Inversión.....	103
5.5.2	Operación y mantenimiento .....	105
5.6	Análisis ambiental.....	109
5.7	Conclusiones del Capítulo.....	109
	CONCLUSIONES .....	111
	RECOMENDACIONES .....	112
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	113
	ANEXOS .....	115

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Curva de potencia de un aerogenerador.....	18
Figura 3.1. Ubicación de las ocho viviendas analizadas.....	36
Figura 3.2. Ubicación de la vivienda tipo sector rural Langoa.....	44
Figura 3.3. Entrevista a los habitantes de la zona.....	46
Figura 3.4. Anemómetro y registrador de datos.....	47
Figura 3.5. Características técnicas GPS Trimble Geo XT.....	48
Figura 3.6. Software WINDOGRAPHER.....	50
Figura 3.7. Software HOMER.....	51
Figura 3.8. Ubicación del anemómetro respecto a la vivienda tipo.....	51
Figura 3.9. Foto de la ubicación del anemómetro.....	52
Figura 3.10. Perturbación del viento por la vivienda.....	53
Figura 3.11. Colaboración del experto en la instalación del anemómetro.....	53
Figura 3.12. Anemómetro ubicado en el emplazamiento.....	54
Figura 3.13. Curva de consumo de energía diaria.....	56
Figura 4.1. Análisis de la Pregunta 1.....	59
Figura 4.2. Análisis de la Pregunta 2.....	60
Figura 4.3. Análisis de la Pregunta 3.....	60
Figura 4.4. Análisis de la Pregunta 4.....	61
Figura 4.5. Análisis de la Pregunta 5.....	61
Figura 4.6. Análisis de la Pregunta 6.....	62
Figura 4.7. Análisis de la Pregunta 7.....	62
Figura 4.8. Análisis de la Pregunta 8.....	63
Figura 4.9. Correlación de velocidad del viento.....	64
Figura 4.10. Perfil vertical del Viento.....	66
Figura 4.11. Perfil mensual velocidad del viento.....	66
Figura 4.12. Dirección del viento.....	67
Figura 4.13. Histograma de frecuencias relativas.....	70
Figura 4.14. Histograma, curvas de probabilidad y parámetros k y c de Weibull.....	74
Figura 4.15. Insolación solar en Langoa.....	78
Figura 5.1. Distribución de los elementos del sistema.....	98
Figura 5.2. Resultado de estudio de costos.....	108
Figura 5.3. Resultado de simulación HOMER.....	109

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 2.1. Soluciones tecnológicas para electrificación rural. ....	25
Cuadro 3.1. Descripción de las ocho viviendas analizadas.....	37
Cuadro 3.2. Variable Independiente: Potencial eólico y solar .....	41
Cuadro 3.3. Variable Dependiente: Evaluación energética eólica y solar .....	42
Cuadro 3.4. Especificaciones Técnicas anemómetro y registrador de datos. ....	47
Cuadro 3.5. Especificaciones Técnicas GPS Trimble Geo XT.....	48
Cuadro 3.6. Características físicas del lugar. ....	54
Cuadro 3.7. Consumo de energía diario de la vivienda. ....	55
Cuadro 3.8. Equipos eléctricos conectados a cada hora del día.....	56
Cuadro 3.9. Consumo de energía mensual de la vivienda. ....	57
Cuadro 4.1. Datos necesarios para la distribución de frecuencias. ....	69
Cuadro 4.2. Tabla de distribución de frecuencias. ....	69
Cuadro 4.3. Cálculo de los parámetros c y k de Weibull por mínimos cuadrados. .....	72
Cuadro 4.4. Densidad de potencia calculada a (10 y 15) m.....	75
Cuadro 4.5. Densidad de potencia eólica. ....	75
Cuadro 4.6. Calificación de un aerogenerador por su factor de capacidad.....	77
Cuadro 4.7. Insolación global mensual en la zona de estudio. ....	79
Cuadro 4.8. Valor k según latitud y mes del año. ....	80
Cuadro 4.9. Cálculo de Horas sol al día.....	80
Cuadro 4.10. Rendimiento por temperaturas diferentes $\eta_{temp}$ . ....	82
Cuadro 4.11. Rendimiento PR del sistema fotovoltaico. ....	83
Cuadro 4.12. Potencia pico del arreglo fotovoltaico.....	83
Cuadro 5.1. Aerogeneradores analizados para el estudio. ....	86
Cuadro 5.2. Curva de potencia corregida en función de la densidad.....	87
Cuadro 5.3. Resultado del análisis de los aerogeneradores. ....	88
Cuadro 5.4. Energía mensual producida aerogeneradores. ....	89
Cuadro 5.5. Energía producida aerogeneradores afectada por rendimiento. ....	90
Cuadro 5.6. Elección del aerogenerador. ....	90
Cuadro 5.7. Cálculo de la energía generada con el aerogenerador ZONHAN 750. .....	91

Cuadro 5.8. Características de módulos fotovoltaicos disponibles en la localidad. .....	92
Cuadro 5.9. Número de módulos fotovoltaicos en serie y paralelo. ....	93
Cuadro 5.10. Características de inversores disponibles en la localidad.....	94
Cuadro 5.11. Características de reguladores disponibles en la localidad. ....	95
Cuadro 5.12. Características de las baterías encontradas en el mercado local. ....	96
Cuadro 5.13. Baterías en serie y paralelo necesarias. ....	97
Cuadro 5.14. Calibre de conductores. ....	99
Cuadro 5.15. Cálculo de protecciones.....	101
Cuadro 5.16. Costos instalación energía eólica. ....	103
Cuadro 5.17. Costos instalación energía solar. ....	103
Cuadro 5.18. Costos instalación interior de la vivienda.....	104
Cuadro 5.19. Indicadores de operación y mantenimiento.....	106
Cuadro 5.20. Comparación económica de variantes.....	107

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2.1. Energía Cinética. ....	16
Ecuación 2.2. Caudal másico del aire .....	16
Ecuación 2.3. Potencia Eólica disponible .....	17
Ecuación 3.1. Densidad del aire .....	54
Ecuación 4.1. Perfil vertical del viento. ....	65
Ecuación 4.2. Determinación del número de intervalos. ....	68
Ecuación 4.3. Determinación de la clase. ....	68
Ecuación 4.4. Perfil vertical del viento. ....	71
Ecuación 4.5. Valor de y, ajuste por mínimos cuadrados. ....	71
Ecuación 4.6. Valor de x, ajuste por mínimos cuadrados. ....	71
Ecuación 4.7. Valor de B, ajuste por mínimos cuadrados. ....	71
Ecuación 4.8. Valor c ajuste por mínimos cuadrados. ....	72
Ecuación 4.9. Coeficiente A. ....	72
Ecuación 4.10. Coeficiente B. ....	72
Ecuación 4.11. Densidad de potencia eólica. ....	74
Ecuación 4.12. Densidad de energía eólica. ....	76
Ecuación 4.13. Factor de capacidad. ....	77
Ecuación 4.14. Radiación solar sobre superficie inclinada. ....	79
Ecuación 4.15. Horas de sol al día. ....	81
Ecuación 4.16. Rendimiento global del sistema. ....	81
Ecuación 4.17. Rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes de la nominal. ....	81
Ecuación 4.18. Temperatura de la celda a una irradiación de $1000 \text{ W/m}^2$ . ....	82
Ecuación 4.19. Potencia pico del arreglo fotovoltaico. ....	83
Ecuación 5.1. Rendimiento global del sistema. ....	86
Ecuación 5.2. Densidad de energía eólica. ....	87
Ecuación 5.3. Número de módulos en paralelo. ....	92
Ecuación 5.4. Número de módulos en serie. ....	92
Ecuación 5.5. Corriente del regulador. ....	95
Ecuación 5.6. Capacidad del banco de baterías. ....	95



Ecuación 5.7. Numero de baterías en paralelo.....	96
Ecuación 5.8. Numero de baterías en serie.....	96
Ecuación 5.9. Sección del conductor.....	97
Ecuación 5.10. Cálculo fusible (F1).....	100
Ecuación 5.11. Cálculo fusible (F2).....	100
Ecuación 5.12. Cálculo fusible (F3).....	101
Ecuación 5.13. Cálculo de la corriente nominal.....	101
Ecuación 5.14. Consumo de energía anual.....	105
Ecuación 5.15. Costo de electricidad de la red.....	105
Ecuación 5.16. Consumo de operación anual.....	105
Ecuación 5.17. VAN costos de operación a futuro.....	106
Ecuación 5.18. VAN costos de mantenimiento a futuro.....	106
Ecuación 5.19. VAN costos de remplazo a futuro.....	106
Ecuación 5.20. Cálculo Toneladas de CO2.....	109

## INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes retos del sector energético a nivel mundial para el siglo XXI es garantizar el suministro de energía eléctrica de forma sostenible abasteciendo simultáneamente el consumo creciente de la energía eléctrica. A nivel mundial existen 2000 millones de personas que no tienen acceso a energía eléctrica. América Latina tiene actualmente 35 millones de personas sin este recurso, El último censo de población y vivienda realizado en Ecuador el 2010 indica que la cobertura de electrificación a nivel nacional es de 94,7%, que corresponde el 85,7% para el sector rural y 92,7% para el sector urbano. El recurso más importante para alcanzar estos logros a comparación de datos estadísticos de años anteriores es la existencia de un fondo financiero específico denominado Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM), que está vigente desde el año de 1973 y que se intensifico desde el año 2008.

El Ecuador apuesta por contar con un sector energético sostenible, soberano y que beneficie a cada uno de los ecuatorianos. El presente trabajo tiene como propósito evaluar el potencial eólico y solar del sector rural Langoa que actualmente es desconocido, proponiendo el diseño de un sistema de generación de energía eléctrica capaz de aprovechar eficientemente la energía eólica y solar, reduciendo el impacto ambiental y social de sus pobladores. En cuanto a la estructura de la tesis, los capítulos, están estructurados de la siguiente manera:

En el Capítulo I, se analiza el Problema de Investigación, se estudia la contextualización a niveles macro, meso y micro; se determina el objeto y campo de actuación, la justificación y se enuncian los objetivos.

En el Capítulo II, se señalan el marco teórico, antecedentes investigativos en los que se describen opiniones y explicaciones de la problemática planteada en este trabajo de investigación; así como también, conceptualización y las fundamentaciones respectivas en las que se especifican las orientaciones teóricas correspondientes, relacionado con los sistemas de generación de fuentes alternativas.

En el Capítulo III, se presenta la metodología para realizar la investigación: el enfoque metodológico, la modalidad, el tipo de investigación, el nivel y las técnicas e instrumentos a utilizar. Además, se declara la población o universo y se determina la muestra para aplicar los instrumentos de recolección de información.

En el Capítulo IV, se presentan el análisis de resultados de los datos obtenidos por los instrumentos aplicados a través de tablas y gráficos estadísticos generados a partir de la información recolectada y tabulada.

En el Capítulo V, se plantea la propuesta, el análisis técnico, económico y ambiental, determinando la viabilidad del proyecto. Finalmente se formulan las conclusiones y recomendaciones pertinentes basadas en los resultados de la investigación.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA

En el presente capítulo se analiza el problema de investigación, se sitúa a niveles macro, meso y micro; se determina el objeto y campo de la investigación, justificación y se plantea los objetivos.

### 1.1 Antecedentes del Problema

El sector eléctrico ecuatoriano es un sistema basado en fuentes de energía de origen fósil y energías renovables, siendo el peso de cada fuente energética durante el año 2010, de energía termoeléctrica 51,46%, energía hidroeléctrica 46.52 % y 2,01 % corresponde a la energía renovable no convencional. (Agencia de Regulación y Control ARCONEL, 2013 pág. 20).

Si se analiza la generación de energía eléctrica casi la mitad de la producción es de origen hidráulico. Pero a pesar de la alta participación de las energías renovables en la producción eléctrica ecuatoriana, hasta el momento tan sólo se está aprovechando el 12 % del potencial hidroeléctrico del país. (Proyecto TECH4CDM, Electrificación Rural en el Ecuador, 2009 pág. 5).

Razón por la cual el gobierno ha impulsado la construcción de ocho mega proyectos hidroeléctricos entre los que destaca Coca Codo Sinclair que se espera entre en funcionamiento en el año 2016.

Las primeras energías que el ser humano utilizó para su desarrollo y beneficio son las que ahora se llaman alternativas y que en la actualidad son consideradas como fuentes de energía futuras.

Para implementar energía eléctrica en zonas rurales aisladas es importante diversificar el uso de energías alternativas realizando una evaluación del potencial de las mismas y diseñar sistemas eléctricos aislados para su funcionamiento.

El interés en la aplicación de aerogeneradores para el suministro energético en áreas aisladas aumento a mediados de los años ochenta. A pesar de que la contribución energética a escala mundial de sistemas eólicos aislados es aún

pequeña, el potencial de su impacto en la solución de necesidades energéticas básicas en áreas rurales es de gran interés. El uso de paneles solares en viviendas rurales es más común debido al bajo consumo de energía eléctrica en este tipo de viviendas. (Ranaboldo, Matteo, 2009 pág. 15).

Un plan de electrificación crea procesos de desarrollo y mejoramiento de las condiciones de vida de los pobladores ubicados en el área rural, para ello el presente estudio será de vital importancia, puesto que se cumple un principio primordial de la Legislación Ecuatoriana “El Buen Vivir”. Permitiendo que el estudio pueda ingresar como proyecto al Estado y obtener recursos para ser ejecutado.

La población del sector rural Langoa del cantón Latacunga ubicada en las coordenadas Universal Transversa Mercator UTM ( $x=780269$ ,  $y=9899172$ ,  $z=3744$ ), no tiene acceso al servicio de energía eléctrica por ser un sitio aislado y de geografía inaccesible, esto limita el aprovechamiento de bienes y servicios dependientes de la energía eléctrica disminuyendo la calidad de vida en sus habitantes, al ser una población netamente indígena y mestiza sus condiciones económicas son bastante bajas, por lo que no tienen los recursos necesarios para aprovechar los sistemas de energía alternativa solar y eólica.

En las primeras visitas que se realizó a la zona de estudio, se determinó que dentro de los  $3.2 \text{ km}^2$  de área analizada para el proyecto existen ocho viviendas de varias familias sin acceso a energía eléctrica y las mismas están dispersas, razón por la cual, es necesario diseñar sistemas individuales de electrificación.

Al informarse de la propuesta de acceso a la energía eléctrica que mejorará las condiciones de vida, los habitantes de Langoa mostraron una apertura positiva a la ejecución del presente proyecto.

Este trabajo hace referencia al estudio del potencial eólico y solar que será utilizado para un diseño tecnológico y propuesta de un sistema de generación de energía eléctrica alternativa.

El proyecto permite dotar de un servicio básico indispensable, mejorando la calidad de vida del sector rural de la ciudad de Latacunga para que sus habitantes tengan acceso a energía eléctrica.

## **1.2 Formulación del Problema**

Se desconoce el potencial eólico y solar del sector rural Langoa del cantón Latacunga, que justifique la evaluación energética para la propuesta de un sistema de generación eléctrica a partir de fuentes alternativas.

## **1.3 Objeto de Estudio**

El potencial eólico y solar del sector rural Langoa.

## **1.4 Campo de acción**

Energías alternativas eólica y solar.

## **1.5 Justificación de la Investigación**

La falta de energía eléctrica en sectores rurales aislados, afecta a las oportunidades de las personas para desarrollar una vida digna, saludable y creativa. La energía eólica y solar permite la electrificación a corto plazo en zonas rurales. Para las comunidades rurales más cercanas a centros urbanos generalmente la solución más adecuada es la conexión a la red de distribución, sin embargo para poblaciones alejadas las soluciones casi siempre se orientan hacia los pequeños sistemas de generación descentralizados. Las soluciones descentralizadas representan un coste per cápita más elevado pero a menudo constituyen la solución más apropiada para comunidades particularmente dispersas. (Ranaboldo, Matteo, 2009 pág. 11).

El uso de energías alternativas es de interés mundial para el uso eficiente y el ahorro de energía eléctrica, dentro de lo que es generación eléctrica con energía eólica en el Ecuador se tienen actualmente proyectos como el Parque Eólico Villonaco en la ciudad de Loja con una capacidad de 16,5 MW, pero no se ha

difundido la aplicación de proyectos a micro escala. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (Plan Maestro de Electrificación 2012 - 2021), 2013).

Respecto a la generación eléctrica con energía solar entre el 2011 y 2012 el Consejo Nacional de Electrificación “CONELEC” aprobó 17 proyectos de generación eléctrica con paneles solares en Imbabura, Pichincha, Manabí, Santa Elena entre otros con un potencial de 272 MW, la energía solar a menor escala se ha aplicado en 91 comunidades de Esmeraldas, Guayas, Morona Santiago, Napo, Orellana, Pastaza, Sucumbíos gracias al programa Euro-Solar “Energías renovables para el desarrollo”. (Araujo, Alberto, 2013 pág. 10).

El proyecto en mención se basa en el estudio del potencial eólico y solar mediante el uso de fuentes de información que el Estado Ecuatoriano ha invertido en los últimos años como son: El Atlas Eólico y El Atlas Solar del Ecuador con fines de generación eléctrica, además de los datos diezminutales recopilados con un anemómetro instalado a 10 metros de altura en la zona de interés. Estos datos permitieron realizar el diseño de un sistema eléctrico alternativo, que pueda generar la suficiente energía eléctrica para abastecer el consumo de energía en viviendas aisladas de la zona rural en estudio y hacerlo de forma sostenible, además realizar el diseño de la red eléctrica determinando todos sus componentes para su funcionamiento; el mismo que puede servir como modelo para su sociabilización y aplicación en otras viviendas logrando solucionar un problema social.

Con la implementación del estudio también se pretende contribuir con el cambio climático permitiendo, que disminuya las emisiones contaminantes al ambiente de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub>.

El potencial de este proyecto es la factibilidad, puesto que el área de estudio presenta condiciones de viento y radiación solar favorables para el aprovechamiento en generación eléctrica, comprobado con los datos del Atlas Eólico y El Atlas Solar del Ecuador, además de ser un sitio apropiado puesto que no existe presencia de obstáculos para el aprovechamiento de estos recursos.

El Ecuador, siendo un país rico en fuentes de energías renovables, históricamente ha dependido en gran medida de los combustibles fósiles como fuente de energía. El Gobierno de la Revolución Ciudadana a través de las adecuadas políticas públicas busca revertir esta situación con un radical cambio en la matriz energética donde la energía renovable sea la protagonista. (Albornoz, Esteban, 2013 pág. 12).

El presente proyecto impacta favorablemente a los habitantes de la población involucrada, es de gran alcance tanto en el aspecto social, económico y ambiental, considerando que es muy factible por la gran aceptación que ha tenido en otros países como Perú y Colombia, contribuyendo al desarrollo de los sectores involucrados debido a que satisface la necesidad de las comunidades rurales aisladas, ayudando a disminuir el consumo de energía eléctrica producida en forma convencional permitiendo la introducción de energías renovables en la matriz energética del Ecuador.

Por lo expuesto anteriormente se considera que el trabajo investigativo en mención es viable para su elaboración.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivos Generales**

1. Evaluar la potencialidad eólica y solar del sector rural de Langoa del cantón Latacunga en el año 2013, para posibles alternativas de modelos de electrificación.
2. Proponer un sistema de generación eléctrica alternativa, en función de los resultados de la evaluación energética realizada en la investigación.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

1. Investigar en la literatura actual sobre el estado del arte de las variables.
2. Caracterizar el potencial eólico y solar del sector en estudio.
3. Procesar la información del recurso eólico y solar.



4. Valorar técnica, económica y ambiental la propuesta del sistema de generación de energía alternativa.
5. Proponer el sistema de generación eléctrica más viable para la electrificación de la vivienda en estudio.

### **1.7 Conclusiones del capítulo**

Se definieron los principales elementos estructurales del diseño de la investigación, permitiendo determinar las líneas primordiales de trabajo para el desarrollo de la tesis.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

En el presente capítulo se evaluó el marco teórico, antecedentes investigativos en los que se exponen opiniones y criterios de la problemática planteada en este trabajo de investigación; así como también, la conceptualización y las fundamentaciones respectivas en las que se especifican las orientaciones teóricas correspondientes.

#### **2.1 Antecedentes de la Investigación**

Debido a las condiciones geomorfológicas, topográficas y de localización geográfica que posee el Ecuador, se pueden encontrar fuentes de energía renovable con fines de producción de electricidad de distintos tipos como: eólica y solar, los mismos que pueden ser aprovechados energéticamente. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (Plan Maestro de Electrificación 2012 - 2021), 2013 pág. 155).

El desarrollo de la energía eólica ha crecido en la última década con modernos adelantos en electrónica, sistemas de información y comunicación, la utilización de nuevos materiales, mejores herramientas computacionales de diseño, entre otros. Es por esto que las soluciones eólicas actuales para generación de energía eléctrica a nivel comercial ofrecen sistemas con alta confiabilidad y disponibilidad, buena calidad de suministro de energía, y predicción más precisa del comportamiento del viento. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (Plan Maestro de Electrificación 2012 - 2021), 2013 pág. 159).

En el país existen zonas de alto potencial eólico gracias a la existencia de la Cordillera de los Andes y su cercanía al Océano Pacífico. Esta orografía accidentada promueve la formación de vientos locales, generados por las diferencias de temperatura asociadas a mesetas, valles, cauces de ríos, microclimas, entre otros. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (Plan Maestro de Electrificación 2012 - 2021), 2013 pág. 159).

Las expectativas de potencia instalada en generación eólica para el 2015 en el Ecuador que perfila el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, se encuentran entre los 40 y 50 MW.

A fin de impulsar el uso masivo de la energía eólica como fuente energética, el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) presentó en el 2013 el primer Atlas Eólico del Ecuador, con fines de generación eléctrica, que agrupa varios mapas geo referenciados los cuales muestran indicadores importantes para la estimación del recurso eólico, tales como: velocidad y dirección del viento, densidad de potencia, altura, rugosidad y pendiente del terreno, entre otras.

El Ecuador al estar ubicado en el centro de la Tierra, tiene un potencial solar que sin ser el mejor del planeta, se sitúa en niveles muy convenientes para el aprovechamiento energético. Los datos de radiación solar en el país presentan homogeneidad de los valores a lo largo del año. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (Plan Maestro de Electrificación 2012 - 2021), 2013 pág. 161).

A fin de impulsar el uso masivo de la energía solar como fuente energética, el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) publicó en el año 2008, el “Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica”. Este documento fue elaborado por la Corporación para la Investigación Energética, e incluye la cuantificación del potencial solar disponible y sus posibilidades de generación eléctrica. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (Plan Maestro de Electrificación 2012 - 2021), 2013 pág. 161).

Actualmente en el país, a través de programas como Euro-Solar y el fondo FERUM, se ha impulsado el aprovechamiento solar para generación de energía eléctrica en zonas rurales alejadas de las redes de distribución. Este programa tiene entre sus metas mejorar las condiciones de vida en los aspectos de salud, educación y telecomunicaciones de 91 comunidades rurales del país, mediante el acceso a una fuente de energía eléctrica renovable. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (Plan Maestro de Electrificación 2012 - 2021), 2013 pág. 161).

El incentivo dado a las energías renovables a través de la Regulación 004/11 ha determinado que tres proyectos solares fotovoltaicos, con potencia cercana a 1 MW cada uno, se encuentren en construcción en las zonas de Malchinguí provincia de Pichincha, Paragachi provincia de Imbabura y Escobar provincia del Carchi. Así mismo, cinco proyectos de generación solar fotovoltaica y termoeléctrica han presentado su solicitud ante la Dirección de Concesiones del CONELEC (Milenio Solar I y II, Solar connection, Shyri I y Condorsolar) por una potencia total de 150 MW. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (Plan Maestro de Electrificación 2012 - 2021), 2013 pág. 161).

El sector rural Langoa de la ciudad de Latacunga, no cuenta con un estudio que permita identificar el aprovechamiento del potencial eólico y solar en generación de energía eléctrica, a nivel de país con la ayuda del Atlas Eólico se puede determinar el potencial eólico y eléctrico estimado en cualquier punto del Ecuador, pero su uso aún no está difundido puesto que no existe una aplicación computacional que permita aprovechar completamente esta información, Con respecto al Atlas Solar es muy práctico e intuitivo porque permite conocer los valores de insolación en cualquier punto del Ecuador gracias a su software de aplicación INSOLACIÓN. Valores que serán analizados más adelante.

Las tecnologías de energía eólica y solar, son tecnologías maduras y conocidas, especialmente en los países más desarrollados donde el mercado ha alcanzado una cierta madurez en su uso, construcción de aerogeneradores y paneles solares. Pero en Ecuador éste es un mercado en el que se han detectado barreras de carácter tecnológico que impiden su crecimiento y sea un mercado aun poco explorado y aprovechado. Es necesario conocer cuál es el potencial de ese mercado, para que así, los diferentes actores conozcan las ventajas técnicas, energéticas y económicas, que ofrece la implantación de las tecnologías de energía eólica y solar tanto en gran escala como en pequeña escala. (Huebla, 2012 pág. 41).

Existen investigaciones sobre energía alternativa aplicadas en zonas rurales, que enfocan partes diferentes a la investigación propuesta y se describen a continuación:

Tema: “Evaluación de alternativas de generación de electricidad desde el punto de vista de su impacto ambiental, para sectores no conectados a redes eléctricas”

Se determinó que la alternativa más factible para la comunidad modelo analizada es la energía eólica, por los valores positivos que desde el punto de vista ambiental presenta y la competitividad desde el punto de vista técnico económico. (Garzón Soria, 2010 pág. 83).

El estudio anterior estuvo encaminado a la comparación de diferentes tecnologías de generación de electricidad incluidas las energías renovables para proponer la más eficiente desde el punto de vista ambiental y económico para la electrificación en diferentes lugares del Ecuador, intentando ocasionar el menor impacto posible sobre el medio ambiente. Se utiliza el software profesional SimaPro 7.1, creado por Pré Consultant, para la evaluación de los impactos ambientales; al realizar este análisis se empleó una metodología que incluye las fases de la producción de electricidad para su evaluación ambiental mediante el Ecoindicador 99 (Es un método de medición de daños orientado al ciclo de vida del producto en un sentido de sustentabilidad), donde se pueden apreciar los procesos que mayor influencia tienen en el Ciclo de Vida. El estudio se aplica a una comunidad modelo 45 viviendas, que a diferencia del presente estudio se analiza a una sola vivienda modelo de las ocho existentes para luego sociabilizar los resultados.

Tema: “Sistema híbrido eólico - fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa.”

Esta investigación logra cumplir su objetivo de generación híbrida eólica – solar para satisfacer el consumo de 19523,8 Wh/día. Concluyendo que los recursos eólicos y solares de la zona son aptos para la realización del sistema (Herrera Barros, 2011 pág. 106).

El estudio anterior presenta una serie de cálculos para determinar la capacidad de los elementos del sistema, pero no refleja de forma clara el cálculo de

conductores y protecciones necesarias para el mismo. Determinando que es factible un sistema de electrificación con energías alternativas.

## **2.2 Fundamento Teórica**

### **2.2.1 Consumo de energía**

Es la potencia eléctrica consumida por una instalación eléctrica en un periodo de tiempo. Para diseñar un sistema de generación con fuentes alternativas es importante calcular cuanta energía se consumirá cada día. Para calcular el consumo de energía se estima la cantidad de horas al día que estará en uso un equipo con sus respectivos valores de potencia.

### **2.2.2 Energía solar**

La luz solar se encuentra constituida por una onda electromagnética la misma que se desplaza por el espacio y lo hace en todas las direcciones llegando hacia la tierra atravesando la atmosfera.

No toda la energía solar alcanza la superficie, aproximadamente un 20% se refleja en la atmosfera y se dirige al espacio exterior debido a las nubes, otra parte es absorbida por moléculas de agua, ozono y oxígeno de las capas altas de la atmosfera (Perales, 2009 pág. 27).

### **2.2.3 Radiación solar**

Es la energía que llega a la tierra proveniente del sol, puede ser de dos formas, radiación directa y radiación difusa. La directa como su nombre lo indica viene en línea recta del sol y la difusa llega después de ser reflejada por nubes u otros agentes atmosféricos. La radiación solar total que llega a la tierra es la suma de la radiación directa y difusa. (Style, 2012 pág. 14).

Existen factores que inciden sobre la cantidad de radiación solar que llega a superficie de la tierra, entre los más importantes se describe:

Latitud: Conocida como la distancia angular entre un punto fijo del planeta y la línea ecuatorial.

Nubosidad: Radiación solar difusa por la aparición de un conjunto de nubes que no permite el paso del resplandor solar.

Humedad: Es la cantidad de vapor que se encuentra en el aire.

#### **2.2.4 Hora solar pico (HSP)**

Es una unidad que se refiere a la irradiación solar y es un parámetro útil en el análisis y diseño de instalaciones fotovoltaicas, Se define como el número de horas en las que cada metro cuadrado de superficie recibe una hipotética irradiación solar constante de 1000 W. (Perales, 2009 pág. 34).

#### **2.2.5 Ángulo de incidencia**

Es el ángulo en el cual la irradiación solar llega a la superficie, cuando más cerca este al valor de  $90^\circ$  (posición solar al medio día) mayor será la cantidad de energía recibida. Es importante en el diseño de instalaciones fotovoltaicas, para captar la mayor cantidad de energía solar posible. (Style, 2012 pág. 16).

#### **2.2.6 Pérdidas del sistema**

En los sistemas fotovoltaicos de pequeña escala, se debe tomar en cuenta las pérdidas dependiendo del tipo de corriente para las cargas a instalarse, para corriente continua pérdidas del 20% y para corriente alterna pérdidas del 30%, en corriente alterna es mayor el porcentaje de pérdidas debido al inversor. (Style, 2012 pág. 88).

#### **2.2.7 Cálculo de la energía diaria del sistema**

Se expresa en unidades de Amperios hora (Ah) y se obtiene de dividir el consumo del sistema para la tensión de funcionamiento del mismo. (Style, 2012 pág. 89).

### **2.2.8 Dimensionamiento del generador solar**

Existen diferentes tipos de células solares empleadas en la construcción de paneles, su elección depende del rendimiento y el costo.

La capacidad energética nominal de los módulos fotovoltaicos se indica en vatios-pico (Wp), que indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación, en condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menor que bajo condiciones óptimas.

Con los datos del módulo fotovoltaico seleccionado que se ajuste al voltaje de sistema y la energía diaria del sistema se determinó el número de modulas a utilizar. Dependiendo de la potencia de la instalación se combinó los módulos en serie, paralelo o mixto.

### **2.2.9 Recurso eólico**

La energía eólica se refiere al aprovechamiento de la energía contenida en el viento, se usa para obtener trabajo y posteriormente energía eléctrica. Se encuentra disponible en el planeta, pero de manera dispersa y variable. La comprensión de las características del recurso eólico es de fundamental importancia para la explotación de la energía eólica, desde el estudio de factibilidad hasta la identificación de sitios idóneos para la instalación del aerogenerador para el mejor aprovechamiento del recurso.

### **2.2.10 Datos de velocidad del viento**

Estos datos se obtienen del Atlas Eólico del Ecuador o de mediciones realizadas en el sitio de emplazamiento con un anemómetro.

La velocidad del viento es un parámetro crítico porque la potencia varía según el cubo de la velocidad del viento, o sea, una o dos veces más alta significa ocho veces más de potencia. Además, la velocidad varía directamente con la altitud sobre el suelo, por la fricción causada por montañas, árboles, edificios y otros objetos (Pareja, 2010 pág. 7).



### **2.2.11 Dirección del viento**

Los vientos son nombrados en relación con las direcciones en las que soplan, vientos del Noreste o ser expresados en grados. La determinación de la dirección y velocidad del viento se realiza a partir del estudio de la distribución de la presión atmosférica en la geografía terrestre. (Martinez, 2006 pág. 36).

### **2.2.12 Distribución de la velocidad del viento**

Para poder caracterizar la distribución de la velocidad del viento durante un largo periodo de tiempo se suele utilizar el histograma de frecuencias relativas de las velocidades.

### **2.2.13 Potencial Eólico**

La energía aprovechada por un aerogenerador es la energía cinética contenida en el viento, puede ser expresada como:

$$E_c = 1/2 m v^2$$

Ecuación 2.1. Energía Cinética.

Dónde:

$E_c$ : Energía cinética.

$m$ : Una masa de aire fluido.

$v$ : velocidad del viento en m/s.

El caudal másico de aire ( $m$ ) de densidad que fluye a través de una superficie de área ( $A$ ) perpendicular a la dirección del flujo, viene dado por la ecuación de mecánica de fluidos:

$$m = \rho \times A \times v$$

Ecuación 2.2. Caudal másico del aire

La potencia disponible ( $P_d$ ) asociado al caudal de aire que atraviesa dicha sección es:

$$P_d = 1/2 \rho v^3 A = \rho \times A \times v^3$$

### Ecuación 2.3. Potencia Eólica disponible

Dónde:

$P_d$ : potencia eólica disponible en W.

$\rho$ : densidad del fluido en  $\text{kg/m}^3$ .

$A$ : área transversal al flujo de aire barrida por la aerogenerador en  $\text{m}^2$ .

$v$ : velocidad del viento en m/s.

La expresión anterior indica que la potencia eólica disponible es proporcional a la densidad del aire, al área expuesta perpendicularmente al flujo de viento y al cubo de velocidad del mismo. La potencia eólica disponible es la máxima potencia que se podría extraer si se pudiera convertir toda su energía cinética en energía útil.

### **Beneficios de Producción de Energía Eólica**

- No se contribuye a la lluvia ácida.
- No se contribuye al efecto invernadero.
- Es una fuente de energía segura, renovable, limpia e inagotable.
- Es una fuente de energía sostenible.

### **Afecciones al medio ambiente**

- Alteración Paisajística.
- Reducida afección sobre las aves.
- Las acciones de obra civil.
- El impacto visual.
- Mantenimiento.

### **2.2.14 Dimensionamiento del aerogenerador**

El aerogenerador puede ser de eje horizontal o eje vertical, el de eje horizontal presenta ventajas de mayor rendimiento, velocidades de giro superiores, son aerogeneradores de mayor potencia.

El generador puede tener dos formas dinamo para corriente continua y motor sincrónico o asíncrono para tener corriente alterna. La tensión de salida corriente, frecuencia determinan las características de funcionamiento del generador.

Se consideran tres velocidades en relación con el viento y los generadores eólicos que son:

- Velocidad de arranque: Es la velocidad del viento a la que el rotor del generador comienza a funcionar.
- Velocidad nominal: Es la velocidad a la cual el aerogenerador proporciona la potencia nominal de funcionamiento.
- Velocidad de parada: Es una velocidad del viento muy alta, es peligrosa para la estabilidad del aerogenerador, que conlleva la acción automática de parada o freno.

Con respecto a la orientación, los generadores de eje horizontal deben disponer de un mecanismo de orientación a la dirección del viento (veleta) que es utilizado en las máquinas de pequeña potencia.

Para seleccionar un aerogenerador se utiliza la curva de potencia dada por el fabricante, en la figura 2.1 se observa la curva de potencia de un aerogenerador de 1500 W.

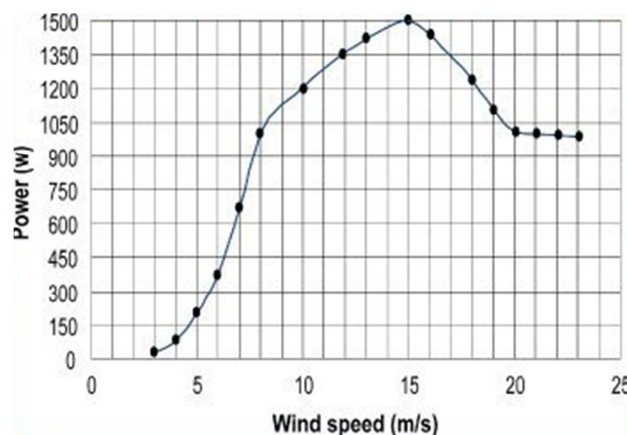


Figura 2.1. Curva de potencia de un aerogenerador  
Fuente: GudCraft WG1500.

La curva de potencia de un aerogenerador es la gráfica que indica cual será la potencia eléctrica disponible en el aerogenerador a diferentes velocidades del viento.

La selección de un aerogenerador no solo debe considerar la cantidad de energía que produce, también se debe tomar en cuenta criterios económicos como son (Valor actual neto, Taza interna de retorno, Periodo de recuperación, etc.).

### **2.2.15 Dimensionamiento del regulador**

El regulador de carga debe ser conectado entre el generador (módulos solares o de aerogenerador) y los acumuladores. Este dispositivo protege a los acumuladores de sobrecarga, sobre descarga y permite monitorizar el estado del sistema (tensión, corriente, carga de acumuladores). El regulador correctamente instalado mantiene los ciclos de carga y descarga adecuados para los acumuladores. (Style, 2012 pág. 49).

Los reguladores de carga por lo general emplean etapas para cargar las baterías:

- Carga inicial: Cuando el acumulador llegará a un cierto nivel, el regulador permite el paso de toda la corriente del generador hasta que llegue a un nivel de carga de un 80%. (Style, 2012 pág. 50).
- Carga de absorción: El regulador mantiene la tensión final de carga, reduce la corriente hasta alcanzar una carga del 100% en el acumulador (Style, 2012 pág. 50).
- Carga de flotación. Cuando el acumulador está cargado al 100%, el regulador solo deja pasar una pequeña corriente para mantener la carga del acumulador. (Style, 2012 pág. 50).

Para seleccionar un regulador se debe tomar en cuenta:

- Especificaciones técnicas: de diferentes reguladores para comparar y determinar el adecuado para el sistema.

- Tensión y corriente máxima: Se selecciona según la tensión del sistema y la corriente máxima del generador.
- Estado de carga: Es indispensable seleccionar reguladores que indiquen el estado de carga de los acumuladores.

### **2.2.16 Dimensionamiento del acumulador**

La generación eléctrica con generadores eólicos y módulos solares en cantidad y tiempos diferentes a los del consumo de energía, obligan la necesidad de instalar acumuladores. Estos acumuladores son electroquímicos y se pueden colocar en serie o paralelo para los voltajes de operación del sistema. (Style, 2012 pág. 47).

Existen gran cantidad de acumuladores en el mercado para su elección se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Características eléctricas: Comparar entre varios modelos y fabricantes
- Necesidad del sistema: Calculando la capacidad del banco de acumuladores Amperios hora, y las características técnicas de los acumuladores elegidos se calculan en serie o paralelo para cubrir la necesidad del sistema.
- Presupuesto: Comparar su calidad precio.
- Capacidad y vida útil: Debe cumplir los requerimientos del sistema.
- Disponibilidad en el mercado: Es aconsejable usar acumuladores que existen en el mercado para su fácil remplazo.

### **2.2.17 Dimensionamiento del inversor**

El inversor es el dispositivo que convierte la corriente continua de los acumuladores en corriente alterna, este dispositivo reduce la eficiencia de un sistema. Para su selección se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- Eficiencia del inversor.
- Especificaciones técnicas.
- Desconexión por bajo o alto voltaje.

Para su dimensionamiento se debe tener el cálculo de la potencia máxima de las cargas de corriente alterna del sistema aplicadas con un margen de seguridad. (Style, 2012 pág. 53).

### **2.2.18 Dimensionamiento de conductores eléctricos**

El dimensionamiento de conductores eléctricos depende del tipo de sistema que se utilice es decir si el sistema es de corriente continua, corriente alterna o mixtos.

Para corriente continua se debe tener en cuenta el material del cable, su longitud, la corriente de operación y su caída de tensión. Para corriente alterna se establece una caída de tensión del 3%. (Style, 2012 pág. 69).

Para minimizar las pérdidas en el sistema se debe elegir adecuadamente la sección de los conductores.

### **2.2.19 Dimensionamiento de protecciones eléctricas**

Los elementos de protección son muy importantes en el sistema puesto que protegen a las personas frente a contactos directos o indirectos y a los componentes y equipos del sistema frente a cortocircuitos, sobrecargas y sobre voltajes.

Los dos principales dispositivos de protección para estos sistemas son los interruptores magnetotérmicos y los fusibles que sirven como protecciones de cortocircuitos y sobrecorrientes.

Las protecciones se calculan en base a la corriente máxima añadiendo un margen de seguridad del 20%, (Style, 2012 pág. 69). Se utilizaron fusibles o interruptores magnetotérmicos entre generador – regulador, regulador – banco de baterías, regulador – baterías e inversor.

### **2.2.20 Factor de probabilidad de pérdida de carga**

Es un factor que sirve para valorar la disponibilidad energética de un sistema.

Los análisis de fiabilidad se han centrado fundamentalmente en las labores de dimensionado, donde se valora la disponibilidad energética del sistema mediante la llamada probabilidad de pérdida de carga, asociada básicamente a la radiación solar incidente y al consumo eléctrico previsto. (Villar, 2003 pág. 16).

#### **2.2.21 Factor de capacidad**

Es un factor que permite calificar inmediatamente la calidad energética de un aerogenerador.

Se define como la relación entre la energía generada por un aerogenerador o parque eólico, durante un periodo dado y la que se hubiera producido si durante ese periodo hubiese estado funcionando continuamente a potencia nominal por cualquier periodo de tiempo. (Moreno, 2011 pág. 133).

El factor de carga debe ser mayor que el 20% para que el sistema sea factible económicamente.

#### **2.2.22 Eficiencia energética**

La eficiencia energética es la relación entre la energía de entrada y la energía de salida del sistema, en un valor de porcentaje. (Style, 2012 pág. 40).

Los sistemas de generación con energías alternativas deben ser lo más eficientemente posibles y también lo deben ser los equipos instalados al sistema.

#### **2.2.23 Disminución de emisiones contaminantes**

El principal uso de energías alternativas es para atenuar las emisiones a la atmosfera de gases de efecto invernadero, reduciendo la dependencia del uso de combustibles fósiles.

Los principales agentes contaminantes que degradan la atmosfera y provocan malestar en seres vivos son: Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), dióxido de azufre ( $\text{SO}_2$ ) y los óxidos de nitrógeno (NOX). (Moreno, 2011 pág. 146).

El cálculo de ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub>, sirve para demostrar la eficiencia ambiental de una solución de electrificación con sistemas de energía alternativa comparada con generación basada en quema de combustibles fósiles.

#### **2.2.24 Análisis económico**

Es la última instancia de un proyecto, el análisis económico por lo general determina si una instalación es factible o no. Una vez dimensionado el sistema, es indispensable calcular el presupuesto de todos los equipos que intervienen en la instalación, en el presupuesto se debe tener en cuenta todas las características técnicas de los elementos de manera muy clara, se recomienda consultar dos presupuestos para poder comparar los costos y determinar la opción más adecuada. (Style, 2012 pág. 103)

#### **2.2.25 Relación entre desarrollo humano y suministro de energía**

La falta de acceso a fuentes de energías fiables y económicas afecta a las oportunidades de las personas para desarrollar una vida digna, saludable y creativa. En 2004, tanto el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) como la Agencia Internacional de la Energía (AIE) han puesto de manifiesto el estrecho vínculo que existe entre el nivel de desarrollo humano de un país y su consumo energético, haciendo referencia al Índice de Desarrollo Humano (IDH), un indicador que tiene en cuenta la esperanza de vida, el grado de escolarización y alfabetización y la renta per cápita. (Ranaboldo, 2009 pág. 5).

#### **2.2.26 Necesidades básicas**

Las necesidades energéticas de los habitantes rurales están directamente vinculadas a los aspectos económicos y sociales de sus vidas, presentando así grandes variaciones entre los diferentes grupos sociales y entre diferentes localidades. El consumo de energía está sujeto a las variaciones en el nivel socio-económico de los usuarios y está también influenciada por los desarrollos técnicos y económicos generales, como la introducción de nuevos utensilios domésticos diseñados para ser energéticamente más eficientes y más respetuosos con el medioambiente. (Ranaboldo, 2009 pág. 8).



Estas necesidades se pueden clasificar en las tres siguientes categorías:

1. Necesidades domésticas, como la cocción de alimentos (que también puede ser colectiva), el acondicionamiento térmico de los hogares (calefacción, ventilación, refrigeración) que aumente el confort, la iluminación de los hogares, el acceso a información o entretenimiento (Radio, televisor). (Ranaboldo, 2009 pág. 9).

2. Necesidades colectivas, como: el alumbrado público, la iluminación y acceso a la información de centros educativos o centros sociales comunitarios, el funcionamiento de centros de salud, el funcionamiento de servicios públicos de agua potable y saneamiento, etc. (Ranaboldo, 2009 pág. 9).

3. Necesidades de los usos productivos que generen ingresos y empleo. (Ranaboldo, 2009 pág. 9).

Como se puede observar, la energía juega un papel clave para garantizar, no sólo las necesidades de las personas, sino otros servicios públicos básicos en la promoción del desarrollo humano: salud, educación, agua y saneamiento, etc. y, por supuesto, modos de ganarse la vida de una forma digna. (Ranaboldo, 2009 pág.9).

Es importante recordar que el consumo de energía es un “consumo derivado”: las personas no quieren energía en si misma sino quieren los “servicios energéticos” que ella produce, es decir, la utilización que se hace del suministro, por ejemplo cocinar, iluminar, calentar, transporte, etc. (Ranaboldo, 2009 pág. 9).

Para determinar las necesidades energéticas de una comunidad rural es necesario examinar muy de cerca cómo se gastará la energía y qué condiciones técnicas y socio-económicas se requieren. Este es un proceso dinámico, ya que las condiciones específicas de un lugar cambian con el tiempo. Es importante no confundir la demanda potencial con el consumo presente. El consumo, en cada instante, puede estar afectado por los precios y/o la disponibilidad de combustibles o tecnologías. Los usuarios pueden necesitar más energía de la que son capaces de pagar o de conseguir (existe una gran diferencia entre necesidad y demanda efectiva). (Ranaboldo, 2009 pág. 10).

Muchos estudios afirman que los programas de desarrollo y electrificación rural tienen que hacer partícipes las comunidades en todos los aspectos del proceso desde el proyecto para asegurar que los servicios energéticos aportados sean apropiados, socialmente aceptables y sostenibles (económicamente y ambientalmente): se puede entonces razonablemente concluir que solo asumiendo una manera de operar centrada en las necesidades de las personas se pueden conseguir proyectos que sean realmente eficientes y concretos. Se puede además destacar que es principalmente en la fase de identificación cuando este enfoque participativo resulta esencial para conseguir planificar un sistema de suministro de energía apropiado que se ajuste a las necesidades de servicios. (Ranaboldo, 2009 pág. 10).

### 2.2.27 Soluciones tecnológicas para la electrificación rural

El entorno rural en países en desarrollo se caracteriza por cierto grado de inaccesibilidad, extremo en bastante comunidades, distanciamiento de los centros económicos y niveles bajos de consumo por habitante; todo ello hace que sea muy poco rentable dotarlo de servicio eléctrico. (Ranaboldo, 2009 pág. 10).

Primeramente cabe destacar que la identificación de las opciones tecnológicas para las fuentes de energía depende mucho del tiempo.

Cuadro 2.1. Soluciones tecnológicas para electrificación rural.  
Fuente: (Ranaboldo, 2009 pág. 10).

PRESENTE	CORTO PLAZO	MEDIANO PLAZO	LARGO PLAZO
Red eléctrica o sin electricidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Generación con biomasa</li> <li>* Motores de combustión interna</li> <li>* Eólica</li> <li>* Geotérmica</li> <li>* Pequeña hidráulica</li> <li>* Fotovoltaica</li> </ul>	* Generación a partir de biomasa usando microturbinas y gasificadores integrados en ciclos combinados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>* Células de combustible para cubrir la demanda valle.</li> <li>* Electricidad termo solar.</li> </ul>

1) Tecnología a corto plazo: permite una mejora inmediata de la situación actual.

2) Tecnología a medio plazo: para conseguir un espectacular avance en un periodo de 5 a 10 años.

3) Tecnología a largo plazo: aquella que debería prevalecer después de 20 a 30 años y proporcionar una solución sostenible.

Según el enfoque que se adopta, la electrificación a corto plazo de las zonas rurales se puede conseguir a través de dos opciones (Ranaboldo, 2009 pág. 10).

- Sistemas centralizados: orientados a extender las redes eléctricas hasta aquellos que pueden permitirse su utilización (pago de extensión de red y consumo).
- Sistemas descentralizados o autónomos: pequeños grupos de generación aislados o mini redes.

Dependiendo de las condiciones locales, las tecnologías de suministro eléctrico en sistemas aislados se pueden diferenciar en base al tipo de fuente energética aprovechada (Ranaboldo, 2009 pág. 11).

- No renovable: motores diesel, baterías.
- Renovable: sistemas eólicos, solares, hidráulicos o de biomasa.

#### **2.2.28 Proyectos de electrificación con energía eólica-solar**

A pesar de que la contribución energética a escala mundial de los sistemas eólico-solar desconectados de la red es aún pequeño, el potencial de su impacto en la satisfacción de necesidades energéticas básicas en áreas rurales es de gran interés. (Ranaboldo, 2009 pág. 15).

Se distinguen dos tipos de sistemas:

- Sistemas híbridos: una turbina eólica, combinada con un grupo de baterías, opera en paralelo con otro sistema (por ejemplo junto a un generador diesel, o un sistema fotovoltaico). (Ranaboldo, 2009 pág. 16).

- Sistemas eólicos autónomos: unidades eólicas para generación de electricidad en el uso doméstico, para bombeo de agua, etc.

El sistema de generación eólico para sistemas aislados está generalmente constituido por un aerogenerador de pequeña potencia (difícilmente superior a 1 kW), cuya energía se almacena en una batería. Cuando la batería se encuentre llena, un regulador (una resistencia) descarga la energía producida para evitar problemas de sobrecarga. Normalmente se coloca un generador en cada casa aunque se está considerando la opción de utilizar turbinas de mayor potencia y la creación de micro redes. (Ranaboldo, 2009 pág. 16).

### **2.3 Marco Legal Vigente**

En estos últimos años, Ecuador ha tenido importantes cambios a nivel legislativo y regulatorio en 2008 la aprobación de una nueva Constitución. A través de este texto, el Estado se compromete “a promover la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua”. También hay que destacar, la creación del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) en 2007. Con la actual estructura administrativa, queda patente la apuesta del gobierno ecuatoriano en el sector de las energías renovables. (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2009 pág. 9).

Hasta el momento, sólo en el sector eléctrico existen normativas relativas al uso de energías renovables:

- Ley de Regulación del Sector Eléctrico (LRSE), data del año 1996 aunque ha tenido modificaciones posteriores, contiene las normas relacionadas con la estructura del sector eléctrico y de su funcionamiento. En el capítulo IX de la Ley se hace una mención específica sobre el fomento al desarrollo y uso de recursos energéticos no convencionales. Se establece este tipo de recurso energético como prioritario a la hora de asignar los fondos de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM) a proyectos de electrificación rural. Además, es el Consejo Nacional de Electrificación quien dictará las normas aplicables para el despacho de la electricidad producida con energías no convencionales tendiendo a su

aprovechamiento y prioridad. (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2011 pág. 9).

- Reglamento General de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, establece las normas y los procedimientos generales para la aplicación de la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, en la actividad de generación y en la prestación de los servicios públicos de transmisión, distribución y comercialización de la energía eléctrica, necesarios para satisfacer la demanda nacional, mediante el aprovechamiento óptimo de los recursos naturales. (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2011 pág. 9).
- Regulación N° CONELEC – 009/06 Vigente desde 2007, establece los precios de la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales. (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2011 pág. 10).

### **2.3.1 Proyectos de electrificación Rural**

La normativa relativa a la electrificación rural vienen marcada fundamentalmente por la Ley de Regulación del Sector Eléctrico (LRSE), en la que se especifica que el Estado promoverá los proyectos de desarrollo de electrificación rural y urbano - marginal, y las obras de electrificación destinadas a la provisión de agua potable. Además se establece el Fondo de Electrificación Rural y Urbano - Marginal (FERUM). (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2011 pág. 10).

Las normas generales que deben observarse para la planificación y aprobación de proyectos y para la ejecución de obras que se financien con los recursos económicos del FERUM están definidas en el “Reglamento para la Administración del Fondo de Electrificación Rural-Urbano Marginal”. (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2011 pág. 10).

Sobre las normas y reglamentos se deben cumplir con una serie de estándares de aceptación internacional desarrollados por los principales organismos europeos de normalización, tales como el Comité Europeo para la Normalización Electrotécnica (CENELEC) o la Comisión Electrotécnica Internacional (CEI).

Recientemente la CEI ha publicado una serie de especificaciones técnicas diseñadas para ayudar a crear proyectos de electrificación rural en zonas aisladas donde, normalmente, no hay acceso a la red pública de electricidad. (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2009 pág. 12).

Las especificaciones sirven como guía y su objetivo es mejorar la calidad, la seguridad y la sostenibilidad de los sistemas de electrificación en los países en vías de desarrollo, sin ser específicos de esos países. (Ministerio de Electricidad y Energías Renovables, 2009 pág. 12).

Al estar todavía en fase de desarrollo técnico, se han publicado como una serie de especificaciones técnicas en lugar de Normas o Estándares Internacionales, publicadas bajo el título de “recomendaciones para pequeños sistemas de energía renovable y sistemas híbridos para electrificación rural”, las especificaciones comprenden actualmente las siguientes secciones:

- CEI 62257-1:2003 Parte 1: Introducción general a la electrificación rural
- CEI 62257-2:2004 Parte 2: Requisitos y distintos sistemas de electrificación
- CEI 62257-3:2004 Parte 3: Desarrollo y gestión de proyectos
- CEI 62257-4:2005 Parte 4: Sistema de selección y diseño
- CEI 62257-5:2005 Parte 5: Protección contra riesgos eléctricos
- CEI 62257-6:2005 Parte 6: Aceptación, funcionamiento, mantenimiento y sustitución.

En la Norma Ecuatoriana de construcción NEC-11 capítulo 14, Energías renovables están recogidas las referencias.

### **Normas de referencia**

- NTC 318: 1979, Tubos fluorescentes para alumbrado general.
- NTC 2883: 1991, Energía fotovoltaica. Módulos fotovoltaicos.
- NTC 4405: 1998, Eficiencia energética. Evaluación de la eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos y sus componentes.

- Thermie B: SUP-995-96: Norma Técnica Universal para Sistemas Fotovoltaicos Domésticos.

## **2.4 Definición de términos**

### **Panel fotovoltaico**

Conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellas.

### **Aerogenerador**

Aeroturbina en la que la energía mecánica se transforma en energía eléctrica.

### **Anemómetro**

Instrumento que se emplea para medir la velocidad del viento.

### **Batería**

Elemento capaz de almacenar energía eléctrica transformándola en energía química, para después entregar energía eléctrica.

### **Calma**

Es el período sin viento.

### **Coefficiente de potencia**

Potencia del aerogenerador adimensionalizada con la energía del viento que atraviesa el rotor del aerogenerador en la unidad de tiempo.

### **Controlador de carga**

Elemento que controla el estado de carga de las baterías.

### **Curva de potencia**

Potencia suministrada por el aerogenerador en función de la velocidad del viento.

**Densidad de Potencia**

Medida de la fortaleza del recurso eólico en watt por metro cuadrado ( $W/m^2$ ). La cantidad de potencia por unidad de área de la corriente de aire.

**Densidad del aire**

Masa de aire referida a su volumen. La densidad de aire a nivel del mar es  $1,225 \text{ kg/m}^3$ , esta disminuye con el incremento de la altura y la temperatura.

**Diámetro del rotor**

En los generadores eólicos de eje horizontal el diámetro del círculo barrido por el rotor perpendicular al eje de rotación del rotor.

**Dirección predominante**

Dirección del viento que se registra con mayor frecuencia.

**Eficiencia**

Cociente de la potencia de salida entre la potencia de entrada.

**Estructura soporte**

Parte de la turbina eólica compuesta por la torre de soporte y los elementos de sujeción y cimentación.

**Inflación de la energía**

Aumento de los costos de energía en relación a la moneda nacional durante un período de análisis.

**Intensidad de turbulencia**

Relación entre la desviación estándar de la velocidad del viento con la velocidad media tomada sobre un mismo periodo de tiempo.

**Inversor**

Equipo electrónica capaz de transformar corriente continua en corriente alterna.



### **Límite de Betz**

El valor máximo de la potencia del viento que se puede extraer con un aerogenerador teóricamente es aproximadamente un 59.3 %.

### **Longitud de rugosidad**

Altura extrapolada a la cual la velocidad del viento se anula en su perfil vertical.

### **Mapa eólico**

Mapa donde aparecen distintos datos de interés eólico como velocidades medias de viento, direcciones predominantes, densidad de potencia, etc.

### **Perfil vertical del viento**

Variación de la velocidad del viento con la altura respecto al suelo.

### **Potencia eólica disponible**

Es la capacidad del viento para producir trabajo en unidad de tiempo.

### **Probabilidad de Weibull**

Función de probabilidad utilizada a menudo para describir la distribución de velocidad del viento, cuya función de distribución depende de dos parámetros, el parámetro de forma, que determina la anchura de la distribución, y el parámetro de escala, que determina la velocidad media del viento de la distribución.

### **Ráfaga**

Variación brusca de la velocidad del viento que se caracteriza por su duración, amplitud y forma.

### **Radiación Solar**

Cantidad de energía procedente del sol que recibe una superficie en un determinado tiempo.

**Registrador de datos**

Instrumento electrónico que registra y almacena los datos de las mediciones del viento.

**Rendimiento**

Es la relación entre la energía útil que se realiza en un determinado tiempo y la energía total entregada en ese intervalo.

**Reemplazo**

Costo de reemplazo de los elementos de una instalación.

**Rosa de vientos**

Distribución de la velocidad del viento en un diagrama polar.

**Rugosidad**

Es la falta de lisura de la superficie terrestre debida a la topografía, vegetación y el medio ambiente. Esta perturba el flujo de viento dentro de la capa límite.

**Sistema autónomo o aislado**

Sistema fotovoltaico, eólico o mixto que trabaja sin otra fuente de energía y no está conectado a la red eléctrica local, requiere varios elementos para su funcionamiento.

**Tasa de descuento**

Es un parámetro financiero usado para determinar el valor actual de un pago a futuro.

**Valor actual neto**

Método de análisis económico que permita calcular el valor presente de una inversión a través de un determinado número de flujos de caja a futuro.

## **2.5 Conclusiones del Capítulo**

A partir del análisis de las bibliografías consultadas se pudo constatar la importancia del uso de energías alternativas en electrificación de viviendas aisladas, quedando con ello estructurada la base teórica de la investigación.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA**

En el presente capítulo se presenta la metodología, tipo, el enfoque metodológico, la modalidad, el nivel y las técnicas e instrumentos utilizados en la investigación. Además, se declara la población o universo de estudio y se define la muestra para aplicar los instrumentos de recolección de información.

#### **3.1 Diseño de la investigación**

Se refiere al tipo de investigación que se emplea en la tesis, se definen estructuralmente los elementos metodológicos generales que describen las etapas llevadas a cabo en el proceso de investigación.

##### **3.1.1 Modalidad de la Investigación**

La investigación se enfocará dentro de la modalidad experimental que es la toma de datos de velocidad del viento, modalidad bibliográfica, para la cual se hizo una amplia búsqueda de la misma, que permitió desarrollar la cultura del objeto a investigar y modalidad de campo para selección del lugar, ubicación del punto prospectado para la registro de velocidad del viento y radiación solar. Se tomó como escenario el sector rural Langoa de la ciudad de Latacunga lugar donde claramente se visualiza la necesidad del uso de energía eléctrica y el desaprovechamiento del recurso eólico y solar, que al ser analizados permitieron realizar una propuesta de electrificación para solucionar esta necesidad, razón por la cual, se seleccionó esta localidad para la ubicación del registrador de velocidad del viento y obtención de valores de irradiación solar.

##### **3.1.1.1 Modalidad Experimental**

La investigación se enfocó dentro de la modalidad experimental que es la medición y toma de datos de velocidad del viento, El tratamiento de las mediciones se hará por intervalo de clase según los valores registrados, se aplicó la estadística descriptiva, para la producción de energía eólica se utilizará la

distribución de Weibull, la cual según la literatura es la más recomendada para estimar el potencial eólico.

### 3.1.1.2 Modalidad De Campo

La modalidad de la investigación es de campo, puesto que es el estudio sistemático del problema de la evaluación del recurso eólico y solar del sector rural Langoa, con el propósito de descubrir sus causas y efectos, entender su naturaleza e implicaciones, de forma que permita plantear una alternativa de solución. Para esto es necesario interactuar directamente con los habitantes del sector y el emplazamiento.

La figura 3.1 muestra la localización de las ocho viviendas analizadas y el cuadro 3.1 indica descripción de las ocho viviendas analizadas.

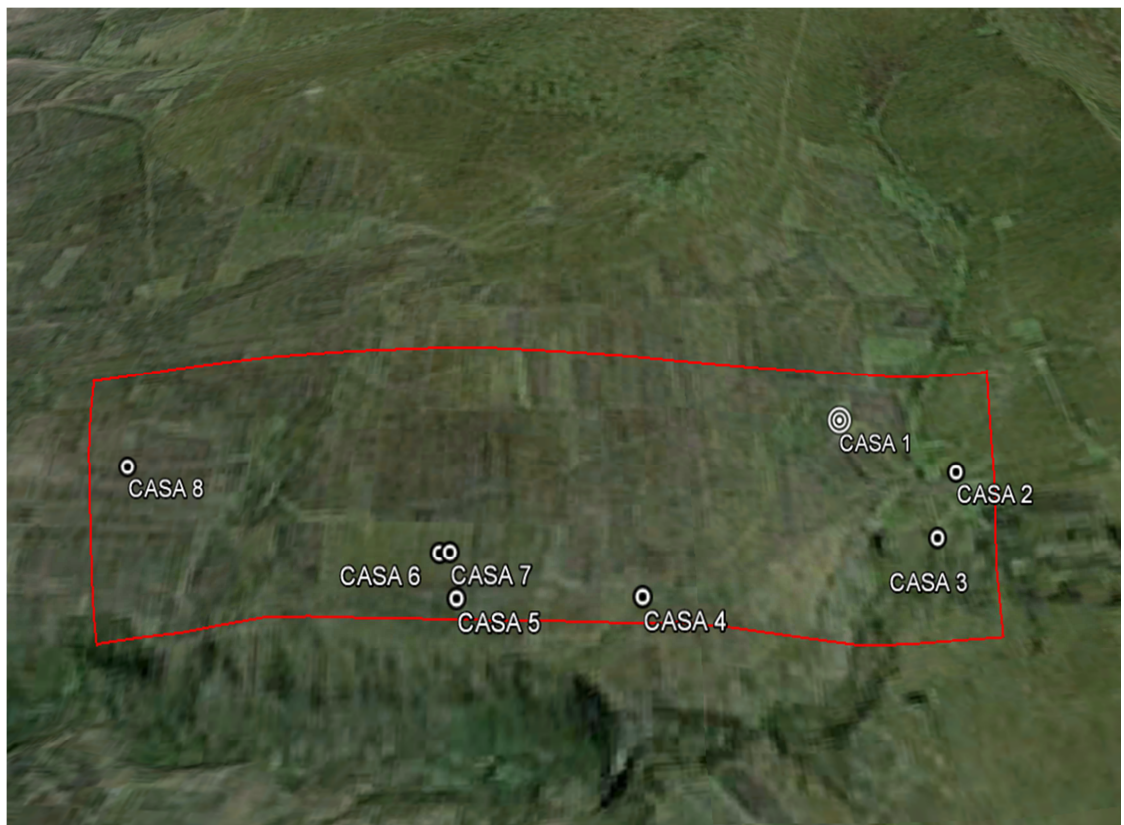


Figura 3.1. Ubicación de las ocho viviendas analizadas.  
Fuente: Google Earth.

Cuadro 3.1. Descripción de las ocho viviendas analizadas.

VIVIENDAS	NÚMERO DE HABITANTES	ÁREA (m2)	COORDENADAS UTM		
			X	Y	Z
Vivienda 1	4	123	780291	9899194	3747
Vivienda 2	4	100	780664	9898951	3720
Vivienda 3	3	84	780583	9898768	3706
Vivienda 4	4	78	779593	9898518	3712
Vivienda 5	4	90	779008	9898523	3699
Vivienda 6	3	110	778942	9898663	3714
Vivienda 7	4	81	778975	9898666	3714
Vivienda 8	2	81	777822	9899012	3708

En esta investigación se recogen datos directos de las viviendas mediante la observación, además la entrevista a un experto en el tema quien ayudo a establecer el lugar y la vivienda tipo para el análisis, también se entrevistó a los habitantes del sector rural Langoa para ver su predisposición de ayuda al proyecto.

Para determinar la velocidad del viento se usó la medición, instalando el anemómetro de rotación formado por tres cazoletas cónicas en un punto prospectado (vivienda familiar tipo) según las recomendaciones del experto en el tema consultado y las recomendaciones para mediciones de velocidad del viento de los autores (Mattio h., Tilca f. 2009) las que se describen más adelante, además se obtuvo información de datos meteorológicos que indican la potencialidad del recurso proveniente del viento y del sol como: Atlas eólico y solar, datos de series históricas en la zona de estudio y el software INSOLACIÓN.

Se analizaron varias cualidades para escoger con criterio al experto en energías alternativas, al morador representativo para la entrevista y la vivienda tipo como son:

### 1. Criterio de selección del experto en energías renovables:

- Por ser un docente universitario.
- Tener vasta experiencia en el campo de estudio.
- Por dictar cátedras de energía eólica.
- Haber formado parte del equipo de medición de potencial eólico, e instalación de aerogeneradores en el país de Cuba.

- Por su predisposición de ayuda.

## **2. Criterio de selección del habitante representativo:**

- Por ser el propietario de la vivienda en el sector rural Langoa.
- Por tener la necesidad del uso de energía eléctrica.
- Por la apertura y facilidades para la investigación.
- Por el interés mostrado en la investigación.

## **3. Criterio de selección de la vivienda tipo:**

Para escoger la vivienda tipo se analizó el área de las ocho viviendas cuadro 3.1, la vivienda tipo elegida es la vivienda 1, por ser la más grande en área con un valor de 123 m<sup>2</sup>, permitiendo que las necesidades eléctricas analizadas para esa vivienda sean fácilmente socializadas a las demás. Además es habitada por cuatro personas dos adultos y dos niños, representando a la mayoría de habitantes de las ocho viviendas.

### **3.1.1.3 Modalidad Bibliográfica Documental**

El presente trabajo de investigación se fundamentó en el estudio bibliográfico y documental del tema, con el propósito de ampliar, profundizar y analizar su conocimiento, se han revisado varios trabajos relacionados al uso de energías alternativas. Se visitaron los sitios web para obtener catálogos de los fabricantes de aerogeneradores, paneles solares, baterías, reguladores e inversores, etc. con el fin de verificar costos, especificaciones técnicas y disponibilidad determinando los más adecuados. Se analizaron los recursos de los Atlas Eólico y Solar para fines de generación eléctrica en el Ecuador. Para completar se acudió a fuentes secundarias como libros, catálogos y otras publicaciones, toda la información recabada fue analizada para establecer las conclusiones pertinentes.

### **3.1.2 Tipo de Investigación**

#### **a.- Exploratoria:**

Se averiguo la situación actual de la zona rural Langoa determinando la falta de servicio de energía eléctrica inspeccionando las viviendas, determinando los sitios en el sector Langoa donde terminan las redes eléctricas. La falta de energía eléctrica se debe a los siguientes aspectos: Es una zona de difícil acceso, las viviendas están separadas por más de 2 km de la red eléctrica, las viviendas de los moradores están dispersas por más de 500 m.

#### **b.- Descriptiva:**

Se realizó la investigación descriptiva al recolectar información relacionada con el emplazamiento determinando: El tipo de topografía, distancia entre las viviendas de la zona, el mejor lugar donde se va a instalar el medidor de velocidad del viento, el tipo de vivienda y sus necesidades de electrificación, posibles obstáculos que interfieran con el potencial eólico y solar y para tener una interpretación correcta se corrobore estos datos con los habitantes de la zona. Para ésta investigación se recoge datos directos del emplazamiento y las necesidades de que artefactos eléctricos necesitan los pobladores a través de la observación y la entrevista a los habitantes de la vivienda en donde se va a aplicar el estudio además de la colaboración de un experto en energías alternativas con quien se visitó el emplazamiento.

#### **c.- Prospectiva:**

La dirección que sigue el investigador es de la variable independiente hacia la variable dependiente. La presente investigación parte del potencial eólico y solar del sector de Langoa hacia la evaluación energética del sistema de generación eólico y solar, para generar energía eléctrica, permitiendo el diseño tecnológico y propuesta de un sistema de generación eléctrico alternativo propuesto en la investigación.



**d.- Explicativa:**

Se establece relaciones entre las variables para conocer la estructura y factores que intervienen en el proceso, es decir, los aspectos que intervienen en el análisis del potencial eólico y solar para la evaluación energética que son: Ubicación del emplazamiento, recurso solar, recurso eólico, dimensionamiento del sistema de generación, etc.

**e.- Cualicuantitativa:**

Permite describir e interpretar las cualidades de un fenómeno, busca un concepto que pueda abarcar una parte de la realidad y es cuantitativa pues generaliza y presupone, para alcanzar mayor validez, un conocimiento cualitativo y teórico bien desarrollado mediante la estadística y el análisis de sus datos.

### 3.2 Operacionalización de variables

Cuadro 3.2. Variable Independiente: Potencial eólico y solar

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE: Potencial eólico y solar del sector de Langoa</b>					
Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Potencial solar: Cantidad de energía proveniente del sol (radiación solar), que se puede aprovechar para generar energía eléctrica Potencial eólico: Cantidad de energía producida por los desplazamientos de masas de aire por consecuencia de las diferencias de presión causada por alteraciones de temperatura, la energía eólica se usa para obtener trabajo y de posteriormente energía eléctrica.	Ubicación del emplazamiento	Coordenadas geográficas	UTM	mediciones	GPS
		Datos del emplazamiento	m	mediciones	Cinta métrica
		Consumo eléctrico	Wh/día	Cálculos	Ecuaciones
	Recurso solar	Datos de insolación global	HSP	Cálculos software	Software INSOLACIÓN Ecuador
		Insolación global sobre superficie inclinada	Wh/m <sup>2</sup> /día	Cálculos	Ecuaciones
	Recurso eólico	Selección del anemómetro	Tipo de anemómetro	observación	Criterios técnicos
		Medidas de velocidad del viento	m/s	mediciones	anemómetro
		Datos de dirección del viento	grados	Cálculos	Atlas Eólico del Ecuador, Rastro eólico.
		Distribución de la velocidad del viento	Adimensional	Cálculos	Estadística y Software WINDOGRAPHER
		Distribución de Weibull	Adimensional	Cálculos	Estadística y Software WINDOGRAPHER
		Densidad de potencia eólica	W/m <sup>2</sup>	Cálculos	Ecuaciones
		Densidad de energía eólica	Wh/m <sup>2</sup>	Cálculos	Ecuaciones
	Dimensionamiento del sistema	Cálculo de la carga diaria del sistema	Ah	Cálculos	Ecuaciones, HOMER
		Dimensionamiento de paneles solares	Número de módulos	Cálculos	Ecuaciones, HOMER
		Dimensionamiento del aerogenerador	Curvas de Potencia	Cálculos	Ecuaciones, HOMER
		Dimensionamiento del acumulador	Numero de acumuladores	Cálculos	Ecuaciones, HOMER
		Dimensionamiento del regulador e inversor	A, W	Cálculos	Ecuaciones, HOMER
		Dimensionamiento de conductores eléctricos	V	Cálculos	Ecuaciones
		Cálculo de protecciones eléctricas	A	Cálculos	Ecuaciones

Cuadro 3.3. Variable Dependiente: Evaluación energética eólica y solar

Sistema de generación eólica y solar

VARIABLE DEPENDIENTE:

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Es la determinación de la cantidad de energía que consume el sistema vs la cantidad de energía que entrega, tomando en cuenta pérdidas".	Calidad de un sistema fotovoltaico aislado	Factor probabilidad de pérdida de carga	%	Cálculos	Ecuaciones
	Calidad energética de un aerogenerador	Factor de capacidad	%	Cálculos	Ecuaciones
	Eficiencia energética	Energía eléctrica aprovechada	kWh, kWh/m <sup>2</sup> , W/m <sup>2</sup>	Cálculos	Ecuaciones
	Ambiental	Emisiones de CO <sub>2</sub>	kg	Cálculos	Ecuaciones
	Prefactibilidad	Costo	\$	Cálculos	Ecuaciones

### 3.3 Hipótesis

Al evaluar la potencialidad de energía eólica y solar en la zona rural Langoa del cantón Latacunga, permitirá diseñar y proponer un sistema de generación de energía alternativa que cubra el consumo eléctrico de los usuarios en la vivienda seleccionada de dicha zona.

### 3.4 Procedimiento de la Investigación

1. Valoración del sector recorriendo el sitio rural Langoa en el cantón Latacunga.
2. Estructuración de la entrevista con preguntas acordes al tema investigado.
3. Análisis de la información recogida y su cuantificación.
4. Selección de la vivienda tipo que es donde se analizó el potencial eólico y solar.
5. Determinación de la ubicación geográfica y se realizó el levantamiento topográfico de la vivienda tipo.
6. Determinación de los valores de temperatura ambiente en el lugar y densidad del aire en el sector.
7. Instalación de anemómetro de paletas con sistema de adquisición de datos y procesamiento de la información.
8. Obtención de la velocidad del viento, dirección y rugosidad del terreno del Atlas Eólico.

9. Validación de las mediciones de velocidad del viento con las obtenidas en el Atlas, mediante el uso del Software WINDOGRAPHER.
10. Determinación del potencial solar mediante el uso del Software del Atlas solar del Ecuador y la web NASA Surface meteorology and Solar Energy.
11. Contrastación de los resultados del potencial solar.
12. Evaluación de la potencialidad eólica y solar.
13. Determinación de la energía eléctrica que se puede generar con un sistema de generación de energía alternativa y se dimensionó dicha instalación, con ecuaciones y software HOMER.
14. Determinación de todos los elementos necesarios y su forma de conexión para utilizar un sistema de generación de energía eléctrica mediante un sistema de generación de energía alternativa.
15. Valoración técnica, económica y ambiental de la propuesta del sistema de generación de energía alternativa.

### **3.5 Población y Muestra**

La población consiste en los registros de velocidad del viento, dirección del viento, insolación global, rugosidad del terreno y temperatura, dando en total 52611 datos, en esta investigación se va a trabajar con todos los datos de la población, razón por la cual no es necesario obtener una muestra. Los datos son obtenidos de diferentes fuentes de información que se detallan más adelante.

La población de estudio se determinó mediante mediciones como se describe en el párrafo anterior y además de series históricas de datos a 6 m de la vivienda tipo del sector rural Langoa, este emplazamiento está ubicado a 15.26 km al oriente de la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, como se indica en la figura 3.2 marcado con la letra A.

Para determinar el emplazamiento se visitó todo el sector de Langoa hasta llegar al sitio turístico Laguna de Langoa, en este trayecto se pudo observar ocho viviendas sin acceso a energía eléctrica en las cuales se pudo conversar con sus habitantes, la primera vivienda propiedad del señor Guido Claudio habitada por cuatro personas, dos adultos y dos niños cuya actividad es el cuidado de ganado

vacuno y ovino para engorde, la segunda vivienda ubicada a 447 metros al oriente de la primera, perteneciente a la señora Carmen Chacón, habitada por cuatro personas adultas cuya actividad principal es la cría de ganado vacuno y ovino, etc.



Figura 3.2. Ubicación de la vivienda tipo sector rural Langoa.  
Fuente: Google Earth.

Al realizar la entrevista no estructurada e informal a los dueños de las viviendas se les comento sobre el proyecto, mostrando gran interés en el mismo, se indagó sobre sus requerimientos y fueron muy enfáticos en recalcar la necesidad de suministro de energía eléctrica, indicando los aparatos eléctricos que ellos quieren acceder y al existir más requerimientos en la primera vivienda debido por ser la más grande en área con un valor de 123 m<sup>2</sup>, permitiendo que las necesidades eléctricas analizadas para esa vivienda sean fácilmente socializadas a las demás. Además es habitada por cuatro personas dos adultos y dos niños, representando a la mayoría de habitantes de las ocho viviendas, al tener más apertura y disponibilidad del propietario para colaborar con la investigación se decidió tomar la vivienda 1 como la vivienda tipo.

### **3.6 Métodos y Técnicas**

Dada la naturaleza del estudio y en función de los datos que se requieren, las técnicas e instrumentos de recolección estuvieron enmarcados por:

#### **3.6.1 Observación Directa**

Ayudó a determinar las características físicas del lugar, la vivienda tipo, el sitio adecuado junto a la vivienda para la instalación del anemómetro, los requerimientos eléctricos en la vivienda.

#### **3.6.2 Entrevista no estructurada**

Se aplicó mediante el diálogo, para la cual se preparó ocho preguntas muy concretas que se indican a continuación:

1. Si son propietarios de la vivienda.
2. Número de personas que habitan el lugar.
3. Cuantos adultos y niños habitan la vivienda.
4. Actividad económica a la que se dedican.
5. Qué nivel de educación tienen.
6. Si los niños están estudiando.
7. Necesidad del uso de energía eléctrica.
8. Artefactos eléctricos que desearían poder utilizar.

El análisis de las preguntas se puede apreciar en el capítulo IV y con estas preguntas se obtuvo toda la información necesaria que permitió evaluar la propuesta de equipos necesarios para la electrificación de la vivienda tipo mediante el uso de energías alternativas. En el proceso se contó con la supervisión del experto Cubano MSc. Gabriel Hernández, quien además de ayudar con su experiencia y conocimientos, pudo constatar la calidad de vida de los habitantes y socializar con ellos de una manera muy agradable como se puede apreciar en la figura 3.11.

Figura 3.3. Entrevista a los habitantes de la zona.



### 3.6.3 La medición

El instrumento de medida usado para medir la velocidad del viento es un anemómetro de rotación formado de tres cazoletas cónicas, permitiendo medir la componente horizontal del viento, en donde la velocidad de giro es proporcional a la velocidad del viento. El anemómetro usado es WIND101A que es un kit de anemómetro con registrador de datos MadgeTech, en la figura 3.4 se indica el instrumento de medida, el registrador y sus características técnicas.



Figura 3.4. Anemómetro y registrador de datos.  
Fuente: MadgeTech.

Cuadro 3.4. Especificaciones Técnicas anemómetro y registrador de datos.  
Fuente: MadgeTech.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Measurement Range:	0 to 100 mph (0 to 45 m/s)
Threshold Wind Speed:	1.75 mph (0.75 m/s)
Memory	500,000 readings; software configurable memory wrap 250,000 readings in multiple start/stop mode
Accuracy:	±2mph 0~10mph, ±2.5% of reading 10~100mph
Resolution:	0.085 mph at 10s reading interval
Rotation Diameter:	7.53" (192 mm)
Materials:	ABS Plastic
Mount:	Accepts 0.5" (13 mm) dia. Mast
Operating Temperature Range:	-40 to +80°C (-40 to +176°F)
Battery Type :	3.6V Lithium battery included; user replaceable
Computer Interface:	USB
Operating System:	XP SP3 / Vista / Windows 7
Enclosure Dimensions:	2.9" x 5.8 " x 1.5" (74mm x 148mm x 39mm)
Weight:	18.1oz.

La elección del instrumento de medida (anemómetro) para este proyecto, se basó en los siguientes criterios:

- El Costo y disponibilidad para su adquisición.
- Frecuencia de muestreo, es recomendado que se encuentre en el rango de (0,1 a 0,2 Hz), es decir, que el período de medición de las velocidades instantáneas a ser promediadas cada 10 minutos, no exceda de 5 o 10 segundos.



- Características técnicas como linealidad, precisión, resolución, forma de almacenamiento de los datos, tipo de fuente de alimentación del instrumento.
- Indispensable su calibración, que asegure la fiabilidad y precisión de las medidas.

El equipo utilizado para la ubicación de la zona de estudio y el levantamiento geográfico de la vivienda es un GPS marca Trimble Geo XT. Este producto proporciona una precisión submétrica pareja tanto en tiempo real como con pos procesamiento, el colector de mano GeoXT es la solución submétrica más confiable disponible, ha sido diseñado teniendo en cuenta el sistema GIS y funciona con la plataforma Windows CE. El GPS y sus características técnicas se indican en la figura 3.5 y el cuadro 3.5.



Figura 3.5. Características técnicas GPS Trimble Geo XT.  
Fuente: Trimble.

Cuadro 3.5. Especificaciones Técnicas GPS Trimble Geo XT.  
Fuente: Trimble.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
Físicas	
Tamaño.....	21,5 cm × 9,9 cm × 7,7 cm
Peso.....	0,80 kg con batería
Procesador.....	Procesador Marvell PXA-270 Xscale de 520 MHz
Memoria.....	128 MB de RAM y memoria interna Flash de 1 GB
Batería.....	Litio-ión interna de 7500 mAh

27,8 vatios hora, recargable en la unidad	
Modo de alimentación	
Bajo (sin GPS ni retroiluminación) . . . . .	1,8 vatios
Normal (con GPS y retroiluminación <sup>3</sup> ). . . . .	2,6 vatios
Alto (con GPS, retroiluminación <sup>3</sup> , Bluetooth y LAN inalámbrica) <sup>4</sup> . . . . .	3,7 vatios
Medioambientales	
Temperatura de funcionamiento. . . . .	-20 °C a +60 °C (-4 °F a 140 °F)
Temperatura de almacenamiento. . . . .	-30 °C a +70 °C (-22 °F a 158 °F)
Caja. . . . . A prueba de polvo y resistente a lluvias con fuerte viento según la norma IP65. Asa antideslizante, resistente a golpes y vibraciones	
Caída . . . . .	1,2 m MIL-STD-810F, Método 516.5, Procedimiento IV
Entrada/salida	
Ampliación. . . . .	Ranura para tarjetas SD (tarjetas de memoria SD o SDHC)
Pantalla. . . . .	TFT VGA (480 x 640 píxeles) de 8,9 cm, colores de 16 bits (65.536) y retroiluminación LED
Interfaz. . . . .	Pantalla táctil, 10 teclas de control de hardware, LED de estado de alimentación, sistema de audio para eventos, advertencias y notificaciones
Teclado virtual SIP (Soft Input Panel) y software con reconocimiento de escritura	
Audio . . . . .	Micrófono y altavoz, utilidades para grabar y reproducir
I/O. . . . .	USB cliente 1.1 a través del módulo de soporte, serial mediante adaptador de clip serial/alimentación RS-232 de 9 pines opcional
Radios <sup>5</sup> . . . . .	Bluetooth 1.2, LAN inalámbrica 802.11b/g

### 3.6.4 Software WINDOGRAPHER

WINDOGRAPHER es un poderoso programa para el análisis del recurso eólico para ayudar a los usuarios a desarrollar proyectos de energías alternativas, permite el análisis de datos de velocidad y dirección del viento obtenido directamente de los instrumentos de medida o torres de medición. Produce gráficos claros y atractivos, histogramas, rosa de los vientos, permite tener un control de calidad avanzado, realiza muchos cálculos, como la cizalladura del viento, intensidad de turbulencia, velocidad extrema del viento y la producción de energía de turbinas eólicas. Es un software muy intuitivo, fácil de usar y muy completo. En la figura 3.6 se puede apreciar una ventana de cálculo.

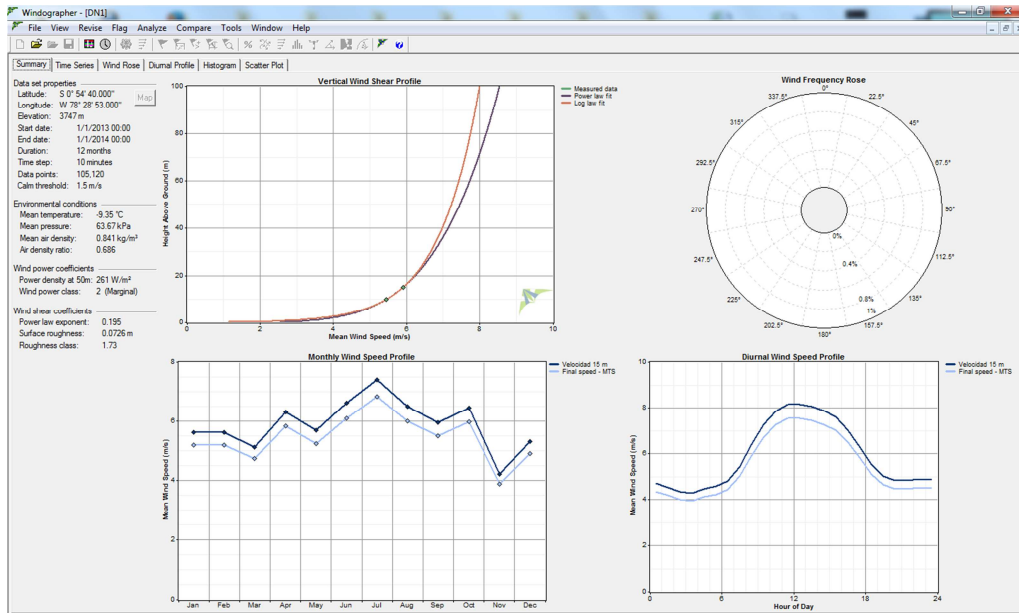


Figura 3.6. Software WINDOGRAPHER.  
Fuente: Software WINDOGRAPHER.

### 3.6.5 Software HOMER

HOMER es una herramienta poderosa para el diseño y análisis de sistemas híbridos de energía, que contienen una mezcla de generadores convencionales, cogeneración, turbinas eólicas, energía solar fotovoltaica, energía hidroeléctrica, baterías pilas de combustibles, biomasa y otros insumos. Simula el funcionamiento de un sistema para realizar cálculos del balance de energía para cada una de las 8,760 horas en un año. Para cada hora, HOMER compara el consumo eléctrico y térmico horario para la energía que el sistema pueda suministrar en esa hora, y los cálculos de los flujos de energía para cada componente del sistema. Para los sistemas que incluyen baterías o generadores diesel, HOMER también decide para cada Hora cómo funcionan los generadores y si cargan o descargan las baterías. HOMER realiza estos cálculos del balance de energía para cada configuración del sistema que usted quiera considerar. Entonces determina si una configuración es posible, es decir, si éste puede hallar la demanda eléctrica bajo las condiciones que usted especifique, y las estimaciones del costo de instalación y de funcionamiento del sistema sobre el tiempo de vida del proyecto. El sistema de cálculos del costo considera por costos el capital,

reemplazo, funcionamiento y mantenimiento, combustibles y/o intereses. En la figura 3.7 se puede apreciar una ventana de cálculo.

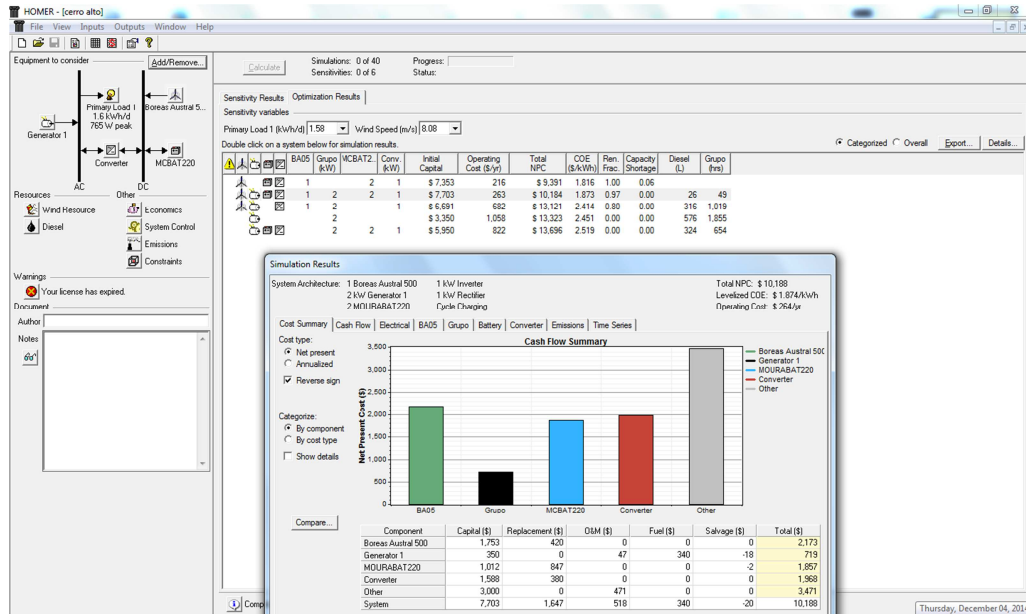


Figura 3.7. Software HOMER.  
Fuente: Software HOMER.

### 3.7 Ubicación del emplazamiento

#### 3.7.1 Coordenadas geográficas

La ubicación elegida para la instalación del anemómetro está ubicada geográficamente en las coordenadas UTM: X: 780291, Y: 9899194, Z: 3747 m. ubicada a 6 m de la vivienda tipo como indica la figura 3.8.

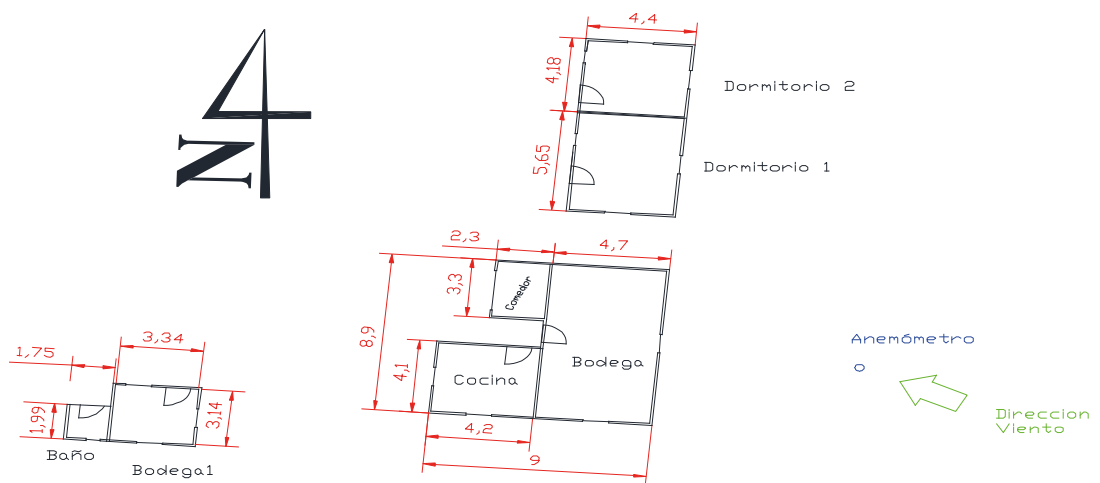


Figura 3.8. Ubicación del anemómetro respecto a la vivienda tipo.

En la figura 3.9 se puede apreciar una vista real con una foto del lugar donde se instaló el anemómetro.



Figura 3.9. Foto de la ubicación del anemómetro.

Para la instalación del anemómetro se eligió este lugar de acuerdo a los siguientes criterios:

- La dirección del viento, fue fundamental conocer éste valor para evitar que el viento primero pase por la vivienda y después por el anemómetro, como se puede apreciar en la figura 3.8.
- Se instaló en un lugar despejado puesto que en su horizonte no hay obstáculos de igual o mayor altura a una distancia de 300 m que puedan provocar turbulencias, tal como se puede apreciar en la figura 3.9.
- La altura de medición es de 10 m sobre el suelo, que es lo que se recomienda en campañas de medición para pequeños proyectos de electrificación.
- Está libre de perturbaciones por obstáculos próximos, aunque esta junto a la vivienda está ubicado fuera de la zona de perturbación causada por la misma, el anemómetro y la vivienda no están al mismo nivel del suelo, como se puede apreciar en la figura 3.10.

- Se instaló en la parte superior de un poste de madera cilíndrico.
- Como es un terreno llano y con baja rugosidad un anemómetro a 10 m, es suficiente para determinar la velocidad del viento.



Figura 3.10. Perturbación del viento por la vivienda.  
Fuente: Sector Langoa.

La instalación y puesta en funcionamiento del anemómetro conto con la asesoría del experto cubano MSc. Eduardo Terrero Matos, quien participó activamente con sus criterios técnicos, y ayudo en la instalación del mismo como se puede apreciar en la figura 3.11. El anemómetro una vez instalado y en funcionamiento, se lo puede apreciar en la figura 3.12. Una vez instalado el anemómetro se lo conectó al registrador de datos, se programó mediante software y se lo ubicó dentro de la bodega en un lugar cerrado y seguro.



Figura 3.11. Colaboración del experto en la instalación del anemómetro.





Figura 3.12. Anemómetro ubicado en el emplazamiento.

El lugar donde se instaló el anemómetro tiene características físicas que se puede apreciar en el cuadro 3.6.

Cuadro 3.6. Características físicas del lugar.

Fuente: Atlas Eólico del Ecuador y web NASA Surface meteorology.

RUGOSIDAD DEL TERRENO	0,072608	m
PENDIENTE DEL TERRENO	19,4	%
ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR	3747	m
TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL	6.95	°C

Con el valor de la temperatura promedio anual y la altitud del emplazamiento sobre el nivel del mar, se calculó el valor de la densidad del aire, aplicando la ecuación 3.1.

$$\rho = 1,225 \left( \frac{288}{t + 273} \right) e^{-\frac{z}{8435}}$$

Ecuación 3.1. Densidad del aire

Dónde:

$\rho$  = Densidad del aire ( $\text{kg/m}^3$ ).

t = temperatura en el lugar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

z = altura sobre el nivel del mar (m).

El valor calculado de la densidad del aire en Langoa es 0.80821 (kg/m<sup>3</sup>), este dato será usado más adelante para los cálculos del potencial eólico.

### 3.7.2 Datos del emplazamiento

Para poder determinar las necesidades de electrificación de la vivienda tipo, se necesita tener las dimensiones de la misma, estas dimensiones se determinaron con el GPS y están en metros como se indican en la figura 3.8.

### 3.7.3 Consumo eléctrico

Para determinar el consumo eléctrico es necesario realizar un perfil de carga diaria de la vivienda tipo, para ello se realizó un análisis diario de los diferentes equipos eléctricos que van a conectarse a lo largo del día, el cuadro 3.8 muestra el consumo de energía diario de la vivienda y la figura 3.13 indica la curva de consumo diaria. Los aparatos eléctricos necesarios para la vivienda tipo, su cantidad, potencia, corriente de funcionamiento, tiempo estimado de uso, capacidad instalada y consumo de energía se indican en el cuadro 3.7.

Cuadro 3.7. Consumo de energía diario de la vivienda.

EQUIPO	CANTIDAD	CC/CA	POTENCIA (W)	TIEMPO ESTIMADO DE USO (horas día)	CAPACIDAD INSTALADA (W)	CONSUMO ENERGÉTICO (Wh día)
Iluminación comedor	1	CA	15	4	15	60
Iluminación cocina	2	CA	15	6	30	180
Iluminación bodega	4	CA	15	3	60	180
Iluminación bodega 1	2	CA	15	3	30	90
Iluminación baño	1	CA	15	7	15	105
Iluminación dormitorio 1	2	CA	25	5	50	250
Iluminación dormitorio 2	2	CA	25	5	50	250
Iluminación exterior	1	CA	25	12	25	300
Computador pequeño	1	CA	100	3	100	300
Cargador de celular	1	CA	4	2	4	8
Televisor	2	CA	50	6	100	600
Radio	1	CA	15	5	15	75
TOTAL					494	2398



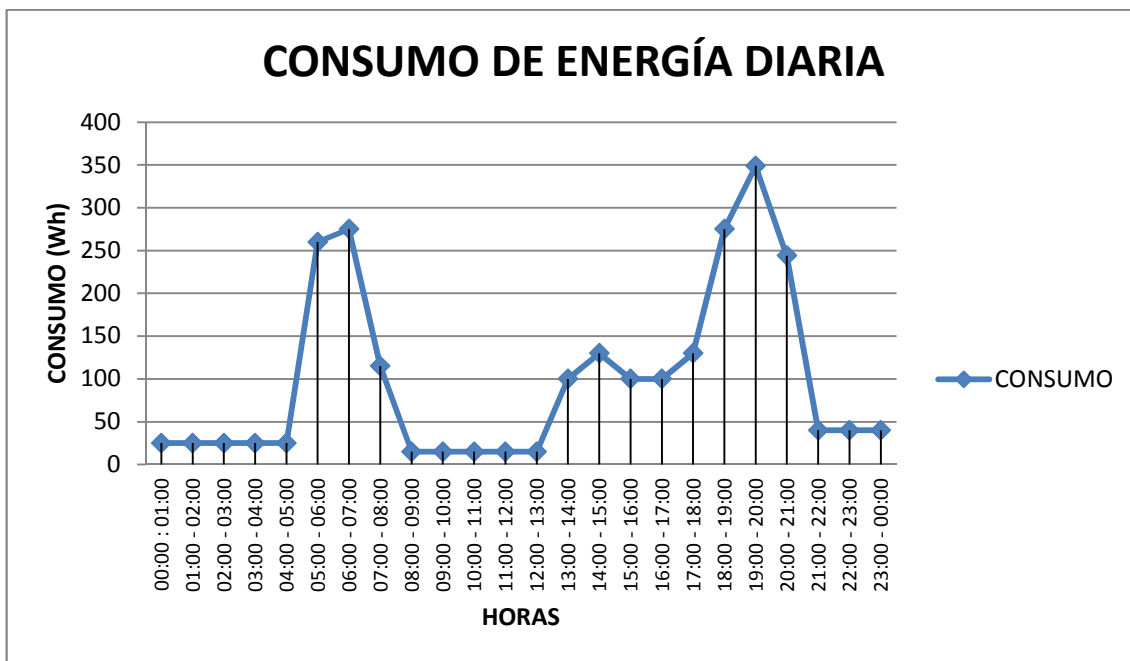


Figura 3.13. Curva de consumo de energía diaria.

Cuadro 3.8. Equipos eléctricos conectados a cada hora del día.

HORAS	Wh	kWh
00:00 - 01:00	25	0.025
01:00 - 02:00	25	0.025
02:00 - 03:00	25	0.025
03:00 - 04:00	25	0.025
04:00 - 05:00	25	0.025
05:00 - 06:00	260	0.26
06:00 - 07:00	275	0.275
07:00 - 08:00	115	0.115
08:00 - 09:00	15	0.015
09:00 - 10:00	15	0.015
10:00 - 11:00	15	0.015
11:00 - 12:00	15	0.015
12:00 - 13:00	15	0.015
13:00 - 14:00	100	0.1
14:00 - 15:00	130	0.13
15:00 - 16:00	100	0.1
16:00 - 17:00	100	0.1
17:00 - 18:00	130	0.13
18:00 - 19:00	275	0.275
19:00 - 20:00	349	0.349
20:00 - 21:00	244	0.244
21:00 - 22:00	40	0.04
22:00 - 23:00	40	0.04
23:00 - 00:00	40	0.04
<b>TOTAL</b>	<b>2.398</b>	

El cuadro 3.7, indica el consumo diario de la vivienda tipo que es de 2398 Wh al día, Los equipos conectados son de corriente alterna y debido a que es una área rural el dimensionamiento de la instalación es solo para alimentar equipos básicos como son iluminación de todas las áreas de la vivienda tipo con focos ahorradores, y los equipos como computador, cargador de celular, televisor y radio deben ser electrodomésticos de consumo eléctrico eficiente “Energy Star”, cumpliendo normas de eficiencia. (Código Técnico Ecuatoriano (CTE INEN), 2010 págs. 30,59).

El tiempo estimado de uso al día de los equipos se determinó en base a la jornada diaria de los cuatro habitantes de la vivienda, (horas de trabajo, horas de descanso, horas de estudio, horas de alimentación). No existe un perfil de carga establecido para este tipo de instalaciones por lo que depende de las costumbres y necesidades de los habitantes.

Es importante mencionar que las familias del sector rural Langoa se dedican a la misma actividad y tienen las jornadas de trabajo similares, por lo que es factible socializar los resultados de la vivienda tipo a las demás viviendas de la zona.

Para calcular el consumo de energía mensual se multiplica el consumo diario por los días de cada mes y se puede apreciar en el cuadro 3.9.

Cuadro 3.9. Consumo de energía mensual de la vivienda.

MES	DÍAS	CONSUMO DIARIO (Wh)	CONSUMO MENSUAL (kWh)
ENERO	31	2398	74.34
FEBRERO	28	2398	67.14
MARZO	31	2398	74.34
ABRIL	30	2398	71.94
MAYO	31	2398	74.34
JUNIO	30	2398	71.94
JULIO	31	2398	74.34
AGOSTO	31	2398	74.34
SEPTIEMBRE	30	2398	71.94
OCTUBRE	31	2398	74.34
NOVIEMBRE	30	2398	71.94
DICIEMBRE	31	2398	74.34
TOTAL	365		875.27

### **3.8 Conclusiones del capítulo**

En el presente capítulo se analizará e interpretará los datos emitidos por los instrumentos mencionados en la metodología de la investigación. Logrando determinar la vivienda tipo, ubicación para la instalación del anemómetro y determinar el consumo diario de energía de la vivienda tipo.

## CAPÍTULO IV

### ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se analizará e interpretará los datos emitidos por los instrumentos mencionados en la metodología de la investigación.

#### 4.1 Entrevista a los moradores del sector rural Langoa

Pregunta 1: ¿Son propietarios de la vivienda?

La Figura 4.1 indica que todos los habitantes de las ocho viviendas son propietarios de las mismas, razón por la cual están interesados en el uso de la energía eléctrica.

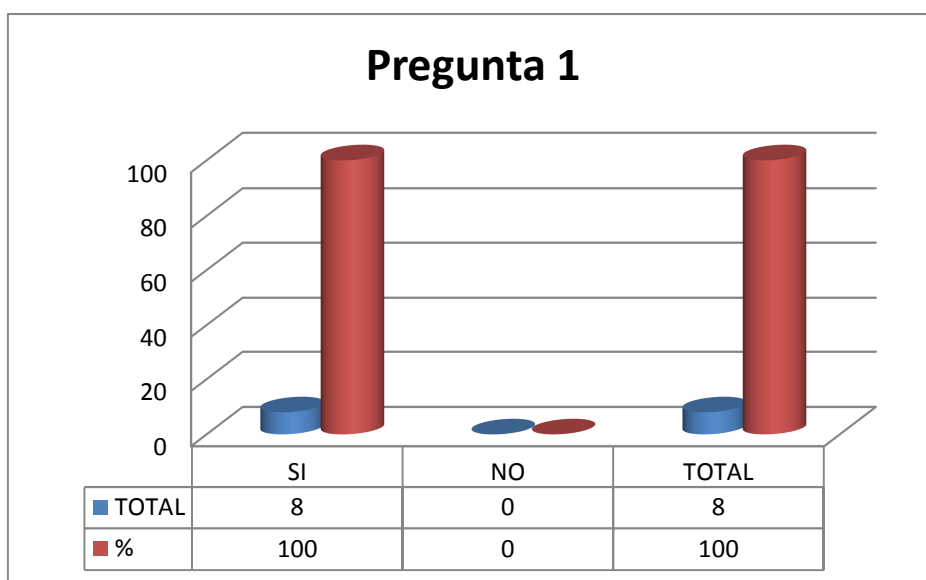


Figura 4.1. Análisis de la Pregunta 1.

Pregunta 2: ¿Número de personas que habitan el lugar?

La Figura 4.2 indica el número de habitantes de las ocho viviendas que se beneficiarían del uso de la energía eléctrica.

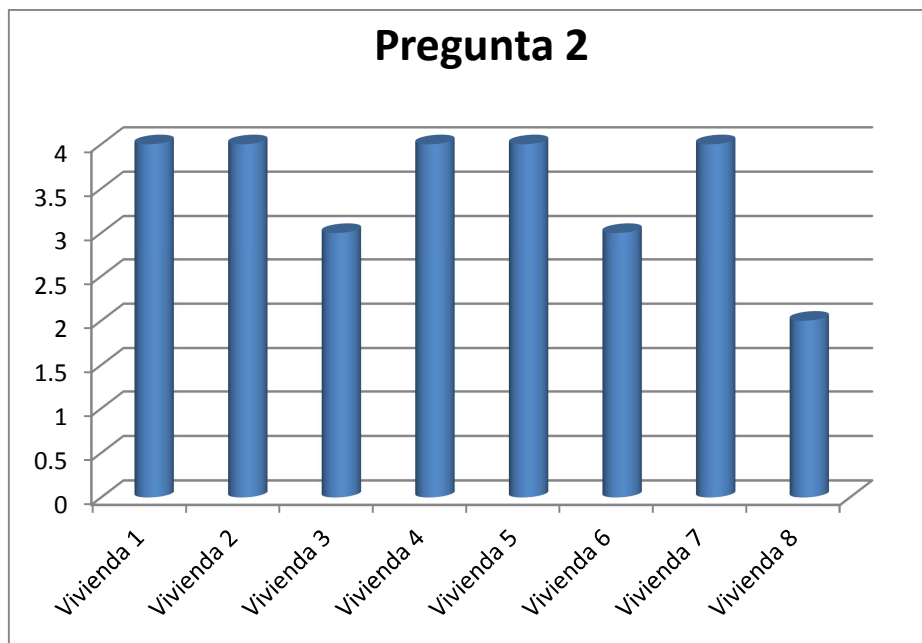


Figura 4.2. Análisis de la Pregunta 2.

Pregunta 3: ¿Cuántos adultos y niños habitan la vivienda?

La Figura 4.3 indica cuantos adultos y niños habitan en las ocho viviendas, en donde el 71% son adultos y el 29% son niños, permitiendo tener idea del tipo de aparatos eléctricos que podrían utilizar.

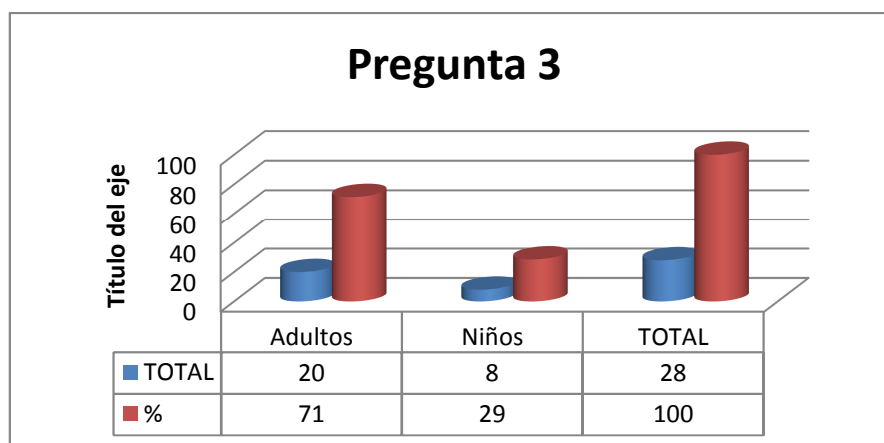


Figura 4.3. Análisis de la Pregunta 3.

Pregunta 4: ¿Actividad económica a la que se dedican?

La Figura 4.4 indica la actividad económica a la que se dedican los habitantes en las ocho viviendas, el 25% se dedican a la agricultura y el 75% a la ganadería,

permitiendo conocer su jornada de trabajo para determinar cómo será el uso de los aparatos eléctricos y por ende el consumo de energía.

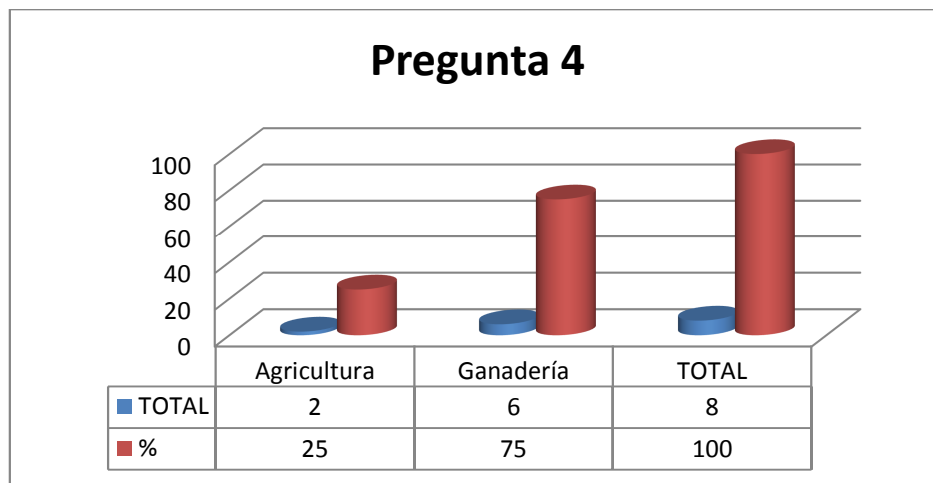


Figura 4.4. Análisis de la Pregunta 4.

Pregunta 5: ¿Qué nivel de educación tienen?

La Figura 4.5 indica el nivel de educación de los habitantes en las ocho viviendas, el 93% han estudiado hasta la primaria y solo un 7% ha estudiado secundaria, permitiendo saber el nivel social de los mismos, determinando un nivel de electrificación mínimo.

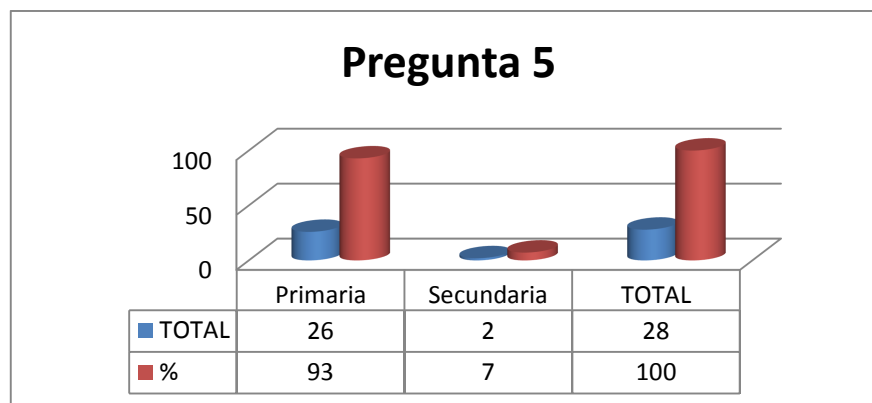


Figura 4.5. Análisis de la Pregunta 5.

Pregunta 6: ¿Si los niños están estudiando?

La Figura 4.6 indica si los niños que habitan las ocho viviendas están estudiando, determinando si es necesario el uso de la computadora dentro de los

equipos eléctricos a instalarse, como todos los niños estudian es necesario el uso de una computadora.

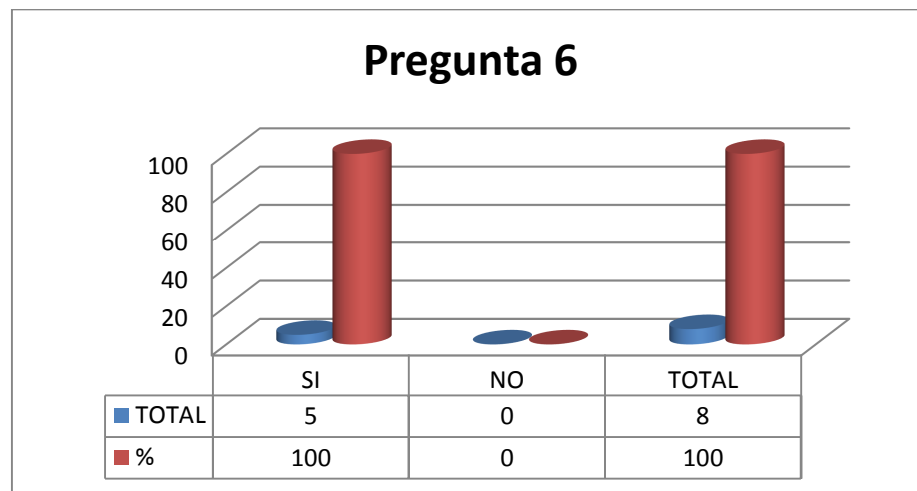


Figura 4.6. Análisis de la Pregunta 6.

Pregunta 7: ¿Necesidad del uso de energía eléctrica?

La Figura 4.7 indica que los habitantes de las ocho viviendas tienen necesidad de usar energía eléctrica, siendo enfáticos en su respuesta con un 100% por lo que todos los habitantes necesitan acceder al servicio de energía eléctrica.

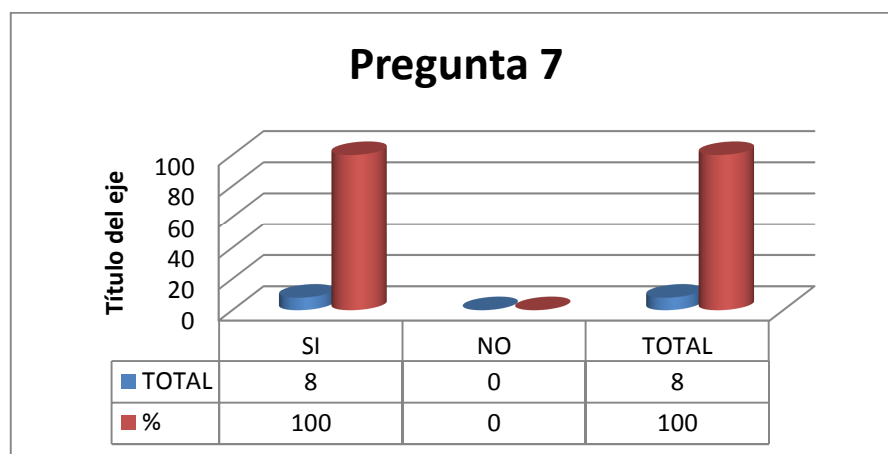


Figura 4.7. Análisis de la Pregunta 7.

Pregunta 8: ¿Artefactos eléctricos que desearían poder utilizar?

La Figura 4.8 indica los artefactos eléctricos que los habitantes de las ocho viviendas desean acceder, siendo la iluminación el radio y la televisión los equipos eléctricos a los que más desean acceder.

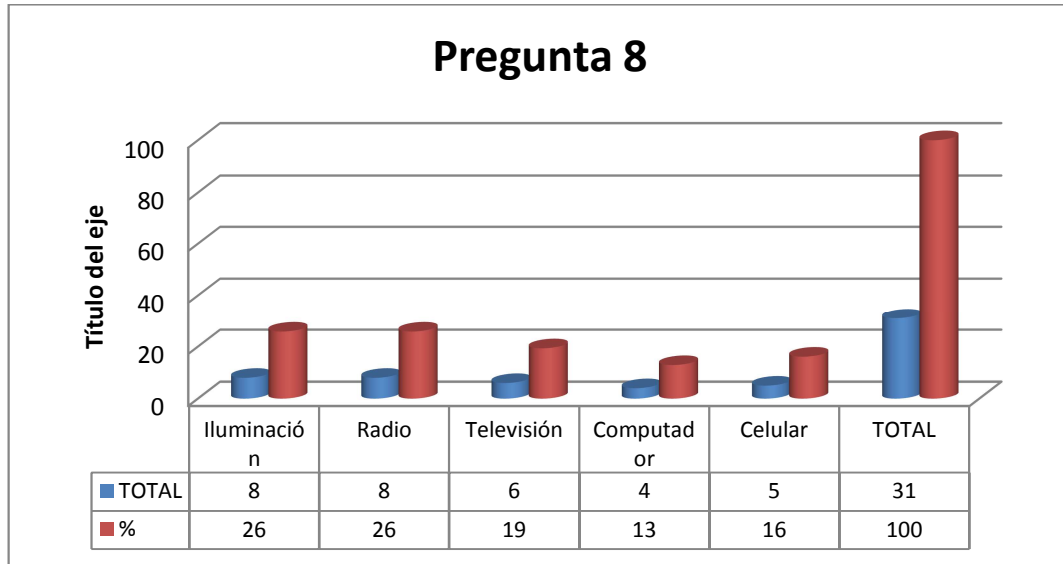


Figura 4.8. Análisis de la Pregunta 8.

## 4.2 Determinación del recurso eólico

### 4.2.1 Medidas de velocidad del viento

La velocidad del viento se obtuvo de los registros del anemómetro que se instaló el 19 de febrero del 2013 hasta el 11 de septiembre del mismo año, del cual se obtuvieron 6.7 meses de datos, las medidas son diezminutales (valores instantáneos de velocidad con una frecuencia de 1 segundo, que se promedian cada 10 minutos) entregando un total de 29361 datos para la velocidad del viento. Dada la necesidad de validar estos datos para obtener el año medio tipo que represente la velocidad del viento en la zona de estudio, se utilizó la información del Atlas Eólico del Ecuador que analiza 15 años de series históricas de datos, del cual se obtuvo los valores de la velocidad media mensual del viento a 10 m de altura, con estos valores y gracias al software WINDOGRAPHER se procedió a correlacionar los valores medidos con los valores del Atlas Eólico del Ecuador



para obtener un año promedio tipo con un total de 52560 datos diezminutales de velocidad del viento en m/s.

El Software WINDOGRAPHER, genera las mediciones faltantes del año medido con la ayuda de los valores del Atlas Eólico, para este proceso se utiliza la opción Measure Correlate Predict en la barra de menú Compare, seguidamente se cargan los dos archivos y se ejecuta el análisis generando los resultados para los siete algoritmos de correlación, presenta las gráficas de Mean Bias Error, Mean Absolute Error, RMS Error y Distribution Error, donde se encuentran los porcentajes de error para cada algoritmo. Como se puede ver en la figura 4.9, se elige el algoritmo que tiene menos error que es el MTS (Matrix Time Series), seguido se sintetizan los datos y se obtiene los datos de velocidad del viento del año tipo, estos datos se sintetizaron de datos diezminutales a datos horarios para seguir con el análisis.

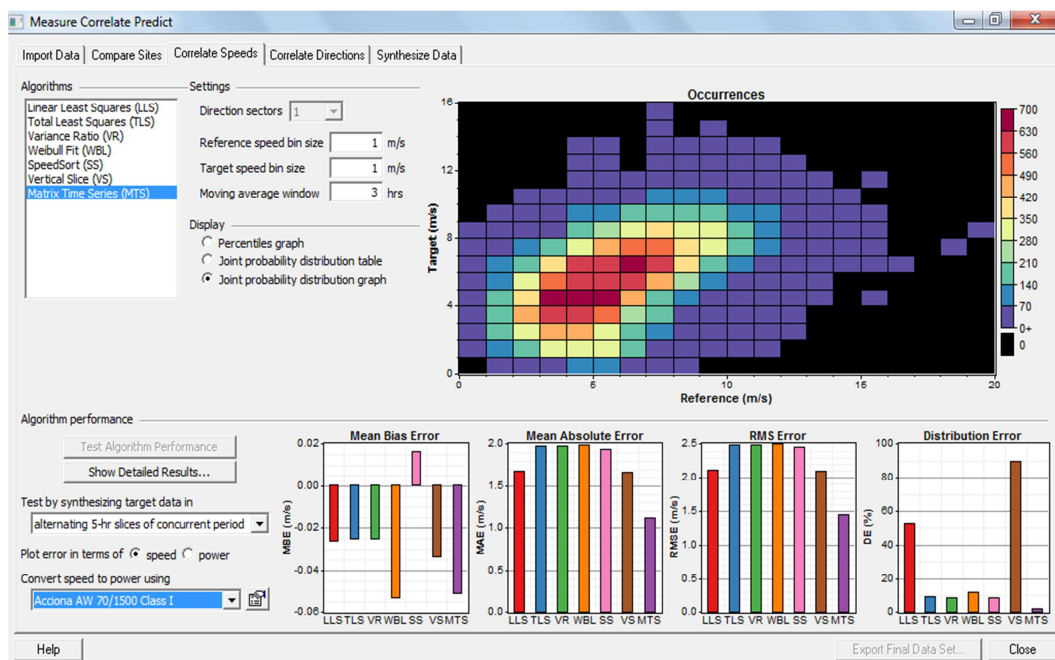


Figura 4.9. Correlación de velocidad del viento.  
Fuente: Software WINDOGRAPHER.

Es importante mencionar que los pequeños aerogeneradores dentro de sus características indican la altura en las que se los puede instalar que por lo general son (12, 14 y 18) m, mientras más alto se instale aprovecha el incremento de la velocidad con la altura, es decir, la velocidad del viento diezminutecimal o viento

medio varia con respecto a la altura del suelo, esto se conoce como perfil vertical del viento, este es un parámetro importante en la caracterización del recurso eólico y depende de la estabilidad atmosférica, la rugosidad del terreno y la orografía.

Para el presente estudio al tratarse de un terreno con orografía simple y en condiciones de estabilidad neutra, el perfil logarítmico proporciona una buena aproximación del perfil vertical del viento que se calcula con la ecuación 4.1.

$$v_2 = v_1 \left( \frac{\ln\left(\frac{h_2}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{h_1}{z_0}\right)} \right)$$

Ecuación 4.1. Perfil vertical del viento.

Dónde:

$v_2$  = Es la velocidad del viento a la altura  $h_2$  (m/s).

$v_1$  = Es la velocidad del viento a la altura  $h_1$  (m/s).

$z_0$  = Es la longitud de la rugosidad (m).

Entonces para la velocidad del viento del año tipo medida a 10 m de altura, se le calculó el perfil vertical del viento, para obtener valores de velocidad a 15 m de altura. Estos valores se pueden apreciar en el anexo 1.

La gráfica del perfil vertical del viento en función de la rugosidad del terreno se puede apreciar en la figura 4.10, donde claramente se ve que al aumentar la altura aumenta la velocidad del viento.

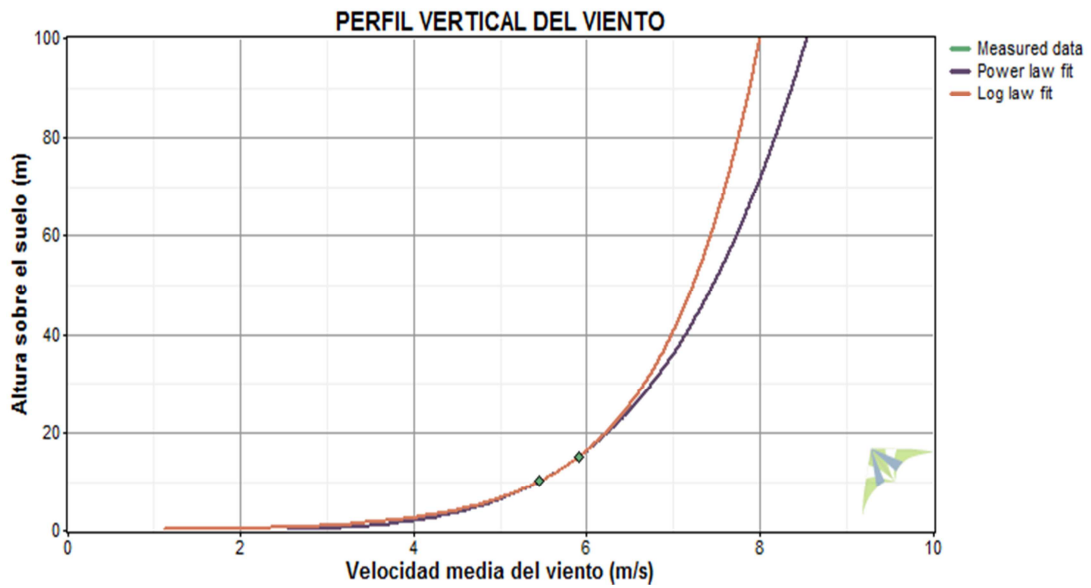


Figura 4.10. Perfil vertical del Viento.  
Fuente: Software WINDOGRAPHER.

En la figura 4.11, se puede apreciar el perfil mensual de la velocidad del viento tanto para los valores de velocidad a 10 m y los valores de velocidad a 15 m.

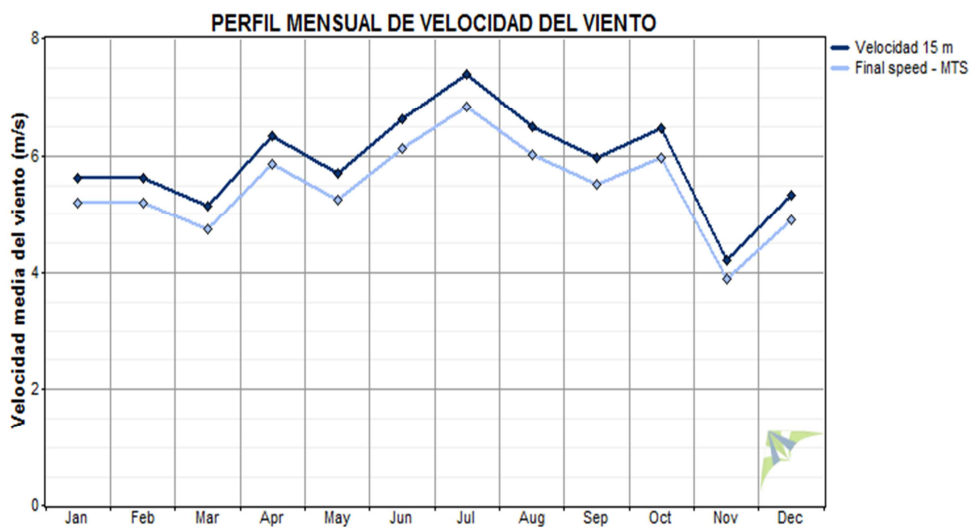


Figura 4.11. Perfil mensual velocidad del viento.  
Fuente: Software WINDOGRAPHER.

Para los cálculos sucesivos se utilizará los valores horarios del año tipo de velocidad del viento a 15 m de altura.

#### 4.2.2 Datos de dirección del viento

Con respecto a la dirección del viento no se instaló un instrumento de medida debido a que al ser un dimensionamiento con pequeñas turbinas eólicas de eje horizontal a barlovento, estas poseen el sistema de orientación por veleta de cola que hace girar la máquina sobre su eje de orientación.

Pero se obtuvieron datos del Atlas Eólico del Ecuador, que determina una dirección promedio de  $113^\circ$ , esto se corroboró con datos promedio mensuales de dirección del viento proporcionados por la web NASA Surface meteorology and Solar Energy que analiza 10 años de series históricas dando una dirección promedio de  $117^\circ$  y también se tomó en cuenta el valor del rastro eólico en los árboles de la zona dando una dirección de  $110^\circ$ , la dirección promedio es de  $113^\circ$ .

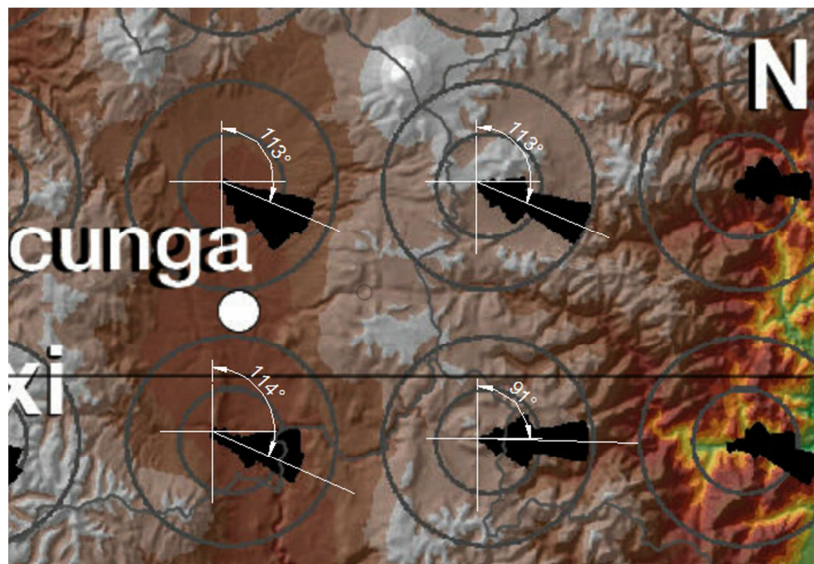


Figura 4.12. Dirección del viento.

Fuente: Atlas Eólico del Ecuador con fines de generación eléctrica.

#### 4.2.3 Distribución de la velocidad del viento

Con los datos horarios del año tipo, se realiza el tratamiento estadístico correspondiente, que es la estadística descriptiva dedicada al análisis y representación de datos, indicando en qué medida los datos se agrupan o se alejan en torno a un valor central. Para observar esta variabilidad, es necesario determinar los siguientes parámetros:

- Centralización: Parámetros que tienden a situarse en el centro de conjunto de datos ordenados (Media aritmética, Mediana, Moda, Frecuencia relativa, Frecuencias acumuladas).
- Dispersión: Parámetros que indican cuanto se alejan del centro los valores de la distribución (Rango o intervalo y Desviación estándar).

Para el tratamiento de los datos, lo primero es agruparlos y ordenarlos para su estudio y representación, los datos se agrupan en una tabla de frecuencias que será el lugar donde quedaran ordenados. Para construir la tabla se siguen los siguientes pasos.

1. Se localizan los valores número de datos, menor, mayor, promedio, moda, mediana y desviación estándar de la distribución.
2. Se determina el rango, restando el valor menor del valor mayor.
3. Se determina el número de intervalos: dividir el grupo en un numero conveniente de intervalos de clase del mismo tamaño, para esto se aplicó la ecuación 4.2:

$$Nc \approx 1 + 3.3 \log_{10}(N)$$

Ecuación 4.2. Determinación del número de intervalos.

Dónde:

$Nc$  = Número de intervalos de clases.

$N$  = Número de datos.

4. Se determina el tamaño de la clase o amplitud del intervalo, en este caso se aplica la ecuación 4.3.

$$\text{Tamaño de la clase} = \frac{\text{Rango}}{\text{Número de datos}}$$

Ecuación 4.3. Determinación de la clase.

5. El resultado de los puntos anteriores se encuentra en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1. Datos necesarios para la distribución de frecuencias.

RESULTADOS	
Velocidad Mínima (m/s)	0.000
Velocidad Máxima (m/s)	16.39
Media o Promedio (m/s)	5.902167
Moda (vm) (m/s)	7.227000
Mediana ( $\tilde{v}$ ) (m/s)	5.935500
Desviación Estándar ( $\sigma$ )	2.347749
DETERMINAR INTERVALO DE CLASE	
Rango (m/s)	16.39
Número de Datos	8,760
Número de Intervalos	31
Tamaño de la clase	0.5

Con los datos anteriores se realiza la tabla de distribución de frecuencias, donde se incluye las clases y las frecuencias, a partir de estos datos se calculan las frecuencias relativas, las frecuencias acumuladas, tabla calculada con el software Excel, como se indica en el cuadro 4.2.

Cuadro 4.2. Tabla de distribución de frecuencias.

Intervalos de Clase (m/s)			vi (m/s)	ni (horas)	fi fi=ni/N	"< o= q" Fi	">q" Fi'=1-Fi
0	-	0.5	0.25	179	0.0204	0.0204	0.9796
0.5	-	1.0	0.75	115	0.0131	0.0335	0.9665
1.0	-	1.5	1.25	111	0.0127	0.0462	0.9538
1.5	-	2.0	1.75	111	0.0127	0.0589	0.9411
2.0	-	2.5	2.25	129	0.0147	0.0736	0.9264
2.5	-	3.0	2.75	243	0.0277	0.1013	0.8987
3.0	-	3.5	3.25	366	0.0418	0.1431	0.8569
3.5	-	4.0	3.75	511	0.0583	0.2014	0.7986
4.0	-	4.5	4.25	577	0.0659	0.2673	0.7327
4.5	-	5.0	4.75	636	0.0726	0.3399	0.6601
5.0	-	5.5	5.25	783	0.0894	0.4293	0.5707
5.5	-	6.0	5.75	720	0.0822	0.5115	0.4885
6.0	-	6.5	6.25	701	0.0800	0.5915	0.4085
6.5	-	7.0	6.75	669	0.0764	0.6679	0.3321
7.0	-	7.5	7.25	690	0.0788	0.7467	0.2533
7.5	-	8.0	7.75	630	0.0719	0.8186	0.1814
8.0	-	8.5	8.25	509	0.0581	0.8767	0.1233
8.5	-	9.0	8.75	341	0.0389	0.9156	0.0844
9.0	-	9.5	9.25	252	0.0288	0.9444	0.0556
9.5	-	10.0	9.75	168	0.0192	0.9636	0.0364
10.0	-	10.5	10.25	105	0.0120	0.9756	0.0244
10.5	-	11.0	10.75	97	0.0111	0.9867	0.0133
11.0	-	11.5	11.25	48	0.0055	0.9922	0.0078
11.5	-	12.0	11.75	34	0.0039	0.9961	0.0039
12.0	-	12.5	12.25	15	0.0017	0.9978	0.0022
12.5	-	13.0	12.75	6	0.0007	0.9985	0.0015
13.0	-	13.5	13.25	9	0.0010	0.9995	0.0005
13.5	-	14.0	13.75	2	0.0002	0.9997	0.0003
14.0	-	14.5	14.25	1	0.0001	0.9998	0.0002
14.5	-	15.0	14.75	0	0.0000	0.9998	0.0002
15.0	-	15.5	15.25	0	0.0000	0.9998	0.0002
15.5	-	16.0	15.75	1	0.0001	0.9999	0.0001
16.0	-	16.5	16.25	1	0.0001	1	0.0000
TOTALES:				8760	1		

De la tabla de distribución de frecuencias cuadro 4.2, resulta útil dibujar el histograma de frecuencias relativas para las velocidades horarias del año tipo, que permite trazar la distribución continua de probabilidad, a partir de la forma que adopta el polígono de frecuencias, como se indica en la figura 4.13.

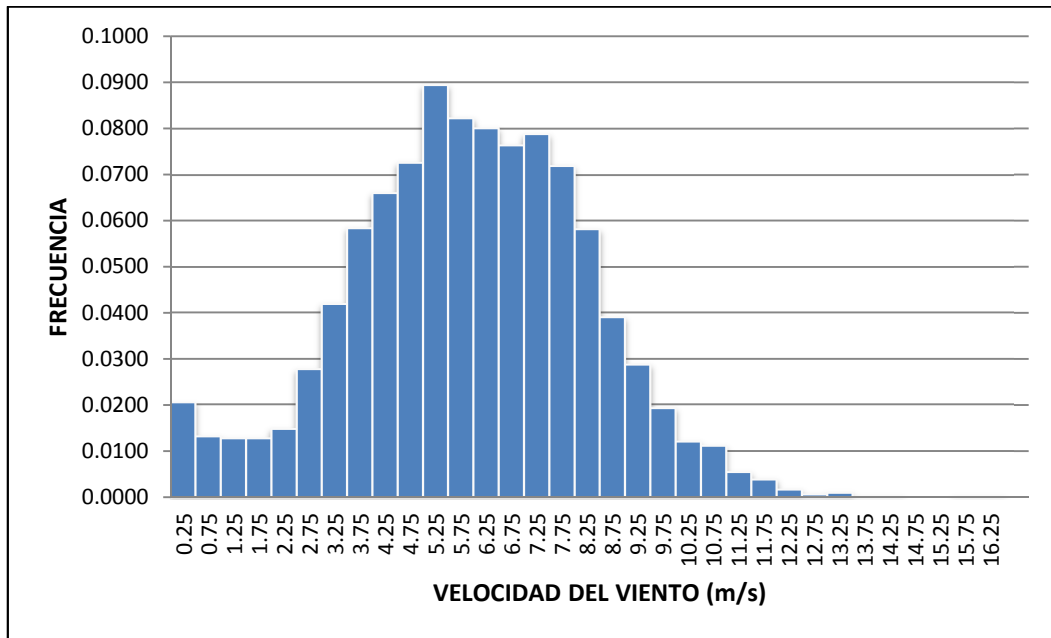


Figura 4.13. Histograma de frecuencias relativas.

En el histograma se puede apreciar que 783 horas del total de 8760 horas al año, la velocidad del viento está en el rango de (5 - 5.5) m/s siendo la velocidad del viento más predominante de los datos analizados. Y 179 horas del total de 8760 horas del año, la velocidad del viento está en calma en un rango de (0 - 0.5) m/s.

#### 4.2.4 Distribución de Weibull

La distribución de velocidad del viento permite calcular su potencial energético y la energía anual que puede producir un aerogenerador, experimentalmente se observa que la distribución de frecuencias de una serie de datos de viento se ajusta a una distribución de densidad de probabilidad de Weibull de uno o dos parámetros. Esto es de gran ayuda, puesto que la función de probabilidad de Weibull tiene una expresión analítica que permite realizar cálculos sobre la misma

de manera mucho más rápida que el tratamiento directo de la serie completa de datos.

Para calcular los parámetros de la función de probabilidad de Weibull (c, k), al conocer las velocidades medias diezminutales u horarias del año medio tipo se utilizó el método de los mínimos cuadrados. La distribución acumulada de Weibull se calcula con la ecuación 4.4.

$$F(v) = 1 - e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k}$$

Ecuación 4.4. Perfil vertical del viento.

Dónde:

(c, k) = Son los parámetros de la distribución de Weibull.

F(V) = Función de distribución acumulada.

v = valor del módulo del viento.

Al aplicar propiedades de los logaritmos a la ecuación 4.4 se tiene:

$$\ln[-\ln(1 - F(v))] = k \ln(v) - k \ln(c)$$

Se procede al ajuste por mínimos cuadrados a la recta  $y=kx+B$ , en donde:

$$y = \ln[-\ln(1 - F(v))]$$

Ecuación 4.5. Valor de y, ajuste por mínimos cuadrados.

$$x = \ln(v)$$

Ecuación 4.6. Valor de x, ajuste por mínimos cuadrados.

$$B = -k \ln(c)$$

Ecuación 4.7. Valor de B, ajuste por mínimos cuadrados.

El valor de k y c, se obtienen de la pendiente de la recta por mínimos cuadrados con la expresión:



$$c = e^{-\left(\frac{B}{k}\right)}$$

Ecuación 4.8. Valor c ajuste por mínimos cuadrados.

Las expresiones para calcular los coeficientes de la recta de regresión lineal son:

$$A = \frac{\sum f_i x_i y_i - (\sum f_i x_i)(\sum f_i y_i)}{\sum f_i x_i^2 - (\sum f_i x_i)^2}$$

Ecuación 4.9. Coeficiente A.

$$B = \sum f_i y_i - A (\sum f_i x_i)^2$$

Ecuación 4.10. Coeficiente B.

Primero se calcula el valor de y, luego el valor de x con las ecuaciones 4.5 y 4.6, con estos valores se encuentran los productos y con estos, el valor de A y B de las ecuaciones 4.9 y 4.10, como  $k = A$  entonces se tiene el valor de k y para encontrar el valor de c se aplica la ecuación 4.8. Los resultados del cálculo para determinar los parámetros de la distribución de Weibull por el método de los mínimos cuadrados se indican en el cuadro 4.3.

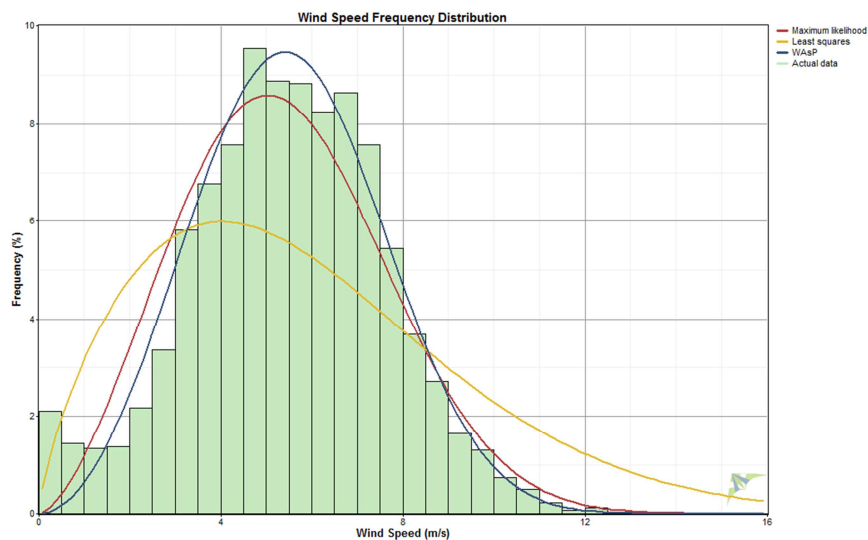
Cuadro 4.3. Cálculo de los parámetros c y k de Weibull por mínimos cuadrados.

Intervalos de Clase (m/s)	vi (m/s)	ni (días)	fi		Fi	(yi)	(xi)	PRODUCTOS			
			fi=ni/N			y=ln(-ln(1-F))	x=ln(v)	fi(xi)	fi(xi)2	fi(yi)	fi(xi)yi
0 - 0.5	0.25	179	0.0204	0.0204	0.0204	-3.8819	-1.3863	-0.0283	0.0393	-0.0793	0.1100
0.5 - 1.0	0.75	115	0.0131	0.0335	0.0335	-3.3792	-0.2877	-0.0038	0.0011	-0.0444	0.0128
1.0 - 1.5	1.25	111	0.0127	0.0462	0.0462	-3.0512	0.2231	0.0028	0.0006	-0.0387	-0.0086
1.5 - 2.0	1.75	111	0.0127	0.0589	0.0589	-2.8017	0.5596	0.0071	0.0040	-0.0355	-0.0199
2.0 - 2.5	2.25	129	0.0147	0.0736	0.0736	-2.5711	0.8109	0.0119	0.0097	-0.0379	-0.0307
2.5 - 3.0	2.75	243	0.0277	0.1013	0.1013	-2.2367	1.0116	0.0281	0.0284	-0.0620	-0.0628
3.0 - 3.5	3.25	366	0.0418	0.1431	0.1431	-1.8680	1.1787	0.0492	0.0580	-0.0780	-0.0920
3.5 - 4.0	3.75	511	0.0583	0.2014	0.2014	-1.4921	1.3218	0.0771	0.1019	-0.0870	-0.1150
4.0 - 4.5	4.25	577	0.0659	0.2673	0.2673	-1.1679	1.4469	0.0953	0.1379	-0.0769	-0.1113
4.5 - 5.0	4.75	636	0.0726	0.3399	0.3399	-0.8786	1.5581	0.1131	0.1763	-0.0638	-0.0994
5.0 - 5.5	5.25	783	0.0894	0.4293	0.4293	-0.5782	1.6582	0.1482	0.2458	-0.0517	-0.0857
5.5 - 6.0	5.75	720	0.0822	0.5115	0.5115	-0.3335	1.7492	0.1438	0.2515	-0.0274	-0.0479
6.0 - 6.5	6.25	701	0.0800	0.5915	0.5915	-0.1106	1.8326	0.1466	0.2688	-0.0089	-0.0162
6.5 - 7.0	6.75	669	0.0764	0.6679	0.6679	0.0974	1.9095	0.1458	0.2785	0.0074	0.0142
7.0 - 7.5	7.25	690	0.0788	0.7467	0.7467	0.3171	1.9810	0.1560	0.3091	0.0250	0.0495

7.5	-	8.0	7.75	630	0.0719	0.8186	0.5348	2.0477	0.1473	0.3016	0.0385	0.0788	
8.0	-	8.5	8.25	509	0.0581	0.8767	0.7387	2.1102	0.1226	0.2587	0.0429	0.0906	
8.5	-	9.0	8.75	341	0.0389	0.9156	0.9051	2.1691	0.0844	0.1832	0.0352	0.0764	
9.0	-	9.5	9.25	252	0.0288	0.9444	1.0611	2.2246	0.0640	0.1424	0.0305	0.0679	
9.5	-	10.0	9.75	168	0.0192	0.9636	1.1979	2.2773	0.0437	0.0995	0.0230	0.0523	
10.0	-	10.5	10.25	105	0.0120	0.9756	1.3119	2.3273	0.0279	0.0649	0.0157	0.0366	
10.5	-	11.0	10.75	97	0.0111	0.9867	1.4633	2.3749	0.0263	0.0625	0.0162	0.0385	
11.0	-	11.5	11.25	48	0.0055	0.9922	1.5797	2.4204	0.0133	0.0321	0.0087	0.0210	
11.5	-	12.0	11.75	34	0.0039	0.9961	1.7132	2.4639	0.0096	0.0236	0.0066	0.0164	
12.0	-	12.5	12.25	15	0.0017	0.9978	1.8114	2.5055	0.0043	0.0107	0.0031	0.0078	
12.5	-	13.0	12.75	6	0.0007	0.9985	1.8722	2.5455	0.0017	0.0044	0.0013	0.0033	
13.0	-	13.5	13.25	9	0.0010	0.9995	2.0283	2.5840	0.0027	0.0069	0.0021	0.0054	
13.5	-	14.0	13.75	2	0.0002	0.9997	2.0933	2.6210	0.0006	0.0016	0.0005	0.0013	
14.0	-	14.5	14.25	1	0.0001	0.9998	2.1421	2.6568	0.0003	0.0008	0.0002	0.0006	
14.5	-	15.0	14.75	0	0.0000	0.9998	2.1421	2.6912	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
15.0	-	15.5	15.25	0	0.0000	0.9998	2.1421	2.7246	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
15.5	-	16.0	15.75	1	0.0001	0.9999	2.2203	2.7568	0.0003	0.0009	0.0003	0.0007	
16.0	-	16.5	16.25	1	0.0001	1							
TOTALES:				8760	1					<b>1.6419</b>	<b>3.1047</b>	<b>-0.4343</b>	<b>-0.0054</b>
										$\Sigma f_i(x_i)$	$\Sigma f_i(x_i)^2$	$\Sigma f_i(y_i)$	$\Sigma f_i(x_i)y_i$

A =	1.7308
B =	-3.2761
k =	1.73
c =	6.64

El software WINDOGRAPHER permite determinar los parámetros de la probabilidad de Weibull que mejor se ajusta a la distribución de frecuencias, analiza cuatro algoritmos para determinar el más adecuado. El histograma de velocidades, curvas de probabilidad de Weibull y los valores de k y c encontrados por el software se pueden apreciar en la figura 4.14.



Algorithm	Weibull	Weibull	Mean	Proportion	Power	R
	k	c		Above	Density	Squared
		(m/s)	(m/s)	5.453 m/s	[W/m <sup>2</sup> ]	
Maximum likelihood	2.606	6.075	5.397	0.470	147.5	0.92778
Least squares	1.738	6.609	5.888	0.489	279.0	0.71610
WAsP	2.996	6.198	5.534	0.506	145.9	0.96581
Actual data	(8,760 time steps)		5.453	0.506	145.9	

Figura 4.14. Histograma, curvas de probabilidad y parámetros k y c de Weibull.  
Fuente: Software WINDOGRAPHER.

El cálculo por mínimos cuadrados obtenido en el cuadro 4.3, no difiere del cálculo por mínimos cuadrados (least squares) encontrado por el software WINDOGRAPHER apreciado en la figura 4.14. El algoritmo con menos error calculado por el software es el WAsP, que establece un valor de  $k = 2.996$  y  $c = 6.198$ , valores que para futuras investigaciones deberán ser tomados como referencia.

#### 4.2.5 Densidad de potencia eólica (P/A)

La potencia eólica disponible es la máxima potencia que se podrá extraer del viento si se podría aprovechar toda su energía cinética, es proporcional a la densidad del aire, al área perpendicular expuesta al flujo del viento y al cubo de la velocidad. No toda la energía del viento es aprovechada como se verá más adelante. La densidad de potencia eólica disponible por unidad de área para velocidades instantáneas como en este estudio, está determinada por la ecuación 4.11.

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} * \rho * Fe * v^3$$

Ecuación 4.11. Densidad de potencia eólica.

Dónde:

$P/A$  = Densidad de potencia eólica (W/m<sup>2</sup>).

$\rho$  = Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>).

$v$  = Velocidad del viento (m/s).

$Fe$  = Factor de energía.

La ecuación 4.11 es muy útil en el caso de no disponer bases de datos con mediciones, pero disponer de información de Atlas Eólicos y permite calcular la densidad de potencia eólica a partir de la velocidad promedio, densidad del viento y valores k y c de Weibull, con el valor k de Weibull y por medio de tablas se encuentra el factor de energía (Fe). En el caso de disponer de mediciones y realizar la distribución de frecuencias el factor Fe de la ecuación 4.11 se reemplaza por la probabilidad de ocurrencia de la velocidad (fi), como se calcula en el cuadro 4.5.

La densidad de potencia eólica depende del cubo de la velocidad, esto indica que mientras más alto se coloque el aerogenerador más aprovecha la velocidad del viento que aumenta con la altura. En el cuadro 4.4 se indica la densidad de potencia eólica obtenida para las velocidades del viento del año tipo a (10 y 15) m de altura.

Cuadro 4.4. Densidad de potencia calculada a (10 y 15) m.  
Fuente: Software WINDOGRAPHER.

ALTURA	(P/A) (W/m <sup>2</sup> )
10 m	101.801
15 m	126.96

Por tal razón se decidió instalar el aerogenerador a 15 m de altura y se extrapola la velocidad del viento con el perfil vertical. El cuadro 4.5 indica el cálculo de la densidad de potencia con la tabla de distribución de frecuencias.

Cuadro 4.5. Densidad de potencia eólica.

DATOS						Densidad Potencia Eólica (W/m <sup>2</sup> )	
Intervalos de Clase (m/s)			vi (m/s)	ni (días)	fi	(P/A)	(P/A)*fi
					fi=ni/N		
0	-	0.5	0.25	179	0.0204	0.00657	0.000134
0.5	-	1.0	0.75	115	0.0131	0.17734	0.002328
1.0	-	1.5	1.25	111	0.0127	0.82103	0.010403
1.5	-	2.0	1.75	111	0.0127	2.25289	0.028547
2.0	-	2.5	2.25	129	0.0147	4.78822	0.070511
2.5	-	3.0	2.75	243	0.0277	8.74228	0.242508
3.0	-	3.5	3.25	366	0.0418	14.43034	0.602912
3.5	-	4.0	3.75	511	0.0583	22.16769	1.293115
4.0	-	4.5	4.25	577	0.0659	32.26958	2.125519
4.5	-	5.0	4.75	636	0.0726	45.05131	3.270848
5.0	-	5.5	5.25	783	0.0894	60.82813	5.437035
5.5	-	6.0	5.75	720	0.0822	79.91533	6.568383

6.0	-	6.5	6.25	701	0.0800	102.62817	8.212597
6.5	-	7.0	6.75	669	0.0764	129.28194	9.873244
7.0	-	7.5	7.25	690	0.0788	160.19191	12.617856
7.5	-	8.0	7.75	630	0.0719	195.67334	14.072398
8.0	-	8.5	8.25	509	0.0581	236.04152	13.715198
8.5	-	9.0	8.75	341	0.0389	281.61171	10.962282
9.0	-	9.5	9.25	252	0.0288	332.69919	9.570799
9.5	-	10.0	9.75	168	0.0192	389.61924	7.472150
10.0	-	10.5	10.25	105	0.0120	452.68713	5.426044
10.5	-	11.0	10.75	97	0.0111	522.21813	5.782552
11.0	-	11.5	11.25	48	0.0055	598.52751	3.279603
11.5	-	12.0	11.75	34	0.0039	681.93055	2.646762
12.0	-	12.5	12.25	15	0.0017	772.74253	1.323189
12.5	-	13.0	12.75	6	0.0007	871.27871	0.596766
13.0	-	13.5	13.25	9	0.0010	977.85438	1.004645
13.5	-	14.0	13.75	2	0.0002	1092.78479	0.249494
14.0	-	14.5	14.25	1	0.0001	1216.38524	0.138857
14.5	-	15.0	14.75	0	0.0000	1348.97099	0.000000
15.0	-	15.5	15.25	0	0.0000	1490.85731	0.000000
15.5	-	16.0	15.75	1	0.0001	1642.35949	0.187484
16.0	-	16.5	16.25	1	0.0001	1803.79278	0.205912
TOTALES:				8760	1	<b>126.99 W/m<sup>2</sup></b>	

#### 4.2.6 Densidad de energía eólica (E/A)

La densidad de energía eólica disponible es la energía total del viento por unidad de área perpendicular a la velocidad durante un tiempo determinado. La densidad de energía eólica disponible por unidad de área está determinada por la ecuación 4.12.

$$\frac{E}{A} = \frac{P}{A} * T$$

Ecuación 4.12. Densidad de energía eólica.

Dónde:

E/A = Densidad de energía eólica (kWh/m<sup>2</sup>).

P/A = Densidad de potencia eólica (W/m<sup>2</sup>).

T = Periodo de tiempo, por lo general un año.

A = Área de la turbina eólica.

Aplicando la ecuación 4.12 se tiene, un valor de densidad de energía eólica sobre área de 1112.43 (kWh/m<sup>2</sup>). Y si se desea saber la cantidad de energía anual que se puede obtener con una turbina eólica, basta multiplicar la densidad de energía eólica calculada anteriormente por el área de barrido de cualquier turbina,

por ejemplo para una turbina de 2,7 m de diámetro se tiene un área de 5.73 m<sup>2</sup>, entonces la densidad de energía 6374.24 kWh año.

Aplicando la Ley de Betz y a ella sumada el rendimiento de la turbina 0.16 % solo se podría aprovechar como máximo 1574.43 kWh al año.

#### 4.2.7 Factor de capacidad

Permite determinar la calidad energética de un aerogenerador, se define como la relación entre la energía generada durante un tiempo dado y la energía que hubiese producido funcionando a su potencia nominal, como se indica en la ecuación 4.13.

$$FC = \frac{E}{P_n * T}$$

Ecuación 4.13. Factor de capacidad.

Dónde:

FC = Factor de capacidad.

E = Energía generada durante un tiempo dado.

T = Periodo de tiempo dado.

P<sub>n</sub> = Energía que produciría el aerogenerador a su potencia nominal.

En el cuadro 4.6, se puede apreciar la calificación de funcionamiento de un aerogenerador según su factor de capacidad.

Cuadro 4.6. Calificación de un aerogenerador por su factor de capacidad.

Fuente: Conrado Moreno Figueredo.

FACTOR DE CAPACIDAD	CALIFICACIÓN
> 0.5	Muy Excelente
0.4 - 0.5	Excelente
0.3 - 0.4	Muy bueno
0.25 - 0.3	Bueno
0.20 - 0.25	Aceptable
< 0.2	Inaceptable

### 4.3 Determinación del recurso solar

#### 4.3.1 Valores de insolación global en la zona de estudio

Los valores mensuales de insolación global en la zona de estudio se obtuvieron del Atlas Solar del Ecuador con su software de aplicación Insolación y los resultados se indican en la figura 4.15, los datos representan la energía solar promedio mensual y anual de los valores diarios la insolación total (directa y difusa) e insolación global sobre una superficie horizontal y contiene los promedios mensuales de cada una de ellas, expresados en Wh/m<sup>2</sup>/día.

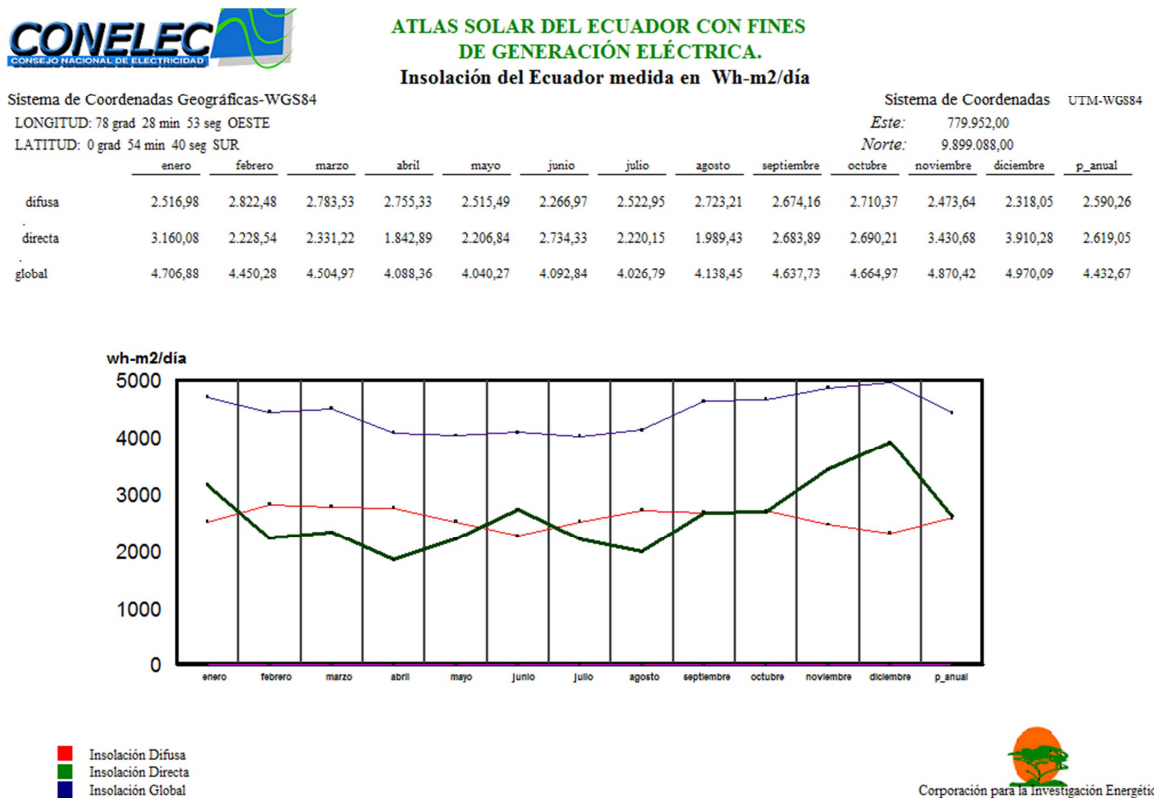


Figura 4.15. Insolación solar en Langoa.

Fuente: Atlas Solar del Ecuador.

Esta información también se obtuvo de la web NASA Surface Meteorology and Solar Energy, que analiza 22 años de series históricas entregando los valores mensuales de insolación global en la zona de estudio, para lo cual se procedió a realizar un promedio entre estos valores y los obtenidos por el Atlas solar del Ecuador como se puede apreciar en el cuadro 4.7.

Cuadro 4.7. Insolación global mensual en la zona de estudio.  
Fuente: Atlas Solar Ecuador y NASA Surface meteorology and Solar Energy.

MES	INSOLACIÓN GLOBAL (kWh/m <sup>2</sup> /día)		
	ATLAS SOLAR ECUADOR	NASA	PROMEDIO
ENERO	4.70688	4.13	4.41844
FEBRERO	4.45028	4.34	4.39514
MARZO	4.50497	4.55	4.52749
ABRIL	4.08836	4.33	4.20918
MAYO	4.04027	4.12	4.08014
JUNIO	4.09284	4.01	4.05142
JULIO	4.02679	4.26	4.14340
AGOSTO	4.13845	4.46	4.29923
SEPTIEMBRE	4.63773	4.26	4.44887
OCTUBRE	4.66497	4.24	4.45249
NOVIEMBRE	4.87042	4.3	4.58521
DICIEMBRE	4.97009	3.98	4.47505

#### 4.3.2 Cálculo de la radiación sobre superficie inclinada y horas solares.

Para calcular la media mensual de radiación o insolación diaria sobre la superficie del módulo fotovoltaico se usa la ecuación 4.14.

$$\bar{H}_T = k * \bar{H} \text{ (Wh/m}^2 \text{ día)}$$

Ecuación 4.14. Radiación solar sobre superficie inclinada.

Dónde:

$\bar{H}_T$  = Radiación sobre una superficie inclinada (Wh/m<sup>2</sup>/día).

$\bar{H}$  = Media mensual diaria de radiación sobre una superficie horizontal (kWh/m<sup>2</sup>/día).

k = Constante para el cálculo de la radiación sobre superficie inclinada.

Se tomó una inclinación de 5° para evitar las acumulaciones de suciedades en la superficie de los módulos fotovoltaicos, para determinar el factor k se utiliza la tabla indicada en cuadro 4.8.



Cuadro 4.8. Valor k según latitud y mes del año.

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NEC 11, Capítulo 14, tabla 14.B1.1.

Latitud: -1°

Incli.	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0.97	0.98	1	1.01	1.02	1.03	1.02	1.01	1	0.98	0.97	0.96
10	0.93	0.96	0.99	1.02	1.04	1.04	1.03	1.02	0.99	0.96	0.93	0.92
15	0.88	0.92	0.97	1.02	1.05	1.06	1.04	1.01	0.97	0.93	0.89	0.87
20	0.83	0.88	0.95	1.01	1.05	1.06	1.04	1.01	0.95	0.89	0.84	0.81
25	0.77	0.84	0.92	1	1.05	1.06	1.04	0.99	0.92	0.85	0.78	0.75
30	0.71	0.79	0.89	0.98	1.04	1.05	1.03	0.97	0.89	0.8	0.72	0.69
35	0.65	0.73	0.84	0.95	1.02	1.04	1.01	0.95	0.85	0.74	0.65	0.62
40	0.57	0.67	0.8	0.92	1	1.02	0.98	0.91	0.81	0.67	0.58	0.54
45	0.5	0.61	0.74	0.88	0.97	0.99	0.95	0.87	0.76	0.62	0.51	0.46
50	0.42	0.54	0.69	0.83	0.93	0.96	0.92	0.83	0.7	0.56	0.43	0.38
55	0.34	0.46	0.63	0.78	0.89	0.92	0.88	0.78	0.64	0.49	0.35	0.3
60	0.26	0.39	0.56	0.73	0.84	0.87	0.83	0.73	0.58	0.41	0.27	0.21
65	0.17	0.31	0.49	0.66	0.79	0.82	0.78	0.67	0.51	0.34	0.19	0.13
70	0.11	0.23	0.42	0.6	0.73	0.77	0.72	0.61	0.45	0.26	0.13	0.12
75	0.11	0.15	0.34	0.53	0.67	0.71	0.66	0.55	0.37	0.18	0.12	0.11
80	0.1	0.1	0.26	0.46	0.6	0.64	0.6	0.48	0.3	0.13	0.11	0.1
85	0.09	0.09	0.19	0.39	0.53	0.58	0.53	0.41	0.23	0.12	0.11	0.1
90	0.08	0.08	0.11	0.31	0.46	0.51	0.46	0.34	0.15	0.11	0.1	0.09

El resultado del cálculo de la radiación solar sobre una superficie inclinada se indica en el cuadro 4.9.

Cuadro 4.9. Cálculo de Horas sol al día.

Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NEC 11, Capítulo 14, tabla 14.B1.1.

MES	H (Wh/m <sup>2</sup> día)	k	HT (Wh/m <sup>2</sup> día)	HS (h) día
Enero	4418.4400	0.97	4285.8868	4.29
Febrero	4395.1400	0.98	4307.2372	4.31
Marzo	4527.4850	1	4527.4850	4.53
Abril	4209.1800	1.01	4251.2718	4.25
mayo	4080.1350	1.02	4161.7377	4.16
Junio	4051.4200	1.03	4172.9626	4.17
Julio	4143.3950	1.02	4226.2629	4.23
Agosto	4299.2250	1.01	4342.2173	4.34
Septiembre	4448.8650	1	4448.8650	4.45
Octubre	4452.4850	0.98	4363.4353	4.36
Noviembre	4585.2100	0.97	4447.6537	4.45
Diciembre	4475.0450	0.96	4296.0432	4.30
TOTAL	52086.0250		51831.0585	51.83

El número de horas de sol al día HS, es determinado con el número de horas diarias de irradiación solar a 1000 W/m<sup>2</sup>, se calcula con la ecuación 4.15 y su resultado se puede apreciar en el cuadro 4.9.

$$HS = \frac{\bar{H}_T}{1000} \text{ (h día)}$$

Ecuación 4.15. Horas de sol al día.

### 4.3.3 Cálculo del rendimiento global del sistema (PR)

Para determinar la potencia pico del arreglo fotovoltaico, es necesario determinar el rendimiento global del sistema que se calcula con la ecuación 4.16.

$$PR = \eta_{temp} * \eta_{suc} * \eta_{reg} * \eta_{cab} * \eta_{bat} * \eta_{aut} * \eta_{inv}$$

Ecuación 4.16. Rendimiento global del sistema.

Dónde:

$\eta_{temp}$  = Rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes de condiciones normales para el panel fotovoltaico se calcula con la ecuación 4.17.

$\eta_{suc}$  = Rendimiento por efectos de suciedad (98%).

$\eta_{reg}$  = Rendimiento del regulador (90 - 92%).

$\eta_{cab}$  = Rendimiento por pérdida en los cables eléctricos (97%).

$\eta_{bat}$  = Rendimiento del banco de baterías (95-96%).

$\eta_{aut}$  = Rendimiento debido a pérdidas por auto descarga del banco de baterías (98-99%).

$\eta_{inv}$  = Rendimiento del inversor (80 – 95%).

Los valores de los rendimientos recomendados, son los dispuestos por la Norma Técnica Ecuatoriana NEC 11.

El rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes de condiciones normales para el panel fotovoltaico ( $\eta_{temp}$ ), se determina con la ecuación 4.17.

$$\eta_{temp} = 1 - C_T(T_C - 25)$$

Ecuación 4.17. Rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes de la nominal.

Dónde:

$\eta_{temp}$  = Rendimiento por funcionamiento a temperaturas diferentes de condiciones normales para el panel fotovoltaico.

$T_C$  = Es la temperatura de la celda a una irradiación de  $1000 \text{ W/m}^2$ , (se calcula ecuación 4.18).

$C_T$  = Coeficiente de variación de la potencia por funcionamiento a temperaturas diferentes de los estándares de pruebas, si no se dispone se puede asumir un valor de 0.005.

$T_C$  se calcula con la ecuación 4.18:

$$T_C = T_a + 1,25 (NOCT - 20)$$

Ecuación 4.18. Temperatura de la celda a una irradiación de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

Dónde:

$T_C$  = Es la temperatura de la celda a una irradiación de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

$T_a$  = Es la temperatura ambiente °C.

$NOCT$  = Es la temperatura de operación normal de la celda y que viene en las especificaciones técnicas del fabricante °C.

Los cálculos del rendimiento por temperaturas diferentes  $\eta_{temp}$  se indican en el cuadro 4.10.

Cuadro 4.10. Rendimiento por temperaturas diferentes  $\eta_{temp}$ .  
Fuente: Valores de velocidad del viento año medio tipo a 15m.

MES	Tamb(C)	TC	$\eta_{temp}$
Enero	6.36	37.61	93.7%
Febrero	6.52	37.77	93.6%
Marzo	6.88	38.13	93.4%
Abril	6.83	38.08	93.5%
Mayo	6.71	37.96	93.5%
Junio	6.16	37.41	93.8%
Julio	6.36	37.61	93.7%
Agosto	7.45	38.7	93.2%
Septiembre	8.16	39.41	92.8%
Octubre	8.18	39.43	92.8%
Noviembre	7.23	38.48	93.3%
Diciembre	6.51	37.76	93.6%

Se calcula el rendimiento total del sistema fotovoltaico, para ello se aplica la ecuación 4.16, y el resultado se indica en el cuadro 4.11.

**Cuadro 4.11. Rendimiento PR del sistema fotovoltaico.**  
Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NEC 11, Capítulo 14, tabla 14.B1.1.

$\eta_{temp}$	$\eta_{suc}$	$\eta_{reg}$	$\eta_{cab}$	$\eta_{bat}$	$\eta_{out}$	$\eta_{inv}$	PR
93.7%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68.6%
93.6%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68.6%
93.4%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68.4%
93.5%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68.5%
93.5%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68.5%
93.8%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68.7%
93.7%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68.6%
93.2%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68.2%
92.8%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68.0%
92.8%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68.0%
93.3%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68.3%
93.6%	98%	90%	97%	96%	98%	91%	68.6%

#### 4.3.4 Cálculo de la potencia pico del arreglo fotovoltaico

La potencia pico del arreglo fotovoltaico se determina con la ecuación 4.19, y los resultados del cálculo se indican en el cuadro 4.12.

$$Pot_p = \frac{\text{Consumo energético}}{HS * PR}$$

Ecuación 4.19. Potencia pico del arreglo fotovoltaico.

**Cuadro 4.12. Potencia pico del arreglo fotovoltaico.**  
Fuente: Norma Técnica Ecuatoriana NEC 11, Capítulo 14, tabla 14.B1.1.

MES	HS (h día)	PR	Consumo Energético (Wh día)	Pot (Wp)
Enero	4.29	68.6%	2398	815.29
Febrero	4.31	68.6%	2398	811.94
Marzo	4.53	68.4%	2398	773.93
Abril	4.25	68.5%	2398	824.00
Mayo	4.16	68.5%	2398	841.18
Junio	4.17	68.7%	2398	836.46
Julio	4.23	68.6%	2398	826.79
Agosto	4.34	68.2%	2398	809.42
Septiembre	4.45	68.0%	2398	793.04
Octubre	4.36	68.0%	2398	808.66

Noviembre	4.45	68.3%	2398	789.30
Diciembre	4.30	68.6%	2398	814.02
Promedio	4.32	0.68	2398	812.00

#### 4.4 Conclusiones del capítulo

Con la utilización del software WINDOGRAPHER se validó las mediciones realizadas con el anemómetro, generando una base de datos anual con velocidad del viento a 15m de altura para el lugar en estudio. Además permitió calcular los parámetros c y k de la distribución de Weibull, teniendo en cuenta que el software analiza cuatro algoritmos por lo que ahorra tiempo en cálculo y es más preciso. También se determinó la densidad de energía eólica.

Con el software INSOLACIÓN se determinaron los datos mensuales de insolación en el punto prospectado.

Se determinó la potencia pico del arreglo fotovoltaico, determinando que el mes más desfavorable es el mes de mayo con 841.18 Wp.

## **CAPÍTULO V**

### **LA PROPUESTA**

#### **5.1 Título de la propuesta**

“Diseño tecnológico y propuesta de un sistema de generación eléctrica alternativa. Para la vivienda tipo seleccionada”

#### **5.2 Objetivo de la propuesta**

1. Dimensionar el sistema solar y el sistema eólico para la electrificación de vivienda rural en el sector Langoa.
2. Valorar técnica, económica y ambiental sistema de generación de energía alternativa.

#### **5.3 Justificación de la propuesta**

Mediante la investigación se ha demostrado que es factible aprovechar el recurso eólico y solar en el sector rural de Langoa, para producir energía eléctrica. Con respecto al potencial eólico se ha determinado una densidad de energía anual de 1574.43 kWh que para una instalación aislada indica una importante cantidad de energía que se puede aprovechar. El potencial solar indica un promedio anual de 51.83 (Wh/m<sup>2</sup> día) de radiación solar sobre una superficie inclinada, que tomando en cuenta representa una buena cantidad de insolación global para ser aprovechado.

#### **5.4 Estructura de la propuesta**

##### **5.4.1 Dimensionamiento del sistema con energía eólica**

##### **Cálculo del rendimiento global del sistema (PR)**

Para determinar la potencia pico del aerogenerador, es necesario determinar el rendimiento global del sistema que se calcula con la ecuación 5.1.

$$PR = \eta_{reg} * \eta_{cab} * \eta_{bat} * \eta_{aut} * \eta_{inv}$$

### Ecuación 5.1. Rendimiento global del sistema.

Dónde:

$\eta_{reg}$  = Rendimiento del regulador (90 - 92%).

$\eta_{cab}$  = Rendimiento por pérdida en los cables eléctricos (97%).

$\eta_{bat}$  = Rendimiento del banco de baterías (95-96%).

$\eta_{aut}$  = Rendimiento debido a pérdidas por auto descarga del banco de baterías (98-99%).

$\eta_{inv}$  = Rendimiento del inversor (80 – 95%).

Los valores de los rendimientos recomendados, son los dispuestos por la Norma Técnica Ecuatoriana NEC 11.

### Cálculo de la energía eléctrica que produce el aerogenerador

Los aerogeneradores seleccionados para el estudio se indican en el cuadro 5.1, donde se aprecia un cuadro resumen con algunas de las características técnicas de los aerogeneradores a ser analizados.

Cuadro 5.1. Aerogeneradores analizados para el estudio.

Fuente: Catálogos de los aerogeneradores.

Modelo	WG 1000	WindSpot 1.5	WindSpot 3.5	ZH 750	ZH 1500	ZH 2000	ZH 3000	Antaris 2.5 kW	Bornay 1500	Enair 30	Inclin 1500
Potencia nominal (W)	700	1500	3500	750	1500	2000	3000	2700	1500	1500	1500
Diámetro de la hélice (m)	2.5	3.3	4.05	2.7	3.2	3.6	4	3	2.86	4.1	2.86
Número de aspas	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	2
Velocidad de arranque (m/s)	3	3	3	4	3	3	3	2.2	3.5	2	3.5
Velocidad de potencia nominal (m/s)	10	12	12	9	9	9	10	12	12	10 - 12	12
Rotación potencia nominal (rpm)		250	250	450	380	400	350	140 - 550	700	250	700
Voltaje de salida (V)	12 o 24	24, 48, 110, 220	24, 48, 110, 220	12 o 24	24	48	48	350 VAC	24, 48, 120	24, 48, 220	24, 48, 120, 300
Peso (kg)	40	155	185	65	78	88	105	75	41	130	42

La capacidad de producir energía de un aerogenerador se caracteriza con su curva de potencia, que consiste en valores de velocidad del viento en intervalos usualmente de 1 m/s y su respectiva potencia, la potencia extraíble del viento no

solo depende de la velocidad también depende de la densidad del aire, por esta razón, es muy importante hacer la corrección de las curvas de potencia de los aerogeneradores que normalmente está diseñada en condiciones estándar con una densidad de 1,225 kg/m<sup>3</sup>.

Para la corrección de la curva de potencia se utilizó la ecuación 5.2.

$$P' = P \left( \frac{\rho'}{\rho} \right)$$

Ecuación 5.2. Densidad de energía eólica.

Dónde:

P' = Potencia corregida (W).

P = Potencia a condiciones estándar (W).

$\rho$  = Densidad del aire a condiciones estándar 1,225 kg/m<sup>3</sup>.

$\rho'$  = Densidad del aire en el emplazamiento Langoa a la que se desea corregir 0.84177 kg/m<sup>3</sup>.

El cuadro 5.2 indica la potencia corregida del aerogenerador Zonhan 750 W, en función de la densidad del sector rural de Langoa. Donde se puede apreciar una disminución de la potencia kW que puede entregar el aerogenerador.

Cuadro 5.2. Curva de potencia corregida en función de la densidad.  
Fuente: Catalogo aerogeneradores Zonhan.

VELOCIDAD	SIN	CON
	CORRECCIÓN	CORRECCIÓN
	POTENCIA (kW)	POTENCIA (kW)
1	0,000	0,000
2	0,000	0,000
3	0,000	0,000
4	0,012	0,008
5	0,048	0,033
6	0,120	0,082
7	0,234	0,161
8	0,384	0,264
9	0,600	0,412
10	0,810	0,557
11	0,888	0,610
12	0,870	0,598
13	0,834	0,573
14	0,798	0,548
15	0,762	0,524
16	0,732	0,503



17	0,696	0,478
18	0,666	0,458

Corregidas las curvas de potencia de los once aerogeneradores seleccionados en función de la densidad calculada en el emplazamiento de estudio, se ingresaron en el software WINDOGRAPHER y al ser analizadas para determinar la cantidad de energía que se puede obtener con las velocidades del año medio tipo, se detallan los siguientes resultados que se indican en el cuadro 5.3.

Para el análisis el software WINDOGRAPHER considera un rendimiento de los aerogeneradores del 16% que efectivamente está dentro del rango de eficiencia de los pequeños aerogeneradores entre (15 – 25) %.

Los resultados del cuadro 5.3, indican que el aerogenerador que mejor aprovecha el potencial eólico del año medio tipo es el WindSpot 1.5 kW, con una producción anual de energía de 4241 kWh/año y con un factor de capacidad del 32.27% que según el cuadro 4.6, corresponde a una calificación del aerogenerador muy buena.

Además permite descartar el uso de los aerogeneradores ZH 3, WS 3.5, Antaris 2.5 según el criterio del factor de capacidad.

Cuadro 5.3. Resultado del análisis de los aerogeneradores.

Fuente: Software WINDOGRAPHER.

Turbina	Valid Time Steps	Hub Height Wind Speed (m/s)	Percentage Of Time At Zero Power	Mean of Monthly Means		
				Net Power (kW)	Net AEP (kWh/yr)	NCF (%)
WG 1000 (15m)	8,760	5.9	5.89	0.2	1,444	20.61
ZH 1.5 (15m)	8,760	5.9	3.41	0.3	2,681	20.41
ZH 2 (15m)	8,760	5.9	3.38	0.5	3,943	22.5
ZH 750 (15m)	8,760	5.9	5.89	0.2	1,546	23.53
ZH 3 (15m)	8,760	5.9	3.44	0.6	4,936	18.78
<b>WS 1.5 (15m)</b>	<b>8,760</b>	<b>5.9</b>	<b>0</b>	<b>0.5</b>	<b>4,241</b>	<b>32.27</b>
WS 3.5 (15m)	8,760	5.9	3.45	0.5	4,551	14.84
INCLIN 1500 (15m)	8,760	5.9	10.14	0.4	3,102	23.61
BORNAY 1500 (15m)	8,760	5.9	0	0.5	4,037	23.04
ANTARIS 2.5 (15m)	8,760	5.9	3.41	0.3	2,464	11.25
ENAIR 30 (15m)	8,760	5.9	0	0.4	3,366	25.62

Para seleccionar el aerogenerador se tomó en cuenta los resultados de la energía mensual producida kWh mes por cada uno de los aerogeneradores, estos

valores fueron proporcionados por el software WINDOGRAPHER y se pueden apreciar en el cuadro 5.4.

Cuadro 5.4. Energía mensual producida aerogeneradores.  
Fuente: Software WINDOGRAPHER.

kWh/mes												
MES	WG 1000	ZH 1.5	ZH 2	ZH 750	ZH 3	WS 1.5	WS 3.5	INCLIN 1500	BOURNAY 1500	ANTARIS 2.5	ENAIR 30	Enair 70
ENERO	103.79	186.83	279.2	109.61	354.1	335.74	325.68	236.54	313.76	169.9	250.68	380.01
FEBRERO	94.21	168.07	250.2	98.86	316.4	304.68	290.76	216.53	283.91	150.05	225.87	340.75
MARZO	101.43	190.41	279.85	108.77	352.45	304.53	325.11	218.77	291.33	178.51	238.15	379.2
ABRIL	133.2	236.99	350.92	140.54	436.86	385.27	403.52	281.68	360.72	210.96	308.01	475.05
MAYO	115.2	212.22	312.7	122.95	390.61	345.1	359.27	250.1	326.38	191.86	269.37	421.47
JUNIO	150.88	288.82	418.58	163.54	519.9	399.39	480.17	305.56	389.44	270.53	339.95	564.86
JULIO	186.8	371.16	533.27	206.2	660.92	466	615.11	370.56	466.2	359.36	417.32	721.27
AGOSTO	154.58	299.67	433.37	168.73	535.33	404.57	494.56	310.39	396.14	280.16	347.13	581.44
SEPTIEMBRE	114.42	203.39	302.4	120.23	380.39	354.76	349.77	254.51	330.3	180.62	270.41	410.63
OCTUBRE	143.46	262.71	387.54	153.65	481.98	407.16	444.06	301.58	384.76	236.65	331.55	521.92
NOVIEMBRE	51.44	91.48	140.48	52.97	185.88	218.51	168.95	136.58	201.29	84.52	137.33	192.97
DICIEMBRE	94.94	169.6	254.01	100	320.81	315.09	294.31	219.31	292.3	150.47	230.31	343.28
TOTAL	1,444.35	2,681.38	3,942.52	1,546.04	4,935.65	4,240.79	4,551.26	3,102.12	4,036.52	2,463.61	3,366.08	5,332.85

### Elección del aerogenerador

El consumo de energía mensual promedio de la vivienda tipo es de 74 kWh mes, para poder satisfacer éste consumo el aerogenerador más cercano es el ZH 750 como se indica en el cuadro 5.4. Pero hay que multiplicar las energías mensuales producidas con el aerogenerador por el rendimiento del sistema como se indica en el cuadro 5.5, Donde se observa que la energía generada por el aerogenerador afectado por el rendimiento del sistema es crítica en el mes de noviembre, por lo que, para este mes es necesario indicar a los usuarios que hay que bajar el consumo de energía reduciendo el uso de los equipos eléctricos conectados, un ejemplo de esto es recomendar apagar durante la noche y madrugada el foco ahorrador de 25 W que está previsto para ese horario de funcionamiento normal en iluminación exterior.

Además para la elección del aerogenerador también se analizó las características técnicas, factor de capacidad, disponibilidad en el mercado local y el precio confirmando la elección del aerogenerador, en el cuadro 5.6 se indica la elección del aerogenerador.

Cuadro 5.5. Energía producida aerogeneradores afectada por rendimiento.  
Fuente: Software WINDOGRAPHER.

MES	DÍAS	CONSUMO DIARIO (Wh)	CONSUMO MENSUAL (kWh)	E Aerog (kWh)	$\eta_{reg}$	$\eta_{cab}$	$\eta_{bat}$	$\eta_{out}$	$\eta_{inv}$	PR	Energía Aerogenerador por rendimiento(kWh)
ENERO	31	2398	74.34	109.61	0.90	0.97	0.96	0.98	0.91	0.75	81.92
FEBRERO	28	2398	67.14	98.86	0.90	0.97	0.96	0.98	0.91	0.75	73.89
MARZO	31	2398	74.34	108.77	0.90	0.97	0.96	0.98	0.91	0.75	81.29
ABRIL	30	2398	71.94	140.54	0.90	0.97	0.96	0.98	0.91	0.75	105.04
MAYO	31	2398	74.34	122.95	0.90	0.97	0.96	0.98	0.91	0.75	91.89
JUNIO	30	2398	71.94	163.54	0.90	0.97	0.96	0.98	0.91	0.75	122.23
JULIO	31	2398	74.34	206.20	0.90	0.97	0.96	0.98	0.91	0.75	154.11
AGOSTO	31	2398	74.34	168.73	0.90	0.97	0.96	0.98	0.91	0.75	126.11
SEPTIEMBRE	30	2398	71.94	120.23	0.90	0.97	0.96	0.98	0.91	0.75	89.86
OCTUBRE	31	2398	74.34	153.65	0.90	0.97	0.96	0.98	0.91	0.75	114.84
NOVIEMBRE	30	2398	71.94	52.97	0.90	0.97	0.96	0.98	0.91	0.75	39.59
DICIEMBRE	31	2398	74.34	100.00	0.90	0.97	0.96	0.98	0.91	0.75	74.74
TOTAL	365		875.27	1546.05							1155.52

Cuadro 5.6. Elección del aerogenerador.

Fuente: Software WINDOGRAPHER y características técnicas aerogeneradores.

Turbina	Costo (dólares americanos)	Peso (kg)	Vida útil (años)	Net Power (kW)	Net AEP (kWh/yr)	NCF (%)
ZH 750	1200	65	15	0.2	1,546	23.53
ZH 2 (15m)	2,565	88	15	0.5	3,943	22.5
WS 1.5 (15m)	6,116	155	20	0.5	4,241	32.27
BORNAY 1500 (15m)	5,585	41	15	0.5	4,037	23.04
ENAIR 30 (15m)	7,494	130	> 25	0.4	3,366	25.62

El aerogenerador elegido el ZONHAN 750 W, permite generar 1546 kWh año, suficiente para cubrir el consumo anual de la vivienda tipo, con un factor de capacidad del 23.5% que según el cuadro 4.6, corresponde a una calificación del aerogenerador buena. Y con un precio de 1200 dólares americanos accesible para el proyecto.

En el cuadro 4.2, la distribución de frecuencias se realizó con intervalos de clase de 0.5 m/s, pero en análisis de energía eólica se puede elegir el intervalo para comodidades de cálculo, se realizó una nueva distribución de frecuencias con intervalos de 1 m/s, salvo para el intervalo (0 - 0.5) en el que la amplitud es 0.5 m/s. Esto se realizó para que coincida con la curva de potencia del aerogenerador seleccionado, como se indica en el cuadro 5.7.

Cuadro 5.7. Cálculo de la energía generada con el aerogenerador ZONHAN 750.

Intervalos de Clase (m/s)	vi (m/s)	ni (horas)	fi fi=ni/ N	"≤" q" Fi	1	2	3	4	2*4 (kW/año)	2*3 (kWh/año)
					vi (m/s)	P(kW)	horas /año	P(vi)	POTENCIA	Energía generada
					0.0 - 0.5	0.25	179	0.0204	0.0204	0
0.5 - 1.5	1	226	0.0258	0.0462	1	0.000	226	0.0258	0.00000	0.00
1.5 - 2.5	2	240	0.0274	0.0736	2	0.000	240	0.0274	0.00000	0.00
2.5 - 3.5	3	609	0.0695	0.1431	3	0.008	609	0.0695	0.00057	5.02
3.5 - 4.5	4	1088	0.1242	0.2673	4	0.033	1088	0.1242	0.00410	35.89
4.5 - 5.5	5	1419	0.1620	0.4293	5	0.082	1419	0.1620	0.01336	117.01
5.5 - 6.5	6	1421	0.1622	0.5915	6	0.161	1421	0.1622	0.02608	228.49
6.5 - 7.5	7	1359	0.1551	0.7466	7	0.264	1359	0.1551	0.04093	358.60
7.5 - 8.5	8	1139	0.1300	0.8766	8	0.412	1139	0.1300	0.05360	469.60
8.5 - 9.5	9	593	0.0677	0.9443	9	0.557	593	0.0677	0.03768	330.06
9.5 - 10.5	10	273	0.0312	0.9755	10	0.610	273	0.0312	0.01904	166.58
10.5 - 11.5	11	145	0.0166	0.9921	11	0.598	145	0.0166	0.00992	86.69
11.5 - 12.5	12	49	0.0056	0.9977	12	0.573	49	0.0056	0.00321	28.08
12.5 - 13.5	13	15	0.0017	0.9994	13	0.548	15	0.0017	0.00093	8.23
13.5 - 14.5	14	3	0.0003	0.9997	14	0.524	3	0.0003	0.00016	1.57
14.5 - 15.5	15	0	0.0000	0.9997	15	0.503	0	0.0000	0.00000	0.00
15.5 - 16.5	16	2	0.0002	1	16	0.478	2	0.0002	0.00010	0.96
<b>TOTALES</b>		<b>8760</b>	<b>1</b>				<b>8760</b>	<b>1</b>	<b>0.21</b>	<b>1836.78</b>

La energía generada al año mostrada en el cuadro 5.7, es de 1836.78 kWh se le aplica el 16 % de pérdidas del rendimiento del aerogenerador y se tiene:

$$PAE = 1542.89 \text{ kWh}$$

Y su factor de capacidad es:

$$FC = \frac{E}{P_n * T} = 0.234 = 23.4 \%$$

Valores que coinciden con los resultados del software WINDOGRAPHER, la hoja de características técnicas del aerogenerador se puede ver en el anexo 2.

### Controlador de carga y disipador de energía del aerogenerador

El aerogenerador elegido Zonhan 750, viene con su respectivo controlador de carga y disipador de energía, el controlador de carga es electrónico con un tipo de carga PWM (pulse wide modulator) que mejora la eficiencia de la carga de

baterías, cuando las baterías están cargadas el controlador de carga automáticamente envía la energía eléctrica excedente al disipador de energía que es una resistencia interna de disipación (freno eléctrico). Las características técnicas del controlador y disipador se pueden ver en el anexo 3.

#### 5.4.2 Dimensionamiento del sistema con energía solar

##### Cálculo de los módulos fotovoltaicos

Los resultados del cuadro 4.12, indican que el mes más desfavorable es el de mayo, por lo que la potencia del arreglo fotovoltaico se la escoge para este mes. Y para determinar el número de paneles en paralelo se aplica la ecuación 5.3 y para determinar los paneles en serie la ecuación 5.4.

$$\text{Número de módulos en paralelo} = \frac{\text{Pot } W_p \text{ (mes mas desfavorable)}}{P_{\text{máx}} \text{ (módulo fotovoltaico)}}$$

Ecuación 5.3. Número de módulos en paralelo.

$$\text{Número de módulos en serie} = \frac{V_{\text{bateria}}}{V_{\text{panel}}}$$

Ecuación 5.4. Número de módulos en serie.

En base a la disponibilidad en el mercado local, se han seleccionado algunos módulos fotovoltaicos, como se indica en el cuadro 5.8.

Cuadro 5.8. Características de módulos fotovoltaicos disponibles en la localidad.

Fuente: Catálogo Tynsolar, Simax, Renesola.

Marca	Tipo	Potencia (W)	Voltaje (V)	Costo (USD)
TYNP62409140	Policristalino	140	12	353
SM636-150	Monocristalino	150	12	240
SM572-165	Monocristalino	190	24	300
JC250S-24	Monocristalino	250	24	380
SM660-230	Monocristalino	230	30	370

El resultado del cálculo para determinar el número de módulos fotovoltaicos en serie y en paralelo se encuentra en el cuadro 5.9, donde se selecciona el panel SIMAX SM636-150, debido a que tiene el menor número de módulos que es 6,

con un costo de 1440 dólares americanos, mucho más barato que los otros módulos fotovoltaicos.

Cuadro 5.9. Número de módulos fotovoltaicos en serie y paralelo.

Fuente: Catálogo Tynsolar, Simax, Renesola.

Marca	TOTAL	SERIE	PARALELO	COSTO (USD)
TYNP62409140	7	1	7	2471
SM636-150	6	1	6	1440
SM572-165	10	1	10	3000
JC250S-24	8	1	8	3040
SM660-230	10	1	10	3700

Es importante que el voltaje del módulo fotovoltaico  $V_{oc}$  debe ser mayor que el voltaje nominal de la batería, para que estas se puedan cargar, en el caso del módulo elegido SM636-150 se tiene un voltaje  $V_{oc} = 22.6 \text{ V} > V_{bat} = 12 \text{ V}$ , Las características técnicas del módulo fotovoltaico seleccionado están en el anexo 4.

### 5.4.3 Dimensionamiento del inversor

Para el dimensionamiento adecuado del inversor se deben cumplir algunos criterios como:

- La potencia del inversor debe ser mayor a la potencia de la capacidad instalada de los equipos de corriente alterna en el sistema un 25%. (Código Técnico Ecuatoriano (CTE INEN), 2010 pág. 22).
- El rango de voltaje de entrada del inversor, debe coincidir con el voltaje de las baterías.
- El rendimiento máximo del inversor es importante para el dimensionamiento del regulador. Además indica la potencia real entregada por el inversor.
- Forma de la señal de salida, para el sistema debe ser onda sinusoidal pura por el computador.

En el cuadro 5.10, se indican los inversores encontrados en el mercado local.

Cuadro 5.10. Características de inversores disponibles en la localidad.  
Fuente: Catálogo Innotec, Victron Energy, Power Star.

Marca	Voltaje entrada (V)	Potencia (W)	Rendimiento (%)	Costo (USD)
Power Star	10.5 - 16	1000	88%	450
Innotec Gama A5	10.5 - 16	800	93%	2330.34
Phoenix 12V	9.2 - 17.3	800	91%	680.05

En base a lo especificado anteriormente en inversor elegido es Phoenix 12, tiene una potencia de 800W mayor que la capacidad instalada que es de 494 W, el voltaje de las baterías que es 12V está dentro del rango de voltaje del inversor que es de (9.2 – 17.3) V, tiene un rendimiento del 91% y es de onda sinusoidal pura, en el anexo 5 se indican las características técnicas del inversor.

#### 5.4.4 Dimensionamiento del regulador

Para el dimensionamiento del regulador se tiene en cuenta los requerimientos de la norma (Código Técnico Ecuatoriano (CTE INEN), 2010 pág. 19):

- a) La operación del regulador de carga debe ser automática, y contar con protección electrónica.
- b) La vida útil del regulador de carga debe ser igual o mayor a 10 años.
- c) Debe poseer protección contra descargas profundas de la batería.
- d) Debe poseer protección contra sobrecargas de la batería.
- e) La desconexión y reconexión de los módulos fotovoltaicos y la carga, se deben ubicar dentro de los siguientes límites para un voltaje del banco de baterías de 12 V, y son:
  - Desconexión del arreglo fotovoltaico: entre (13,9 - 14,6) V.
  - Reconexión del arreglo fotovoltaico: entre (12,6 - 13,5) V.
  - Desconexión de la carga: entre (11,45 - 11,9) V.
  - Reconexión de la carga: entre (13,20 - 13,60) V.

Se debe calcular la energía que las baterías deben entregar al inversor para satisfacer el consumo de energía del sistema, y estos valores se calcularon en el cuadro 4.19, siendo el mes más desfavorable el de mayo con un valor de 841.18 W día que dividido para 12 V que es el voltaje de las baterías se tiene:

La corriente del regulador se calcula con la ecuación 5.5.

$$\text{Corriente del regulador} = \frac{\text{Pot Wp (mes mas desfavorable)}}{\text{Voltaje de las baterías}}$$

Ecuación 5.5. Corriente del regulador.

Entonces la corriente del regulador es 70 A.

En el cuadro 5.11, se indican los reguladores encontrados en el mercado local.

Cuadro 5.11. Características de reguladores disponibles en la localidad.  
Fuente: Catálogo TriStar y View Star.

Marca	Corriente máxima (A)	Voltaje nominal (V)	Costo (USD)
TS-MPPT-45	45	12/24/48	720
TS-MPPT60	60	12/24/48	800
VS4548BN	45	12/24/1948	370

Como ningún regulador alcanza la corriente de 70 A, es necesario dos reguladores y teniendo en cuenta que el número de módulos fotovoltaicos es seis, entonces se puede obtener dos ramas simétricas. El regulador elegido es VS4548BN de 45 amperios, por su relación costo corriente que es la mejor entre los reguladores seleccionados, en el anexo 6 se indican las características técnicas del regulador. Y en el anexo 10 se indica el diagrama eléctrico de la instalación solar donde se puede apreciar la división de las dos ramas simétricas para el uso de dos reguladores de 45 A.

#### 5.4.5 Dimensionamiento del banco de baterías

Al ser una instalación aislada las baterías de ciclo profundo son indispensables para almacenar la energía que será consumida, para dimensionar se debe tener en cuenta la profundidad de descarga y los días de autonomía.

La capacidad del banco de baterías se calcula con la ecuación 5.6.

$$C_{\text{bat}} = \left( \frac{\text{Consumo de energía} * \text{días de autonomía}}{\text{Profundidad de Descarga} * \text{voltaje del sistema}} \right)$$

Ecuación 5.6. Capacidad del banco de baterías.



El consumo de energía es de 2398 Wh día, pero el inversor al tener el 91% de rendimiento necesita que las baterías entregan 2635 Wh al inversor para que este pueda suministrar 2398 Wh a la carga. Aplicando la ecuación 5.6 se tiene una capacidad del banco de baterías de: 1317.5 Ah.

Para calcular el número de baterías necesarias, se debe seleccionar el tipo de baterías con las que se va a trabajar, el Código Técnico Ecuatoriano recomienda usar las baterías a un régimen de descarga de 20 horas (C20) y no exceder una profundidad de descarga del 60%, además por su poco mantenimiento se recomienda el uso de baterías tipo plomo ácido sellada AGM y GEL, el cuadro 5.12 muestra las baterías elegidas por facilidad de mantenimiento, seguridad y disponibilidad en el mercado local.

Cuadro 5.12. Características de las baterías encontradas en el mercado local.  
Fuente: Catálogo Ritar y catálogo Ultracell.

Marca	Tipo	Capacidad (Ah) en C20	Voltaje (V)	Peso (kg)	Costo (USD)
RA12-100D	AGM	107.2	12	30	284.59
RA6-200D	AGM	214.2	6	29	269.49
UCG 150-12	GEL	160.8	12	44	400

El número de baterías en paralelo necesarias se calcula con la ecuación 5.7 y el número de baterías en serie necesarias se calcula con la ecuación 5.8, el cálculo para las diferentes baterías seleccionadas para el estudio se encuentra en el cuadro 5.13 teniendo en cuenta el voltaje de 12 V. que es el voltaje de salida del aerogenerador.

$$Numero\ paralelo_{bat} = \left( \frac{C_{bat}}{Capacidad\ nominal\ batería} \right)$$

Ecuación 5.7. Numero de baterías en paralelo.

$$Numero\ serie_{bat} = \left( \frac{Voltaje\ del\ sistema}{Voltaje\ nominal\ batería} \right)$$

Ecuación 5.8. Numero de baterías en serie.

Cuadro 5.13. Baterías en serie y paralelo necesarias.  
Fuente: Catálogo Ritar y catálogo Ultracell.

Marca	TOTAL	SERIE	PARALELO	COSTO (USD)
RA12-100D	12	1	12	3415.08
RA6-200D	12	2	6	3233.88
UCG 150-12	8	1	8	3200

El cuadro 5.13 muestra que la batería UCG 150-12 es la mejor opción, por el menor número de baterías necesarias que es 8 y su costo que es de 3200 dólares americanos, las características técnicas de la batería se pueden ver en el anexo 7.

#### 5.4.6 Cálculo de conductores

Los cables se deben dimensionar según lo descrito por la Norma Técnica Ecuatoriana (Código Técnico Ecuatoriano (CTE INEN), 2010 pág. 28) que se describe a continuación:

- Las secciones de los conductores externos deben ser tales que las caídas de tensión en ellos sean inferiores al 3% entre el generador y el regulador de carga, inferior al 1% entre la batería y el regulador de carga, e inferior al 3% entre el regulador de carga y el consumo de las cargas conectadas al sistema. Deben cumplir con el código de colores rojo es positivo y negro es negativo para corriente continua.
- Los cables exteriores de la instalación deben ser especificados para su uso en presencia de humedad, temperatura 90 °C, doble aislamiento multifilares y resistentes a los rayos ultravioletas, tipo XHHN, Superflex, o similar.
- Las instalaciones interiores de las viviendas que utilicen los sistemas fotovoltaicos aislados de la red deben ser conductores bipolares de doble aislamiento o unipolares en tubería, pueden ser de tipo THW y multifilares.
- El calibre o sección del conductor debe tomar en cuenta tanto la ampicidad como la caída de tensión y viene dado por la ecuación 5.9.

$$S = \frac{l * i}{k * \Delta V} (mm^2)$$

Ecuación 5.9. Sección del conductor.

Dónde:

S: Sección del conductor ( $\text{mm}^2$ )

k: Gradiente de conductividad ( $56 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  Cu,  $35 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$  Al).

i: Intensidad de la corriente del circuito (A).

l: Longitud entre el punto inicial y el punto final (m).

$\Delta V$ : Caída de voltaje admitida o tolerada (%).

Es importante tener siempre en cuenta las recomendaciones de los fabricantes que muchas veces indican el calibre y longitud de los conductores para sus productos. Para determinar el calibre de los conductores se necesita la longitud para ello es indispensable determinar la ubicación física de cada uno de los elementos del sistema.

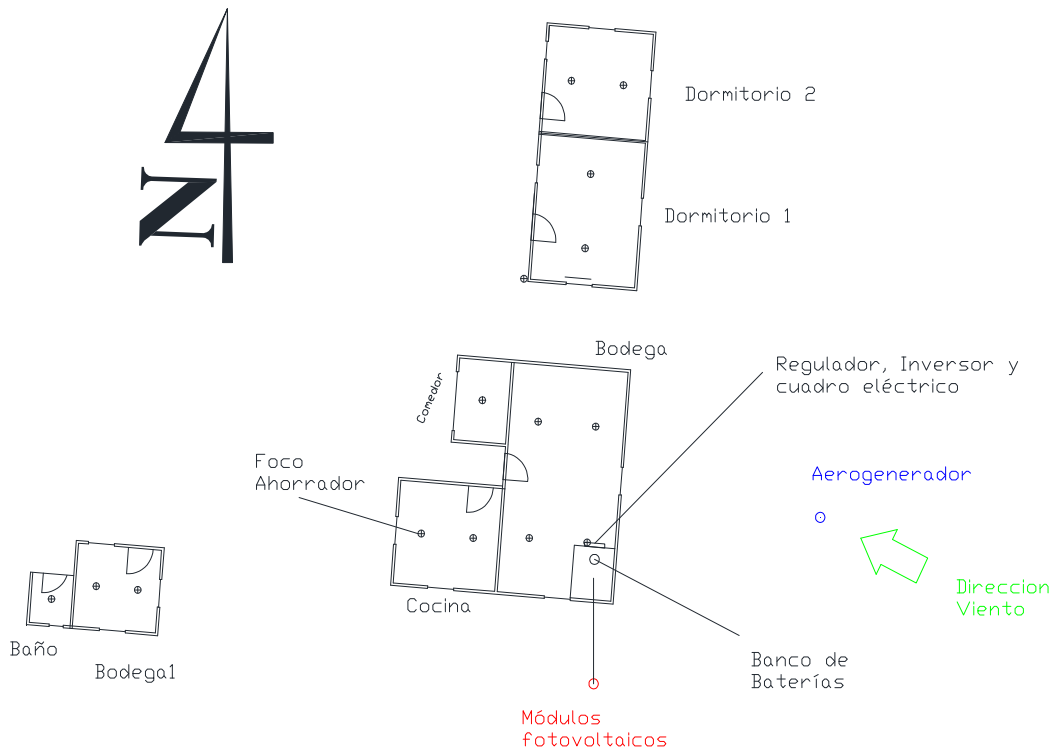


Figura 5.1. Distribución de los elementos del sistema.

Fuente: Vivienda tipo sector rural Langoa.

Conocidas las distancias, el porcentaje de caída de voltaje permitido, el gradiente de conductividad para el cobre, el voltaje al que va a funcionar y calculada la corriente que circulara por el conductor, se procede al cálculo de los

conductores aplicando la ecuación 5.9, y cuyo resultado se encuentra en el cuadro 5.14.

**Cuadro 5.14. Calibre de conductores.**  
Fuente: Catálogo de conductores Phelps dodge.

CIRCUITOS	$\Delta V$	L (m)	I (A)	k	V(V)	S (mm <sup>2</sup> )	Sn(mm <sup>2</sup> )	AWG	TIPO
Conductor (PV1 - Regulador 1) 1	3%	8	26.64	56	12	10.57	13.30	6	Superflex
Conductor (PV2 - Regulador 2) 2	3%	8	26.64	56	12	10.57	13.30	6	Superflex
Conductor Regulador 1 - Batería	1%	2	29.04	56	12	8.64	13.30	6	Superflex
Conductor Regulador 2 - Batería	1%	2	29.04	56	12	8.64	13.30	6	Superflex
Conductor Batería - Inversor	1%	3	32.16	56	12	14.36	21.20	4	Superflex
Conductor Aerogenerador – Regulador (A)	3%	19	21.7	56	12	20.45	21.20	4	Superflex
Conductor Regulador (A) - Baterías	1%	2	37.6	56	12	11.19	13.30	6	Superflex
Conductor Batería - Inversor	1%	3	64.3	56	12	28.71	33.60	2	Superflex
Circuito de Iluminación 1	3%	30	1.41	56	110	0.23	2.08	14	THHN
Circuito de Iluminación 2	3%	35	1.24	56	110	0.23	2.08	14	THHN
Circuito tomacorrientes	3%	30	2	56	110	0.32	3.31	12	THHN

En el cuadro 5.14 se puede observar que para el conductor (PV1-Regulador 1)1, la sección calculada es de 10,57 mm<sup>2</sup>, pero la sección comercial es de 13,30 mm<sup>2</sup>. Además el tipo de conductores seleccionado es Superflex y conductores THHN para las instalaciones eléctricas interiores de la vivienda.

#### 5.4.7 Selección de protecciones

Los dos principales elementos de protección en este tipo de instalación son el interruptor magnetotérmico y el fusible, que sirven como disparo de protección ante cortocircuitos y sobreintensidades. Para la protección de sobretensiones y sobrecargas los reguladores e inversores disponen en su estructura interna las protecciones correspondientes. (Pareja, 2010 pág.146).

La protección diferencial es indispensable en la parte de alterna para la protección de personas. (Código Técnico Ecuatoriano (CTE INEN), 2010 pág. 27).

### 5.4.7.1 Cálculo de protecciones para la instalación fotovoltaica

En la parte de corriente continua se dimensionó las protecciones con fusibles GL de fusión lenta y en la parte de corriente alterna cada circuito eléctrico disponible en la vivienda se dimensionó con interruptores magnetotérmico, un diferencial general y el interruptor magnetotérmico principal.

Los fusibles se conectan entre el módulo fotovoltaico y regulador (F1), entre el regulador y el banco de baterías (F2) y entre el banco de baterías y el inversor (F3). Los que se calculan con las ecuaciones 5.10, 5.11 y 5.12 respectivamente. (Pareja, 2010 pág.149).

$$IF1 \geq I_{CF} = I_{SC} * \#RAMAS$$

Ecuación 5.10. Cálculo fusible (F1).

Dónde:

IF1: Corriente del fusible F1 (A).

I<sub>CF</sub>: Corriente del campo fotovoltaico (A).

I<sub>SC</sub>: Corriente de corto circuito de cada módulo fotovoltaico (A).

# RAMAS: Es el número de ramas del campo fotovoltaico.

El F1 se calcula con el valor I<sub>SC</sub>: 8.88 A indicado en la hoja de características técnicas del panel seleccionado (anexo 4) y el número de ramas que es 3, ver diagrama eléctrico instalación solar (anexo 10), Dando como resultado un valor de fusible F1 = 26,4 A, escogiendo un valor normalizado de fusible se tiene F1 = 32 A.

$$IF2 \geq I_{REG} = I_{CF} * 1.10$$

Ecuación 5.11. Cálculo fusible (F2).

Dónde:

IF2: Corriente del fusible F2 (A).

I<sub>REG</sub>: Corriente del regulador (A).

El F2 se calcula con el valor I<sub>CF</sub> = 26,4 A calculado anteriormente aumentado un 10%, entonces I<sub>REG</sub> = 29,04 A., escogiendo un valor normalizado de fusible se tiene F2 = 32 A.

$$IF3 \geq \frac{CI}{\frac{\eta_{inv}}{V_{bat}}}$$

Ecuación 5.12. Cálculo fusible (F3).

Dónde:

IF3: Corriente del fusible F3 (A).

CI: Capacidad instalada de equipos de corriente alterna en la instalación (W).

$\eta_{inv}$ : Rendimiento del inversor (%).

$V_{bat}$ : Voltaje nominal de las baterías. (V).

El F3 se calcula con el valor de capacidad instalada de los equipos de corriente alterna que es CI= 494 W, calculado en el cuadro 3.5, el valor del rendimiento del inversor  $\eta_{inv} = 91\%$  valor entregado de la hoja de características técnicas del inversor (anexo 5) y el Voltaje nominal de las baterías valor  $V_{bat} = 12$  V encontrado en la hoja de características técnicas de las baterías (anexo 7), entonces  $F3 = 45,23$  A., escogiendo un valor normalizado de fusible se tiene  $F3 = 50$  A.

En las protecciones de corriente alterna se calcula la corriente nominal ( $I_n$ ) con la ecuación 5.13.

$$I_n = \frac{P}{V * fdp}$$

Ecuación 5.13. Cálculo de la corriente nominal.

Dónde:

$I_n$ : Intensidad nominal del circuito (A).

P: Potencia de las cargas alimentadas al circuito (W).

fdp: Factor de potencia 0.96.

A esa corriente nominal se le aplicó un margen de seguridad del 20% y es la corriente calculada ( $I_c$ ), entonces se seleccionó la corriente normalizada para los interruptores magnetotérmicos superior a la ( $I_c$ ) calculada y los resultados se indican en el cuadro 5.15.

Cuadro 5.15. Cálculo de protecciones.  
Fuente: Catálogo interruptores magnetotérmico.

CIRCUITOS	POTENCIA (W)	VOLTAJE (V)	$I_n$	$I_c$	SELECCIÓN PROTECCIÓN (A)
Circuito de Iluminación 1	140	120	1,22	1,46	5
Circuito de Iluminación 2	135	120	1,17	1,41	5
Circuito tomacorrientes	219	120	1,90	2,28	5
potencia principal	494	120	4,29	5,15	10

En el cuadro 5.15 se puede apreciar que la capacidad del interruptor magnetotérmico principal es de 10 A, permitiendo selectividad con las protecciones de los circuitos individuales que son de 5 A.

El interruptor diferencial se calcula o es igual a la suma aritmética de las protecciones magnetotérmicas que protege y mayor que la del interruptor termomagnético principal, y tiene un valor de 16 A.

#### 5.4.7.2 Cálculo de protecciones para la instalación eólica

Como se mencionó anteriormente el regulador incorporado con el aerogenerador elegido para el proyecto se encarga de las funciones de protección de sobretensiones y sobrecargas. Razón por la cual no es necesario incorporar elementos de protección entre el aerogenerador - regulador y entre el regulador y las baterías.

Para la protección del conductor de la batería al inversor se utiliza el fusible F3, calculado anteriormente, cuyo valor es de 50 Amperios.

Las protecciones de corriente alterna que son los interruptores magnetotérmicos en los circuitos de iluminación, tomacorrientes, interruptor principal y el interruptor diferencial calculadas anteriormente son las que se deben conectar en la parte de corriente alterna en la instalación eólica.

### 5.5 Análisis económico

El análisis económico determina un conjunto de parámetros técnicos y económicos que permiten predecir la viabilidad técnica y la rentabilidad económica de una o varias propuestas de electrificación y por tanto decidir sobre la conveniencia de su aplicación. (Villarrubia, 2013 pág. 250)

### 5.5.1 Inversión

Está determinada por los costos de cada una de las fuentes a utilizar para la electrificación en lo cual está contemplado los aerogeneradores, la torre, la obra civil, las instalaciones eléctricas, los paneles solares y todos los elementos que componen el sistema de electrificación. Se plantean tres variantes para electrificar la vivienda tipo del sector rural Langoa que se describen a continuación:

#### Variante 1 (Electrificación con energía eólica)

Cuadro 5.16. Costos instalación energía eólica.

ENERGÍA EÓLICA	
Aerogenerador Zonhan 750 W y regulador	\$ 1,200.00
Poste de hormigón, 17 m, 500 kg	\$ 250.00
Batería	\$ 3,200.00
Inversor	\$ 608.05
Conductor Superflex número 6	\$ 9.84
Conductor Superflex número 4	\$ 125.21
Conductor Superflex número 2	\$ 25.77
Fusible 50A	\$ 15.00
Caja Térmica.	\$ 102.25
Protección de puesta a tierra	\$ 443.60
Mano de obra instalación	\$ 500.00
Transporte	\$ 300.00
TOTAL:	\$ 6,779.72

En el cuadro 5.16 se aprecia que tiene mayor influencia en los costos de inversión las ocho baterías con un monto de 3200 dólares que representa el 48% del total de la instalación.

#### Variante 2 (Electrificación con energía solar)

Cuadro 5.17. Costos instalación energía solar.

ENERGÍA SOLAR	
Módulo fotovoltaico	\$ 1,440.00
Regulador	\$ 740.00
Batería	\$ 3,200.00



Inversor	\$ 608.05
Conductor Superflex número 4	\$ 19.77
Conductor Superflex número 6	\$ 98.40
Fusibles GL, 35 A, 50 A.	\$ 91.54
Caja Térmica, 12 puntos	\$ 102.25
Protección de puesta a tierra	\$ 215.71
Mano de obra instalación	\$ 500.00
Transporte	\$ 200.00
TOTAL:	\$ 7,215.72

En el cuadro 5.17 se aprecia que los costos de mayor influencia son los de las baterías teniendo similitud con la instalación eólica, por haber sido seleccionado con el mismo nivel de demanda para la electrificación de la vivienda y representa el 42% del total de la instalación.

### **Variante 3 (Electrificación con extensión de la red eléctrica)**

El costo de inversión con extensión de red eléctrica tiene un costo de \$12,800.62 determinado por la distancia que se encuentra la vivienda a electrificar desde el punto de conexión más próximo, con una distancia de 1100 metros donde los postes de hormigón armado es el rubro más elevado con un valor de 2500 dólares. En el anexo 8, se indica el presupuesto para este tipo de electrificación.

En los costos de las tres variantes no está incluido el costo de las instalaciones eléctricas internas de la vivienda que es un monto de como se indica en el cuadro 5.18.

Cuadro 5.18. Costos instalación interior de la vivienda.  
Fuente: Catálogo de Fabricantes.

ELEMENTOS Y EQUIPOS	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO (USD)	PRECIO TOTAL (USD)
Lámparas 15W	10	c/u	\$ 3.25	\$ 32.50
Lámparas 25W	5	c/u	\$ 4.75	\$ 23.75
Cinta 3M # 33	1	c/u	\$ 5.30	\$ 5.30
Boquilla	15	c/u	\$ 1.90	\$ 28.50
Caja Plástica	15	c/u	\$ 2.06	\$ 30.90
Tomacorriente Tripolar	7	c/u	\$ 2.15	\$ 15.05
Interruptor simple	8	c/u	\$ 2.16	\$ 17.28
Conductores THHN número 14	65	m	\$ 0.40	\$ 26.00
Conductores THHN número 12	30	m	\$ 0.55	\$ 16.50
Canaleta plástica 2m, 20x12 mm	45	m	\$ 2.48	\$ 111.60

Interruptor Magnetotérmico, 2poloso 5A	2	c/u	\$ 4.15	\$ 8.30
Interruptor Magnetotérmico, 2polos 5A	1	c/u	\$ 4.15	\$ 4.15
Interruptor Magnetotérmico, 2polos 10A	1	c/u	\$ 7.15	\$ 7.15
Interruptor diferencial, 2 polos, 16 A	1	c/u	\$ 87.00	\$ 87.00
Mano de obra instalación	1		\$ 250.00	\$ 250.00
SUBTOTAL				\$ 663.98
IVA 12%				\$ 79.68
TOTAL				\$ 743.66

## 5.5.2 Operación y mantenimiento

Para el análisis del costo de operación y mantenimiento es necesario tener en cuenta el comportamiento de los siguientes indicadores:

### Consumo de energía Anual (kWh/año)

$$CA = \frac{CE * 365}{1000}$$

Ecuación 5.14. Consumo de energía anual.

Dónde:

CA: Consumo anual de energía (kWh/año).

CE: Consumo diario de energía de la instalación (Wh/día).

### Costo de electricidad alimentada de la red eléctrica local (USD/kWh)

$$CER = CA * 0.08$$

Ecuación 5.15. Costo de electricidad de la red.

Dónde:

CER: Costo de la electricidad conectado de la red local (USD/kWh).

### Costo de operación anual (USD/año)

$$COA = CA * CER$$

Ecuación 5.16. Consumo de operación anual.

Dónde:

COA: Costo de operación anual (USD/año).

### VAN Costos de operación a futuro

$$VAN\ 0 = COA * \left(\frac{1 + e}{1 - e}\right) * \left(1 - \frac{1 + e}{1 - i}\right)^N$$

Ecuación 5.17. VAN costos de operación a futuro.

Dónde:

COA= Costo de operación anual

e = Inflación de energía

i = Taza de descuento

N= Número de años.

### VAN Costos de mantenimiento a futuro

$$VAN\ M = COA * \left[\frac{(1 + i)^N - 1}{i * (1 + i)^N}\right]$$

Ecuación 5.18. VAN costos de mantenimiento a futuro.

### VAN Costos de remplazo a futuro

$$VAN\ M = \frac{COA}{(1 + i)^N}$$

Ecuación 5.19. VAN costos de remplazo a futuro.

Teniendo en cuenta que los costos de operación a futuro y mantenimiento a futuro son un solo costo de operación y mantenimiento.

Para determinar los costos de las tres variantes de electrificación se diseñó una hoja de cálculo en Excel permitiendo tener los siguientes resultados, que se indican en el cuadro 5.19.

Cuadro 5.19. Indicadores de operación y mantenimiento.  
Fuente: Catálogo de Fabricantes.

Parámetros	RED	SFA	EÓLICO
Tasa de descuento		5	
Inflación de costo de energía		3%	
Periodo de análisis		20	

Inversión inicial	12800.62	7215.72	6779.72
Coste de operación anual	70.0216	0	0
Costo de mantenimiento	300	100	80
Costo de replazo planta diesel	0		
Costo de replazo de materiales		3200	3200
Cantidad de replazos en 20 años	0	4	4

<b>VAN Costos de operación a futuro</b>	1151.06	0	0
<b>VAN Costos de mantenimiento a futuro</b>	3738.66	1246.22	996.98
<b>COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	4889.72	1246.22	996.98

COSTO DE REPLAZO A FUTURO

AÑO 1			
AÑO 2			
AÑO 3			
AÑO 4		2632.65	2632.65
AÑO 5			
AÑO 6			
AÑO 7			
AÑO 8		2165.89	2165.89
AÑO 9			
AÑO 10			
AÑO 11			
AÑO 12		1781.88	1781.88
AÑO 13			
AÑO 14			
AÑO 15			
AÑO 16		1465.96	1465.96
AÑO 17			
AÑO 18			
AÑO 19			
AÑO 20		1206.05	1206.05

TOTAL	0.00	9252.43	9252.43
-------	------	---------	---------

En el cuadro 5.20, se indica la comparación de las variantes con respecto a su costo de inversión, costo de replazo y costo de mantenimiento, permitiendo determinar la factibilidad de la energía eólica para este proyecto.

Cuadro 5.20. Comparación económica de variantes.  
Fuente: Postulante.

COSTOS	RED	SFA	EÓLICO
COSTO INVERSIÓN	12800.62	7215.72	6779.72
COSTO DE REPLAZO	0	9252.43	9252.43
COSTO DE MANTENIMIENTO	4889.72089	1246.22103	996.976827
TOTAL	17690.3409	17714.371	17029.1268

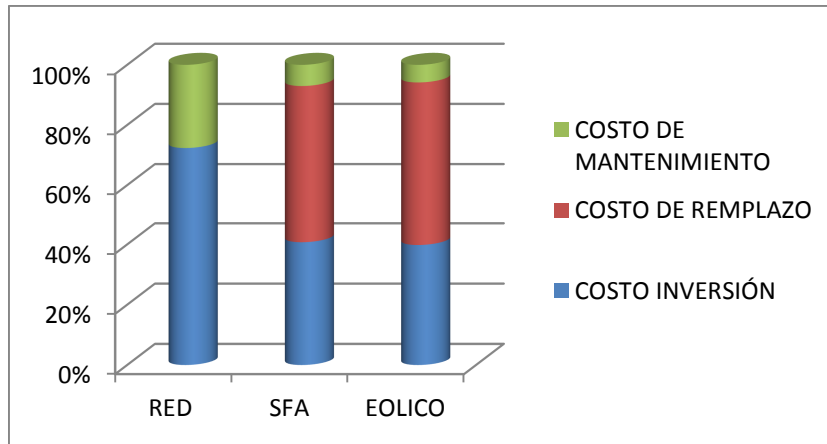
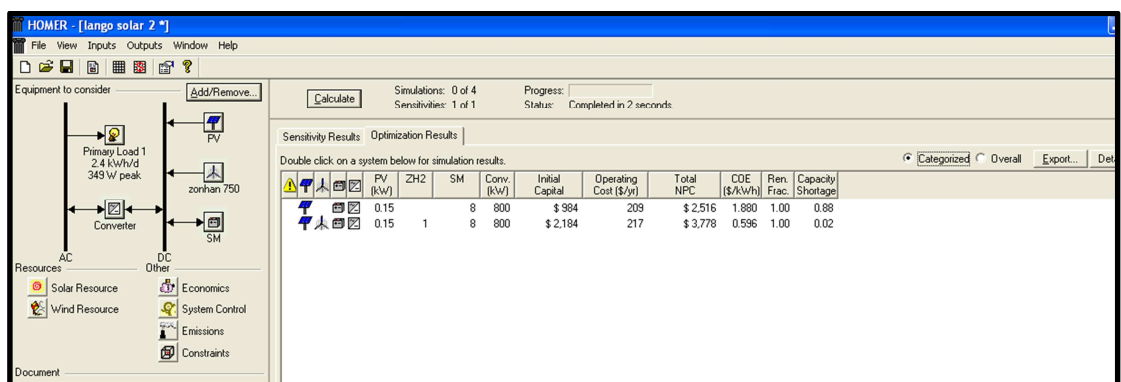


Figura 5.2. Resultado de estudio de costos.  
Fuente: Postulante.

En la figura 5.2, los costos de las tres variantes teniendo mayor incidencia los costos de inversión de la extensión de red pero en costo de remplazo y mantenimiento se compensa con los otros sistemas.

Para validar los resultados se realizaron simulaciones con el Software HOMER, que permitió determinar la factibilidad de que fuente alternativa es más económica en la zona de estudio, lo que confirma que la energía eólica es la más conveniente respecto a la energía solar. El resultado de energía solar es de 5039 USD y el costo de la eólica es de 3778.USD En la figura 5.3 se indica las ventanas de simulación del software HOMER.



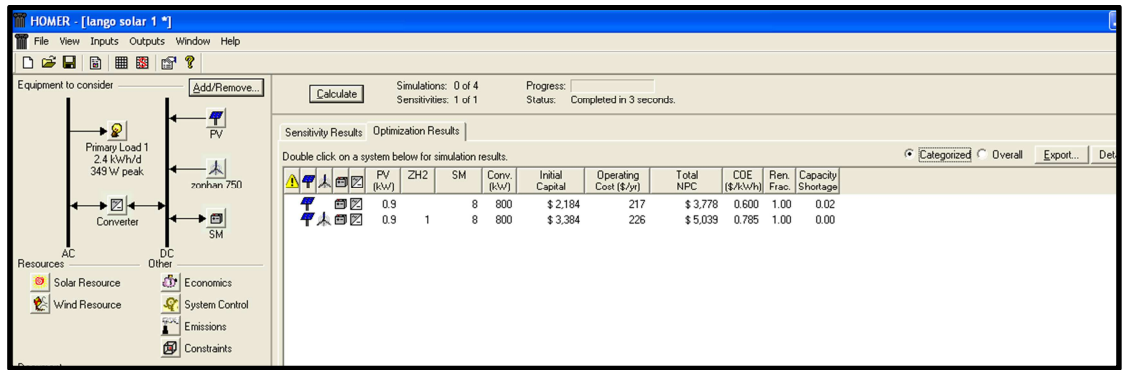


Figura 5.3. Resultado de simulación HOMER.  
Fuente: Postulante.

En el anexo 9, se puede apreciar el diagrama eléctrico de la instalación con energía eólica.

## 5.6 Análisis ambiental

Alrededor del 60% de la generación de electricidad en los últimos años en Ecuador se realizó con combustibles fósiles, lo que tiene un efecto determinante en las emisiones de este sector. Los principales contaminantes de la generación de electricidad en el país son el dióxido de carbono, el dióxido de azufre y los óxidos de nitrógeno. Las emisiones de CO2 representan más del 90% del total de gases de efecto invernadero proveniente de la generación de electricidad.

Para calcular los beneficios medioambientales que conlleva el proyecto de electrificación con energía eólica, se aplica la siguiente ecuación.

$$\text{Toneladas de CO}_2 = \text{Energía estimada} * 0.75$$

Ecuación 5.20. Cálculo Toneladas de CO2.

Por lo tanto la instalación de energía eólica que se proyecta puede evitar la emisión de casi 866.64 toneladas de dióxido de carbono por año a la atmosfera.

## 5.7 Conclusiones del Capítulo

Se ha propuesto la electrificación de la vivienda tipo en el sector rural de Langoa con energía eólica debido a que en el análisis económico es la que mejor costo tiene, respecto a la energía solar y a la extensión de red.

Para validar los resultados se realizaron simulaciones con el Software HOMER, que permitió confirmar que la energía eólica es la más conveniente respecto a la energía solar. El resultado de energía solar es de 5039 USD y el costo de la eólica es de 3778. USD.

Se determinó que la instalación de energía eólica que se proyecta puede evitar la emisión de casi 866.64 toneladas de dióxido de carbono por año a la atmosfera.

## CONCLUSIONES

1. Se evaluó el potencial eólico y solar del sector rural de Langoa del cantón Latacunga, lo que permitió determinar la densidad de potencia eólica para 10 y 15 metros con valores de 101.801 y 126.96 ( $\text{W/m}^2$ ) respectivamente y la radiación solar un valor de 4.34 HPS.
2. Los valores medidos de velocidades de viento y las series estadísticas de radiación solar obtenidos del punto de estudio se contrastaron con los valores del Atlas Eólico y Solar del Ecuador para generación eléctrica, estableciendo similitud validando la base de datos obtenida en el sector.
3. Con los datos monitoreados, obtenidos los factores de corrección para altura, densidad y distribución de Weibull y la carga instalada se establece la factibilidad de instalar el aerogenerador ZONHAN 750W, que permite generar 1546 kWh año, con un factor de capacidad del 23.5%.
4. La potencia del arreglo fotovoltaico se elige con el mes de mayo, que es el más desfavorable seleccionando el panel SIMAX SM636-150.
5. Los elementos del sistema como inversor, regulador, baterías, conductores y protecciones fueron seleccionados según las normativas ecuatorianas y existencia en el mercado nacional.
6. Realizado el análisis económico se determina que entre la extensión de red tienen un costo a los 20 años de 17.690.35 USD, la energía solar 17.714.37 y la energía eólica 17.029.13, considerando los costos de instalación, por arrojar los mejores índices económicos se selecciona la energía eólica para la electrificación de las viviendas rurales de sector Langoa.
7. Se determinó que la instalación de energía eólica que se proyecta puede evitar la emisión de casi 866.64 toneladas de dióxido de carbono por año a la atmosfera.



## **RECOMENDACIONES**

1. A la Universidad Técnica de Cotopaxi, como parte de su vinculación con la comunidad, tomar como base el estudio realizado y hacerlo extensivos a otros sectores rurales que permitan la electrificación con vista a lograr la calidad de vida de estos pobladores.
2. Facilitar e incentivar el desarrollo de nuevos proyectos de energía renovables a nivel nacional como una forma de la sostenibilidad energética del país.
3. Realizar una capacitación a los beneficiarios del proyecto según los Manuales de explotación de sistemas de generación de energías alternativas existentes para estos fines.
4. Realizar un estudio previo para la instalación de los sistemas de pararrayos y puesta a tierra según las características climatológicas y topológicas de la zona.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Agencia de Regulación y Control ARCONEL. 2013. *Plan Maestro de Electrificación 2012 - 2021*. Quito : s.n., 2013.
2. Albornoz, Esteban. 2013. *Energías Renovables*. Quito : s.n., 2013.
3. Araujo, Alberto. 2013. *Energías Renovables*. Bogotá : Nuevas Ediciones, 2013.
4. Código Técnico Ecuatoriano (CTE INEN). 2010. *Sistemas de generación con energía solar fotovoltaica para sistemas aislados y conexión a red hasta 100 kW en el Ecuador*. Quito : s.n., 2010.
5. Garzón Soria, C. 2010. *Evaluación de alternativas de generación de electricidad desde el punto de vista de su impacto ambiental, para sectores no conectados a redes eléctricas*. [Convenio Universidad Técnica de Cotopaxi e Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría] La Habana : Tercer Nivel, 2010.
6. Herrera Barros, V. 2011. *Sistema híbrido eólico - fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el Departamento de Turismo del Ilustre Municipio de Baños de Agua Santa*. [Universidad Técnica de Ambato] Ambato : Tercer Nivel, 2011.
7. Huebla, Socag. 2012. *Estudio de Factibilidad para generación eólica en el sector de Totorillas - provincia de Chimborazo*. Riobamba : s.n., 2012.
8. Martínez, F. 2006. *Metereología Aplicada a la Navegación, Segunda Edición*. Barcelona : Ediciones Universidad Politécnica de Catalunya, 2006.
9. Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (Plan Maestro de Electrificación 2012 - 2021). 2013. Quito : s.n., 2013.
10. Ministerio de Electricidad y Energías Renovables. 2009. Proyecto TECH4CDM. La electrificación rural en el Ecuador. . [En línea] 15 de Enero de 2009. [Citado el: 12 de 04 de 2015.] [http://www.tech4cdm.com/uploads/documentos/documentos\\_La\\_Electrificaci3n\\_Rural\\_en\\_Ecuador\\_d6701fbe.pdf](http://www.tech4cdm.com/uploads/documentos/documentos_La_Electrificaci3n_Rural_en_Ecuador_d6701fbe.pdf)..

11. —. 2011. Proyecto TECH4CDM. La energía eólica en el Ecuador. [En línea] 3 de 2 de 2011. [Citado el: 14 de 5 de 2015.] [http://www.tech4cdm.com/uploads/documentos/documentos\\_La\\_Energia\\_Eolica\\_en\\_Ecuador\\_fa0ef98a.pdf](http://www.tech4cdm.com/uploads/documentos/documentos_La_Energia_Eolica_en_Ecuador_fa0ef98a.pdf).
12. Moreno, C. 2011. *Energía Eólica Tecnología y Aplicaciones*. La Habana : Academia, 2011.
13. Pareja, M. 2010. *Energía Solar fotovoltaica cálculo de una instalación aislada, Segunda Edición*. Barcelona : Ediciones Técnicas Marcombo, 2010.
14. Perales, T. 2009. *Guía del Instalador de Energías Renovables, Cuarta Edición*. Barcelona : Creaciones Copyright, 2009.
15. *Proyecto TECH4CDM, Electrificación Rural en el Ecuador*. ESPE. 2009. Quito : s.n., 2009.
16. Ranaboldo, M. 2009. *Evaluación del recurso eólico a escala micro. Aplicación a proyectos de electrificación rural*. [Universidad de Barcelona] Barcelona : Cuarto Nivel Máster en Energía, 2009.
17. Ranaboldo, Matteo. 2009. *Evaluación del Recurso Eólico a escala micro*. México : Librimundi, 2009.
18. Style, O. 2012. *Energía solar autónoma, Primera Edición*. 2012.
19. Villar, P. 2003. *Confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos: aplicación a la electrificación rural*. [Universidad Politécnica de Madrid] Madrid : Tesis Doctoral, 2003.
20. Villarrubia, M. 2013. *Ingeniería de la Energía Eólica. Primera Edición*. Barcelona : Ediciones Técnicas Marcombo, 2013.

# ANEXOS

## Anexo A

(Muestra de la base de datos de mediciones de velocidad del viento a 10 metros de altura y perfil vertical a 15 metros, en el sector rural de Langoa.)

Created 04/12/2013 01:59 by WINDOGRAPHER 3.1.9

Latitude = S 0° 54' 40.000"

Longitude = W 78° 28' 53.000"

Elevation = 3747 m

Calm threshold = 1.5 m/s

Time stamps indicate the beginning of the time step.

Date/Time	Velocidad 10 m [m/s]	Velocidad 15 m [m/s]	Air Density [kg/m <sup>3</sup> ]	15 m WPD [W/m <sup>2</sup> ]	10 m WPD [W/m <sup>2</sup> ]
1/1/2013 0:00	3.077	3.33	0.84073	15.6	12.3
1/1/2013 1:00	3.29	3.561	0.84073	19.2	15.1
1/1/2013 2:00	3.558	3.85	0.84073	24	18.9
1/1/2013 3:00	3.524	3.814	0.84073	23.4	18.4
1/1/2013 4:00	3.514	3.803	0.84073	23.1	18.3
1/1/2013 5:00	3.616	3.914	0.84073	25.3	19.9
1/1/2013 6:00	3.513	3.802	0.84073	23.3	18.3
1/1/2013 7:00	4.771	5.164	0.84073	58.3	46
1/1/2013 8:00	5.532	5.987	0.84073	90.7	71.6
1/1/2013 9:00	5.702	6.172	0.84073	100.4	79.2
1/1/2013 10:00	5.976	6.468	0.84073	113.8	89.8
1/1/2013 11:00	6.756	7.312	0.84073	164.7	129.9
1/1/2013 12:00	6.834	7.397	0.84073	170.1	134.2
1/1/2013 13:00	6.797	7.356	0.84073	167.4	132
1/1/2013 14:00	6.87	7.435	0.84073	172.9	136.4
1/1/2013 15:00	6.293	6.811	0.84073	134	105.7
1/1/2013 16:00	5.784	6.26	0.84073	103.2	81.4
1/1/2013 17:00	5.126	5.548	0.84073	74.1	58.4
1/1/2013 18:00	4.917	5.322	0.84073	64	50.5
1/1/2013 19:00	4.907	5.311	0.84073	65.3	51.5
1/1/2013 20:00	4.767	5.159	0.84073	57.8	45.6
1/1/2013 21:00	4.951	5.359	0.84073	64.7	51
1/1/2013 22:00	4.941	5.348	0.84073	64.3	50.7
1/1/2013 23:00	5.234	5.665	0.84073	76.5	60.4
1/2/2013 0:00	5.501	5.954	0.84073	88.9	70.1
1/2/2013 1:00	5.4	5.845	0.84073	83.9	66.2
1/2/2013 2:00	5.224	5.654	0.84073	76.1	60
1/2/2013 3:00	5.824	6.303	0.84073	105.4	83.1
1/2/2013 4:00	5.583	6.042	0.84073	92.7	73.2
1/2/2013 5:00	4.64	5.022	0.84073	55.7	43.9
1/2/2013 6:00	4.588	4.966	0.84073	52.8	41.6
1/2/2013 7:00	5.027	5.441	0.84073	68.7	54.2
1/2/2013 8:00	5.847	6.329	0.84073	108.5	85.6
1/2/2013 9:00	6.701	7.253	0.84073	160.4	126.5
1/2/2013 10:00	7.034	7.613	0.84073	185.7	146.5
1/2/2013 11:00	7.435	8.047	0.84073	219.8	173.4
1/2/2013 12:00	7.514	8.132	0.84073	226.6	178.8
1/2/2013 13:00	7.243	7.84	0.84073	202.8	159.9
1/2/2013 14:00	7.069	7.651	0.84073	188.5	148.6
1/2/2013 15:00	6.671	7.22	0.84073	159.3	125.6
1/2/2013 16:00	5.779	6.255	0.84073	103.5	81.6
1/2/2013 17:00	5.599	6.06	0.84073	93.6	73.9
1/2/2013 18:00	4.423	4.787	0.84073	46.2	36.4
1/2/2013 19:00	4.103	4.441	0.84073	37	29.2
1/2/2013 20:00	4.108	4.446	0.84073	37.3	29.4
1/2/2013 21:00	4.491	4.861	0.84073	48.4	38.2
1/2/2013 22:00	4.44	4.805	0.84073	46.9	37
1/2/2013 23:00	4.427	4.791	0.84073	46.4	36.6
1/3/2013 0:00	4.307	4.662	0.84073	42.6	33.6
1/3/2013 1:00	4.273	4.625	0.84073	41.7	32.9
1/3/2013 2:00	4.365	4.724	0.84073	44.4	35
1/3/2013 3:00	4.6	4.978	0.84073	53.8	42.5
1/3/2013 4:00	4.253	4.603	0.84073	41.1	32.4
1/3/2013 5:00	4.529	4.902	0.84073	50.9	40.1
1/3/2013 6:00	4.874	5.276	0.84073	62.7	49.5

Created 04/12/2013 01:59 by WINDOGRAPHER 3.1.9

Latitude = S 0° 54' 40.000"

Longitude = W 78° 28' 53.000"

Elevation = 3747 m

Calm threshold = 1.5 m/s

Time stamps indicate the beginning of the time step.

Date/Time	Velocidad 10 m [m/s]	Velocidad 15 m [m/s]	Air Density [kg/m <sup>3</sup> ]	15 m WPD [W/m <sup>2</sup> ]	10 m WPD [W/m <sup>2</sup> ]
1/3/2013 7:00	5.093	5.512	0.84073	70.5	55.6
1/3/2013 8:00	5.839	6.319	0.84073	108.4	85.5
1/3/2013 9:00	6.794	7.353	0.84073	167.3	131.9
1/3/2013 10:00	7.228	7.823	0.84073	201.5	158.9
1/3/2013 11:00	7.09	7.674	0.84073	190.4	150.2
1/3/2013 12:00	7.268	7.866	0.84073	204.8	161.5
1/3/2013 13:00	7.053	7.633	0.84073	187	147.5
1/3/2013 14:00	6.914	7.483	0.84073	176.2	139
1/3/2013 15:00	6.44	6.97	0.84073	142.6	112.5
1/3/2013 16:00	5.687	6.155	0.84073	99.8	78.7
1/3/2013 17:00	5.462	5.911	0.84073	88.5	69.8
1/3/2013 18:00	4.954	5.361	0.84073	64.9	51.2
1/3/2013 19:00	4.867	5.268	0.84073	61.5	48.5
1/3/2013 20:00	5.281	5.716	0.84073	78.7	62.1
1/3/2013 21:00	5.595	6.055	0.84073	93.4	73.7
1/3/2013 22:00	6.039	6.536	0.84073	120.1	94.7
1/3/2013 23:00	6.32	6.84	0.84073	135.2	106.7
1/4/2013 0:00	6.041	6.538	0.84073	117.5	92.7
1/4/2013 1:00	5.688	6.156	0.84073	98.4	77.6
1/4/2013 2:00	5.272	5.706	0.84073	78.2	61.7
1/4/2013 3:00	5.556	6.014	0.84073	91.5	72.2
1/4/2013 4:00	5.585	6.045	0.84073	92.9	73.3
1/4/2013 5:00	5.901	6.386	0.84073	111.2	87.7
1/4/2013 6:00	6.23	6.742	0.84073	128.9	101.7
1/4/2013 7:00	6.225	6.738	0.84073	128.8	101.6
1/4/2013 8:00	6.789	7.347	0.84073	167.1	131.8
1/4/2013 9:00	7.738	8.375	0.84073	247.6	195.3
1/4/2013 10:00	8.072	8.737	0.84073	280.4	221.2
1/4/2013 11:00	8.592	9.299	0.84073	338.4	266.9
1/4/2013 12:00	9.048	9.793	0.84073	397.3	313.3
1/4/2013 13:00	8.937	9.673	0.84073	380.5	300.1
1/4/2013 14:00	9.35	10.12	0.84073	439	346.2
1/4/2013 15:00	8.864	9.594	0.84073	371.3	292.8
1/4/2013 16:00	9.038	9.782	0.84073	395	311.5
1/4/2013 17:00	8.812	9.537	0.84073	365.4	288.2
1/4/2013 18:00	8.673	9.387	0.84073	348.6	274.9
1/4/2013 19:00	7.749	8.387	0.84073	254.2	200.5
1/4/2013 20:00	7.933	8.586	0.84073	266.5	210.2
1/4/2013 21:00	8.625	9.335	0.84073	342.2	269.9
1/4/2013 22:00	7.152	7.74	0.84073	195.5	154.2
1/4/2013 23:00	7.474	8.089	0.84073	223	175.9
1/5/2013 0:00	7.523	8.143	0.84073	227.3	179.3
1/5/2013 1:00	7.995	8.653	0.84073	274.9	216.8
1/5/2013 2:00	7.501	8.118	0.84073	225.5	177.8
1/5/2013 3:00	7.194	7.786	0.84073	203.3	160.4
1/5/2013 4:00	7.955	8.609	0.84073	268.5	211.8
1/5/2013 5:00	8.135	8.805	0.84073	287.7	227
1/5/2013 6:00	8.229	8.907	0.84073	297.5	234.7
1/5/2013 7:00	8.344	9.031	0.84073	310.7	245.1

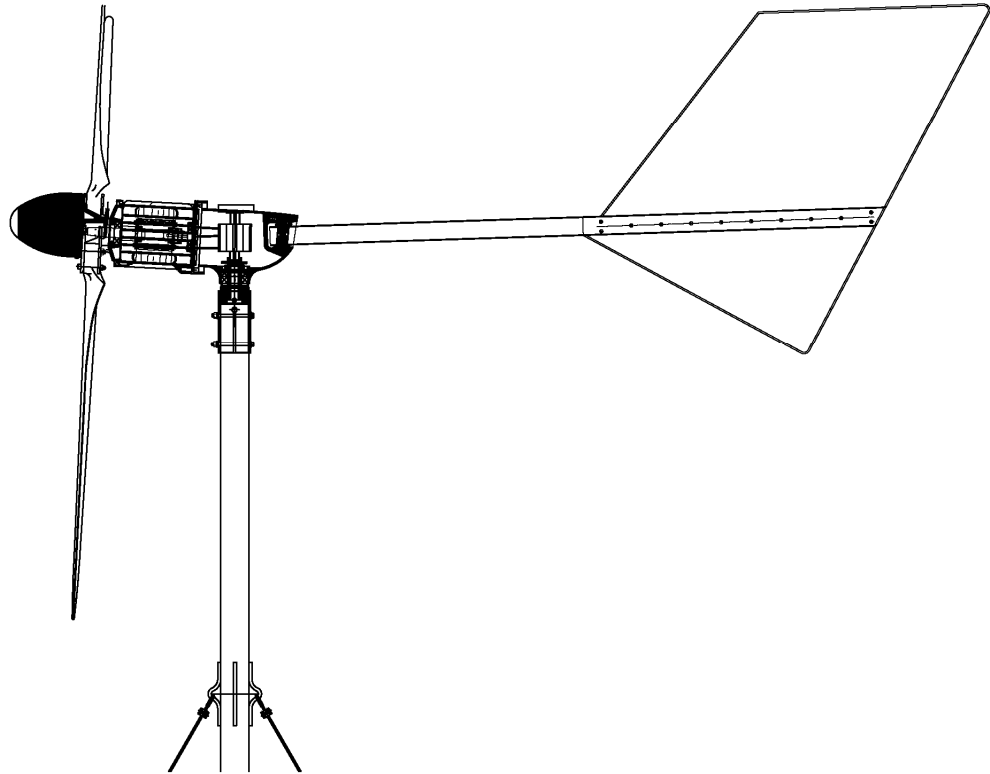
## Anexo B

(Hoja de características técnicas del aerogenerador Zonhan 750 W)



# Operating & Installation Manual

## (ZH750w wind turbine system)



Company Name: YUEQING ZONHAN WINDPOWER CO.,LTD.

Address: NO.195,Chengxi Road,Yuecheng,Yueqing,Zhejiang,P.R.China

Zip Code: 325600

Tel: 86-577-62529820

Fax: 86-577-62529821

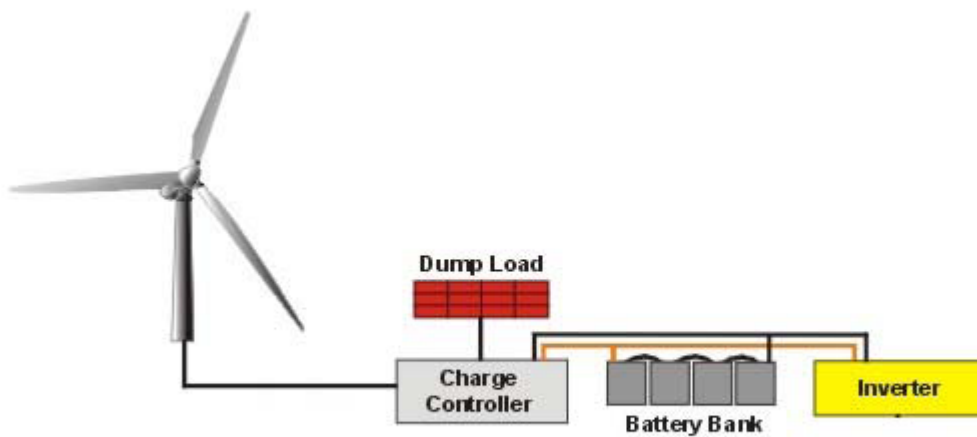
E-mail: Info@windgenerator.cn

**\*\*Please read carefully before use \*\***

## 1. Wind Turbine

Uses wind energy to generate electricity to charge storage batteries or to connect directly to an inverter.

The inverter converts the DC (Direct Current) from the wind turbine controller and/or the batteries in to AC (Alternating Current). The AC electricity produced is then feed into the properties mains supply to reduce power taken from the utility supplier.



## 2. Components and main technical performance

The turbine is comprised of: Nose Cone, Blades\*3PCS, Hub, Generator, Rotor, Tail Rod, Tail Vane, Tower & Accessory.

Rotor Diameter	2.7mtrs
Material and number of the blades	3 x reinforced fiber glass
Rated power/maximum power	750W / 900W
Rated wind speed	9m/s

Startup wind speed	2.5 m/s
Working wind speed	3-25 m/s
maximum wind speed	50 m/s
Working voltage	DC12/24V (higher voltage optional)
Generator type	Three phase, permanent magnet
Charging	Constant voltage
Speed regulation method	Autofurl
Tower height	12mtrs
Life time	10-15years

### 3. Preparation

3.1 If batteries are used, carry out charging according to the manufacturer's recommendations.

3.2 Unpack and check the turbine parts.

3.3 Select an open flat area for installing the wind turbine and away from any trees  
or other buildings.

3.4 To avoid power loss, the distance between the wind turbine and batteries should  
be kept as short as possible, preferably less than 30mtrs.

### 4. Installation Specification of Guyed Tower

#### 4.1 Choosing Installation Sites

The wind turbine should be erected high and far away from obstacles as possible in order to get relatively high wind speed. Meanwhile soil quality of installation location should be taken into consideration. Loose sands, uneven or

easily influenced by weather condition areas should be excluded from installing the wind turbine. When selecting the locations, it's necessary to consider the distance between generator and pile. The shorter the distance is, the less cable would be used. As a result, less energy waste would be produced during the transmission. While under the circumstances of longer distance, it's better to use much thicker standard cable for the transmission.

#### 4.2 Layout of Tower, Base & Anchor (as shown in the following spec)

Model	750W
Semi diameter ( m )	3.0
Size of central base(m) (long*wide*deep)	0.5*0.5*0.4
Size of side base (m) (long*wide*deep)	0.4*0.4*0.3

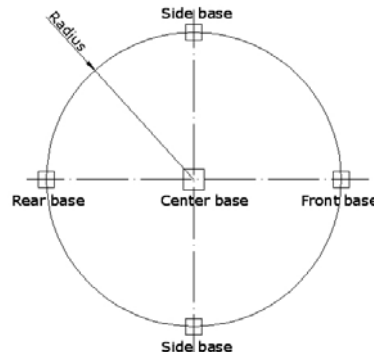


Figure 1: layout of concrete base

4.3 Special attention should be paid to the following when laying out the base and anchor:

- 4.3.1 Connecting line of two side anchors should be in parallel with the connection of two pinholes on the tail edge.
- 4.3.2 Make sure the side of tail edge with screw thread face the anchor.
- 4.3.3 The height of anchor should be consistent with the height of tower base.

Therefore, the pulling force between fixed cable wires should be balanced for the sake of easy adjustment. Otherwise, too tight or too loose fastening pull

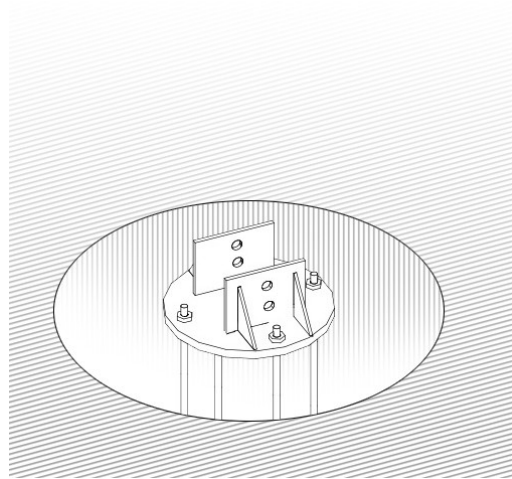
will lead to the curvature or even breakdown of tower while erecting the tower.

#### 4.4 Concrete the Foundation of Base as well as Anchor and Install Tower Base

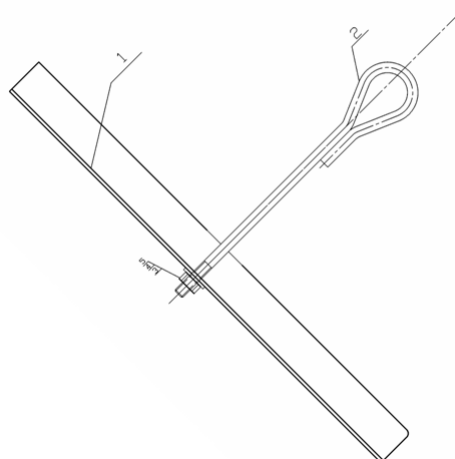
4.4.1 Follow the layout of the above step, dig the concrete construction holes.

Please refer to the chart one above for the size of the holes.

4.4.2 C25 concrete should be available. Four anchor bolts will be installed according to the holes on the base. Attention to make sure they are consistent with base holes. Fix the base with bolts on the cement done before (as shown in the graph 2).

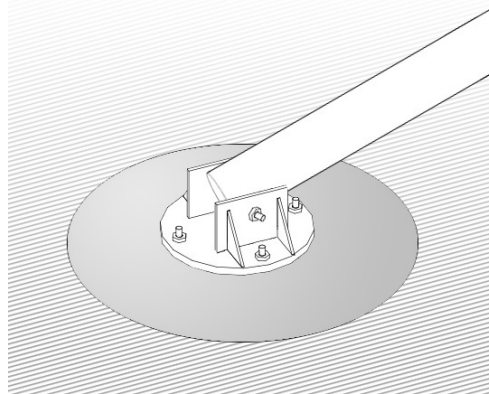


4.5 Annular anchors need to be deposited 60° to 80° along the base direction and check the distance between the four hooks of the anchors and the center of the base. Four anchors should be horizontal (as shown in the graph 3).



#### 4.6 Assembly of the tower and wind turbine

4.6.1 First, insert the main section of tower into base, then insert the axis pin into base and insert the split pin.



4.6.2 Connect each section of tower one by one, place the tower on the supporting stand after assembly.

4.6.3 Rip the generator and dogvane cables into the tower, and elicit the cables from the main section of tower, near the tail edge.

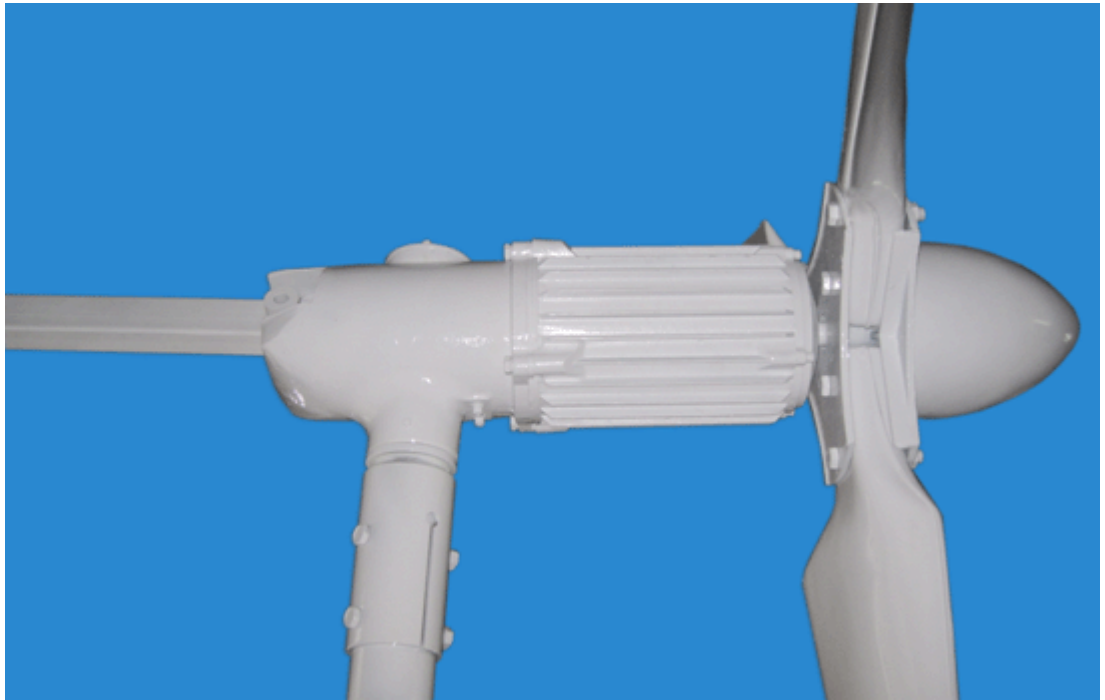
4.6.4 Fix the running flange and tower flange by bolts. Hoist it by equipments such as pulleys, chain block etc. Pay attention that the generator axis should be faced upward in order to install the blades.

### 5. Installation procedure

5.1 It is best to choose a clear dry day with very little or no wind.

5.2 First insert the electric cable into the tower starting from the bottom and pull the cable out of the top of the tower about 300mm and tie off with a temporary knot.

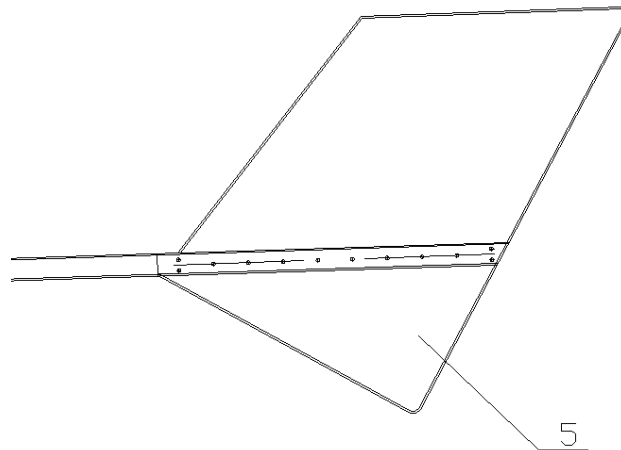
5.3 Mount the wind generator main body to the top of the tower. Connect the 3 electric cables from the tower to the turbine using a waterproof terminal block. Insert the tower into the sleeve barrel, and fix it with 2sets M14 bolts, spring washers and nuts.



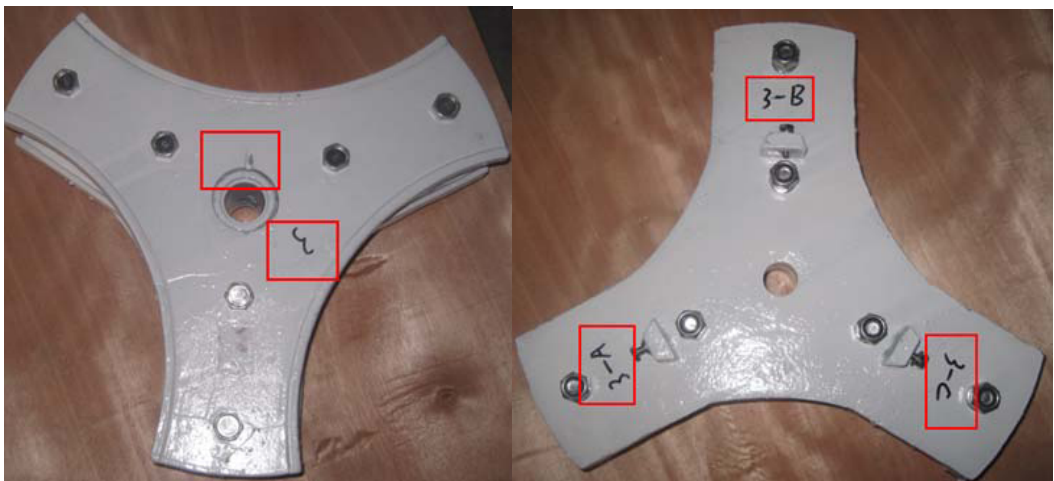
5.4 Assemble the tail rod and fix to the rotor body by a stainless steel pin roll. The Pin roll could be pull out by a M8 bolt.



5.5 Fix the tail vane by M10 screws, washers.



5.6 Before leaving the factory, every set blades had been assembled and balanced. When reassembling the rotor, please check the marks on the parts, and ensure they are match their former positions (A-A,B-B,C-C), then using the M12×100 screws, washers Tighten down the nuts to a torque of 40-45 N.m



5.7 The blades should be kept horizontal on the ground when installing the hub;

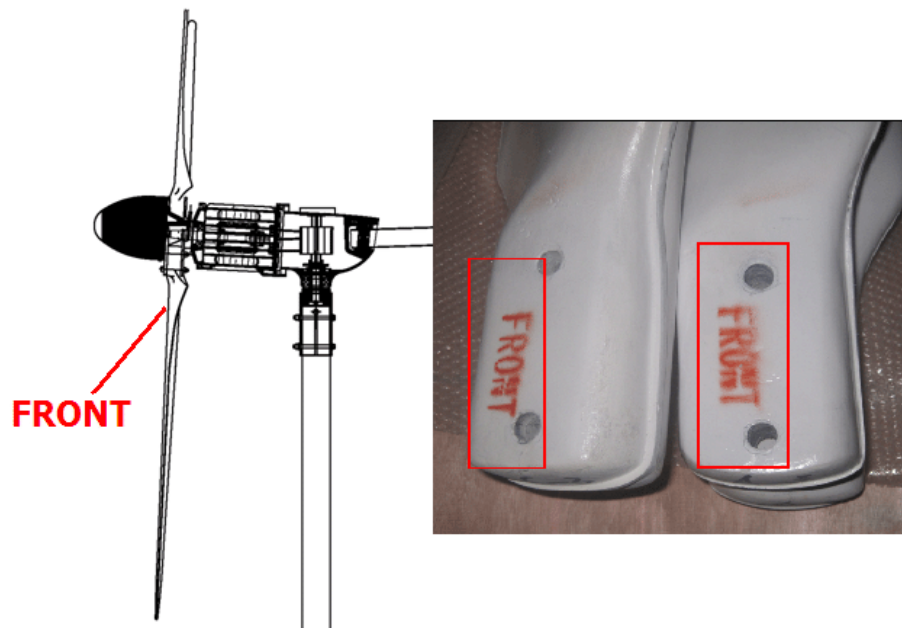




Set up the blades is absolutely prohibited if the bolts haven't been tightened completely. It will influence the balancing of one set blades.



5.8 Lift the blades about 1.5m from the ground. Assemble the blades on the generator shaft, use the flat washers, spring washers, the self-locking nuts and tighten firmly.



- 5.9 Fit the nose cone to the hub of the rotor using the M6 screws, spring washers and flat washers.
- 5.10 Check all parts carefully to confirm all connections, nuts and screws are fully fitted.
- 5.11 Connect the batteries in series, the two ends connectors are "+" and "-" respectively. The connecting wires between batteries and the input & output should be 6mm<sup>2</sup>, "+" is marked red and "-" is marked by black (or yellow, or blue). All connectors should use wire connection clips, ensure every connection is firmly tightened. In order to prevent acid corrosion of the connecting clips and terminals, spread a layer of protection grease on each connection.
- 5.12 Connect the red cable "+" from the batteries to the "+" connector on the controller & Inverter; then, connect the black cable "-" from the batteries to the "-" connector on the controller & Inverter. Connectors must be tightened firmly and ensure a good connection.
- 5.13 Connect the three phase output cables from the generator to the connectors on the controller & Inverter respectively.
- 5.14 There are two outputs: (a) DC output; (b) AC output. One for low voltage DC and **220VAC**. When using the **AC220** output, please take care to avoid

electric shocks

## **6. Application notices**

### **6.1 Application principles**

The wind turbine should be installed in an open and flat area, where no obstructions nearby and in an area where you can get the maximum wind.

**6.2** Electricity generated off – grid is used from the batteries when there is no wind; when there is sufficient wind, the generator will charge the batteries. If the batteries become discharged, they should be recharged, especially if using lead-acid batteries. Over discharging or discharging will seriously affect the working life of the batteries. Users should regulate the consuming capacity of the electricity according to local wind conditions and the electricity capacity generated by the wind generator.

**6.3** After full wave rectification, the three phase AC generated by wind generator is converted to DC power, usually DC48v-DC492v, in order to obtain full efficiency of the system, the voltage of the batteries should be equal to the DC voltage of the wind generator.

**6.4** The input DC voltage of the inverter should be equal to the working voltage of the wind generator.

## **7. Safety regulations**

**7.1** It is not allowed that the wind generator rotating without any loose continually, or running at a very high rotating speed continually.

**7.2** Check the tower regularly, if there are any signs of loosening, it should be tighten in immediately, to prevent any damage to the wind turbine.

**7.3** When rotation speed of the rotor is high, people must not stay under the wind turbine.

**7.4** If vibrations or it becomes noisy during operation, stop the wind turbine and check the reasons.

**7.5** The power supply from the wind generator should be independent and not used with other power supply lines. DC power supply is safe and economic

for illumination; for domestic electric appliances, the AC power supply from inverter should be used. It is suggested that the connector of the refrigerator should insert in the special plug seat which has the function of time lapse.

**7.6** When connect the electricity from the wind generator, the battery lines must be first connected to the controller & dump load, then connect the three wires from the generator to the controller & inverter. When disconnecting the electric line from the wind generator, the three wires must be disconnected first from the controller & inverter, then disconnect the two wires from the batteries to the controller & inverter.

**7.7** The “open & close” switch on the controller & inverter should keep at “open” position in normal operation. Only when the batteries are fully charged or to protect the turbine from very high winds, the switch can be in the “close” position. **DO NOT** move the switch when wind is very high and blades is running at high speed, turn the switch to the “close” position when blades is running slowly.

**7.8** The batteries should be stored in a well ventilated area to ensure that any gases from charging and discharging can escape it should also not get excessively hot or cold.

#### **7.9 Keeping the blades in balance and eliminate vibration**

When the blades loose balance caused by damage and create strong vibration, the wind generator must be stopped and checked, until the problem is eliminated.

### **8. Maintenance of wind turbine**

The wind turbine has only one moving part, the turbine its self. This is basically a large motor with blades on it to collect the wind. These items are very reliable and need a simple inspection once a year. After 3 years turbine needs an overhaul as following:

a. Examine the surface of the blades carefully. If there is any air cauterization place, please repair.

- b. Check all the bolts, lay antiseptic on the cauterization place.
- c. Check the lubricate status of the generator, keep it in good state.
- d. Check the erodibility of the surface and the inside parts of the wind turbine.
- e. The tightness degree of the steel wire should also be checked.

This procedure is a general overhaul in the warranty service period. And this check will not cost much. The big models may need crane equipment in the checking. The 5 and 10 years' overhaul needs to disassemble the wind turbine. Mainly check the damageable parts, such as the bearing, bolts, plumbago brush, and replace if needed.

If the wind turbine is working under the following circumstance for long time, some parts will be easily damaged:

1. Coastal area. The out parts such as the surface, the tower, may be cauterized.
2. High temperature area. The cable may be aging much more quickly.
3. Low temperature area. The cable also maybe aging quickly. The ice will attach on the blades easily and cause the imbalance.

## 9. Elimination of breakdown

The wind generator is designed and manufactured to a high standard and to minimize maintenance, if the installation and operation are correct, breakdown should not happen under normal conditions. **In case of breakdown,**

**see the following table.**

Breakdown	Reason	Remedy
<b>Wind generator vibrating excessively</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Steel cables have become loose.</li> <li>2. Blade fixing bolts are loose.</li> <li>3. Blades are damaged.</li> <li>4. Ices on the surface of the blades has cause the unbalance.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Adjust the steel cables.</li> <li>2. Tighten the loose bolts</li> <li>3. Replace the defective blade/s and rebalance.</li> <li>4. Remove the ice.</li> </ol>
<b>Direction regulating is ineffective</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. There is too much grease and dirt in the rotating body.</li> <li>2. The turning place is damaged by the outside power.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Clean away the grease and dirt and re-grease.</li> <li>2. Recover and correct</li> </ol>

ANEXO B	Hoja de características técnicas del aerogenerador Zonhan 750 W.	B14
	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. The clearance between vertical shaft and sleeve is too small, or there is no axial clearance.</li> </ol>	<p>the deformation.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>3. Adjust the clearance to the required amount.</li> </ol>
<b>High noise</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fixed parts have become loose</li> <li>2. Generator bearing has become loose from its seat.</li> <li>3. Generator bearing is damaged</li> <li>4. Wind rotor is rubbing on other parts.</li> <li>5 The stator and rotor is rubbing badly, or the bearing is broken.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lower the wind turbine, check all fixed parts and take measurements against the specification. .</li> <li>2. Locate the loose bearing and either tighten or replace, or fined the problem and correct.</li> <li>3. Replace the damaged bearing.</li> <li>4. Check and eliminate the trouble.</li> <li>5. Change the bearing or eliminate the rubbing.</li> </ol>
<b>The rotating speed of the wind rotor has reduced.</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Blade pitch control is wrong.</li> <li>2. Stator winding or output circuit has short circuited.</li> <li>3. Switch is set at "close" position:</li> <li>4. The stator and rotor is rubbing heavily.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Check and eliminate the problem and lubricate.</li> <li>2. Find short circuit position, split the lines and isolate.</li> <li>3. Set switch to the "open" position.</li> <li>4. Disassemble, check and fix the problem.</li> </ol>
<b>The output voltage of the generator is low</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. The rotating speed of the generator is low.</li> <li>2. Permanent magnet rotor has lost its magnetism.</li> <li>3. The conductivity of the connection between slip ring and output circuit is low.</li> <li>4. There is short circuit in rectifier.</li> <li>5. Circuit line is too long, or the cable diameter is too small.</li> <li>6. A short circuit in the 3-phase rotor winding.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Check that the rotor is running smoothly.</li> <li>2. Charge the magnet, or change the generator rotor.</li> <li>3. Clean the slip ring and contact points to reduce resistance.</li> <li>4. Replace.</li> <li>5. Decrease the circuit length or increase the diameter of the cable, to reduce loss.</li> <li>6. Find the short circuit</li> </ol>

		and insulate it
<b>There is no AC output from the Generator</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. A break in the AC circuit from the generator, or the fuse has blown.</li> <li>2. A break in the output Cable.</li> <li>3. Stator winding is burnt out.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Check the fuse replace if blown. Check the cables for a break and reconnect.</li> <li>2. Find the beak point and reconnect the cable.</li> <li>3. Disassemble and repair</li> </ol>
<b>AC output normal, but there is not DC output current</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. DC fuse has blown.</li> <li>2. DC output circuit is broken.</li> <li>3. Rectifier is damaged.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Replace.</li> <li>2. Find the beak and reconnect the cables.</li> <li>3. Replace.</li> </ol>
<b>Output capacity of the batteries is insufficient</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Output voltage of the generator is too low, or no electricity is being generated</li> <li>2. The battery connections have corroded.</li> <li>3. Battery failure</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Check the rotor and moving parts are running freely.</li> <li>2. Clean the connectors grease and ensure good connection.</li> <li>3. Replace the damaged battery</li> </ol>

## Anexo C

(Hoja de características técnicas del controlador y disipador de carga del aerogenerador Zonhan 750W.)



## Controlador de carga ZKJ-B



### Características Modelo Producto

- ◆ El producto puede ser fabricado de acuerdo con cualquiera de JB / T6939.1-2004 estándar industrial, GB / T 19.115,1-2.003 norma nacional o los requisitos técnicos de los usuarios.
- ◆ controladores ZKJ-B adoptan múltiples línea trifásica de control de carga descarga.
- ◆ La potencia total de descarga de carga trifásica es 220% mayor que la potencia nominal del generador de turbina eólica. La potencia de la carga trifásica de descarga de la primera línea es 80 a 100% de la potencia nominal del

aerogenerador; en caso de exceder el alcance de la primera línea de potencia de la carga descarga, la descarga carga trifásica de la segunda línea se iniciará automáticamente para garantizar un funcionamiento seguro del sistema general de generación de turbina eólica.

- ◆ En las circunstancias de la disociación y el daño de la batería, la descarga carga trifásica se iniciará automáticamente para evitar la inactividad de ejecución del generador de turbina de viento y de la ocurrencia de un accidente fuera de control.
- ◆ Tiene conexión reversa, anti-desacoplamiento y protección de daños-resistencia de la batería.
- ◆ El exceso de protección de carga de la batería: Cuando la batería está llena (la presión de la batería alcanza el 120% de la presión nominal), el controlador realizar automáticamente carga trifásica de descarga para detener la carga de la batería.
- ◆ Recuperación automática de carga de la batería: Cuando la presión de la batería se reduce a 108% de la presión nominal, el descargador de carga se detendrá carga trifásica para recuperar automáticamente la descarga de carga de la batería.
- ◆ De acuerdo a la categoría del generador de turbina de viento, el controlador se puede, además, dotada de guiñada mecánica, swing-tai, mecánica o hidráulica, neumática, magnética y otras funciones de freno.
- ◆ Indicación de estado de LCD: presentar Es evidente que el estado de trabajo del generador de turbina de viento, paneles solares, la batería y el controlador.
- ◆ Indicación del amperímetro y voltímetro: Indicar la carga de corriente y la tensión de la batería.
- ◆ El controlador está equipado con interruptor manual de tres fases de descarga de carga; el usuario puede utilizarlo de acuerdo a las circunstancias reales. Cuando se utiliza este modificador, el generador de turbina de viento por la fuerza llevar a cabo la descarga de carga trifásica.

### Parámetros técnicos de la ZKJ-B Off - Cuadrícula Viento controlador de la turbina

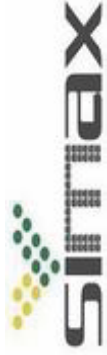
Type	750W-12Vdc	1kW-24Vdc	1.5KW-24V
Battery	12Vdc	24Vdc	24Vdc
Function	Charge, control		
Operating environment	Temperature -40~60°C, humidity≤80%		
3-phase dump load voltage of the wind turbine	14.5±1Vdc	29±1Vdc	29±1Vdc
Wind turbine brake voltage	15.5±1Vdc	30±1Vdc	30±1Vdc
Recovery charging voltage	13.5±1Vdc	27±1Vdc	27±1Vdc
Controller Size	43*34*22 mm	43*34*22 mm	43*34*22 mm
Controller weight	9KG	9KG	9KG
Dump load Size	36*33*20mm	36*33*20mm	36*33*20mm
Dump load weight	5KG	5KG	5KG

## Anexo D

(Hoja de características técnicas de los módulos fotovoltaicos)

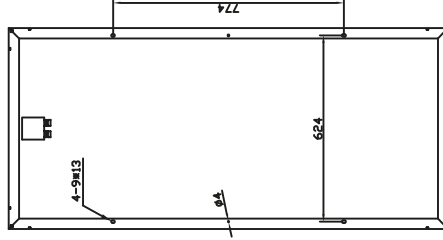
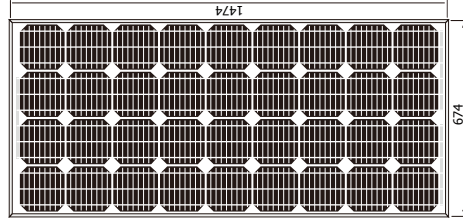
# TECHNICAL DATA SHEET

## SM636-150



### Technical Data

Type	SM636-150
Type of Solar Cell	Mono-crystalline, 156mm×156mm
Number of Cells	36 pcs
Size of module	1482×676×35mm ( 156×156mm cell)
Module, Weight	12 kg
Connector / Cross-Section	Cixi Renhe
Cables, Length (+/-)	Customizable
Front Cover Glass	Safety Glass
Front Cover Glass, Thickness	3.2 mm
Frame	Anodized Aluminium



### Electrical Data

Maximum Power	$P_{MPP,STC}$	150 W
Power Tolerance	$\Delta_{STC}$	+2%
Maximum Power Voltage	$U_{MPP,STC}$	18.1 V
Maximum Power Current	$I_{MPP,STC}$	8.42 A
Open Circuit Voltage	$U_{OC,STC}$	22.6 V
Short Circuit Current	$I_{SC,STC}$	8.88 A
Cell Efficiency	$\eta_{STC}$	15.5 %
Maximum System Voltage	$U_{DC}$	1000 V

STC: Irradiance 1000 W/m<sup>2</sup>; Spectrum AM 1.5; Cell Temperature 25°C, Wind 0 m/s

### Temperature Coefficients

Power Coefficient	$\alpha_k (P_{MPP})$	- 0.50 ± 0.05 %/K
Voltage Coefficient	$\beta_k (U_{OC})$	- 0.35 ± 0.01 %/K
Current Coefficient	$\phi_k (I_{SC})$	0.06 ± 0.01 %/K

### Power Warranty

10 years performance warranty to 90 %  
25 years performance warranty to 80 %  
5 years warranty against production and material defects

### Certifications

IEC 61215, IEC 61730, TÜV, CE, ISO9001:2000

Simax(suzhou) Green New Energy Co.,Ltd Add:beibanjing riverside,suzhou road,taicang city,jiangsu province,China

Tel: +86-512-53378555 Fax: +86-512-53378556

Url: www.simaxsolar.com Email: info@simaxsolar.com



## Anexo E

(Hoja de características técnicas del inversor)



## Inversores Phoenix

180VA – 1200 VA 230V/50Hz y 110V/60Hz

[www.victronenergy.com](http://www.victronenergy.com)

### SinusMax – Diseño superior

Desarrollado para uso profesional, la gama de inversores Phoenix es ideal para innumerables aplicaciones. El criterio utilizado en su diseño fue el de producir un verdadero inversor sinusoidal con una eficiencia optimizada pero sin comprometer su rendimiento. Al utilizar tecnología híbrida de alta frecuencia, obtenemos como resultado un producto de la máxima calidad, de dimensiones compactas, ligero y capaz de suministrar potencia, sin problemas, a cualquier carga.

### Potencia de arranque adicional

Una de las características singulares de la tecnología SinusMax consiste en su muy alta potencia de arranque. La tecnología de alta frecuencia Phoenix no ofrece un rendimiento tan extraordinario. Los inversores Phoenix, sin embargo, están bien dotados para alimentar cargas difíciles, como ordenadores o herramientas eléctricas de baja potencia.

### Transferencia de la carga a otra fuente CA: el conmutador de transferencia automático

Para los modelos de menor potencia recomendamos el uso de nuestro conmutador de transferencia automática "Filax". El tiempo de conmutación del "Filax" es muy corto (menos de 20 milisegundos), de manera que los ordenadores y demás equipos electrónicos continuarán funcionando sin interrupción.

### Diagnóstico LED

Por favor, consulte el manual para obtener su descripción.

### Interruptor on/off remoto

Conector para interruptor remoto on/off disponible en todos los modelos.

### Panel de control remoto (sólo en el modelo 750 VA)

Se conecta al inversor con un cable RJ12 UTP (de 3 metros de longitud, incluido).

### Conmutadores DIP para seleccionar 50 ó 60 Hz (sólo en el modelo 750 VA)

### Conmutadores DIP para modo ahorro (sólo en el modelo 750 VA)

Al funcionar en modo de ahorro, la corriente no dedicada a la carga se reduce en 1/3 de su valor nominal. En este modo, el inversor se apaga si no hay carga, o si hay muy poca, y se vuelve a conectar cada dos segundos durante un breve periodo de tiempo. Si la corriente de salida excede un nivel preestablecido, el inversor seguirá funcionando. En caso contrario, el inversor volverá a apagarse. Con los conmutadores DIP, el nivel on/off puede establecerse entre 15W y 85W.

### Disponible con tres tomas de corriente distintas

Ver las imágenes más abajo.



Phoenix Inverter  
12/750



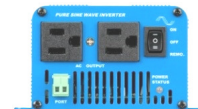
Phoenix Inverter  
12/800 with Schuko socket



Phoenix Inverter 12/350  
with IEC-320 sockets

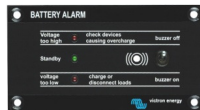


Phoenix Inverter 12/180  
with Schuko socket



Phoenix Inverter 12/180  
with Nema 5-15R sockets

Inversor Phoenix	12 Volt 24 Volt 48 Volt	12/180 24/180	12/350 24/350 48/350	12/750 24/750 48/750	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia CA cont. de salida a 25 °C (VA) (3)		180	350	750	800	1200
Potencia cont. a 25 °C / 40 °C (W)		175 / 150	300 / 250	700 / 650	700 / 650	1000 / 900
Pico de potencia (W)		350	700	1400	1600	2400
Tensión / frecuencia CA de salida (4)		110VAC o 230VAC +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada (V DC)		10,5 - 15,5 / 21,0 - 31,0 / 42,0 - 62,0			9,2 - 17,3 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 68,0	
Alarma de batería baja (V DC)		11,0 / 22 / 44			10,9 / 21,8 / 43,6	
Apagado por batería baja (V DC)		10,5 / 21 / 42			9,2 / 18,4 / 36,8	
Autorrecuperación de batería baja (V DC)		12,5 / 25 / 50			12,5 / 25 / 50	
Efíciacia máx. 12 / 24 / 48 V (%)		87 / 88	89 / 89 / 90	91 / 93 / 94	91 / 93 / 94	92 / 94 / 94
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)		2,6 / 3,8	3,1 / 5,0 / 6,0	14 / 14 / 13	6 / 6 / 6	8 / 9 / 8
Consumo en vacío en modo de ahorro		n. a.	n. a.	3 / 4 / 5	2	2
Protección (2)		a - e				
Temperatura de funcionamiento		-40 to +50°C (refrigerado por ventilador)				
Humedad (sin condensación)		max 95%				
<b>CARCASA</b>						
Material y color		aluminio (azul RAL 5012)				
Conexiones de la batería		1)	1)	Screw terminals	1)	1)
Tomas de corriente CA estándar		230V: IEC-320 (IEC-320 enchufe incluido), CEE 7/4 (Schuko) 120V: Nema 5-15R				
Otros enchufes (bajo pedido)		BS 1363 (Reino Unido) AN/NZS 3112 (Australia/Nueva Zelanda)				
Tipo de protección		IP 20				
Peso en (kg / lbs)		2,7 / 5,4	3,5 / 7,7	2,7 / 5,4	6,5 / 14,3	8,5 / 18,7
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p en pulgadas)		72x132x200 2.8x5.2x7.9	72x155x237 2.8x6.1x9.3	72x180x295 2.8x7.1x11.6	108x165x305 4.2x6.4x11.9	108x165x305 4.2x6.4x11.9
<b>ACCESORIOS</b>						
Panel de control remoto		n. a.	n. a.	Opcional	n. a.	n. a.
Interruptor on/off remoto		Conector bifásico		RJ12 plug	Conector bifásico	
Conmutador de transferencia automático		Filax				
<b>NORMATIVAS</b>						
Seguridad		EN 60335-1				
Emisiones / Normativas		EN55014-1 / EN 55014-2/ EN 61000-6-2 / EN 61000-6-3				
1) Cables de batería de 1,5 metros (12/180 con encendedor de cigarrillos) 2) Protección a) Cortocircuito de salida b) Sobrecarga c) Tensión de la batería demasiado alta 3) Carga no lineal, factor de cresta 3:1 4) La frecuencia puede ajustarse por medio del conmutador DIP (sólo en modelos 750VA) d) Tensión de la batería demasiado baja e) Temperatura demasiado alta						



#### Alarma de la batería

Indica que la tensión está demasiado alta o baja por medio de una alarma visual y sonora, y señalización remota.



#### Panel de control remoto

(sólo en modelos 750VA)  
Se incluye cable RJ12 UTP para su conexión al inversor (longitud: 3 metros).



#### Monitor de baterías BMW

El monitor de baterías BMW dispone de un avanzado sistema de control por microprocesador combinado con un sistema de medición de alta resolución de la tensión de la batería y de la carga/descarga de corriente. Aparte de esto, el software incluye unos complejos algoritmos de cálculo para determinar exactamente el estado de la carga de la batería. El BMV muestra de manera selectiva la tensión, corriente, Ah consumidos o tiempo restante de carga de la batería. El monitor también almacena una multitud de datos relacionados con el rendimiento y uso de la batería.

## Anexo F

(Hoja de características técnicas del regulador.)





## PWM Solar charge controller

### New ViewStar series



ViewStar series solar controller is designed for off-grid solar system, such as street light, solar home system or small power station etc. It has LCD display, reliable battery charging, full electronic protection, and programmable parameters.



#### Models :

VS1024BN/ VS2024BN/ VS3024BN/ VS4524BN/ VS6024BN  
10A,20A,30A,45A,60A  
12/24V auto work

VS2048BN/ VS3048BN/ VS4548BN/ VS6048BN  
20A,30A,45A,60A  
12/24/36/48V auto work

#### Features :

- Excellent EMC design
- 32 bit MCU with high speed
- High efficient Series PWM charging
- Four battery type options: Sealed, Gel, Flooded, and USER
- Intelligent lighting and timer control for solar lighting system
- 12 bit A/D high-precision sampling to ensure accuracy
- Use MOSFET as electronic switch
- Full control parameters setting and modification, diversified load control mode

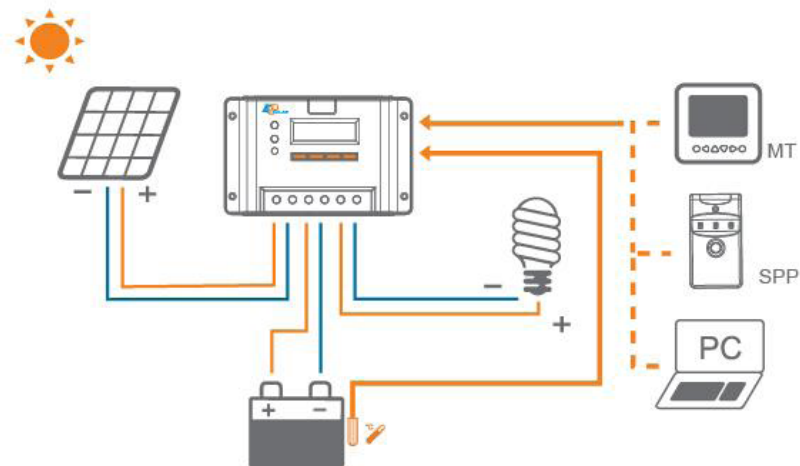


Humanized design of browser interface, undertake every operating conveniently  
 Temperature compensation  
 Adopt graphics dot-matrix LCD screen and HMI (human-machine interface) with 4 buttons,  
 integrated menu displaying and operation  
 Energy statistics function  
 RS485 ports with MODBUS communication protocol  
 Optional PC monitoring software and remote meter for real-time monitoring and battery  
 management parameter setting  
 Field upgradable firmware

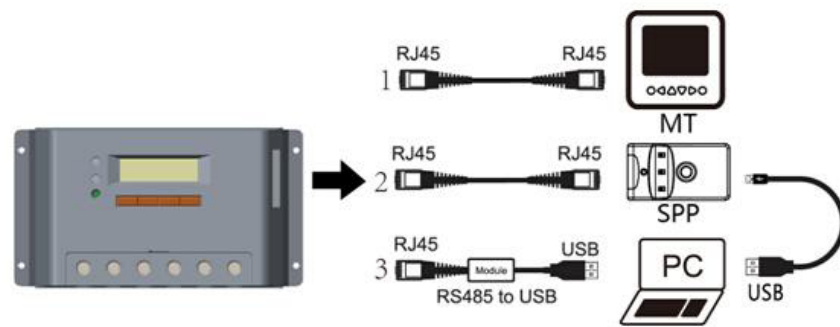


#### Electronic protections:

PV short circuit protection	PV reverse polarity protection
Battery overcharge protection	Battery over discharge protection
Battery reverse polarity protection	Load overload protection
Load short circuit protection	Overheating protection







Three methods to configure the controller:

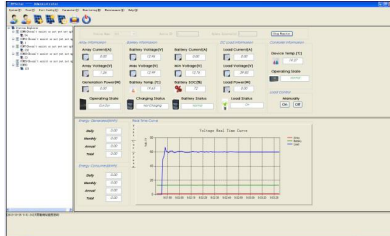
- 1-Remote Meter, MT50
- 2-Super Parameter Programmer, One-key easily configure and apply to batch setting.
- 3-PC monitoring setting software "Solar Station Monitor"

#### Optional accessories :

Remote meter MT50	Remote temperature sensor RTS300R47K3.81A	PC communication cable CC-USB-RS485-150U	Super parameter programmer SPP-01



### PC software :



### Technical specifications

Model	VS1024BN	VS2024BN	VS3024BN	VS4524BN	VS6024BN
		VS2048BN	VS3048BN	VS4548BN	VS6048BN
Nominal system voltage	12/24V auto work	VS**24BN: 12/24V auto work VS**48BN: 12/24/36/48V auto work			
Rated battery current	10A	20A	30A	45A	60A
Rated load current	10A	20A	30A	45A	60A
Max. battery voltage	VS**24BN: 32V, VS**48BN:64V				
Equalize charging voltage	Sealed: 14.6V, Flooded: 14.8V, User-defined: 9~17V				
Boost charging voltage	Gel: 14.2V, Sealed: 14.6V, Flooded: 14.8V, User-defined: 9~17V				
Float charging voltage	Gel /Sealed /Flooded: 13.8V, User-defined: 9~17V				
Low voltage reconnect voltage	Gel /Sealed /Flooded: 12.6V, User-defined: 9~17V				
Low voltage disconnect voltage	Gel /Sealed /Flooded: 11.1V, User-defined: 9~17V				
Self-consumption	≤15mA(12V); ≤10mA(24V); ≤9mA(36V); ≤8mA(48V)				
Grounding	Common negative				
Temp. compensation	-3mV/ 2V				
Communication	RS485 / RJ45 interface				

\* Technical data for 12V system at 25℃, twice in 24V system rate, triple in 36V system rate and quadruple in 48V system rate.



Model	VS1024BN	VS2024BN	VS3024BN	VS4524BN	VS6024BN
Overall dimension	162x85x40mm	162x100x50mm	200x103x58mm	201x109x59mm	205x129x67mm
Terminals	4mm <sup>2</sup>	10mm <sup>2</sup>	16mm <sup>2</sup>	35mm <sup>2</sup>	35mm <sup>2</sup>
Net weight	0.3kg	0.4kg	0.7kg	0.8kg	1.3kg
Enclosure	IP30				

Model	VS2048BN	VS3048BN	VS4548BN	VS6048BN
Overall dimension	200x103x58mm	201x109x59mm	205x119x67mm	205x174x64mm
Terminals	16mm <sup>2</sup>	35mm <sup>2</sup>	35mm <sup>2</sup>	35mm <sup>2</sup>
Net weight	0.7kg	0.8kg	1.2kg	1.6kg
Enclosure	IP30			

#### Environmental

LCD temperature	-20°C ~ +70°C
Working temperature	-25 ~ +55
Humidity	≤95% N.C.



BEIJING EPSOLAR TECHNOLOGY CO.,LTD.  
 Add: BLDG #18, CO.PARK ,NO.8 HEYING  
 ROAD,CHANGPING DISTRICT, BEIJING, CHINA  
 Tel: 010-82894962 / 82894112  
 Fax: 010-82894882  
 E-mail: info@epsolarpv.com

## Anexo G

(Hoja de características técnicas de las baterías.)

## UCG 150-12

12V 150AH  
Deep Cycle Gel

# Ultracell®

Quality in Every Language®

### UCG150-12



### Physical Specification

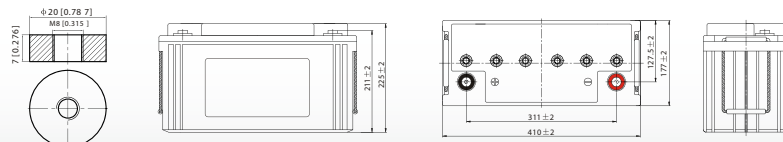
Part Number:	<b>UCG150-12</b>
Length:	<b>485 ± 2 mm (19.09 inches)</b>
Width:	<b>170 ± 2 mm (6.69 inches)</b>
Container Height:	<b>240 ± 2 mm (9.45 inches)</b>
Total Height (with terminal):	<b>240 ± 2 mm (9.45 inches)</b>
Approx Weight:	<b>Approx 44 kg</b>

### Specifications

	Nominal Voltage	12V	
	Nominal Capacity (10HR)	150AH	
Terminal Type	Standard Terminal	F10	
	Optional Terminal	F11	
Container Material	Standard Option	ABS	
	Flame Retardant Option (FR)	ABS (UL94:VO)	
Rated Capacity	160.8 AH/8.04A	(20hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
	150.0 AH/15.0A	(10hr, 1.80V/cell, 25°C / 77°F)	
	131.6 AH/26.3A	(5hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)	
	119.3 AH/39.8A	(3hr, 1.75V/cell, 25°C / 77°F)	
	96.9 AH/96.9A	(1hr, 1.60V/cell, 25°C / 77°F)	
Max Discharge Current	1500A (5s)		
Internal Resistance	Approx 2.5mΩ		
Discharge Characteristics	Operating Temp. Range	Discharge: -20 ~ 55°C (-4 ~ 131°F)	
		Charge: 0 ~ 40°C (32 ~ 104°F)	
		Storage: -20 ~ 50°C (-4 ~ 122°F)	
	Nominal Operating Temp. Range	25 ± 3°C (77 ± 5°F)	
	Cycle Use	Initial Charging Current less than 45.0A. Voltage 14.4V ~ 15.0V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -30mV/°C	
		Standby Use	
Capacity affected by Temperature	No limit on Initial Charging Current Voltage		
	13.5V ~ 13.8V at 25°C (77°F) Temp. Coefficient -20mV/°C		
	40°C (104°F)	103%	
	25°C (77°F)	100%	
	0°C (32°F)	86%	
Design Floating Life at 20°C	15 Years		
Self Discharge	Ultracell batteries may be stored for up to 6 months at 25°C(77F) and then a refresh charge is required. For higher temperatures the time interval will be shorter.		

### Dimensions

#### F11 Terminal



1

Ultracell (UK) Ltd | Vestly Business Park | Vestly Road | Liverpool | L30 1NY | United Kingdom  
Tel: +44 (0) 151 523 2777 Fax: +44 (0) 151 523 0855 Email: info@ultracell.co.uk  
[www.ultracell.co.uk](http://www.ultracell.co.uk)

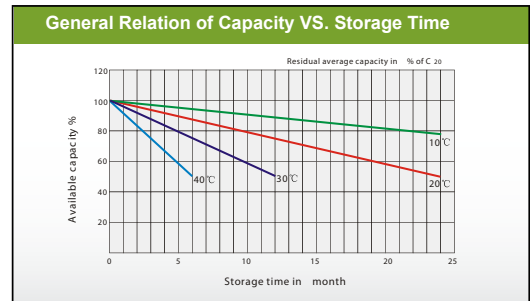
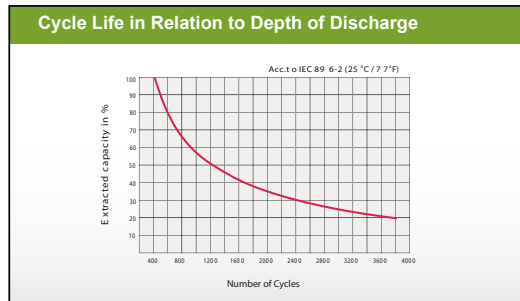
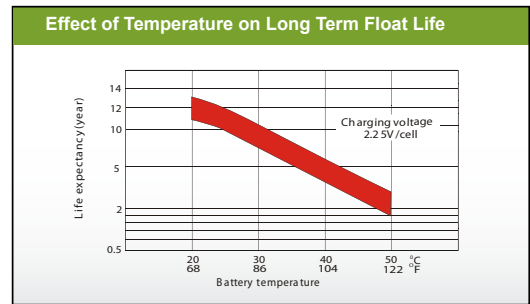
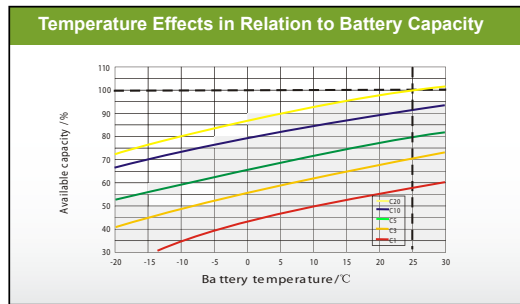
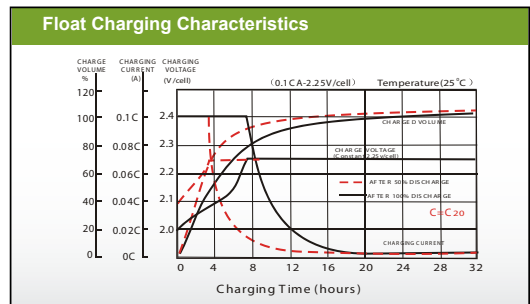
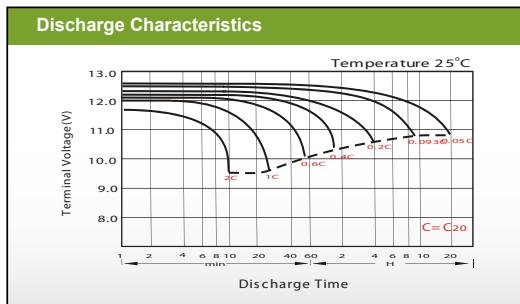
ALL DATA IS SUBJECT TO CHANGE WITHOUT NOTICE






Constant Current Discharge (Amperes) at 25 °C (77°F)														
F.V/Time	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	219.6	184.8	161.5	116.2	92.3	74.9	46.5	36.3	29.4	23.9	20.8	17.0	14.2	7.97
1.80V/cell	280.6	223.3	190.9	137.1	107.3	83.9	50.8	39.0	31.4	25.6	22.3	18.0	15.0	8.04
1.75V/cell	308.3	243.9	205.3	142.3	111.4	87.8	52.7	39.8	32.1	26.3	23.0	18.3	15.2	8.12
1.70V/cell	336.1	260.4	215.8	148.2	115.8	90.5	54.8	40.9	32.9	27.0	23.4	18.6	15.3	8.27
1.65V/cell	362.7	276.9	229.2	156.3	118.7	93.6	56.3	42.6	34.1	27.7	23.9	18.9	15.6	8.37
1.60V/cell	393.8	296.1	244.2	165.0	123.8	96.9	58.2	43.9	35.1	28.6	24.5	19.1	15.8	8.42

Constant Power Discharge (Watts) at 25 °C (77°F)														
F.V/Time	10min	15min	20min	30min	45min	1h	2h	3h	4h	5h	6h	8h	10h	20h
1.85V/cell	409.8	348.4	307.7	223.3	178.5	145.4	90.7	70.9	57.5	46.9	41.1	33.6	28.0	15.9
1.80V/cell	516.6	414.7	358.2	260.3	205.9	161.9	98.3	75.9	61.1	50.2	44.0	35.6	29.7	16.1
1.75V/cell	560.6	448.6	382.2	268.9	212.7	168.7	101.7	77.1	62.4	51.4	45.1	36.2	30.0	16.2
1.70V/cell	602.5	475.4	399.4	278.8	220.6	173.6	105.5	79.0	63.9	52.6	46.0	36.7	30.2	16.5
1.65V/cell	645.6	502.2	422.3	292.8	225.2	178.8	108.1	82.2	65.9	54.0	46.9	37.2	30.8	16.7
1.60V/cell	689.0	530.7	445.2	306.0	232.6	183.7	111.1	84.3	67.7	55.5	47.8	37.5	31.1	16.8



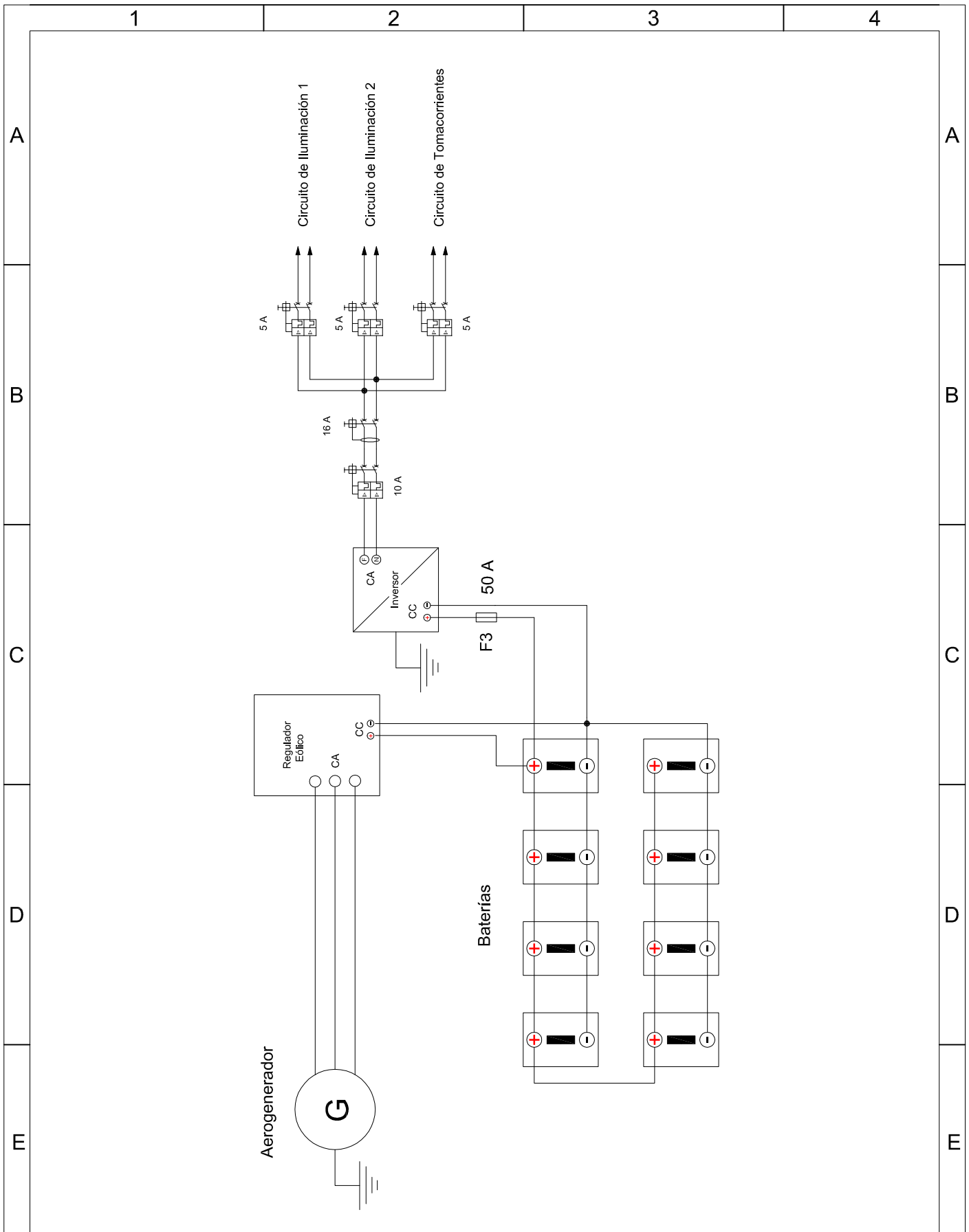
## Anexo H

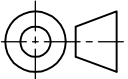
(Presupuesto extensión de red eléctrica.)

ANEXO 4.2 Lista de Materiales y Presupuesto						
 <p>energía para el buen vivir</p>			<b>Datos cliente</b>			
			Empresa	Ext. Red Medio Voltaje Langoa		
			Dirección	Langoa		
			Responsable			
			Teléfono			
E-mail						
Fecha presupuesto:		Validez:		30 días		
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P/UNITARIO	P/TOTAL	
<b>POSTES TORRES Y ACCESORIOS</b>					<b>\$3,252.79</b>	
4	ABRAZ. SIMPLE 5 1/2 EXT. CADENA	c/u	4	4.37	17.48	
9	Abrazadera acero galvanizado, pletina, simple (2 pernos) 38x4 mm (1 1/2" x 11/64) x 160 mm (6 1/2")	c/u	7	3.57	24.99	
14	Abrazadera de acero galvanizado, pletina, simple (3 pernos) 38x6x160 mm (1 1/2" x 1/4" x 6 1/2")	c/u	1	3.80	3.80	
15	Batidor acero galvanizado, 1 vías, base 720 mm, varilla 740 mm.	c/u	7	3.51	24.57	
18	BLOQUE DE ANCLAJE	c/u	10	6.25	62.50	
19	CABLE TENSOR 3/8	c/u	135	1.12	151.20	
20	Cruceta de acero galvanizado, perfil "L" 75x75x6x1000 mm	c/u	1	33.55	33.55	
24	GUARDACABOS EXTRANJERO DE 1/2	c/u	10	0.55	5.50	
26	HORQUILLA DE ANCLAJE- GUARDACABO	c/u	4	2.95	11.80	
27	Perno "U" de acero galvanizado, con 2 tuercas dos arandelas planas y dos arandelas de presión, de 16 mm (5/8"), 160 mm (6 19/64") de ancho dentro de la "U"	c/u	1	3.10	3.10	
32	Perno máquina acero galvanizado, tuerca, arandela plana y de presión 16x38 mm (5/8" x 1 1/2")	c/u	1	0.55	0.55	
36	PERNO PUNTA DE POSTE SIMPLE 3/4	c/u	4	7.88	31.52	
37	Pie amigo de acero galvanizado, perfil "L", 40x40x6 mm x 600 mm	c/u	1	7.50	7.50	
42	Poste de hormigón centrifugado 11 m. 500 Kg.	c/u	10	250.00	2500.00	
45	PREFORMADO PARA CABLE TENSOR 3/8	c/u	20	3.90	78.00	
49	VARILLA DE ANCLAJE DE 5/8 X 2.00 m.-ARAN	c/u	27	10.99	296.73	
<b>CONDUCTORES Y ACCESORIOS</b>					<b>\$ 2,140.33</b>	
57	AISLADOR DE SUSPENSIÓN TIPO POLÍMERO	c/u	4	17.20	68.80	
58	Aislador espiga (PIN), porcelana, con radio interferencia, 15 kV, ANSI 55-4	c/u	4	6.30	25.20	
59	Aislador Rollo porcelana, 0,25 kV, ANSI 53-2	c/u	7	1.51	10.57	
60	AISLADOR DE RETENIDA ANSI 54-2	c/u	10	2.63	26.30	
69	CONDUCTOR DE ALUMINIO ACSR # 2	c/u	2200	0.87	1914.00	
82	Conector aleación de AL, WEJTAP 2 - 2	c/u	10	4.85	48.50	
90	PREFORM. TERMINAL COND # 2	c/u	8	5.87	46.96	
<b>TRANSFORMADORES Y ACCESORIOS</b>					<b>\$ 2,149.02</b>	
99	Cable de Cu, cableado, 600 V, TWHN, 2/0 AWG, 7 hilos	m	7	8.45	59.15	
100	Conductor desnudo sólido de cobre duro #2 AWG	m	15	5.10	76.50	
115	Seccionador portafusible, tipo unipolar abierto, intercambiable, para 15 kV, 100 A.	c/u	1	89.00	89.00	
116	Suelda exotérmica	c/u	2	5.45	10.90	
121	Tirafusible tipo "H", cabeza fija 4 A.	c/u	1	2.50	2.50	
123	Transformador monofásico tipo pedestal 7960-120/240 V, 10 kVA, tipo malla	c/u	1	1891.71	1891.71	
137	Varilla para puesta a tierra tipo cooperweld, 16 mm (5/8") de diámetro x 1800 mm (71") de longitud	c/u	2	9.63	19.26	
<b>Total Materiales</b>					<b>\$7,542.14</b>	
<b>Dirección Técnica</b>					<b>\$1,247.24</b>	
<b>Mano de Obra</b>					<b>\$1,508.43</b>	
<b>Transporte de equipos y materiales</b>					<b>\$1,131.32</b>	
				SUBTOTAL (12%)	\$11,429.13	
				SUBTOTAL (0%)		
				IVA (12%)	\$1,371.50	
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>					<b>\$12,800.62</b>	
FORMA DE PAGO : 60% DE ANTICIPO A LA FIRMA DEL CONTRATO Y 40% RESTANTE CONTRA ENTREGA DEL PROYECTO.						
PLAZO DE CONSTRUCCIÓN: 15 DÍA.						
Ing. Diego Noroña			0			

## Anexo I

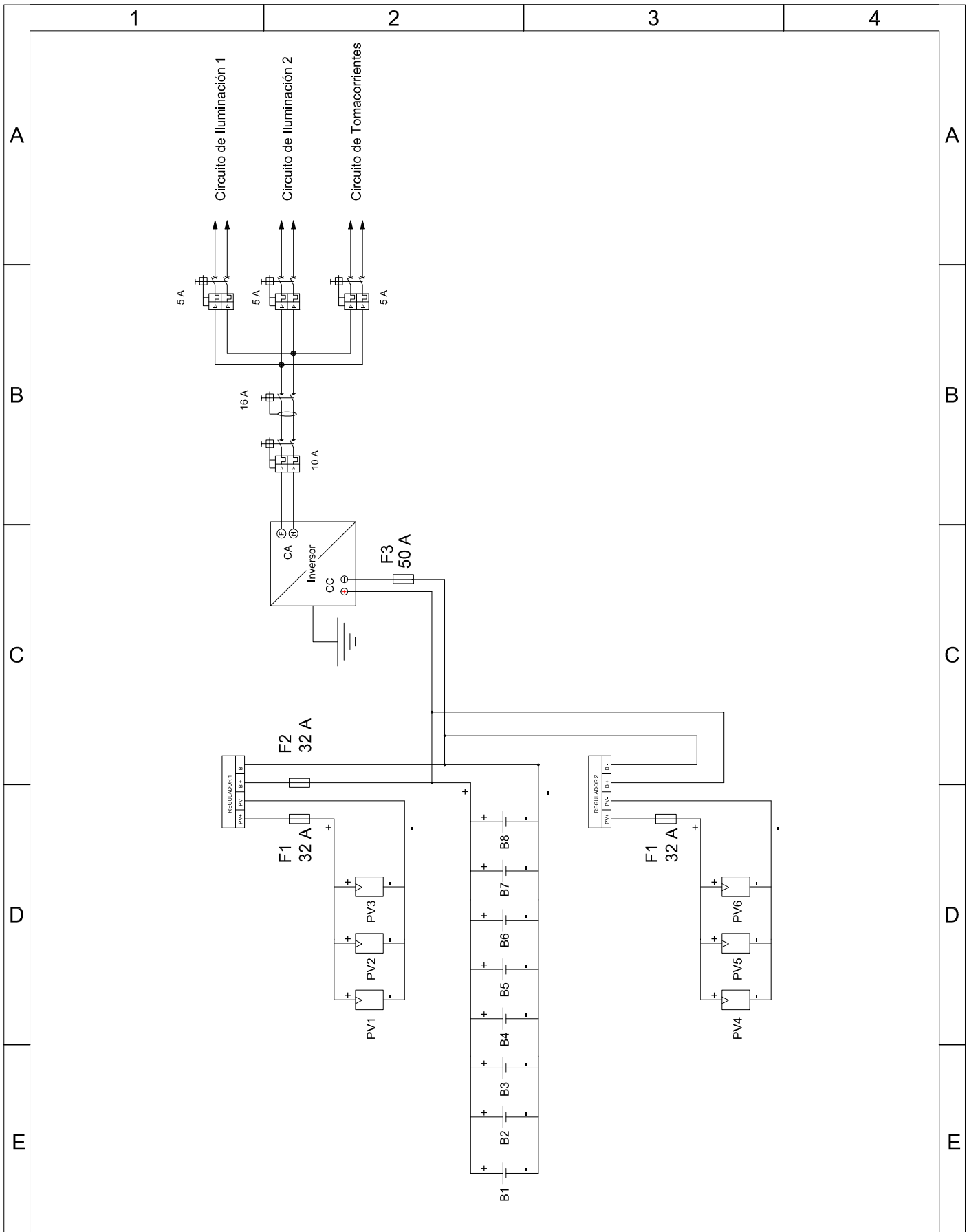
(Diagrama eléctrico instalación eólica.)

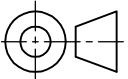


	Fecha:	Nombres:	Firma:	Material:	<b>ACERO</b>	Cantidad:	1
PROYECTADO:	17/06/15	ING. D. NOROÑA		Proyecto:	<b>DIAGRAMA ELÉCTRICO INSTALACIÓN EÓLICA</b>	Escala:	N/D
DIBUJADO:	17/06/15	ING. D. NOROÑA					
REVISADO:	17/06/15	ING. D. NOROÑA					
APROBADO:	17/06/15	ING. D. NOROÑA					
<b>UTC</b> Unidad de Posgrados				Código:	<b>ANEXO I</b>		
				Sustituye a:			Hoja: 1/1

## Anexo J

(Diagrama eléctrico instalación solar.)



	Fecha:	Nombres:	Firma:	Material:	ACERO	Cantidad:	1
PROYECTADO:	17/06/15	ING. D. NOROÑA		Proyecto:	DIAGRAMA ELÉCTRICO INSTALACIÓN SOLAR	Escala:	N/D
DIBUJADO:	17/06/15	ING. D. NOROÑA					
REVISADO:	17/06/15	ING. D. NOROÑA					
APROBADO:	17/06/15	ING. D. NOROÑA					
<b>UTC</b> Unidad de Posgrados				Código:	ANEXO J		
				Sustituye a:			Hoja: 1/1