



**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**

**DIRECCIÓN DE POSGRADOS**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN  
OPCIÓN AL GRADO ACADÉMICO DE MAGISTER EN  
GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TEMA:**

EVALUACION DE LA POTENCIALIDAD EOLICA Y SOLAR EN LA ESCUELA “PEDRO PAEZ” DEL BARRIO BRAZALES PARROQUIA ELOY ALFARO 2013. DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO HIBRIDO

Autor:  
CEVALLOS Viscaino, Edison Xavier

Tutor:  
PROAÑO Maldonado, Xavier Alfonso, Ing. MsC.

LATACUNGA – ECUADOR

Octubre – 2015



**UNIVERSIDAD TECNICA DE  
COTOPAXI**  
DIRECCIÓN DE POSGRADO  
Latacunga – Ecuador

---

**APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: Cevallos Viscaíno Edison Xavier, con el título de tesis: EVALUACION DE LA POTENCIALIDAD EOLICA Y SOLAR EN LA ESCUELA “PEDRO PAEZ” DEL BARRIO BRAZALES PARROQUIA ELOY ALFARO 2013. DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO HIBRIDO, han 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 Octubre, 2015.

Para constancia firman.

MsC. Paulina Freire  
PRESIDENTE

PhD. Gustavo Rodríguez  
MIEMBRO

PhD. Juan José La Calle  
MIEMBRO

PhD. Reinieris Montero  
OPONENTE

## **RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS**

El proyecto de tesis de maestría denominado “EVALUACION DE LA POTENCIALIDAD EOLICA Y SOLAR EN LA ESCUELA “PEDRO PAEZ” DEL BARRIO BRAZALES PARROQUIA ELOY ALFARO 2013. DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO HIBRIDO”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en las páginas correspondientes, cuya fuente se incorpora en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de la declaración de me responsabilizo del contenido, veracidad, alcance científico del proyecto de tesis, en mención.

Latacunga, Octubre 2015.

.....  
Cevallos Viscaíno Edison Xavier  
0502484348

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por permitirme llegar a este momento especial de mi vida por guiarme día tras día hasta conseguir mis objetivos , a mis padres por haberme educado con valores los cuales constituyen el motor que impulsa mi diario vivir y me permite realizar lo que me propongo con entusiasmo y alegría.

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mi esposa Marlene y mi pequeño hijo José Andrés que son lo más valioso de mi vida y constituyen mi inspiración diaria para alcanzar los objetivos que me propongo , gracias por su cariño y apoyo.

## INDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág.</b>
PORTADA .....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO .....	ii
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DEDICATORIA .....	v
INDICE GENERAL .....	vi
INDICE DE TABLAS .....	x
INDICE DE GRÁFICOS .....	xii
RESUMEN .....	xiv
INTRODUCCIÓN .....	xvi
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
EL PROBLEMA.....	1
Planteamiento del problema. ....	1
Formulación del problema. ....	2
Justificación y significación. ....	3
Objetivos. ....	5
Objetivo General.....	5
Objetivos Específicos.....	5
Hipótesis.....	6
Visión epistemológica.....	6
Factibilidad de la investigación. ....	7
Fundamentación Legal.....	8
<b>CAPÍTULO I .....</b>	<b>11</b>
MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO. ....	11
1.1 LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA. ....	11
1.1.1 Introducción. ....	11
1.1.2 El Viento .....	11
a. Origen. ....	11

b.	Captación .....	12
c.	Mediciones y caracterización .....	14
1.1.3	Aplicaciones eólicas domésticas .....	16
a.	Producción local. ....	16
b.	Esquemmatización y conexiones .....	18
1.2	LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR .....	21
1.2.1	Introducción .....	21
1.2.2	Componentes .....	23
a.	Características .....	23
b.	Diseño .....	24
c.	Composición .....	27
1.2.3	Tipos de captadores de radiación solar .....	33
1.2.4	Potencia de radiación solar. Curva de potencia .....	34
1.2.5	Parámetros de dimensionamiento de captación solar fotovoltaica ...	39
1.3	SISTEMAS HÍBRIDOS EÓLICOS – FOTOVOLTÁICOS. ....	41
1.3.1	Características. ....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.3.2	Principios de dimensionamiento de un sistema híbrido. ....	43
1.3.3	Modos de trabajo en sistemas híbridos eólico – fotovoltaicos. ....	44
<b>CAPÍTULO II.....</b>		<b>47</b>
<b>MARCO METODOLÓGICO .....</b>		<b>47</b>
2.1.	Modalidad de la Investigación. ....	47
2.2.	Tipo de Investigación. ....	48
2.3.	Unidad de Estudio. ....	48
2.3.1.	Estudio característico zonal.....	48
2.3.2.	Factores de influencia. ....	50
2.3.3.	Población y Muestra .....	52
2.3.4.	Criterios de validación de mediciones. ....	52
2.3.5.	Criterios de estudio sectorial. ....	54
2.4.	Técnicas e instrumentos de la investigación. ....	54
2.4.1.	Técnicas e instrumentos utilizados en la investigación. ....	54
2.4.2.	Parámetros de selección de instrumentación.....	59

2.4.3. Equipo de medición y características de funcionamiento.....	59
2.5. Metodología de obtención y análisis de la información.....	62
2.5.1. Consideraciones para la medida del potencial eólico.....	62
2.5.2. Consideraciones para la medida de la radiación solar fotovoltaica... 64	
2.5.3. Operacionalización de las Variables.....	65
<b>CAPITULO III .....</b>	<b>69</b>
<b>ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>69</b>
3.1. Tratamiento de datos eólicos. ....	69
3.1.1. Parámetros iniciales .....	69
3.1.2. Distribución de velocidades .....	71
3.1.3. Distribución de direcciones .....	77
3.2. Tratamientos de datos de radiación solar. ....	78
3.2.1. Parámetros iniciales .....	78
3.2.2. Medición de insolación por radiación directa. ....	79
3.2.3. Medición de insolación por radiación difusa. ....	85
3.2.4. Medición de radiación global promedio. ....	86
3.3. Rendimiento del sistema. ....	86
3.3.1. Diagrama eólico de relación dirección velocidad. ....	87
3.3.2. Aprovechamiento solar energético .....	91
3.3.3. Conclusiones parciales. ....	95
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>98</b>
<b>MARCO PROPOSITIVO.....</b>	<b>98</b>
4.1. Título de la propuesta .....	98
4.2. Justificación .....	98
4.3. Objetivo .....	98
4.4. Estructura de la propuesta .....	98
4.4.1. Concepción inicial.	
.....	100
4.4.2. Valores iniciales de emplazamiento .....	100
4.4.3. Dimensionamiento de instalación. ....	101

4.4.4. Producción energética estimada. ....	105
4.5. Análisis de factibilidad .....	108
4.5.1. Gastos de adquisición .....	108
4.5.2. Gastos de montaje e instalación. ....	109
4.5.3. Gastos de personal. ....	109
4.5.4. Gastos de mantenimiento. ....	110
4.5.5. Inversión Total. ....	111
4.5.6. Tiempo recuperación de inversión. ....	111
4.6. Evaluación de influencia con el entorno y compatibilidad. ....	112
4.7. Comprobación de hipótesis. ....	112
CONCLUSIONES .....	114
RECOMENDACIONES .....	115
BIBLIOGRAFÍA .....	116
ANEXOS .....	118

## INDICE DE TABLAS

<b>TABLAS</b>	<b>Pág.</b>
<i>Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh)</i> .....	10
Tabla 1.1. Conceptualización de componentes turbina eólica .....	19
Tabla 1.2. Clasificación de los reguladores por función.....	29
Tabla 1.3. Clasificación de los reguladores por función.....	31
Tabla 1.4. Diferenciación de paneles solares por composición.....	33
Tabla 1.5. Principales parámetros de las características de I-V .....	36
Tabla 1.6. Parámetros iniciales de dimensionamiento fotovoltaico .....	39
Tabla 1.7. Dimensionamiento físico de implementos de captación fotovoltaica ..	40
Tabla 2.1. Técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.....	56
Tabla 2.2. Principales parámetros de las características de I-V .....	60
Tabla 2.3. Inclinaciones mensuales óptimas .....	65
Tabla 2.4. Matriz de operacionalización de la Variable Dependiente .....	67
Tabla 2.5. Matriz de operacionalización de la Variable Independiente.....	68
Tabla 3.1. Estadística de exactitud de la medición .....	70
Tabla 3.2. Distribución de velocidades Junio 2013.....	71
Tabla 3.3. Distribución de velocidades Julio 2013.....	72
Tabla 3.4. Distribución de velocidades Agosto 2013.....	73
Tabla 3.5. Distribución de velocidades Septiembre 2013.....	74
Tabla 3.6. Distribución de velocidades Octubre 2013.....	74
Tabla 3.7. Distribución de velocidades Noviembre 2013.....	75
Tabla 3.8. Distribución de direcciones mensual.....	77
Tabla 3.9. Insolación directa Junio 2013 .....	80
Tabla 3.10. Insolación directa Julio 2013 .....	81
Tabla 3.11. Insolación directa Agosto 2013.....	81
Tabla 3.12. Insolación directa Septiembre 2013 .....	82
Tabla 3.13. Insolación directa Octubre 2013 .....	83
Tabla 3.14. Insolación directa Noviembre 2013.....	84
Tabla 3.15. Radiación difusa Junio - Noviembre .....	85
Tabla 3.16. Diagrama eólico de relación dirección velocidad .....	87

Tabla 3.17. Demanda promedio de emplazamiento .....	91
Tabla 3.18. Criterios ponderados por requerimiento de ingeniería. ....	92
Tabla 3.19. Ponderación y selección de alternativas panel solar.....	92
Tabla 3.20. Ponderación y selección de alternativas batería solar .....	93
Tabla 3.21. Características eléctricas Panel Solar SLP100-12U .....	93
Tabla 3.22. Características eléctricas Batería SolarBloc SB12/130A .....	94
Tabla 3.23. Determinación de cargas del sistema .....	94
Tabla 3.24. Corriente Pico del Módulo .....	95
Tabla 4.1. Valores iniciales de emplazamiento .....	100
Tabla 4.2. Características de aerogenerador Aeolos-H.....	101
Tabla 4.3. Potencia eólica media aprovechable.....	103
Tabla 4.4. Dimensionamiento del Módulo Fotovoltaico .....	104
Tabla 4.5. Dimensionamiento Banco de Baterías.....	104
Tabla 4.6. Dimensionamiento del Inversor .....	105
Tabla 4.7. Producción energética sistema eólico.....	106
Tabla 4.8. Producción energética sistema solar fotovoltaico .....	107
Tabla 4.9. Producción energética sistema híbrido .....	107
Tabla 4.10. Gastos de adquisición sistema híbrido (en USD).....	108
Tabla 4.11. Gastos de adquisición sistema híbrido (en USD).....	109
Tabla 4.12. Gastos de personal (en USD) .....	110
Tabla 4.13. Gastos de mantenimiento (en USD).....	110

## INDICE DE GRÁFICOS

<b>GRÁFICOS</b>	<b>Pág.</b>
Gráfico 1.1. Movimiento de masas de viento.....	12
Gráfico 1.2. Mapa eólico de velocidad media del viento en m/s a 10m .....	13
Gráfico 1.3. Mapa eólico de velocidad media del viento en m/s a 10m .....	14
Gráfico 1.4. Rosa de viento característica.....	15
Gráfico 1.5. Esquematización estructural de turbina eólica. ....	18
Gráfico 1.6. Sistemas conectados a la red. ....	20
Gráfico 1.7. Captación energía solar fotovoltaica. ....	23
Gráfico 1.8. Diseño de sistema solar fotovoltaico. ....	24
Gráfico 1.9. Sistema Fotovoltaico grid connected.....	25
Gráfico 1.10. Sistema Fotovoltaico Aislado .....	26
Gráfico 1.11. Composición de sistema fotovoltaico.....	27
Gráfico 1.12. Módulo fotovoltaico típico .....	28
Gráfico 1.13. Conexiones de regulador. ....	29
Gráfico 1.14. Instalación solar autónoma con inversor .....	31
Gráfico 1.15. Instalación fotovoltaica conectada a la red .....	32
Gráfico 1.16. Curva característica de diseño.....	35
Gráfico 1.17. Curva características paneles solares fotovoltaicos.....	38
Gráfico 1.18. Sistema de generación híbrido eólico fotovoltaico .....	42
Gráfico 1.19. Configuración normal híbrida de emplazamiento .....	43
Gráfico 1.20. Modo 1 de funcionamiento sistema híbrido.....	45
Gráfico 1.21. Modo 2 de funcionamiento sistema híbrido.....	45
Gráfico 1.22. Modo 3 de funcionamiento sistema híbrido.....	46
Gráfico 2.1. Velocidad Media Anual del Viento a 80m de altura .....	49
Gráfico 2.2. Ubicación de la parroquia Eloy Alfaro.....	49
Gráfico 2.3. Rugosidad Cantón Latacunga – Parroquia Eloy Alfaro .....	50
Gráfico 2.3. Mapa de insolación directa .....	51
Gráfico 2.4. Mapa de insolación difusa .....	51
Gráfico 2.5. Mapa de insolación global sectorial .....	52
Gráfico 2.6. Trayectoria aparente del Sol para captación fotovoltaica.....	64

Gráfico 3.1. Distribución de velocidades Junio 2013 .....	71
Gráfico 3.2. Distribución de velocidades Julio 2013 .....	72
Gráfico 3.3. Distribución de velocidades Agosto 2013 .....	73
Gráfico 3.4. Distribución de velocidades Septiembre 2013.....	74
Gráfico 3.5. Distribución de velocidades Octubre 2013 .....	75
Gráfico 3.6. Distribución de velocidades Noviembre 2013 .....	76
Gráfico 3.7. Distribución de velocidades promedio mensual incidente .....	76
Gráfico 3.8. Ponderado comparativo de incidencia de dirección. ....	78
Gráfico 3.9. Insolación directa Junio 2013 .....	80
Gráfico 3.10. Insolación directa Julio 2013 .....	81
Gráfico 3.11. Insolación directa Agosto 2013.....	82
Gráfico 3.12. Insolación directa Septiembre 2013 .....	83
Gráfico 3.13. Insolación directa Octubre 2013 .....	83
Gráfico 3.14. Insolación directa Noviembre 2013.....	84
Gráfico 3.15. Radiación global promedio Junio – Noviembre 2013.....	86
Gráfico 4.1. Curva de potencia Aeolos-H 1 kW.....	102
Gráfico 4.2. Curva de potencia Aeolos-H 1 kW.....	103

**UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**  
**UNIDAD DE POSGRADOS**

**MAESTRÍA EN GESTIÓN DE ENERGÍAS**

**TÍTULO:**

**“EVALUACION DE LA POTENCIALIDAD EOLICA Y SOLAR EN LA ESCUELA “PEDRO PAEZ” DEL BARRIO BRAZALES PARROQUIA ELOY ALFARO 2013. DISEÑO DE UN SISTEMA DE SUMINISTRO ELECTRICO HIBRIDO”**

**Autor: CEVALLOS Viscaino, Edison Xavier**

**Tutor: PROAÑO Maldonado, Xavier Alfonso, Ing. MsC.**

**RESUMEN**

La presente investigación permite conformar una evaluación teórico técnica de la potencialidad de captación eólica y solar dentro de medios domésticos, en este caso para implementación en un predio escolar como es la escuela “Pedro Báez” del barrio Brazales, parroquia Eloy Alfaro, provincia de Cotopaxi en el año 2013. La finalidad principal de este estudio es que, a partir de esta investigación previa, poder conformar un marco propositivo que facilite el diseño de un sistema de suministro eléctrico híbrido, utilizando las dos tecnologías anteriormente mencionadas, eólica y solar. En un principio se procede a la recolección y estudio de información bibliográfica, abordando la teoría adecuada para los temas de implementación de sistemas de captación de energía renovable, partiendo además de una serie de antecedentes científicos, con proyectos y estudios realizados a nivel local, regional y global, que convalidan el nivel teórico práctico de conformación del presente estudio. Posteriormente a la recolección de la información bibliográfica, se procede a la clasificación y análisis de la información recabada dentro del emplazamiento específico, la misma que fue tomada mediante metodologías de medición bajo criterio de ingeniería propio del investigador, con lo que se selecciona la mejor variable posible de acuerdo a factores de afección sociales, económicos, de impacto con la flora, fauna y contaminación física y auditiva. Se concluye con una propuesta que de solución a la problemática enunciada en la investigación, la misma que se valida mediante estudio de factibilidad, de producción y eficiencia energética, así como de retorno de la inversión dentro del espectro temporal y espacial.

**DESCRIPTORES: CAPTACIÓN EÓLICO SOLAR, SUMINISTRO ELÉCTRICO HÍBRIDO, ENERGÍA RENOVABLE, EFICIENCIA ENERGÉTICA.**

**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY  
POST DEGREES UNIT**

**ENERGY MANAGMENT MAESTRY**

**TITLE:**

**“WIND AND SOLAR POTENTIAL POWER EVALUATION LOCATED AT “PEDRO PÁEZ” SCHOOL IN BRAZALES NEIGHBORHOOD, ELOY ALFARO IN 2013. DESIGN OF AN HYBRID ELECTRIC GENERATOR SUPPLYING SYSTEM”**

**Author: CEVALLOS Viscaino, Edison Xavier.**

**Tuthor: PROAÑO, Xavier Alfons, Ing. MsC.**

**ABSTRACT**

**The present investigation allows the conformation of a technic and theoretical evaluation of the solar and wind power uptake established inside domestic plans, in this case for the implementation into the “Pedro Báez” school, located in Brazales Neighborhood, Eloy Alfaro, Cotopaxi in 2013. The main objective of this investigation is to conform the correct proposal environment to facilitate the design of an hybrid electric supplying system, using both technologies, wind and solar radiation. At the beginning, we recollect and analyze all the bibliographic information, going deep into the theory for subjects of implementation of renewable energy systems, starting from a group of scientific backgrounds, with projects and investigations conformed locally, regionally and globally, which validate the theoretical and practice conformation of the present study. Once made the bibliographic information recollection, there is established a classification and analysis of the information from the specific place, taken with methodological procedures under engineering criteria from the investigator himself. Then, with these criteria there is the selection of the best possible design according to social, economical, impact into the flora and fauna environment, and psychic and noise pollution. At the end of the investigation, we construct the proposal to give an effective solution to the announced problems found, which is validated trough feasibility, production and energetic efficiency, as well as the return of the investment inside the temporal and space spectrum.**

**DESCRIPTORS: SOLAR AND WIND POWER UPTAKE, HYBRID ELECTRIC SUPPLYING SYSTEM, RENEWABLE ENERGY, ENERGETIC EFFICIENCY.**

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, globalmente se viene desarrollando una tendencia de protección al medio ambiente dentro de los parámetros de institución tecnológicos, fabricación, consumo, y menesteres particulares en general, donde la captación y producción energética han sido el área de mayor afección actualmente, debido al incremento de usuarios del sistema y la difícil producción independiente de los recursos no renovables que poco a poco se van agotando en el mundo.

La normalización mundial ha propuesto medidas de transformación del modelo de producción y consumo de la energía, los mismos que han sido aplicados en muchos casos a nivel mundial con excelente resultados dentro de sus principales objetivos planteados. En países como el Ecuador, la implementación de medidas auxiliares de producción de energía se encuentra en un proceso de crecimiento exponencial sostenido, razón por la cual proyectos como el planteado en la presente investigación pretenden proveer una herramienta factible de aporte sustancial e innovación a los sistemas de generación de energía renovable, mediante la captación de fuentes permutables como son la energía solar y la energía eólica, para posteriormente ser implementados en sectores con una mayor necesidad de consumo previo análisis, en este caso la Escuela “Pedro Páez” del Barrio Brazales en la Parroquia Eloy Alfaro durante el período 2013.

La estructura de cada uno de los capítulos de los que está compuesta esta investigación se detallan de la siguiente manera:

En el Capítulo I, se pronuncian tanto el marco contextual como el marco teórico, obtenido de la recolección de información bibliográfica relevante para nuestro análisis, así como se presentan conceptos necesarios para el desarrollo de las premisas posteriormente formuladas, sobre la captación de energía eólica y de radiación solar.

En el Capítulo II, se detalla la metodología científica empleada para la obtención, medición y análisis de información, así como la presentación de resultados, mediante la utilización de herramientas de investigación de campo, de obtención paramétrica.

En el Capítulo III, se desarrollan una serie de mediciones y dimensionamientos efectivos de manera individual de cada medio de captación, tanto eólico como solar fotovoltaico, para posteriormente indicar especificaciones de los medios técnicos y tecnología apropiada para su introducción en el marco propositivo posterior.

En el Capítulo IV, se presenta el marco propositivo que daría solución a la problemática observada al inicio del estudio técnico, su justificación, los objetivos que se pretenden obtener con su conformación, así como una evaluación socio-económica-ambiental de la misma.

La documentación termina su exposición con una serie de conclusiones obtenidas del desarrollo de la investigación, así como con la formulación de varias recomendaciones que pueden ser posteriormente el punto de partida para próximas indagaciones sobre el tema expuesto.

## **INTRODUCCIÓN**

### **EL PROBLEMA**

#### **Planteamiento del problema.**

Uno de los mayores problemas existentes en el consumo energético general del Ecuador se centra en la dependencia de medios de energía provenientes de grandes centrales de generación hidroeléctricas y fuentes térmicas, manteniendo un porcentaje mínimo de producción proveniente de fuentes renovables no convencionales, como la captación eólica, la energía fotovoltaica, geotérmica entre otras.

Si bien es cierto, el Gobierno Nacional del Ecuador con el desarrollo de proyectos de fomentación para la producción de energía renovable no convencional, ha obtenido muy buenos resultados en los primeros años de su introducción, su diseño se ha acentuado principalmente a bosquejos técnicos de gran envergadura, como el presentado en el Parque Nacional Villonaco en Loja, pero aún no predispone la mira a los sectores auxiliares de producción de energía, representados por los esquemas de producción de Energía Renovable no convencional domésticos.

El consumo de la energía eléctrica es variable en varios sectores del territorio nacional, no por desigualdades en la tasa de cobro del servicio, sino por cuanto en períodos pasados no se implementaban normativas de gestión de calidad y aseguramiento de las instalaciones eléctricas, por lo que en muchas de las edificaciones existe un desperdicio de la energía por el sobredimensionado de los componentes, especialmente el cableado y conexiones.

El sector con mayor afección dentro de la problemática de consumo energético, es el sector ubicado en predios rurales. La lejanía de las principales vías del sistema interconectado nacional hace que un amplio rango de sectores reciban un servicio eléctrico de menor calidad que el recibido por las zonas urbanas.

Un aspecto adicional a tomar en cuenta dentro del contexto de la situación energética insuficiente, son los hábitos de consumo de energía eléctrica en el sector, por cuanto es necesario determinar el análisis de producción real que se implementaría para solventar una solución adecuada. El sistema nacional de producción de energía debe cumplimentarse con la introducción de sistemas auxiliares que aprovechen la captación de energía de tipo eólica en la zona centro del país, donde la velocidad de los vientos es muy superior a la media necesaria para el giro de turbinas eólicas conjuntamente, de forma híbrida, con sistemas de generación de energía a partir de la radiación solar persistente en la línea ecuatorial del planeta, donde su incidencia es mucho mayor.

### **Formulación del problema.**

En la actualidad, dentro de un mundo consciente de la necesidad de reformar la ideología de producción de energía hacia la protección general de la naturaleza, la conservación del ambiente y reducir la producción de gases contaminantes, la dependencia de las fuentes eléctricas convencionales debe reducirse en gran medida, tanto a nivel nacional, como de aportación doméstica al sistema. Dentro de esta realidad, el Ecuador ha experimentado una serie de dificultades que han contribuido a que la producción por medio de fuentes renovables tenga un porcentaje de aproximadamente el 11.4% de la generación eléctrica total.

En sectores rurales, debido a su topología sectorial y ubicación geográfica alejada, dificulta el establecimiento cualitativo de un sistema eléctrico constante y sin problemas, experimentando por lo general cortes eléctricos, u obteniendo una tasa eléctrica variable, con los problemas que presenta para los electrodomésticos e implementos que hacen uso de esta energía. Además, en sectores donde estudios técnicos elaborados por la Corporación Eléctrica del Ecuador han demostrado que existe un altísimo potencial de aprovechamiento eólico y fotovoltaico, no han sido aprovechados en su totalidad, principalmente por desconocimiento general de la población, y el no fomento por su introducción a pequeña escala.

Dentro del sector de consumo observamos deficiencias en varios sectores, como el de uso de energía en predios escolares. Por esta razón, esta investigación se realizó mediante la observación de las características de captación de la escuela “Pedro Báez”, en la que se pretende estudiar la posibilidad de usar energías alternativas para suministrar electricidad. Ubicada en el Barrio Brazales, Parroquia Eloy Alfaro, provincia de Cotopaxi, mediante las pruebas de campo y las mediciones con instrumentos tanto de la radiación solar como de la velocidad del viento se determinará si este lugar presta las condiciones necesarias para la implementación de este tipo de tecnología, lugar donde en un principio por desconocimiento total, y por la no presencia de estudios técnicos adecuados, no se han realizado proyectos con este objetivo.

Por estas razones se visualiza un mínimo uso energético eficiente en cuanto a la utilización de metodologías de captación de energía renovable, como la energía solar y eólica, como consecuencia del desconocimiento de la potencialidad que tienen las mismas en los medios del emplazamiento comprendido por la Escuela “Pedro Páez” del barrio Brazales, parroquia Eloy Alfaro, como se visualiza en el estudio realizado entre los meses de Junio y Noviembre del año 2013.

**OBJETO DE INVESTIGACIÓN:** La información indicada sobre el objeto de la investigación, de forma conjunta con el campo de acción específico dentro de la ciencia se presenta a continuación:

- **Objeto de estudio:** Energías renovables alternativas.
- **Campo de acción:** Potencialidad eólica – solar fotovoltaica.

### **Justificación y significación.**

En nuestro país se ha presentado en los últimos 20 años un desequilibrio entre oferta y demanda de energía eléctrica. Así, (Robalino, 2012) expresa que, por un lado “el aumento de la demanda ha incrementado alrededor de un 6,5% anual, mientras que la oferta de energía únicamente se ha incrementado en un 5%.”(p.5)

En términos generales, tal como lo describe (Merino, 2006), la generación, el transporte y el consumo de las energías convencionales tienen, como toda actividad antrópica, un impacto sobre el medio, y puede argumentarse que están en el origen de algunos de los mayores problemas ambientales que sufre el planeta como el cambio climático y la lluvia ácida. Sin llegar a decir que esos efectos no existen en las renovables, sí es cierto, en cambio, que son infinitamente menores y siempre reversibles.

Si a esto le sumamos un desconocimiento parcial o incluso total de las energías alternativas no convencionales por parte de las diferentes autoridades de turno rurales encontramos que el Ecuador se encuentra con un gran retraso en lo que se refiere a su introducción en sistemas de pequeña escala domésticos con relación a otros países, y el desconocimiento de su aplicación en la sociedad en general destinada a proyectos domésticos de menor envergadura, justifica la necesidad de investigación presentada, para determinar la caracterización de la captación eólica en sincronismo con la obtención de energía solar, en búsqueda de obtener un estudio técnico y de factibilidad concreto que permita la introducción de estos sistemas y así mermar la afección de la problemática anteriormente mencionada.

Es por este motivo que la presente investigación, pretende proveer el punto de partida hacia la introducción de sistemas de captación de energía híbridos proveniente del viento y de la radiación solar, principalmente para fines de reducción de la dependencia de fuentes eléctricas convencionales dentro de sistemas a nivel doméstico, una disminución potencial de hasta un 30% con respecto a la tecnología eléctrica empleada en la actualidad, para lo cual primero se analizarán los principios técnicos básicos fundamentales de su funcionamiento, la inclusión de campo, conceptos de mejoramiento, utilización y aprovechamiento de la generación y su introducción dentro de predios con características naturales ventajosas para su implementación.

## **Objetivos.**

### **Objetivo General.**

- Evaluar la potencialidad eólica y solar en la escuela Pedro Páez del barrio Brazales, parroquia Eloy Alfaro, durante los meses comprendidos entre Junio y Noviembre del año 2013, con la finalidad de diseñar un sistema doméstico de suministro eléctrico híbrido eólico – solar para zonas rurales del Ecuador.

### **Objetivos Específicos**

- Estructurar un marco teórico, con origen en información bibliográfica de validez científica que sirva de punto inicial hacia la conformación de uso y aplicación de metodologías de medición y obtención de datos.
- Medir los parámetros de velocidad del viento y radiación solar en la escuela Pedro Páez del barrio Brazales parroquia Eloy Alfaro para uso energético.
- Determinar el potencial de producción eléctrica de fuente conjunta eólico-solar, dentro de características de factibilidad, proyecciones de apoyo técnico y variables de afección directa e indirecta.
- Determinar los parámetros de diseño de un sistema híbrido, que pueda mantener una simbiosis adecuada de las dos fuentes energéticas antes mencionadas.
- Diseñar prototipos de medios de captación eólico de producción baja, y de incidencia de luz solar térmica.
- Estructurar la factibilidad final técnica y económica de implementación, así como un análisis de costo – beneficio para el objeto de estudio.

## **Hipótesis.**

El análisis característico de captación eólica - solar en las inmediaciones de la Escuela Pedro Páez del Barrio Brazales en la parroquia Eloy Alfaro, durante el período 2013 permitirá determinar la factibilidad de implementación de un sistema doméstico híbrido de producción de energía renovable no convencional.

## **Visión epistemológica.**

En la actualidad dentro de un mundo globalizado, se mantiene la tendencia mundial de mantener una búsqueda constante de implementación de producción de energías menos destructivas para el planeta, incrementando en alta medida la creación de políticas y apoyo, tanto local como internacional, para el crecimiento y establecimiento de estas ideas de innovación.

Al ser la economía un menester diario de la sociedad mundial, es necesario de igual manera visualizar el ahorro de energía, tal como lo provee Stallenber et al (2008), quienes indican que el ahorro de energía (disminución del consumo de energía) es la forma más sencilla y eficaz para reducir las emisiones contaminantes de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) y de otros gases de efecto invernadero a la atmósfera; y, por tanto, para luchar contra el calentamiento global del planeta y el cambio climático.

Las ventajas también son económicas y nos afectan como consumidores de energía, ya que cada kilovatio-hora (kWh) consumido en el hogar se va reduciendo, de esta forma cambiar los hábitos de consumo o sustituir los aparatos eléctricos por otros más eficientes también nos permite ahorrar dinero.

El desarrollo tecnológico dentro del diseño de sistemas de captación de energía renovables, ha provocado que su introducción no solamente se la analice a nivel auxiliar de todo el sistema interconectado de energía, sino que ahora es factible poder ingresar su uso a los sistemas domésticos, no tan solo a nivel de casas, sino

también dentro de sectores urbanos donde su consumo es necesario pero sus características de adquisición lo hacen cada vez más un lujo.

La presente investigación, bajo este enfoque propone proveer el punto de partida para la domesticación de la producción de energía renovable, a partir de la obtención de información procedente de un análisis piloto, que nos daría la información necesaria para la generalización de la implementación dentro del territorio nacional.

### **Factibilidad de la investigación.**

La factibilidad de este proyecto se basa en el alto grado de conocimiento científico y técnico obtenido durante el desarrollo del programa de formación académico impartido por la Universidad Técnica de Cotopaxi, cuya base ideológica es fuerte y actualizada de acuerdo a las necesidades de la sociedad.

Además la factibilidad implícita del proyecto se basa en los estudios de campo realizados en los predio de análisis donde se encuentra ubicada la escuela “Pedro Báez”, en la parroquia Eloy Alfaro, provincia de Cotopaxi, cuyos resultados preliminares proveen el punto de partida para la introducción de sistemas de captación híbridos de tecnología eólica, conjuntamente con obtención de energía solar, para su aplicación en medios domésticos particulares y diseños pequeños aplicativos.

Explícitamente se establece que el mayor aspecto de factibilidad del proyecto se basa en la parte legal desarrollada en el territorio ecuatoriano. El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, en el año 2008, como parte del plan “Políticas Energéticas del Ecuador 2008 - 2020”, establece varias pautas como “c) impulsar un modelo de desarrollo energético con tecnologías ambientalmente amigables; f) promover el desarrollo sustentable de los recursos energéticos e impulsar proyectos con fuentes de generación renovable.” (MEER, 2008).

Además se apoya la investigación legalmente por el Reglamento General de la Ley del Régimen del Sector Eléctrico, que en su artículo 77 indica que “el Estado fomentará el uso de recursos energéticos renovables, no convencionales, con asignación prioritaria de fondos del Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal (FERUM)”, el mismo que destinará fondos económicos para el desarrollo de nuevas obras , amplificación e introducción de la innovación en esta área de producción eléctrica.

Finalmente, es factible su aplicación por cuanto se trata de un sistema que solucionará en varios aspectos la problemática de la obtención, producción y consumo de energía en la sociedad actual, sin producir contaminación, siendo ecológicamente amigable, y de implementación sencilla.

### **Fundamentación Legal**

El presente estudio técnico de análisis para la implementación de un sistema de captación de energía híbrido eólico – solar fotovoltaico, se ha desarrollado bajo el auspicio legal de la Constitución de la República, la ley del régimen del sector eléctrico, el reglamento de despacho y operación del sistema Interconectado Nacional (SIN), y una serie de regulaciones establecidas bajo los estatutos del Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, tal como se señala a continuación:

#### **CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR**

“**Artículo 15.-** El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.”

“**Artículo 413.-** El Estado promoverá 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”.

## **LEY DEL REGIMEN DEL SECTOR ELÉCTRICO**

“**Artículo 63.-** El Estado fomentará el desarrollo y uso de los recursos energéticos no convencionales a través de los organismos públicos, la banca de desarrollo, las universidades y las instituciones privadas.

El CONELEC asignará con prioridad fondos del FERUM a proyectos de electrificación rural a base de recursos energéticos no convencionales tales como energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras de similares características.”

“**Artículo 64.-** El Consejo Nacional de Electrificación dictará las normas aplicables para el despacho de la electricidad producida con energías no convencionales tendiendo a su aprovechamiento y prioridad”.

“**Artículo 67.-** Exonérese el pago de aranceles, demás impuestos adicionales y gravámenes que afecten a la importación de materiales y equipos no producidos en el país, para la investigación, producción, fabricación e instalación de sistemas destinados a la utilización de energía solar, eólica, geotérmica, biomasa y otras previo el informe favorable del CONELEC”.

## **REGULACIÓN 008/08 DEL CONELEC**

“**4.2.1.1.1** Que estén destinados a ampliar y mejorar los sistemas de energía no convencional en sectores rurales”.

“*Regulación 008/08 del CONELEC*, que fija los procedimientos para calificar los proyectos del FERUM, determina una reserva de 7,5% del presupuesto FERUM para las provincias fronterizas, Amazonía y

Galápagos. Además, incluye que los proyectos con energías renovables podrán ser presentados por organismos de desarrollo ante el CONELEC, cuando dicho proyecto no pueda ser atendido mediante redes, ni ha sido considerado por la Empresa Distribuidora de Electricidad de la zona como un proyecto de energías no renovables.”

## **REGULACIÓN 004/11 DEL CONELEC**

**6.1.** Los precios a reconocerse por la energía medida en el punto de entrega, expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh, son aquellos indicados en la Tabla No. 5.14. No se reconocerá pago por disponibilidad a la producción de las centrales no convencionales.

### ***<sup>1</sup> Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh)***

<b><i>CENTRALES</i></b>	<b><i>Territorio Continental</i></b>	<b><i>Territorio Insular de Galápagos</i></b>
<i>EÓLICAS</i>	<i>9.13</i>	<i>10.04</i>
<i>FOTOVOLTAICAS</i>	<i>40.03</i>	<i>44.03</i>
<i>SOLAR TERMOELÉCTRICA</i>	<i>31.02</i>	<i>34.12</i>
<i>CORRIENTES MARINAS</i>	<i>44.77</i>	<i>49.25</i>
<i>BIOMASA Y BIOGÁS &lt; 5 MW</i>	<i>11.05</i>	<i>12.16</i>
<i>BIOMASA y BIOGÁS &gt; 5 MW</i>	<i>9.60</i>	<i>10.56</i>
<i>GEOTÉRMICAS</i>	<i>13.21</i>	<i>14.53</i>

Además, para las centrales hidroeléctricas de hasta 50 MW se reconocerán los precios indicados en la Tabla No. 2, expresados en centavos de dólar de los Estados Unidos por kWh. No se reconocerá pago por disponibilidad a este tipo de centrales que se acojan a la presente Regulación.

<sup>1</sup> Tabla No. 1 reemplazada mediante Resolución Directorio No. 017/12 de 12 de enero de 2012.

# **CAPÍTULO I**

## **MARCO CONTEXTUAL Y TEÓRICO.**

### **1.1 LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA EÓLICA.**

#### **1.1.1 Introducción.**

La cantidad de energía contenida o proporcionada por las masas de aire en movimiento en su circulación por las capas bajas de la atmósfera, representa un nivel de potencial energético relativamente elevado, especialmente en determinadas condiciones locales y temporales, de tal modo que se justifica el esfuerzo por llevar a cabo su transformación en energía útil y su aprovechamiento en condiciones favorables de eficiencia y rentabilidad, dado el grado de desarrollo alcanzado por las tecnologías de conversión eólica, tal como lo señala (Amada, 2009).

Es de esta forma que, al ser el viento un recurso energético renovable, dispone de una serie de características específicas, como una serie de variaciones en el tiempo, características espaciales de superficie así como desarrollo por altura, así como se considera además que la energía eólica obtenida por unidad de área es proporcional al cubo de la velocidad del viento, por lo que es indispensable conocer el emplazamiento sectorial para determinar las características eólicas adecuadas.

#### **1.1.2 El Viento**

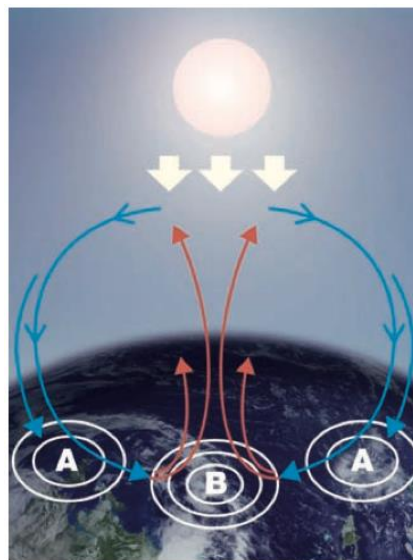
##### **a. Origen.**

La Tierra devuelve constantemente a la atmósfera el calor que recibe del Sol, aunque no de modo uniforme. En las zonas donde menos calor se libera (zonas de aire frío), la presión de los gases atmosféricos aumenta, mientras que allí donde se libera más calor, el aire se calienta y la presión de los gases disminuye. Tal como lo señala (Brown, 2012), “de esta forma se crea una macrocirculación como

consecuencia de los movimientos convectivos: las masas de aire se calientan, su densidad disminuye y se elevan, haciendo que fluya aire más frío sobre la superficie terrestre.”(p. 5)

Este movimiento de masas de aire frío y caliente genera las zonas de altas y bajas presiones presentes permanentemente en la atmósfera, a las que también afecta la rotación terrestre, tal como se visualiza en el gráfico 1.1.

**Gráfico 1.1. Movimiento de masas de viento.**



Fuente: Brown, A. (2012). Plantas eólicas

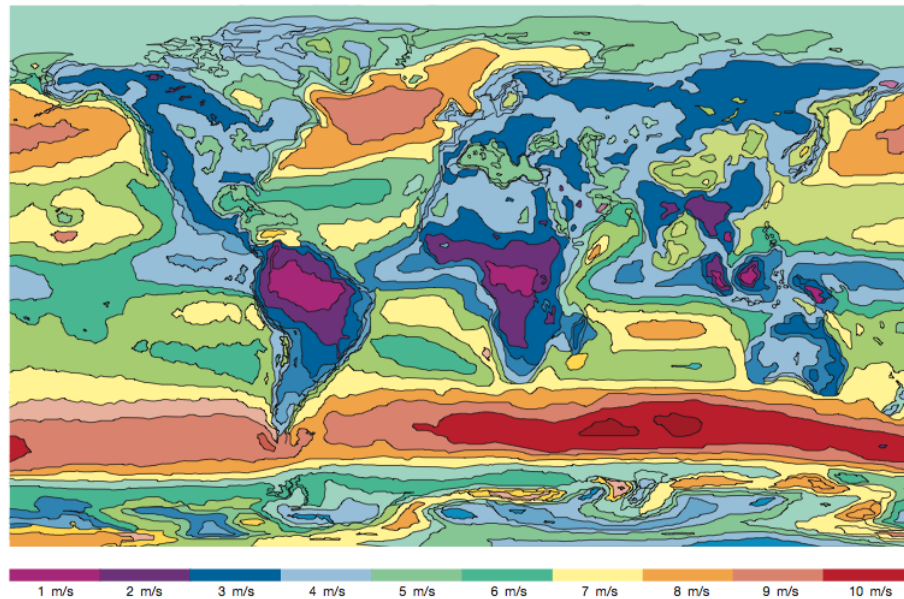
Dado que la atmósfera tiende a restablecer constantemente el equilibrio de presiones, el aire se mueve de las zonas de mayor presión a las de menor presión. De este modo, el viento puede definirse como el desplazamiento más o menos rápido de una masa de aire entre zonas de diferente presión. Cuanto mayor sea la diferencia de presión, mayor será la velocidad de desplazamiento del aire y más fuerte será el viento.

### **b. Captación**

Para aprovechar la energía eólica, es muy importante tener en cuenta las grandes variaciones de velocidad entre diferentes zonas, tal como lo promulga

(Brown, 2012), los lugares que apenas distan unos kilómetros entre sí pueden estar sujetos a condiciones de viento muy dispares y suscitar un interés muy distinto a la hora de instalar un aerogenerador. A nivel global, por la caracterización territorial, la velocidad de los vientos se visualiza en el gráfico 1.2

**Gráfico 1.2. Mapa eólico de velocidad media del viento en m/s a 10m**



Fuente: Brown, A. (2012). Plantas eólicas

Con el pasar del tiempo, y los cambios meteorológicos, la fuerza del viento puede tener un proceder variable. Además, dentro de las características naturales del viento se presentan las turbulencias<sup>2</sup>, que son las determinantes de fluctuaciones y vibraciones experimentadas en las turbinas de captación del viento. El porcentaje de turbulencias está determinado entre un 20% y 28% en tierra, y un 10% y un 20% a nivel del mar abierto.

En el gráfico 1.3. podemos observar los emplazamiento regionales del Ecuador, siendo de vital importancia para poder identificar el lugar indicado de potencial implementación del sistema híbrido de generación eléctrica.

---

<sup>2</sup> La intensidad de la turbulencia se encuentra determinada para cualquier intervalo de tiempo, siendo está la relación entre la velocidad estándar del viento y su velocidad media. El tiempo estándar por lo general es 10 minutos.



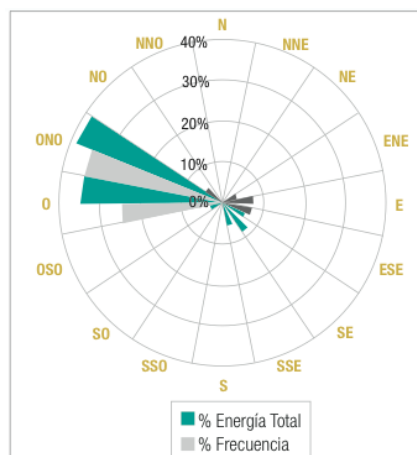
planeta se ven favorecidas por un flujo de viento constante en velocidad y dirección, lo que las hace especialmente aprovechables desde el punto de vista eólico.

Dicha evaluación parte de la medición continua de la dirección, velocidad y la continuidad del viento en el sector donde se desea conformar el emplazamiento para, a partir de estas características poder conocer el tipo de diseño de turbina que se necesita usar, siendo aplicable este principio tanto para funciones industriales, como sistemas domésticos.

Estas mediciones se llevan a cabo mediante instalaciones meteorológicas que recogen los datos de velocidad media cada cierto tiempo, como lo indica (AITE, 2012) por lo general cada 10 minutos o 1 hora durante varios años como mínimo, para poder controlar las variaciones del viento de un año a otro, a lo largo de un año, un mes, un día, etc.

La frecuencia de dichos resultados se expresa en diagramas de frecuencia (Gráfico 1.4) y velocidad media del tiempo para distintas direcciones, siendo estos complementarios ya que el diagrama de frecuencia señala el número de veces que el viento sopla en una dirección determinada, mientras que el segundo complementa la información con la velocidad media con la que sopla.

**Gráfico 1.4. Rosa de viento característica**



Fuente: AWS. (2013).

### **1.1.3 Aplicaciones eólicas domésticas**

Los primeros desarrollos considerados propiamente como tecnología eólica de pequeña potencia eran aeroturbinas utilizadas para producir electricidad en lugares ventosos y remotos, razón esta última por la que no solían disponer de red eléctrica convencional. Este tipo de aeroturbinas, tal como lo explica (Cruz, 2012) se caracterizan por producir solamente una pequeña cantidad de kWh al mes, pero esta aparentemente pequeña contribución energética puede suponer una de las pocas vías de disponer de energía en dichos lugares.

Con el tiempo, este tipo de aeroturbinas han evolucionado y su aplicación principal hoy en día es la aplicación conectada a red siguiendo estrategias, implementadas principalmente en países desarrollados, de microgeneración distribuida. (Cruz, 2012) añade que, las estrategias energéticas hoy en día se basan principalmente en garantizar el suministro reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero y ese objetivo se puede alcanzar mediante el uso de sistemas de generación basados en energías sostenibles como son las energías renovables y otras tecnologías que permitan evitar dichas emisiones.

#### **a. Producción local.**

Se considera microgeneradores domésticos a los que pueden producir entre 1 y 10 kW. Una turbina de 1,5 kW que recogiera vientos con una velocidad media anual de 6,5 m/s podría bastar para cubrir las necesidades energéticas de un hogar que consuma 300 kWh. Es así que, tal como lo explica detenidamente el (Departamento de Energía de Estados Unidos, 2010), las turbinas para aplicaciones residenciales pueden estar en el rango de los 400 watts y hasta los 100 kW (para cargas muy grandes), dependiendo de la cantidad de electricidad que se desee generar.

Para aplicaciones residenciales, es recomendable definir sus necesidades de energía para establecer el tamaño adecuado que se requiere. Debido a que la

eficiencia energética es más económica que la producción de energía, aplicando estas prácticas en medios de producción doméstica seguramente obtendrá mejores resultados de costo / beneficio y como consecuencia requerirá una turbina de menor tamaño.

Hay que tomar en cuenta que, un complejo doméstico y similares consume aproximadamente 9.400 kilowatts-horas al año, lo que equivale aproximadamente a 780 kWh por mes, según información recogida de la Empresa Eléctrica de Quito, por lo que dependiendo del valor de consumo se analiza el tipo de instalación para una aportación de 5 a 10 kW. De acuerdo al emplazamiento donde se requiera hacer este tipo de instalaciones, una turbina de 1.5 kW podría cubrir las necesidades de un complejo doméstico cuyo consumo promedio sea de 300 kWh al mes, dependiendo si en el lugar existen velocidades media de 7 metros por segundo anual.

La producción local doméstica de carácter eólico, mediante una instalación de tipo pequeña mediana, tiene una serie de características que debe cumplimentar para poder ser eficiente en su meta de proveer un medio auxiliar de electricidad al complejo total, siendo estas características (Sanz, 2012):

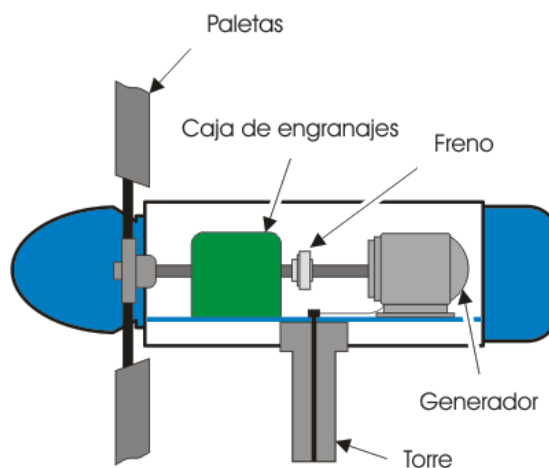
- Generación de energía próxima a los puntos de consumo, reduciendo las pérdidas de transporte (generación distribuida).
- Versatilidad de aplicaciones y ubicaciones, ligado al autoconsumo, con posibilidad de integración en sistemas híbridos, y tecnologías existentes para suelo y cubierta. [11]  
[SEP]
- Funcionamiento con vientos moderados, sin requerir complejos estudios de viabilidad.
- Aprovechamiento de pequeños emplazamientos o de terrenos con orografías complejas.

- Suministro de electricidad en lugares aislados y alejados de la red eléctrica.
- Bajo coste de operación y mantenimiento y elevada fiabilidad.
- Reducido impacto ambiental, por menor tamaño e impacto visual, <sup>[1]</sup> y por su integración en entornos humanizados.

### b. Esquemmatización y conexiones

La configuración de los sistemas eólicos de generación de electricidad para predios domésticos o de aportación baja media de electricidad al sistema general, difiere en muchos de los componentes, por cuanto no se requiere una tecnología industrial de control de velocidad del rotor, medidas de protección de las paletas, así como no se necesita una torre con una estructura fuerte y con base controlada independientemente del sistema. Es así que un sistema eólico de generación eléctrica tiene el siguiente esquema estructural (Gráfico 1.5)

**Gráfico 1.5. Esquemmatización estructural de turbina eólica.**



Fuente: Sánchez, N. (2011).

(Hulshorts & Criado, 2013), simplifican la conceptualización de cada uno de los componentes de los que está compuesto una captadora de energía eólica, explicada en la Tabla No. 1.1.

**Tabla 1.1. Conceptualización de componentes turbina eólica**

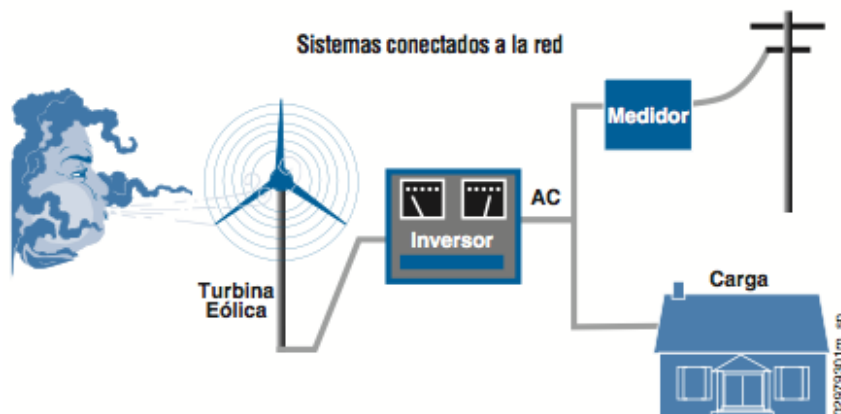
Componente	Descripción
<b>Rotor</b>	El rotor consiste en palas con formas especiales, superficies aerodinámicas. Los rotores están hechos normalmente de compuestos de fibra de vidrio, plástico reforzado o madera. La cantidad de energía que una turbina eólica producirá está determinada sobre todo por el diámetro de este rotor. El diámetro del rotor define su “área de barrido”, o la cantidad de viento interceptado por la turbina eólica.
<b>Generador</b>	El generador convierte el movimiento de rotación de las palas de la turbina eólica en electricidad. El generador puede producir corriente alterna (AC) o corriente continua (DC), y existe en un amplio rango de potencias disponibles.
<b>Caja de Cambios</b>	Muchas turbinas (particularmente aquellas por encima de los 10 kW) usan una caja multiplicadora de velocidad de giro para adaptar la velocidad del rotor a una velocidad adecuada para el generador.
<b>Góndola</b>	La góndola es el recinto que protege la caja multiplicadora, el generador y otros componentes de los elementos. La góndola se puede retirar para operaciones de mantenimiento.
<b>Sistema de Orientación</b>	El sistema de orientación alinea la turbina eólica con el viento. La mayoría de las pequeñas unidades usan una simple cola que dirige el rotor hacia el viento. Existen ciertos mecanismos especiales para desorientar la turbina en caso de vientos peligrosamente elevados.
<b>Torre</b>	<p>La torre sostiene la turbina y es, por lo tanto, una parte integrante del sistema de energía eólica. Las torres deben ser capaces de resistir rayos, vientos extremos, granizo, y formación de hielo.</p> <p>Hay dos tipos básicos de torres: autosoportadas y mantenidas mediante cables. La mayoría de las torres de sistemas de</p>

	energía eólica para sistemas domésticos son mantenidas mediante cables. Estas torres son las menos caras, pueden ser construidas con partes de celosía, tubería o tubo y los cables de soporte.
<b>Sistema de protección y control</b>	Los sistemas de control abarcan desde interruptores, fusibles y reguladores de la carga de baterías hasta sistemas computarizados de control de sistemas de orientación. La sofisticación de los sistemas de control y protección varía dependiendo de la aplicación de la turbina eólica y del sistema de energía que soporta.

Fuente: Hulshorst y Criado (2013).

El sistema de conexiones de nuestro sistema de captación eólica, viene determinado por la capacidad tecnológica que disponga el diseño, así como la capacidad de generación requerida por el predio donde será implementada. De tal manera que, un sistema de conexión general para la introducción de esquemas de obtención de energía proveniente del viento se detallan en el gráfico 1.6, donde la energía producida por la turbina eólica se direcciona a un inversor de energía del cual se obtiene Corriente Alterna, la misma que se subdivide a un medidor y posteriormente a la red eléctrica sus excedentes, y la mayoría se direcciona a la carga y uso del predio doméstico.

**Gráfico 1.6. Sistemas conectados a la red.**



Fuente: Departamento de Energía de EEUU (2010).

De igual manera se puede introducir el sistema dentro de un campo de generación de corriente continua convencional, siendo la esquematización de conexión diferente, de tal forma que en las máquinas de corriente continua convencionales, el campo está en el estator y la armadura está en el rotor. El estator comprende un número de polos que se excitan o bien por imanes permanentes o por campos de bobinas de corriente continua.

El sistema de generación de corriente continua eólico se compone de una turbina, un generador CC, un inversor IGBT (inversor transistor bipolar de puerta aislada), un transformador, un controlador, y una red eléctrica de conexión. En generación por derivación, la corriente de campo (y por lo tanto el campo magnético) aumenta con la velocidad de operación, mientras que la velocidad real de la turbina eólica está determinada por el equilibrio entre el par motor de la turbina eólica y el par de carga. Claramente, este tipo de generadores requieren un mantenimiento regular, siendo de un coste elevado debido a la utilización de conmutadores y escobillas.

Este tipo de generador solamente son de uso para situaciones de baja demanda de producción de energía, donde se encuentra cerca de medios de carga de baterías, aplicaciones de calefacción pequeñas, y obtención de par mecánico.

## **1.2 LA CAPTACIÓN DE ENERGÍA SOLAR**

### **1.2.1 Introducción**

La energía solar fotovoltaica es aquella que se obtiene por medio de la transformación directa de la energía del sol en energía eléctrica. Tal como lo detalla la Biomass Users Network (BUN-CA, 2002), esta definición de la energía solar fotovoltaica, aunque es breve, contiene aspectos importantes sobre los cuales se puede profundizar:

- La energía solar se puede transformar de dos maneras:

La primera utiliza una parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir calor. A la energía obtenida se le llama energía solar térmica. La transformación se realiza mediante el empleo de colectores térmicos. La segunda, utiliza la otra parte del espectro electromagnético de la energía del sol para producir electricidad.

A la energía obtenida se le llama energía solar fotovoltaica. La transformación se realiza por medio de módulos o paneles solares fotovoltaicos.

- La energía solar fotovoltaica se utiliza para hacer funcionar lámparas eléctricas, para iluminación o para hacer funcionar radios, televisores y otros electrodomésticos de bajo consumo energético, generalmente, en aquellos lugares donde no existe acceso a la red eléctrica convencional.
- Es necesario disponer de un sistema formado por equipos especialmente contruidos para realizar la transformación de la energía solar en energía eléctrica. Este sistema recibe el nombre de sistema fotovoltaico y los equipos que lo forman reciben el nombre de componentes fotovoltaicos.

La energía solar se encuentra disponible en todo el mundo. Algunas zonas del planeta reciben más radiación solar que otras, sin embargo, los sistemas fotovoltaicos tienen muchas aplicaciones. Biomass Users Network (BUN-CA, 2002) adicionan que la energía del sol es un recurso de uso universal; por lo tanto, no se debe pagar por utilizar esta energía. Sin embargo, es importante recordar que para realizar la transformación de energía solar en energía eléctrica se necesita de un sistema fotovoltaico apropiado. El costo de utilizar la energía solar no es más que el costo de comprar, instalar y mantener adecuadamente el sistema fotovoltaico.

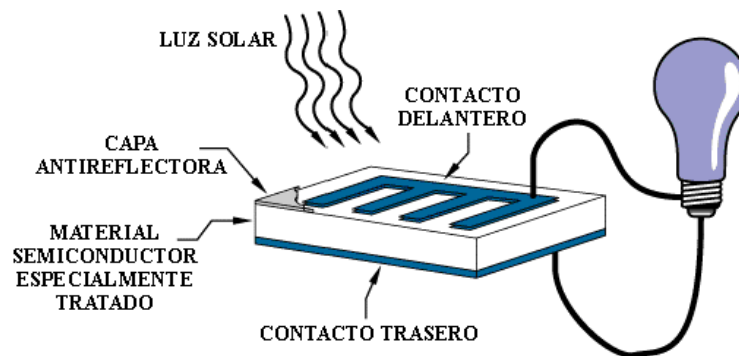
## 1.2.2 Componentes

### a. Características

La (AITE, 2012) explica que, la conversión de la radiación solar en energía eléctrica tiene lugar en la célula fotovoltaica, que es el elemento base del proceso de transformación de la radiación solar en energía eléctrica. La luz está formada por partículas, los fotones, que transportan energía. Cuando un fotón con suficiente energía golpea la célula, es absorbido por los materiales semiconductores y libera un electrón. El electrón, una vez libre, deja detrás de sí una carga positiva llamada hueco.

Por lo tanto, cuanto mayor será la cantidad de fotones que golpean la célula, tanto más numerosas serán las parejas electrón-hueco producidas por efecto fotovoltaico y por lo tanto más elevada la cantidad de corriente producida. Este procedimiento se explica en el gráfico No. 1.7.

**Gráfico 1.7. Captación energía solar fotovoltaica.**



Fuente: EcoPotencia (2010).

La energía eléctrica producida depende directamente de cuan eficiente son los módulos de captación así como la cantidad de irradiación solar que reciben, su incidencia y la tecnología de transformación de energía. (AITE, 2012) promulga además que, la radiación solar incidente en la tierra tiene un valor variable en función de la distancia entre la Tierra y el Sol, o de la latitud de la localidad donde están instalados los módulos fotovoltaicos. También es importante la inclinación

de los módulos: una correcta inclinación influye mucho en la cantidad de energía solar captada y por lo tanto en la cantidad de energía eléctrica producida.

La presencia de la atmósfera, finalmente, implica una serie de fenómenos sobre la radiación incidente, entre los cuales el efecto de filtro que reduce considerablemente la intensidad de la radiación en el suelo y la fragmentación de la luz. Se calcula aproximadamente que un metro cuadrado de módulos fotovoltaicos de buena calidad, puede producir de media 180 KWh al año (0,35 KWh al día en periodo invernal, y 0,65 KWh. al día en periodo estival).

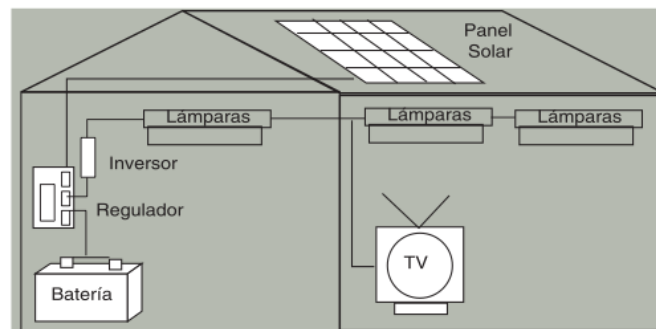
### **b. Diseño**

(BUN-CA, 2002) establece que el diseño de un sistema solar fotovoltaico está compuesto por un conjunto de equipos construidos e integrados especialmente para realizar cuatro funciones fundamentales:

- Transformar directa y eficientemente la energía solar en eléctrica.
- Almacenar adecuadamente la energía eléctrica generada.
- Proveer la energía producida (el consumo) y almacenada.
- Utilizar eficientemente la energía producida y almacenada

En el mismo orden antes mencionado, los componentes fotovoltaicos encargados de realizar las funciones respectivas (Gráfico 1.8) son:

**Gráfico 1.8. Diseño de sistema solar fotovoltaico.**



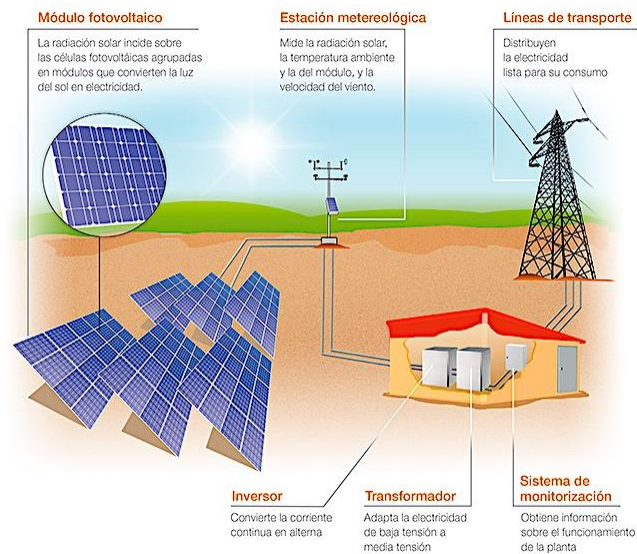
Fuente: AITE (2012).

- El módulo o panel fotovoltaico.
- La batería.
- El regulador de carga.
- El inversor.
- Las cargas de aplicación (el consumo)

Independientemente de su diseño interno, los sistemas fotovoltaicos pueden estar dispuestos de forma que estén conectados a la red eléctrica general, o como sistemas aislados para funciones indicadas como la utilización directa para encendido de luminarias y componentes electrónicos de eficiencia eléctrica elevada.

(ITER, 2012) señala que los sistemas conectados a la red están permanentemente conectados a la red eléctrica nacional. En las horas de irradiación solar escasa o nula, cuando el generador fotovoltaico no produce energía suficiente para cubrir la demanda de electricidad, es la red que proporciona la energía necesaria. Viceversa, si durante las horas de irradiación solar el sistema fotovoltaico produce más energía eléctrica de la que se gasta, el exceso se transfiere a la red.

**Gráfico 1.9. Sistema Fotovoltaico grid connected**



Fuente: SunEdison (2012).

Los sistemas aislados se utilizan normalmente para proporcionar electricidad a los usuarios con consumos de energía muy bajos para los cuales no compensa pagar el coste de la conexión a la red, y para los que sería muy difícil conectarlos debido a su posición poco accesibles: ya a partir de distancia de más de 3 Km de la red eléctrica, podría resultar conveniente instalar un sistema fotovoltaico para alimentar una vivienda.

(ITER, 2012) además enuncia que en los sistemas fotovoltaicos aislados es necesario almacenar la energía eléctrica para garantizar la continuidad de la erogación incluso en los momentos en los que no es producida por el generador fotovoltaico.

La energía es acumulada en una serie de baterías recargables, las mismas que están dimensionadas para proveer la cantidad de energía necesaria por los consumidores durante el tiempo que la celda fotovoltaica no produzca energía. (ITER, 2012) explica que en los sistemas aislados hace falta instalar también un regulador de carga, que fundamentalmente sirve para preservar las baterías de un exceso de carga del generador fotovoltaico y de un exceso de descarga debido a la utilización. Ambas condiciones son nocivas para la correcta funcionalidad y la duración de los acumuladores.

**Gráfico 1.10. Sistema Fotovoltaico Aislado**



Fuente: Arquistal, UNLP (2011).

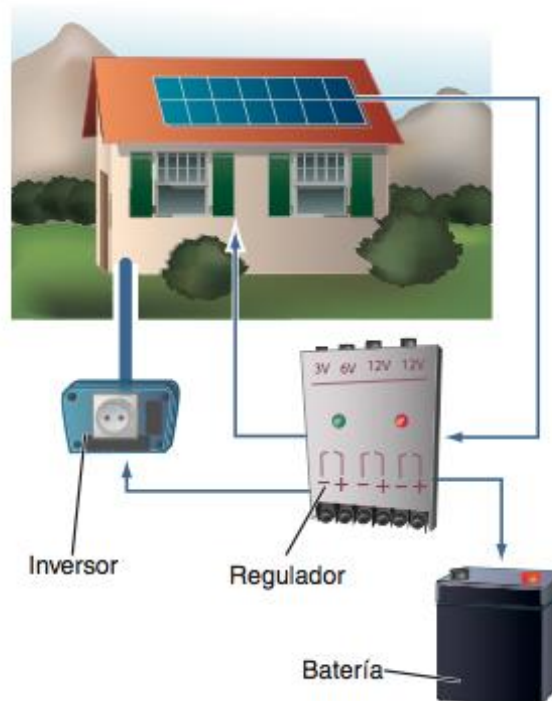
En los sistemas aislados es necesario que el generador fotovoltaico esté dimensionado de la manera que permita, durante las horas de irradiación solar,

tanto la alimentación de la cantidad de energía necesaria, como la recarga de las baterías de acumulación.

### c. Composición

Una vez identificados los diferentes diseños disponibles de captación de energía solar fotovoltaica, es necesario comprender el funcionamiento de cada uno de sus componentes, siendo estos: los módulos fotovoltaicos, el regulador de carga, las baterías y el inversor de corriente.

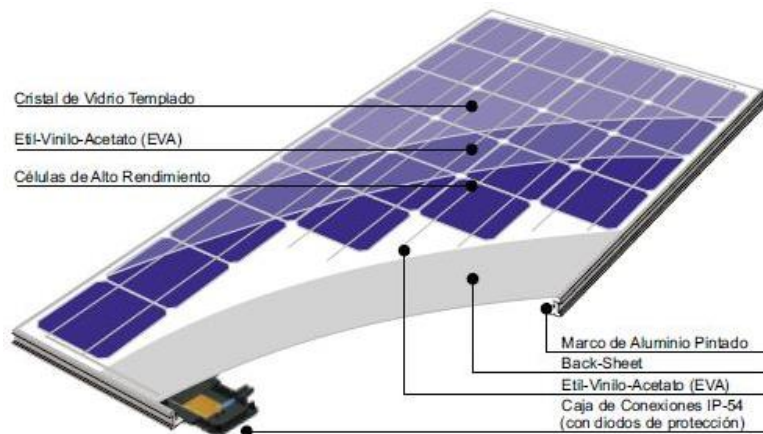
**Gráfico 1.11. Composición de sistema fotovoltaico**



Fuente: Díaz y Carmona (2010).

Tal como lo describe (BUN-CA, 2002), la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica se realiza en un equipo llamado módulo o panel fotovoltaico. Los módulos o paneles solares (Gráfico 1.12) son placas rectangulares formadas por un conjunto de celdas fotovoltaicas protegidas por un marco de vidrio y aluminio anodizado.

**Gráfico 1.12. Módulo fotovoltaico típico**



Fuente: BUN-CA (2002).

La Biomass Users Network (2002) agrega que “una celda fotovoltaica es el componente que capta la energía contenida en la radiación solar y la transforma en una corriente eléctrica, basado en el efecto fotovoltaico que produce una corriente eléctrica cuando la luz incide sobre algunos materiales.” (p. 7).

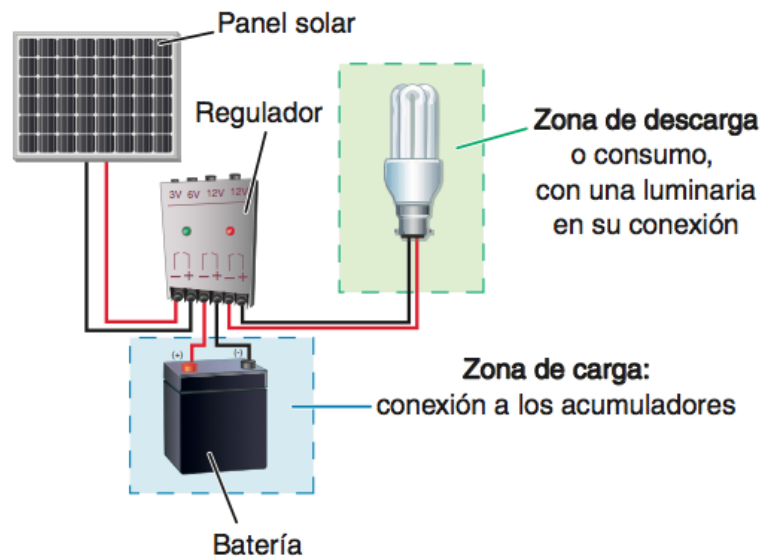
Las celdas fotovoltaicas son hechas principalmente de un grupo de minerales semiconductores, de los cuales el silicio, es el más usado. El silicio se encuentra abundantemente en todo el mundo porque es un componente mineral de la arena. Sin embargo, tiene que ser de alta pureza para lograr el efecto fotovoltaico, lo cual encarece el proceso de la producción de las celdas fotovoltaicas.

A partir de la conformación de las celdas solares, es necesario paralelamente como en todo esquema eléctrico eficiente, indicar un sistema de regulación de la carga, ya que al ser una fuente no controlable a lo largo del tiempo, podrían existir cargas y sobrecargas de la batería, lo que ocasionaría que la vida útil de la batería se disminuya.

Para (Díaz & Carmona, 2010) el regulador trabaja por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de

descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería, tal como se ejemplifica en gráfico 1.13.

**Gráfico 1.13. Conexiones de regulador.**



Fuente: Díaz y Carmona (2010).

Los tipos de reguladores que se utilizan en las instalaciones de tipo fotovoltaica dependen del dimensionado de la instalación solar de forma que se garantice el suministro de energía tanto en la mejores situaciones de luminosidad, así como en aquellas en las que la luminancia se reduce por efectos de radiación, situaciones meteorológicas adversas, y cumplimiento normativo. Es así que la clasificación de los reguladores se expone en la tabla No. 1.2.

**Tabla 1.2. Clasificación de los reguladores por función.**

Concepto de funcionamiento	Tipo de Regulador
Según tecnología del interruptor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relé electromecánico</li> <li>• Estado sólido (MOSFET, IGBT)</li> </ul>
Según estrategia de desconexión del consumo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por tensión.</li> <li>• Por algoritmos de cálculo del estado de carga.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por otros algoritmos de gestión de energía</li> </ul>
<b>Según posición del interruptor de control de generación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conexión en serie.</li> <li>• Conexión en paralelo.</li> </ul>

Fuente: Díaz y Carmona (2010).

Posterior a la introducción del regulador, es necesario disponer de almacenadores de energía, baterías. Tal como lo analiza (Díaz & Carmona, 2010), las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica. El funcionamiento en una instalación fotovoltaica será el de en primera instancia la generación eléctrica, tras lo cual ésta pasa por el regulador hacia el almacenamiento en baterías, para finalmente llegar al consumo por componentes eléctricos.

Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un regulador de carga, y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida.

Tres son las misiones que tienen las baterías en las instalaciones fotovoltaicas:

- Almacenar energía durante un determinado número de días.
- Proporcionar una potencia instantánea elevada.
- Fijar la tensión de trabajo de la instalación.

Uno de los parámetros más importantes que tener en cuenta a la hora de elegir un acumulador es la capacidad. (Díaz & Carmona, 2010) define a la capacidad de la batería como la cantidad de electricidad que puede lograrse en una descarga completa del acumulador partiendo de un estado de carga total del mismo. Se mide en amperios hora (Ah), y se calcula como el producto de la intensidad de descarga del acumulador durante el tiempo en el que está actuando:  $C = t I$ .

La capacidad de descarga que posee una batería está determinada por el material del cual están compuestas las celdas y los electrolitos usados, es así que en la tabla 1.3 se determina la tensión por espacio de carga, el tiempo de recarga, el Número promedio de ciclos que soporta y la capacidad por tamaño que presenta.

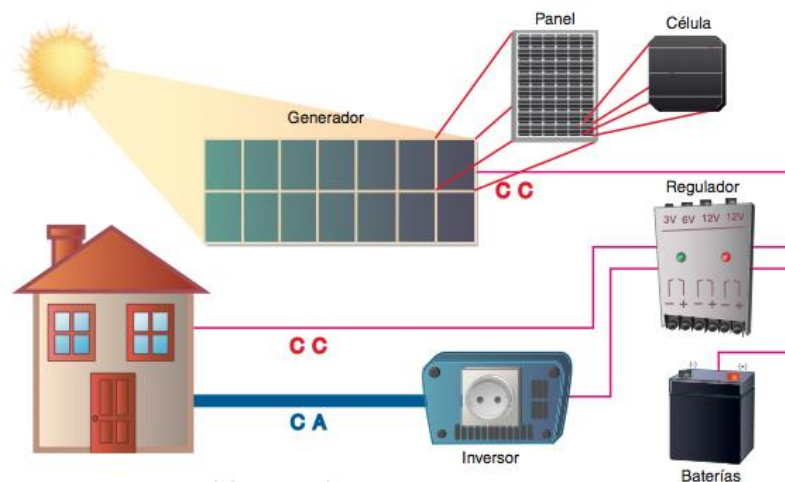
**Tabla 1.3. Clasificación de los reguladores por función.**

Tipo de Batería	Tiempo de descarga	Autodescarga por mes	No. De ciclos	Capacidad
Plomo-ácido	8 – 16 horas	< 5%	Medio	30-50 Wh/kg
Níquel cadmio	1 hora	20%	Elevado	50- 80 Wh/kg
Níquel-metal hyd	2 – 4 horas	20%	Medio	60-120 Wh/kg
Li ion (ión litio)	2 – 4 horas	6%	bajo	110-160 Wh/kg

Fuente: Díaz y Carmona (2010).

Como elemento final de la instalación solar fotovoltaica nos encontramos en el inversor, tal como lo señala (Díaz & Carmona, 2010), el inversor es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a red, y estará presente en la mayoría de instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas. La esquematización de conexión del inversor se expresa en el gráfico 1.14.

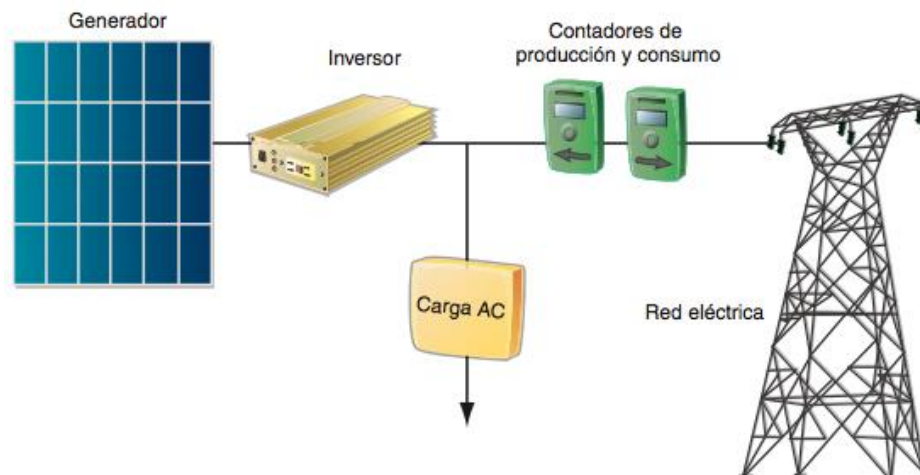
**Gráfico 1.14. Instalación solar autónoma con inversor**



Fuente: Díaz y Carmona (2010).

Como se enunció anteriormente, existe la posibilidad que el sistema de captación pueda ser conectado a la red general de electricidad, con la finalidad de aprovechar los excedente producidos, y que en momentos en los cuales el sistema de captación fotovoltaico no funcione, la red general pueda proveer de energía al predio, tal como se indica en el gráfico 1.15.

**Gráfico 1.15. Instalación fotovoltaica conectada a la red**



Fuente: Díaz y Carmona (2010).

Finalmente, haciendo referencia a (BUN-CA, 2002), un sistema fotovoltaico incluye las cargas o aparatos eléctricos que se van a utilizar y que consumen la corriente generada o almacenada. Los ejemplos más comunes son lámparas, radios, televisores y teléfonos celulares para uso doméstico; y bombas y motores, para usos productivos.

La selección de estas cargas es tan importante como la del resto de equipos fotovoltaicos; por ello, hay dos aspectos por considerar cuando se utilizan aparatos que se energizarán a través de un sistema fotovoltaico:


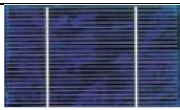

- El consumo diario de energía del conjunto de aparatos eléctricos no debe sobrepasar la cantidad de energía diaria producida por el sistema fotovoltaico.

- La necesidad de utilizar aparatos a 120 V determina la instalación o no de un inversor: Es importante tener en cuenta el tipo de energía que necesitan los aparatos eléctricos que se van a utilizar con el fin de determinar si se necesita o no un inversor.

### 1.2.3 Tipos de captadores de radiación solar.

Actualmente, la constitución de los paneles solares está realizado de Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino) y de Silicio amorfo. El rendimiento de estos materiales se ve determinado en la tabla 1.4

**Tabla 1.4. Diferenciación de paneles solares por composición**

Células	Silicio	Rendimiento por laboratorio	Rendimiento Directo	Características	Fabricación
	Mono-cristalino	24%	15 – 18%	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Poli-cristalino	19-20%	12 – 14%	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16%	<10%	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Fuente: Díaz y Carmona (2010).

La diferencia existente en cuanto al por laboratorio, el rendimiento directo se ve influenciado por la forma del cristal del que están conformados los paneles, tomando en cuenta adicionalmente el marco de aluminio, el vidrio que sirve de

recubrimiento para las células solares como disposición contra los fenómenos atmosféricos, el método de encapsulamiento, siendo importante la utilización de medios de prevención a la abrasión, la humedad y los rayos UV, así como el conexionado interno del panel, que puede ser en serie o paralelo. Este último aspecto de diseño es fundamental para prever su asociación desde el punto de vista eléctrico, para la obtención del adecuado nivel de tensión e intensidad para el que se le escogió.

#### **1.2.4 Potencia de radiación solar. Curva de potencia**

La Biomass Users Network (2002) determina que, en términos de potencia, la capacidad energética nominal de los módulos fotovoltaicos se indica en vatios-pico (Wp), lo cual indica la capacidad de generar electricidad en condiciones óptimas de operación.

La capacidad real de un módulo fotovoltaico difiere considerablemente de su capacidad nominal, debido a que bajo condiciones reales de operación la cantidad de radiación que incide sobre las celdas es menor que bajo condiciones óptimas. Por ejemplo, un módulo de 55 Wp es capaz de producir 55 W más o menos un 10% de tolerancia cuando recibe una radiación solar de 1.000 vatios por metro cuadrado (W/m<sup>2</sup>) y sus celdas poseen una temperatura de 25 °C. En condiciones reales, este mismo módulo produciría una potencia mucho menor que 55 W.

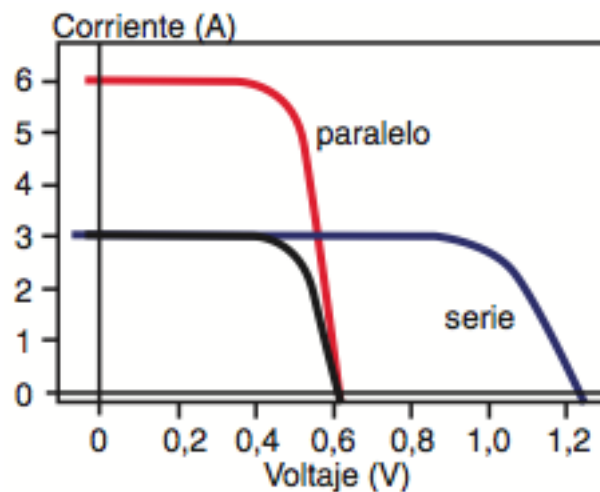
A estos parámetros técnicos, (Díaz & Carmona, 2010) complementan que, la potencia que proporciona una célula de tamaño estándar (digamos de 10 x 10 cm) es muy pequeña (en torno a 1 o 2 W), por lo que generalmente será necesario tener que asociar varias de ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico de la instalación. Es de este hecho de donde surge el concepto de panel solar o módulo fotovoltaico.

Debido al tipo de conexiones, para el conocimiento de la potencia se debe partir de que:

- La conexión en serie de las células permitirá aumentar la tensión final en los extremos de la célula equivalente.
- La conexión en paralelo permitirá aumentar la intensidad total del conjunto.

Dependiendo de las características que se pretenden obtener, por lo general se siguen diagramas Corriente vs Voltaje, las mismas que nos proveen una idea clara de la conexión necesaria de acuerdo a cada diseño (Gráfico 1.16)

**Gráfico 1.16. Curva característica de diseño**



Fuente: Díaz y Carmona (2010).

La elección apropiada del tipo y capacidad del módulo fotovoltaico depende de las características propias de la instalación fotovoltaica, tales como radiación solar existente y consumo energético requerido.

Para comprender las curvas características, y la potencia determinada que proveen los paneles solares, es necesario además poder indicar los principales parámetros de comprensión que participan en las gráficas de I-V, tal como se analiza en la tabla 1.5.

**Tabla 1.5. Principales parámetros de las características de I-V**

<b>Parámetro</b>	<b>Característica</b>
<b>Corriente de cortocircuito (Isc)</b>	Es la máxima corriente que producirá el dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a un voltaje igual a cero.
<b>Voltaje de circuito abierto (Voc)</b>	Es el máximo voltaje del dispositivo bajo unas condiciones definidas de iluminación y temperatura, correspondientes a una corriente igual a cero.
<b>Potencia máxima (Pmáx)</b>	Es la máxima potencia que producirá el dispositivo en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura, correspondiente al par máximo I-V.
<b>Corriente en el punto de máxima potencia (Ipmp)</b>	Es el valor de la corriente para Pmáx en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura.
<b>Voltaje en el punto de máxima potencia (Vpmp)</b>	Es el valor de voltaje para Pmáx en unas condiciones determinadas de iluminación y temperatura.
<b>Factor de forma (FF)</b>	Es el valor correspondiente al cociente entre Pmáx y el producto de Isc x Voc. Puede venir expresado en tanto por ciento o tanto por 1, siendo el valor 100% el que corresponderá a un hipotético perfil de cuadrado, no real. Nos da una idea de la calidad del dispositivo fotovoltaico, siendo éste tanto mejor cuánto más alto sea su factor de forma.

Fuente: Fernández (2009).

Generalmente las células dentro del módulo fotovoltaico se asocian en serie, con el fin de obtener unos valores de voltaje más apropiados para su conexión a distintas cargas o a una batería (el voltaje de una célula estándar suele ser de unos 0.6V), tal como explica Fernández (2009). El voltaje total del módulo dependerá, por tanto, del número de células asociadas en serie. Por el contrario, la corriente

que podemos obtener del módulo fotovoltaico va a depender básicamente del tipo y tamaño de células (suponiendo que no haya células conectadas en paralelo en el interior del módulo).

Para la relación de los parámetros anteriormente explicados, se utiliza la ecuación característica de la captación de energía fotovoltaica, la misma que describe a la curva característica con suficiente precisión mediante:

$$I = I_l - I_0 \left( \exp \left( \frac{V + IR_s}{mv_t} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p}$$

donde

$I_l$  es la corriente fotogenerada,

$I_0$  es la corriente inversa de saturación,

$V_t$  es el voltaje térmico,

$m$  es el factor de idealidad,

$R_s$  es la resistencia serie,

$R_p$  es la resistencia paralelo

Suponiendo que la configuración del panel sería con un número de células constituyentes cuyo módulo fuera igual, tal como lo explica Fernández (2009), la corriente generada por el módulo sería igual a la corriente de la célula multiplicada por el número de células en paralelo, y el voltaje sería igual al voltaje de la célula multiplicado por el número de células en serie:

$$I_{mod} = I_c * N_p$$

$$V_{mod} = V_c * N_s$$

Teniendo en cuenta esto, podemos realizar una combinación de todas las ecuaciones para la obtención de una ecuación final característica que interprete el funcionamiento de los paneles solares con células iguales, que son los diseños normalizados más utilizados, quedando la ecuación característica de la siguiente manera:

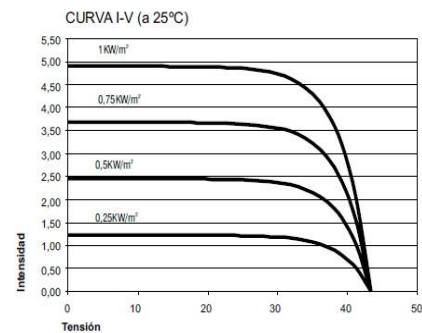
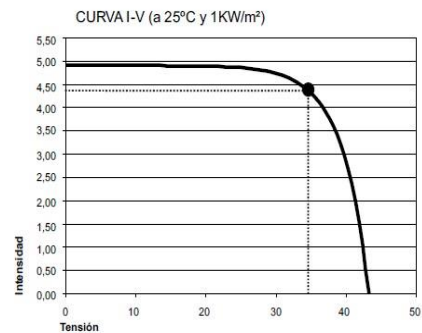
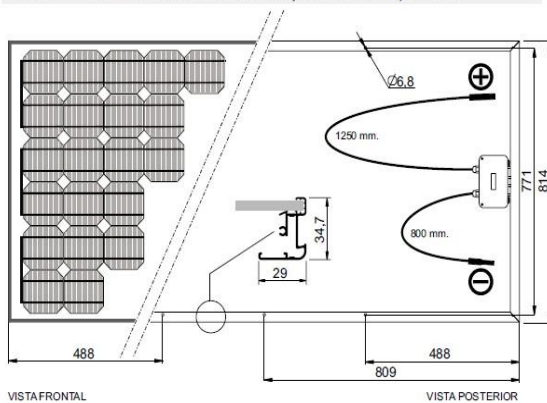
$$I = Np * \left( I_l - I_0 \left( \exp \left( \frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} \right) - 1 \right) - \frac{V}{N_s} + \frac{IR_s}{N_p} \right) R_p$$

En la práctica esta es la forma correcta de caracterizar un panel fotovoltaico, aunque en ocasiones sea necesario utilizar la primera ecuación, donde se presentan los parámetros característicos del módulo. De esta forma, en la fase de diseño podremos seleccionar el mejor sistema, que cubra las necesidades de producción que necesitamos, a partir de gráficas y tablas como las expresadas en el Gráfico 1.17.

**Gráfico 1.17. Curva características paneles solares fotovoltaicos**

CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	A-130M	A-140M	A-150M
Potencia (W en prueba -2+5 %)	130 W	140 W	150 W
Número de células en serie	72	72	72
Corriente Punto de Máxima Potencia (Imp)	4,00 A	4,20 A	4,40 A
Tensión Punto de Máxima Potencia (Vmp)	32,50 V	33,40 V	34,00 V
Corriente en Cortocircuito (Isc)	4,55 A	4,70 A	4,80 A
Tensión de Circuito Abierto (Voc)	41,40 V	42,90 V	43,00 V
Coefficiente de Temperatura de Isc (α)	2,00 mA/°C	2,00 mA/°C	2,00 mA/°C
Coefficiente de Temperatura de Voc (β)	-194,40 mV/°C	-194,40 mV/°C	-194,40 mV/°C
Máxima Tensión del Sistema	700 V	700 V	700 V
<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS</b>			
Dimensiones (mm.)	1618x814x35	1618x814x35	1618x814x35
Peso (aprox.)	14,80 Kg.	14,80 Kg.	14,80 Kg.

Especificaciones eléctricas medidas en STC. T0NC. 47±2°C  
 NOTA: Los datos contenidos en esta documentación están sujetos a modificación sin previo aviso.



Fuente: Díaz y Carmona (2010)

### 1.2.5 Parámetros de dimensionamiento de captación solar fotovoltaica

Para poder seleccionar, dentro del sistema solar fotovoltaico, correctamente el número de paneles solares a utilizarse, el banco de baterías para el almacenamiento de la energía sobrante por producción de hibridación, así como para conocer las características del inversor a ser utilizadas y su unidad de control, independientemente de la tecnología que dispongan, cuyos valores característicos vienen dados por el fabricante, es necesario seguir una serie de procedimientos de cálculo para:

- Determinación de las cargas en Corriente Continua.
- Determinación de las cargas en Corriente Alterna.
- Corriente pico del módulo

El cálculo de estos valores se ve determinado bajo la aplicación de fórmulas, las mismas que se detallan dentro de la tabla No. 1.6

**Tabla 1.6. Parámetros iniciales de dimensionamiento fotovoltaico**

Parámetro	Característica
<b>Energía consumida por unidad en Corriente Continua</b>	$Energía_{CC} = \Sigma(\#disp) \cdot (P) \cdot (Uso) \quad \text{Ec. 1.1}$ <p>donde,            #dispositivos = número de unidades de consumo,            P = Potencia en Watts de la unidad,            Uso = número de horas/día de uso de la unidad.</p>
<b>Energía consumida por unidad en Corriente Alterna</b>	$Energía_{CA} = \Sigma(\#disp) \cdot (P) \cdot (Uso) \quad \text{Ec. 1.2}$ <p>donde,            #dispositivos = número de unidades de consumo,            P = Potencia en Watts de la unidad,            Uso = número de horas/día de uso de la unidad.</p>

Factor del inversor	$Fact_{inv} = 1, 2$	Ec. 1.3
Carga diaria CA equivalente en CC	$Energía_{CA-CC} = Energía_{CA} \cdot Fact_{inv}$	Ec. 1.4
Carga Máxima Pico	$Carga_{maxCA} = \Sigma(\#disp) \cdot (P)$ donde, #dispositivos = número de unidades de consumo, P = Potencia en Watts de la unidad,	Ec. 1.5
Carga diaria CC	$Carga_{CC-día} = Energía_{CC}$	Ec. 1.6
Carga CC total diaria	$Carga_{CC-Total} = Energía_{CC} + Energía_{CA-CC}$	Ec. 1.7
Carga diaria corriente CC	$I_{CC-total} = \frac{Carga_{CC-Total}}{V}$	Ec. 1.8
Factor de seguridad (pérdidas del sistema)	$Fact_{seg} = 1, 2$	Ec. 1.9
Carga corriente corregida	$I_{real} = I_{CC-total} \cdot Fact_{seg}$	Ec. 1.10
Corriente pico del Sistema	$I_{pico} = \frac{I_{real}}{Radiación\ directa}$	Ec. 1.11

Fuente: CONELEC (2008).

Una vez identificados los parámetros iniciales de dimensionamiento de la captación solar fotovoltaica, se procede al dimensionamiento físico de la cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios para su generación, el número de baterías de respaldo y almacenamiento de energía, así como el dimensionamiento del inversor a ser utilizado, a través de la aplicación de las fórmulas indicadas en la Tabla 1.7.

**Tabla 1.7. Dimensionamiento físico de implementos de captación fotovoltaica**

DIMENSIONAMIENTO MÓDULO FOTOVOLTAICO	
Parámetro	Característica
Arreglo de módulos fotovoltaicos	$Fact_{módulos} = \frac{I_{pico}}{I_{módulo}}$ $I_{módulo}$ viene en información del fabricante.

<b>Relación CC sistema – módulo</b>	$Fact_{Vcc} = \frac{V_{sistema}}{V_{módulo}}$ $V_{módulo}$ viene en información del fabricante.	<b>Ec. 1.13</b>
<b>Número total de módulos</b>	$Módulos = Fact_{módulos} \cdot Fact_{Vcc}$	<b>Ec. 1.14</b>
<b>DIMENSIONAMIENTO BANCO DE BATERÍAS</b>		
<b>Parámetro</b>	<b>Característica</b>	
<b>Capacidad Nominal Banco Baterías</b>	$Capac_{nom} = I_{real} \cdot \#días_{reserva}$ $\#días_{reserva}$ viene dado por fabricante	<b>Ec. 1.15</b>
<b>Capacidad corregida</b>	$Capac_{real} = \frac{Capac_{nom}}{Profundidad\ descarga}$ $Profundidad\ descarga$ por información del fabricante.	<b>Ec. 1.16</b>
<b>Arreglo de baterías en paralelo</b>	$Fact_{bat-parl} = \frac{Capac_{real}}{Capac_{batería}}$ $Capac_{batería}$ viene en información del fabricante.	<b>Ec. 1.17</b>
<b>Número de baterías en serie</b>	$Bat_{serie} = \frac{V_{sistema}}{V_{nominal-batería}}$ $V_{nominal-batería}$ viene en información del fabricante.	<b>Ec. 1.18</b>
<b>Número total de baterías</b>	$Bat_{total} = Fact_{bat-parl} \cdot Bat_{serie}$	<b>Ec. 1.19</b>

Fuente: CONELEC (2008).

### 1.3 SISTEMAS HÍBRIDOS EÓLICOS – FOTOVOLTAICOS.

#### 1.3.1 Demanda energética promedio. Características

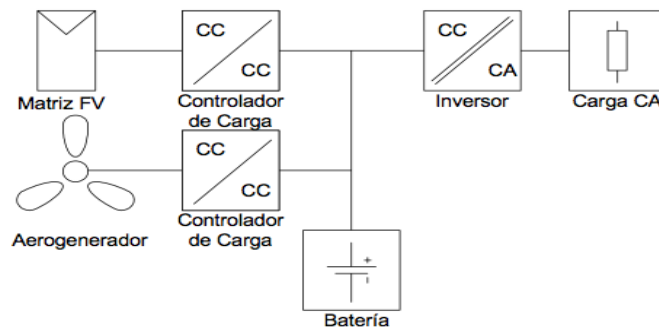
Tal como lo detalla su nombre, los sistemas híbrido de producción energética a base de fuentes de energía renovable no convencional, son esquematizaciones que utilizan dos o más fuentes de energía, las mismas que pueden ser de tipo solar térmica, solar – fotovoltaica, eólico fotovoltaica, entre otras que se integran para proveer la potencia eléctrica a la demanda disponible. Además se establece que los sistemas híbridos deben suplir las necesidades de una demanda energética promedio, entendiéndose a esta terminología como la totalidad de la energía que el emplazamiento requiere de manera mínima para su funcionamiento correcto y

desenvolvimiento de las actividades productivas dentro de ella. Los sistemas híbridos tienen una amplia extensión de uso en proyectos de medio bajo alcance para suplir las necesidades de la demanda energética promedio, gozando de una popularidad relativa en las instalaciones domésticas.

En el caso de un sistema híbrido eólico – fotovoltaico (Gráfico 1.18), la configuración típica se detalla de la siguiente manera:

- Dos o más unidades de generación eléctrica renovable no convencional, una de captación eólica y una segunda de obtención de energía fotovoltaica.
- Sistema de almacenaje de energía, mediante una red de mantenimiento por baterías.
- Sistema acondicionador de potencia con inversores, rectificadores, reguladores de carga, etc.
- Sistema automático de control y regulación de carga y sobrecarga.

**Gráfico 1.18. Sistema de generación híbrido eólico fotovoltaico**



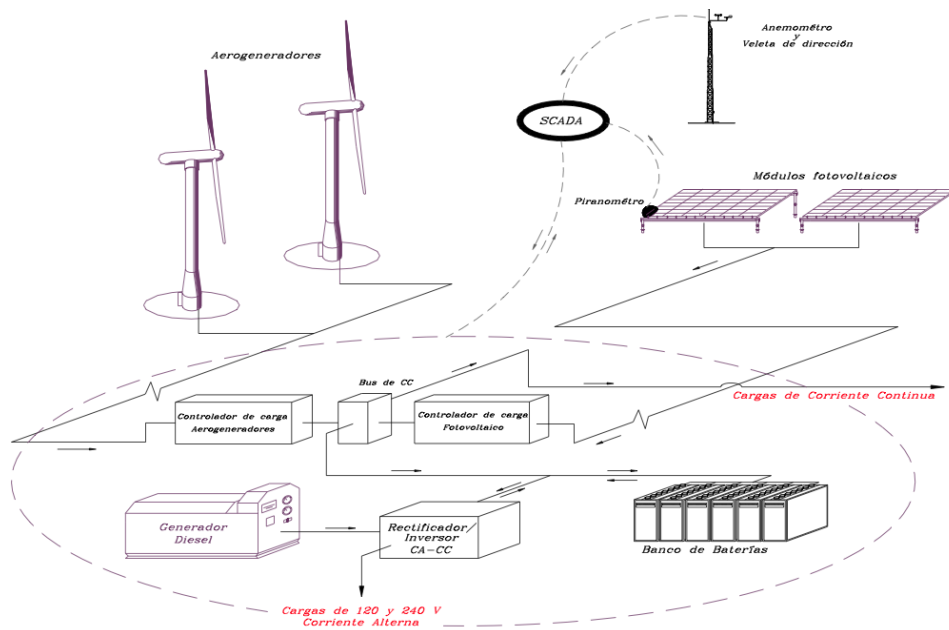
Fuente: Delgado, Monge y Farrerons (2005)

(Escudero, 1998) indica que “los sistemas autónomos híbridos basados en generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento por medio de baterías son una opción para la alimentación de pequeñas y medianas cargas en emplazamientos remotos. Para dimensionar un sistema híbrido es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción o fiabilidad”.

### 1.3.2 Principios de dimensionamiento de un sistema híbrido.

El principio original sobre el que se fundamenta la conjunción de sistemas de captación es la intermitencia que se puede originar en base al cambio de características meteorológicas que se pueden presentar en el ambiente de instalación. Debido a este problema persistente, antes de construir un sistema con la unión de una fuente de captación eólica y una de radiación fotovoltaica, se han de dimensionar correctamente los componentes individuales del sistema evaluando la operación bajo los diferentes modos de actuación, y bajo ciertas condiciones locales del emplazamiento donde será aplicado. La configuración básica híbrida se expone en el gráfico 1.19.

**Gráfico 1.19. Configuración normal híbrida de emplazamiento**



Fuente: Huacuz, J. (2010)

Para la disposición de los diferentes sistemas dentro del emplazamiento, es de gran ayuda utilizar la proporción máxima de energía renovable, pero hay que tener en cuenta factores como la disposición física del lugar de instalación, la durabilidad del conjunto, y sobre todo el dimensionamiento en base al apoyo de fuentes convencionales de energía, cuando el parámetro de intermitencia sobrepase los niveles aceptados en la oferta de energía renovables.

(Herrera, 2011) agrega que, los sistemas híbridos de este tipo optimizan las mejores condiciones del viento y el sol, contemplándose entre sí. Los días fríos y de viento, normalmente nubosos, apenas permiten aprovechar la luz solar, mientras que son ideales para los aerogeneradores. Por su parte, los días de anticiclón suelen provocar cielos despejados con poco viento, y por tanto, más adecuados para las placas fotovoltaicas.

### **1.3.3 Modos de trabajo en sistemas híbridos eólico – fotovoltaicos.**

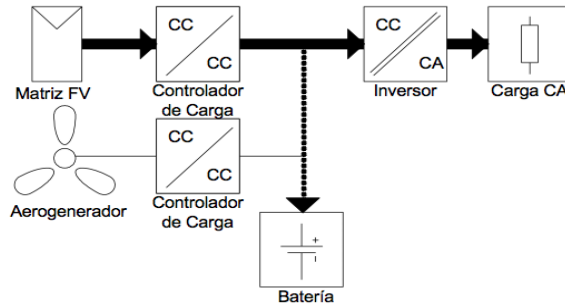
La disposición de trabajo con la que se desarrolle la generación dentro de los sistemas híbridos está impuesto por la cantidad de energía entregada por cada uno de los subsistemas de los que está compuesto (eólico - fotovoltaico), y la demanda que da la batería para mantener un nivel de generación por sobre el 80% del estimado para su esquema. En este sentido, el sistema de control determina cual será la fuente energética principal, en qué momento existe el cambio de estado y prioridad, así como cual dispondrá de una mayor presencia dentro del período de tiempo que se analice.

Es así que, a partir del principio de entrega de los subsistemas, existen 3 modos de funcionamiento del sistema híbrido de generación eléctrica. En el modo 1, tal como lo señala (Delgado, Monge, & Farrerons, 2011), en el emplazamiento actual de los paneles se dispone de más energía solar que eólica, por este motivo se considera el generador fotovoltaico como principal.

El primer modo de funcionamiento (Gráfico 1.20) consiste cuando se genera suficiente energía proveniente de los módulos fotovoltaicos para alimentar la carga y la batería está al cien por cien de la carga. En el caso en el que la batería no este al nivel de carga máximo se iniciará el proceso de carga. (Delgado, Monge, & Farrerons, 2011) agregan que, el sistema se mantiene en este modo hasta que la energía solicitada por la carga exceda del límite disponible por los

paneles fotovoltaicos. Momento en que se pasaría al modo 2, activando el aerogenerador.

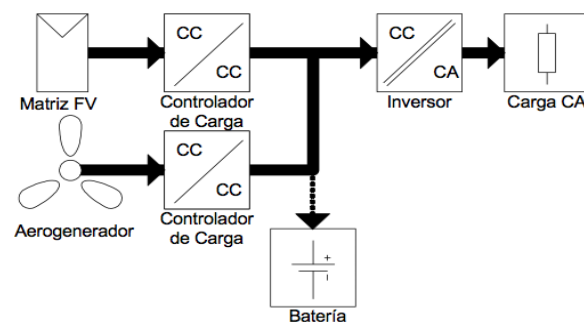
**Gráfico 1.20. Modo 1 de funcionamiento sistema híbrido**



Fuente: Delgado, Monge y Farrerons (2011)

El modo 2 (Gráfico 1.21) se activa cuando la generación fotovoltaica no es suficiente para el mantenimiento de la carga del sistema de almacenamiento. (Delgado, Monge, & Farrerons, 2011) apuntan “cuando la carga exigida sobrepase a la potencia capaz de suministrar por la matriz fotovoltaica y el aerogenerador, la batería actuará como fuente de energía pasando al modo 3.” (p. 76)

**Gráfico 1.21. Modo 2 de funcionamiento sistema híbrido**



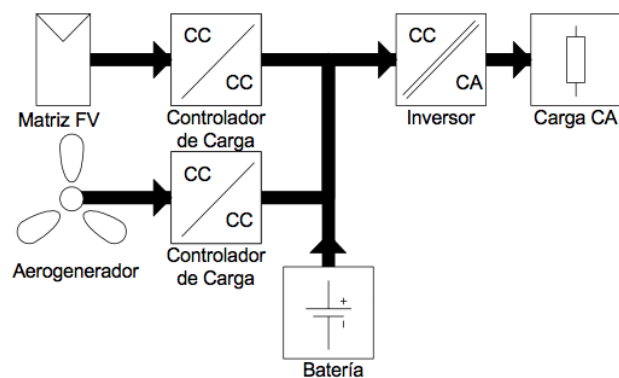
Fuente: Delgado, Monge y Farrerons (2011)

En el último modo de funcionamiento, el sistema se encuentra obligado a la activación de sistema de alimentación como fuente original de energía. Este procedimiento sucede cuando ni la energía procedente de las células fotovoltaicas, ni la de captación eólica, son capaces de proponer la carga demandada. El tiempo

de activación del modo 3 se ve afectado por el nivel de carga de la batería, así como de la cantidad de energía por hora que es capaz de proveer.

(Delgado, Monge, & Farrerons, 2011) concluyen que, llegado un punto en el que el nivel de carga de la batería sea inferior a un nivel mínimo prefijado, se cortará el suministro eléctrico de la carga, y se continuaría con la carga de la batería para evitar daños en esta. No es usual que se entre en este modo de fallo del sistema. En el caso en que se dispusiera nuevamente de energía eólica se pasaría al modo 2, y en el caso en que aumentara el nivel de radiación se pasaría al modo 1.

**Gráfico 1.22. Modo 3 de funcionamiento sistema híbrido**



Fuente: Delgado, Monge y Farrerons (2011)

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **2.1. Modalidad de la Investigación.**

La modalidad de la presente investigación se desarrolla dentro del método hipotético – deductivo, el mismo que nos permite el planteamiento de hipótesis o preguntas directrices que se pueden analizar deductiva o inductivamente para una posterior comprobación experimental, con lo que se logra una relación directa entre la teoría y la realidad del fenómeno. Paralelamente a este método, se aplicará la formulación empírica ya que al tratarse de una investigación de origen técnico su fundamento radica en la percepción directa del objeto de investigación, para lo cual se respaldaría con la observación científica y la medición del fenómeno.

La observación científica provee la determinación directa de la caracterización sectorial dentro de su curso natural, sin la alteración de las condiciones naturales, es decir que la observación tiene un aspecto contemplativo donde, dentro de nuestra investigación, nos permitirá identificar el uso de energías renovables no convencionales dentro de medio domésticos, además de señalar la potencialidad de la incidencia de la radiación solar fotovoltaica, del nivel eólico y su conjunción final.

Complementario a la observación, es necesario la aplicación de una medición del fenómeno, tomando en cuenta una metodología que prevenga en gran medida la incertidumbre dentro de las herramientas de medición. Este proceso se desarrolla con la finalidad de obtener la información numérica acerca de una propiedad o cualidad del objeto o fenómeno, donde se comparan magnitudes medibles y conocidas, es decir, es la atribución de valores numéricos a las propiedades de los objetos.

## **2.2. Tipo de Investigación.**

El tipo de investigación a utilizar es de tipo bibliográfica en conjunto con un estudio exploratorio del sector. La recopilación de información bibliográfica permitirá establecer un punto de partida desde documentación ya establecida, donde el tema de energías renovables es de un carácter muy amplio, y existen una gran cantidad de documentación tanto a nivel nacional e internacional con cifras y datos técnicos que ayudarán a la comprensión, entendimiento y puesta en marcha del proyecto.

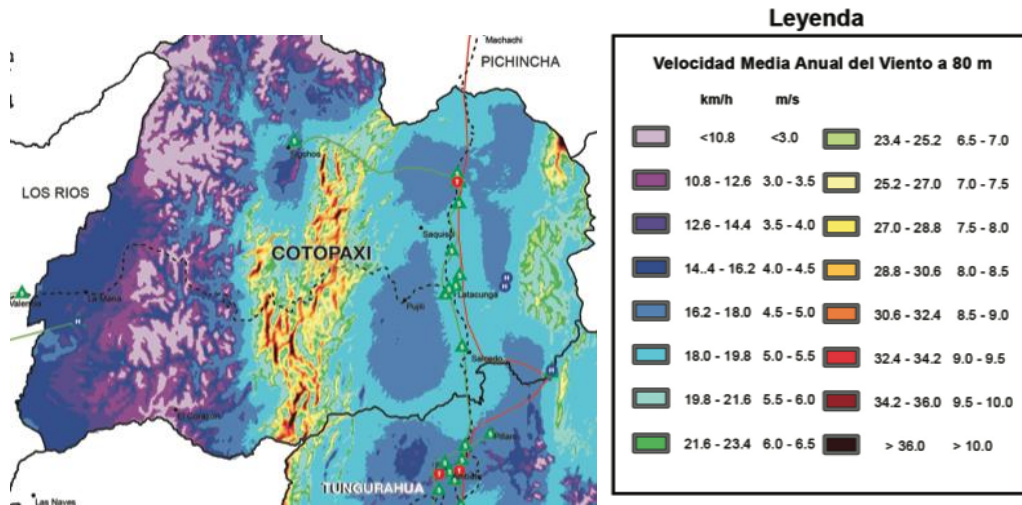
El estudio exploratorio a través de la investigación de campo nos facilitará la obtención de las mediciones de parámetros del nivel de las energías alternativas a implantar en el medio doméstico, además de proveer un diagnóstico inicial de la problemática presente, adquiriendo resultados que permiten formular alternativas de solución directa dentro de un marco propositivo justificado. Se utilizarán instrumentos de medición adecuados, bajo parámetros de selección y procedimientos para reducir la incertidumbre de la medida.

## **2.3. Unidad de Estudio.**

### **2.3.1. Estudio característico zonal.**

La zona centro del Ecuador, correspondiente a provincias como Chimborazo, Tungurahua y en especial Cotopaxi, por su configuración de altitud y la gran cadena montañosa que lo rodea, se ha caracterizado por ser un emplazamiento de excelente potencial eólico, con velocidades medias (7,0 – 7,5 m/s) (Gráfico 2.1), medianamente por encima de lo presentado en el resto de provincias, acorde a información provista por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER, donde además se resalta el alto nivel de radiación directa de energía solar fotovoltaica, por lo que esta fuente energética renovable influye, en menor cuantía, pero su aportación es representativa para proyecto de carácter doméstico.

**Gráfico 2.1. Velocidad Media Anual del Viento a 80m de altura**



Fuente: MEER (2013)

La parroquia Eloy Alfaro se encuentra ubicada a 7 km al sur del casco urbano de la ciudad de Latacunga, con una altitud de 2810 m.s.n.m.. Esta parroquia se encuentra localizada en una región de tipología Subhúmedo Templada, donde la temperatura anual media varía entre los 12°C y los 18°C, con diferencias sustanciales dependiendo la temporada del año en la cual se realicen las mediciones, sobresaliendo las medidas en los meses de enero, febrero, marzo y abril. El nivel de precipitación anual es superior a 300mm e inferior a 600mm, por lo que ecológicamente no existen meses húmedos. La distribución territorial parroquial, y ubicación general de Eloy Alfaro se detalla en el Gráfico 2.2.

**Gráfico 2.2. Ubicación de la parroquia Eloy Alfaro.**



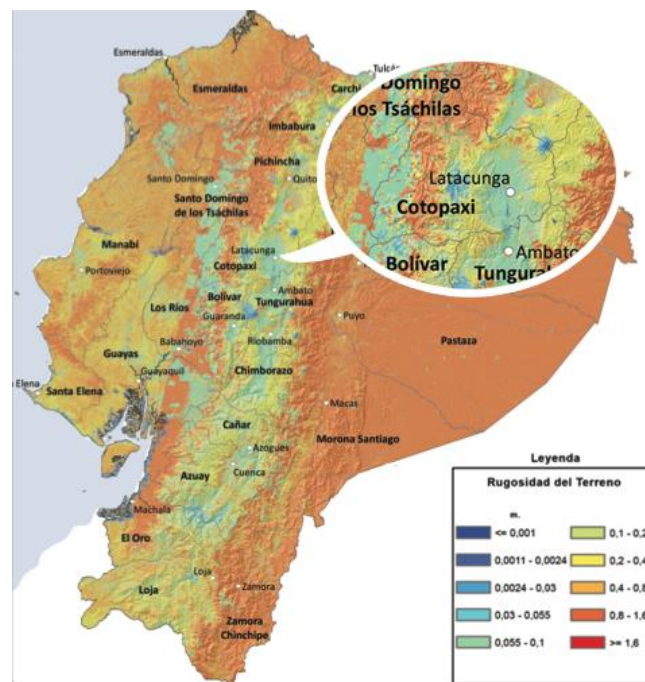
Fuente: MEER (2013)

### 2.3.2. Factores de influencia.

Dentro del análisis sectorial de la parroquia Eloy Alfaro, del Cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, los principales factores de afección son la rugosidad del terreno, el nivel de insolación directa, de insolación difusa y de insolación global sectorial.

La rugosidad del terreno, acorde a lo expuesto por (Amada, 2009), se determina por el tamaño y distribución de los elementos de rugosidad que contiene. Se evalúa mediante el parámetro denominado longitud de rugosidad  $z_0$ , que nos da la altura a la cual la velocidad media es cero cuando el viento tiene una variación logarítmica con la altura. En el Gráfico 2.3 se verifica que, según mediciones realizadas por (MEER, 2008), el territorio general del Cantón Latacunga, contenido en el la parroquia rural de Eloy Alfaro, tiene una rugosidad en rango de 0.1 a 0.2m, que le da un buen de energía eólica, considerando además la altura, donde se presencia una gran cantidad de ráfagas de viento continuamente.

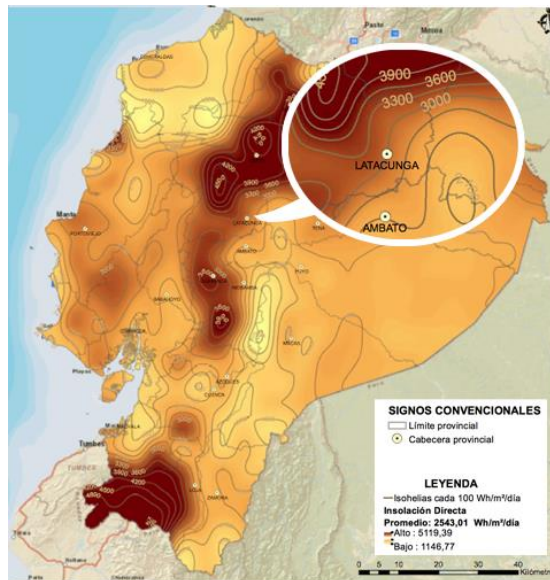
**Gráfico 2.3. Rugosidad Cantón Latacunga – Parroquia Eloy Alfaro**



Fuente: MEER (2013)

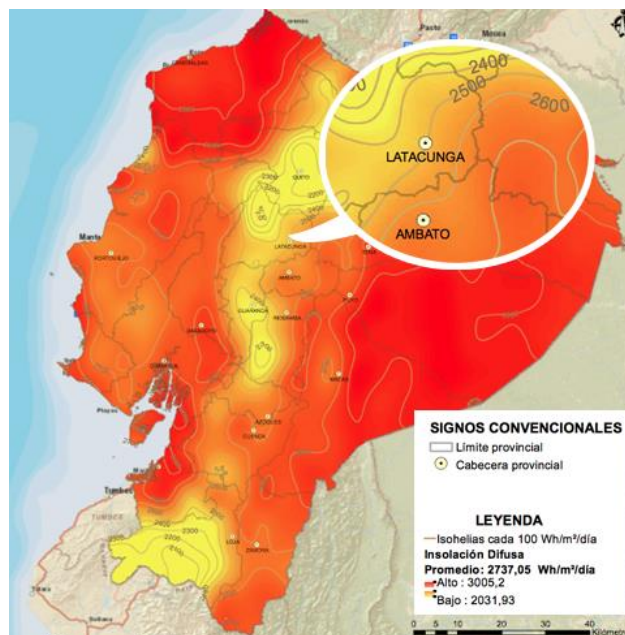
Dentro del estudio de radiación solar fotovoltaica, los parámetros de influencia a tomar en cuenta en el emplazamiento del Cantón Latacunga son el nivel de insolación directa (Gráfico No. 2.4) con un valor de 3000 Wh/m<sup>2</sup>/día, el nivel de insolación difusa (Gráfico No. 2.5) con un valor de 2500 Wh/m<sup>2</sup>/día, y finalmente el nivel de insolación global sectorial (Gráfico 2.6) con un valor de 4650 Wh/m<sup>2</sup>/día.

**Gráfico 2.3. Mapa de insolación directa**



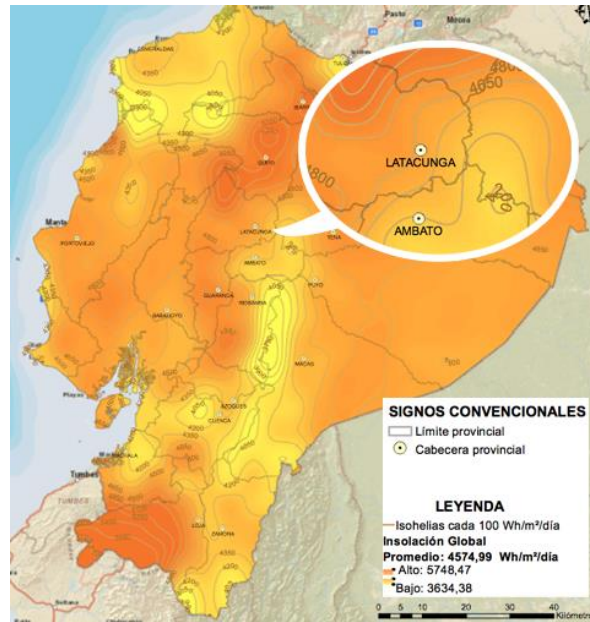
Fuente: CONELEC (2013)

**Gráfico 2.4. Mapa de insolación difusa**



Fuente: CONELEC (2013)

**Gráfico 2.5. Mapa de insolación global sectorial**



Fuente: CONELEC (2013)

### **2.3.3. Población y Muestra**

La población y muestra está contemplada en las mediaciones en la escuela Pedro Páez del barrio Brazales de la Parroquia Eloy Alfaro durante el año 2013, donde en el plazo comprendido entre Junio y Noviembre se realizaron 5 mediciones diarias, 5 días a la semana, en horarios por criterios establecidos de acuerdo a un proceso de correlación de criterios por expertos, CELEC EP y el Instituto Nacional de Energía Renovables INER.

### **2.3.4. Criterios de validación de mediciones.**

Tal como se explicó anteriormente, dentro de el establecimiento del presente estudio técnico – teórico aplicativo, se realizan una serie de 5 mediciones diarias, 5 días a la semana, entre los meses de Junio y Noviembre del año 2013, de las cuales de acuerdo a las estadísticas de exactitud de la medición, basados en un proceso de correlación de criterios por expertos, CELEC EP. y el Instituto Nacional de Energía Renovables INER, de acuerdo a parámetros de tipo de suelo, áreas protegidas, distancias a zonas pobladas, accesos viales, contaminación

acústica, y visual, influencia de agentes externos, entre otros factores expuestos en el documento “Guidelines on Climate Metadata and Homogenization”, WCDMD, No. 53 de la Organización Meteorológica Mundial OMM (2003), donde se fundamenta que para la homogenización y la mantención de metadata en mediciones climatológicas se realiza una diferenciación bajo varios aspectos citados a continuación, haciendo referencia a lo determinado por (Aguilar, Auer, Brunet, Peterson, & Wierringa, 2003):

- Medioambiente local (Local environment).
- Uso local de tierras y cubierta por vegetación (local land use/land cover).
- Exposición instrumental (Instrument exposure).
- Tipo de instrumentación (fabricante, modelo, sensibilidad, tipo de transductor, tiempo de respuesta).
- Elementos de afección meteorológicos (temperatura y humedad, dirección del viento, velocidad del viento, precipitaciones, radiación, evaporación).
- Prácticas propias del observador (Elementos observados, tiempo de observación por determinación del investigador, correcciones por incertidumbres, validación por porcentaje de medición aceptable).
- Ajustes de homogenización y criterios de ingeniería propios del investigador.

Es así que se obtuvo un total de 100 mediciones mensuales, de las cuales un 85,2% de mediciones válidas para Junio, un 87% para Julio, 86,4% para Agosto, 88,4% para Septiembre, un 89,2% para Octubre y un 80,8% para Noviembre, existiendo un porcentaje mínimo de no validación de mediciones, bien sea por influencia de agentes externos anteriormente expuestos, así como interferencias en la medición, factor humano e incertidumbre por problemas de medición aleatorios, cumpliendo así las medidas de calidad impuestas por las instituciones participantes en este estudio técnico.

### **2.3.5. Criterios de estudio sectorial.**

Acorde a la metodología exploratoria descriptiva recogida dentro del proceso investigativo, el análisis de evaluación de la potencialidad eólica y solar en la escuela Pedro Báez del barrio Brazales, ubicado en la parroquia Eloy Alfaro, durante el año 2013, para un posterior diseño de un sistema de suministro eléctrico híbrido eólico – solar fotovoltaico, se manejará bajo los siguientes criterios de determinación característico del emplazamiento:

- Geoubicación del sector de análisis mediante herramientas GPS y de medición cartográfica.
- Medición periódica del potencial eólico mediante instrumentación.
- Sondeo del nivel de radiación global media en el emplazamiento.
- Validación de la información por ArcGis 10.1, QGis 2.6 y bases de datos.
- Diseño y ubicación del equipamiento híbrido eólico – solar fotovoltaico.
- Estudio técnico de impacto medioambiental, de contaminación visual, sonora, y estudio económico de implementación.
- Desarrollo de marco propositivo a partir de los resultados obtenidos.

### **2.4. Técnicas e instrumentos de la investigación.**

#### **2.4.1. Técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.**

Es indispensable en el proceso de investigación científica, las técnicas propias de realización y obtención de la información, por cuanto integran la estructura por medio de la cual se organiza el estudio planteado.

#### **Investigación bibliográfica.**

Representa la recopilación de datos, publicaciones, investigaciones, entre otros documentos que estén relacionados con el uso de energías alternativas para aplicaciones domésticas y definición de los conceptos de potencialidad del

parámetro eólico – solar fotovoltaico, así como del tratamiento efectivo de sus características en medios de medición por instrumentación. Los instrumentos a utilizar dentro de esta técnica la revisión bibliográfica, Internet, tesis relacionadas al tema, publicaciones en revistas de ciencias, manuales de fabricantes, la investigación por medios gráficos y virtuales, la socialización en medios especializados, etc.

### **Investigación de campo y observación**

Corresponde a la medición de parámetros en el emplazamiento en el cual se aplica el uso de energías renovables, así como el tratamiento de datos eólicos, de radiación solar fotovoltaica, rendimiento del sistema y la demanda energética actual promedio, siendo primordial la obtención de información por instrumentación indicada para la distribución de velocidades, la distribución de direcciones del viento, la insolación por radiación solar directa, difusa y global promedio, así como la relación eólica de dirección – velocidad.

### **Investigación por medición e instrumentación**

Dentro de este campo se encuentra detallada toda la recolección de datos y valores que, mediante instrumentación específica, especifican cualitativamente el fenómeno eólico y solar fotovoltaico para comprensión total por parte del investigador. Dentro de los métodos específicos de obtención de información se contemplan la medición de parámetros eólicos, solares fotovoltaicos y la medición de consumos energéticos locales, a través de instrumentos especializados para cumplir estas especificaciones, como son las auditorías energéticas locales, las veletas de viento, los barómetros, anemómetros y manómetros, el data logger eólico – solar fotovoltaico, lectores GPS, inclinómetros y bases de datos realizadas por agrupaciones científicas nacionales.

La relación existente entre las técnicas investigativas y los instrumentos utilizados para obtención de la información se determina en la tabla No. 2.1.

**Tabla 2.1. Técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.**

<b>TECNICA</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>APLICACIÓN EN LA INVESTIGACIÓN</b>
<b>Observación de campo y medición</b>	<b>Veleta de viento</b>	Instrumento especializado para la medición y registro de la dirección del viento.	Con la veleta de viento en el punto específico de medición, y bajo los parámetros de medición diarios, se obtuvo datos de dirección del viento.
	<b>Anemómetro</b>	Instrumento para medir la velocidad de circulación del fluido gaseoso, en especial del viento.	Conjunto a la veleta de viento, el anemómetro ubicado en el punto seleccionado de emplazamiento nos dio la velocidad del viento.
	<b>Barómetro</b>	Instrumento para medir la presión atmosférica.	El barómetro aclara dentro de la investigación a que características de presión atmosférica se dieron las mediciones.
	<b>Manómetro</b>	Instrumento para medir la presión de los fluidos, principalmente de los gases.	El manómetro sirvió de apoyo en medición de la presión característica del viento.
	<b>Medidor fotovoltaico</b>	Instrumento que se utiliza para la planificación y mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas.	En el punto de medición fotovoltaico se lo instaló para de acuerdo a criterios de medición e inclinación específica se obtengan datos de radiación solar fotovoltaica.
	<b>Data Logger solar</b>	Componente electrónico de almacenamiento	Registra cada intervalos de tiempo específicos por

	<b>fotovoltaico</b>	de datos fotovoltaicos.	critérios de medición los valores dados por el medidor fotovoltaico.
	<b>Lector GPS</b>	Componente informático de lectura y ubicación por geo localización.	Permitió seleccionar el punto específico de ubicación del emplazamiento por geolocalización.
	<b>Base de datos MEER, CONELEC.</b>	Información recogida, guardada, clasificada y de registro continuo por instituciones.	Se comprueban y comparan las mediciones obtenidas, con las realizadas por instituciones especializadas.
	<b>Planillas eléctricas</b>	Carta informativa de consumo total, parcial y precio detallado.	Nos provee una medida específica de la escuela, su consumo total y el costo promedio de kWh.
	<b>Voltímetro</b>	Instrumento para medir en voltios la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.	Sirve para poder verificar el voltaje que se maneja en los puntos, y cual sería su consumo.
	<b>Amperímetro</b>	Instrumento de lectura de la intensidad de una corriente eléctrica.	Conjuntamente con el voltímetro nos da una idea clara del consumo por punto y artículos específicos.
<b>Investigación bibliográfica</b>	<b>Revisión bibliográfica</b>	Recolección de información descrita en libros, artículos, revistas, etc.	Se obtienen conceptualizaciones propias del fenómeno, caracterización del viento, el sol y los sistemas híbridos.

	<b>Investigación medios gráficos y virtuales</b>	Revisión de medios audiovisuales, videos, audio y demás material.	La revisión de videos nos indica una perspectiva física visual real del comportamiento del fenómeno en el emplazamiento.
	<b>Publicaciones y antecedentes científicos.</b>	Información realizada previamente por otros investigadores sobre el mismo tema.	Se obtiene una perspectiva científica inicial del fenómeno, a partir de la comprensión de criterios de otros autores y el entendimiento de sus hipótesis.

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

#### **2.4.2. Parámetros de selección de instrumentación.**

Si bien la instrumentación es parte estructural del marco metodológico del presente estudio, es necesario seguir una serie de parámetros de selección de instrumentación con la finalidad de minimizar la afección de la incertidumbre dentro del proceso de medida. Al pretenderse el diseño de un sistema de captación híbrido eólico – solar fotovoltaico, se debe identificar cuales son los ítems de afección a cada uno de los sistemas.

En el tratamiento del viento, al tener el diseño un alcance de tipo doméstico donde el dimensionamiento es mínimo, la dirección del viento, la presión atmosférica y la temperatura con magnitudes que afectan directamente a la medida. Dentro de la captación solar – fotovoltaica, el aspecto de ubicación de las celdas fotovoltaicas y la inclinación de las mismas damnifican el correcto funcionamiento de las mismas.




#### **2.4.3. Equipo de medición y características de funcionamiento.**

El equipo de medición a emplearse dentro del estudio de la frecuencia y propiedades cualitativas y cuantitativas, tanto del viento como de la radiación solar fotovoltaica en el emplazamiento especificado es:

- Veleta de viento: para lectura de la dirección del viento.
- Barómetros y manómetros: para la medición de la presión atmosférica.
- Termómetros: indicados para medir la temperatura ambiental.
- Lector GPS: para identificar la ubicación de las celdas fotovoltaicas.
- Escoliómetro: necesario para visualizar la inclinación de las celdas.

En la tabla 2.1 se especifica cada uno de los equipos de medición a ser usados, así como las especificaciones generales de los mismos.

Tabla 2.2. Principales parámetros de las características de I-V

<b>INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE CAPTACIÓN EÓLICA.</b>	
<b>EQUIPO DE MEDICIÓN Y PARÁMETRO DE MEDIDA</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
<p><b>Veleta de viento</b></p>  <p><b>(dirección del viento)</b></p>	<p>Una veleta es una herramienta para medir la dirección del viento donde, para determinar la dirección del viento, la veleta gira y apunta en la dirección desde la que viene el viento. Generalmente tiene dos partes o extremos: uno que generalmente tiene la forma de una flecha y que voltea hacia el viento y otro extremo que es más ancho para que atrape la brisa</p>
<p><b>Barómetros y manómetros</b></p>  <p><b>(Presión atmosférica)</b></p>	<p>Un barómetro es un instrumento que sirve para medir la presión atmosférica, es decir, la fuerza por unidad de superficie que ejerce un líquido o un gas perpendicularmente a dicha superficie.</p>
<p><b>Anemómetros</b></p>  <p><b>(velocidad del viento )</b></p>	<p>El anemómetro es un instrumento que se usa para medir la velocidad del viento . Su presentación más común consta de una pequeña hélice que al contacto con el viento genera una velocidad rotatoria la misma que es transmitida a un display que muestra dicha velocidad en m/s.</p>

**INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE CAPTACIÓN  
SOLAR FOTOVOLTAICA**

EQUIPO DE MEDICIÓN PARAMETRO DE MEDIDA	ESPECIFICACIONES
<p align="center"><b>Lector GPS</b></p>  <p align="center"><b>(Geo-localización del punto de análisis)</b></p>	<p>GPS es un sistema que tiene como objetivo la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial. Los puntos pueden estar ubicados en cualquier lugar del planeta, pueden permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones pueden realizarse en cualquier momento del día.</p>
<p align="center"><b>Inclinómetro</b></p>  <p align="center"><b>(Inclinación gradual de la posición de las celdas fotovoltaicas)</b></p>	<p>El inclinómetro es un instrumento de alta precisión que mide ángulos de desviación respecto a la vertical. Si principal aplicación es el control de ubicación de implementos con referencia al terreno. Es de vital importancia dentro de la medición de inclinación de paneles fotovoltaicos y la radiación que recibe del Sol-</p>
<p align="center"><b>Bases de datos eólico – solar fotovoltaica</b></p>  <p align="center"><b>Ministerio de Electricidad y Energía Renovable</b></p>  <p align="center"><b>(Información para comparación de la exactitud)</b></p>	<p>Tanto el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER, como el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, han desarrollado una amplia base de datos eólico – solar fotovoltaica, la misma que servirá de respaldo para la reducción de la incertidumbre dentro del proceso personal de medición.</p>

<b>de la medida y reducción de incertidumbre.)</b>	
--	--

Fuente: Ikerketa (2014), Huerta, Mangiaterra y Noguera (2005), MEER (2013),  
CONELEC (2013).

## **2.5. Metodología de obtención y análisis de la información.**

Para la obtención de la información necesaria para el análisis, se procede con un riguroso estudio de campo, donde se visualizan en primera instancia las características territoriales del emplazamiento, la altura, las características meteorológicas y ambientales, así como se establece el punto de geo-localización del punto de medición.

Para el análisis de la información, se realizarán una serie de mediciones de los parámetros incluyentes dentro el campo eólico y dentro del área solar fotovoltaica, la misma que se procederá a un procedimiento de reducción de la incertidumbre causada por la calibración y lectura humana, así como las características ambientales del momento.

### **2.5.1. Consideraciones para la medida del potencial eólico.**

Antes de realizar el análisis de datos del viento, (Mattio & Tilca, 2009) señala que es necesario que sean chequeados para asegurar su calidad. Si se grafica la serie de tiempo, se pueden detectar visualmente los errores obvios, y un examen numérico más minucioso y objetivo es siempre conveniente. Este debe incluir:

- Asegurar que todos los datos se tomaron dentro de las especificaciones ambientales determinadas para cada instrumento. (Temperatura ambiente de funcionamiento, fuente de voltaje, dilatación, etc.).
- Descartar influencia mecánica física externa que afecte la medición. (taludes, obstáculos temporales, interferencias electrónicas externas).

- Asegurar que todas las condiciones de medición son las indicadas para funcionamiento. (Condiciones meteorológicas favorables, nivel de radiación promedio global aceptable, entre otros.).
- Realizar un procedimiento de reducción de la incertidumbre, mediante el aseguramiento de la trazabilidad del instrumento de medición.

De esta forma se indica que, como en todo proceso siempre existirán incertezas y elementos que afectarán la exactitud de la medida, (Mattio & Tilca, 2009) indica que, las incertezas a considerar dentro de la instrumentación son las siguientes, si bien su valor es más orientativo que restrictivo:

- Calibración en estado estable (1.0%; 5%).
- Posible cambio en la calibración (0.2%; 3.0%).
- Efectos de inclinación del flujo en la calibración. (0.2%; 1.5%).
- Probable sobre-velocidad debido a la dinámica del instrumento (0.2%; 1.0%).
- Distorsión del flujo debido al mástil (0.5%; 2.0%).
- Distorsión del flujo debido al brazo (0.5%; 2.0%).
- Distorsión del flujo debido a abrazaderas y otras protuberancias (0.1%; 2.0%).
- Asimetría del flujo incidente sobre el anemómetro (0.2%; 2.0%).
- Incertezas en el sistema de instrumentación (0.2%; 1.0%).

(Mattio & Tilca, 2009) concluyen que, el primer porcentaje dentro del paréntesis indica la incerteza típica de instalaciones de medición llevadas a cabo en forma cuidadosa, con instrumentos de buena calidad. El segundo porcentaje, es para instalaciones de baja calidad. La suma correspondiente al análisis de errores de las incertezas, de todas las fuentes mencionadas, da los siguientes resultados:

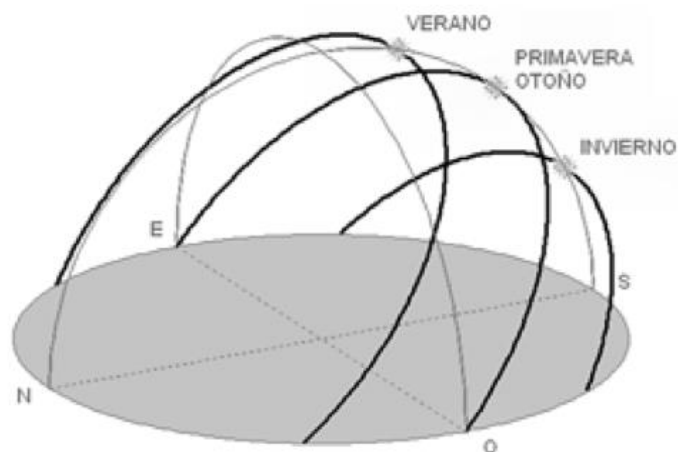
- Incertezas del 1.3% (este valor debe ser considerado como el mejor alcanzable).
- Incertezas en exceso del 7.4% para instalaciones poco cuidadosas.

### 2.5.2. Consideraciones para la medida de la radiación solar fotovoltaica.

(PROGENSA, 2008) expone que, para que un módulo fotovoltaico genere corriente eléctrica útil deben concurrir dos condiciones esenciales: que incida radiación solar sobre el módulo y que haya una carga conectada al mismo. Para satisfacer la primera de las condiciones anteriores, los módulos deben estar expuestos directamente a los rayos de sol, y dispuestos de tal manera que dicha exposición sea la más adecuada para alcanzar los objetivos para los que se ha diseñado la instalación. Para favorecer la exposición solar de los módulos, éstos se deben ubicar en un lugar libre de obstáculos a la radiación.

Es lógico pensar que, cuando los rayos solares se encuentren con una perpendicularidad máxima será cuando se obtenga la mayor cantidad de energía, pero la realidad es otra, ya que como agrega (PROGENSA, 2008), todos los días del año hay que mirar en dirección del meridiano geográfico local para ver el Sol en su punto más alto sobre el horizonte, de modo que los módulos fotovoltaicos se deben orientar hacia el Sur geográfico si se encuentran en el hemisferio norte, y hacia el Norte geográfico si se encuentran en el hemisferio sur. (Gráfico 2.6)

**Gráfico 2.6. Trayectoria aparente del Sol para captación fotovoltaica**



Fuente: CONELEC (2013)

Ahora identificado las épocas del año, y el nivel de radiación, se puede seguir las tablas de radiación solar mensuales, tal como la presentada en la Tabla No. 2.2.

**Tabla 2.3. Inclinaciones mensuales óptimas**

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Inclinación	60°	50°	40°	25°	20°	15°	20°	25°	35°	50°	60°	65°

Fuente: PROGENSA (2008)

### 2.5.3. Operacionalización de las Variables.

Para hacer medible la variable dependiente “ **USO ENERGETICO EFICIENTE – EFECTO**” es necesario guiarse por las siguientes preguntas directrices

- ¿Cómo puedo abaratar costos de consumo eléctrico al usar energías renovables?
- ¿Qué tipo de energías renovables son las más adecuadas para aplicaciones autónomas?

Esta variable según un estudio preliminar de la escuela del barrio Brazales está directamente relacionado con el mal uso de la energía es decir existe un desperdicio de energía ya sea por falta de concientización de las persona que aquí habitan o por el uso de artefactos eléctricos que no son muy eficientes.

La variable independiente “**DESCONOCIMIENTO DE LA POTENCIALIDAD EOLICA Y SOLAR CAUSA**” responde a las siguientes preguntas directrices :

- ¿Qué se necesita conocer previamente antes de diseñar un sistema de suministro eléctrico usando la energía eólica y solar?
- ¿De qué manera se pueden utilizar las energías renovables autónomas?

El análisis de esta variable es más del tipo bibliográfico se analizaran aspectos relacionados al uso de energías renovables en el Ecuador, usos de estas energías en proyectos domésticos, limitaciones en la implementación de dichas tecnologías etc.

Es así que, la tabla de operacionalización de variables queda determinada de la siguiente manera:

**Tabla 2.4. Matriz de operacionalización de la Variable Dependiente**

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
<b>Dependiente</b>  <b>Uso energético eficiente</b>	La (CONAFE, 2014) define que, la eficiencia energética (EE) es el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos	Tratamiento de datos eólicos	Distribución de velocidades del viento. (m/s)	• Medición.	• Veleta de viento.
			Distribución de direcciones del viento. (°)	• Medición.	• Anemómetro. • Barómetro. • Manómetro.
		Tratamiento de datos de radiación solar fotovoltaica	Insolación por radiación directa, difusa y global promedio. (kWh/m <sup>2</sup> )	• Medición.	• Medidor fotovoltaico. • Data Logger solar fotovoltaico.
		Rendimiento del sistema	Relación eólica dirección – velocidad. (m/s)	• Medición. • Investigación bibliográfica	• Lector GPS. • Bases de datos MEER y CONELEC
		Demanda energética promedio.	Potencia kW consumida en la escuela (Wh/día)	• Observación.	• Planillas eléctricas.
				• Medición	• Voltímetro. • Amperímetro.

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Tabla 2.5. Matriz de operacionalización de la Variable Independiente**

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	TÉCNICAS	INSTRUMENTOS
<b><u>Independiente</u></b> <b>Desconocimiento</b> <b>de la</b> <b>potencialidad</b> <b>eólico – solar.</b>	Ávila (2006) define a la potencialidad de captación de energía renovable a la cantidad y características favorables para la obtención del bien energético renovable.	Captación de energía eólica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mediciones y caracterización</li> <li>• Producción local.</li> <li>• Esquematización y conexiones.</li> </ul>	Investigación Bibliográfica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión bibliográfica.</li> <li>• Investigación por medios gráficos y virtuales.</li> <li>• Internet.</li> <li>• Publicaciones y antecedentes científicos.</li> </ul>
		Captación de energía solar fotovoltaica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos de captadores de radiación solar.</li> <li>• Potencia de radiación solar.</li> <li>• Curva de potencia.</li> <li>• Parámetros de dimensionamiento</li> </ul>		
		Sistemas híbridos eólicos – fotovoltaicos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Principios de dimensionamiento.</li> <li>• Modos de trabajo en sistemas híbridos.</li> </ul>		

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

## **CAPITULO III**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.1. Tratamiento de datos eólicos.**

Establecido el proceso metodológico de la investigación, mediante la instrumentación establecida se prosigue a la medición de los parámetros iniciales, tanto eólico como de radiación fotovoltaica en la zona determinada para su lectura, durante un período de tiempo establecido, tomando en cuenta a todo momento la trazabilidad efectiva de la herramienta de medición, y minimizando mediante procedimientos la participación de la incertidumbre en la acción de medición paramétrica.

##### **3.1.1. Parámetros iniciales**

La parametrización inicial para la medida de datos eólicos en el emplazamiento correspondiente al Barrio Brazales, donde se encuentra ubicada la escuela “Pedro Páez”, fue:

- La ubicación del grupo de medida se estableció sobre la estructura superior del inmueble donde los alumnos reciben las clases, que es el lugar donde existe una mayor captación del viento, además de la radiación fotovoltaica.
- Se realizaron una media de 5 medidas diarias, 5 días a la semana, durante un rango de tiempo semestral, teniendo como tiempo referencial la trayectoria aparente de captación eólica y solar fotovoltaica, con horarios de 8:00 (Horario A), 10:00 (Horario B), 12:00 (Horario C), 14:00 (Horario D) y 16:00 (Horario E). Esta medición está validada de acuerdo a la correlación de criterios por expertos, CELEC EP y el Instituto Nacional de Energía Renovables INER, basándose a parámetros de tipo de suelo, áreas protegidas, distancias a zonas pobladas, accesos viales, contaminación acústica y visual, entre otros factores expuestos en el

documento “Guidelines on Climate Metadata and Homogenization”, WCDMD, No. 53, de la Organización Meteorológica Mundial OMM (2003).

- Además se tomó en cuenta efectos externos como temporal, interferencias en la medida del parámetro, factor humano e incertidumbre por problemas de medición aleatorios.

A partir de estos indicadores iniciales, se obtiene una estadística de aceptación de la medición, con una representación de la exactitud de las medidas obtenidas, designando medidas en aceptables, influenciadas por efectos externos y desechadas por condiciones meteorológicas desfavorables, detalladas en la Tabla No. 3.1

**Tabla 3.1. Estadística de exactitud de la medición**

	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>
<b>Mediciones Válidas</b>	85,2%	87%	86,4%	88,4%	89,2%	80,8%
<b>Influencia agente externos</b>	6,6%	7,8%	10,8%	8,6%	8,2%	9,6%
<b>Mediciones no válidas</b>	8,2%	5,2%	2,8%	3%	2,4%	9,6%
<b>Total</b>	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Como se puede observar, tenemos un alto porcentaje de mediciones consideradas como válidas, en muchas de las ocasiones por aplicación efectiva de los procedimientos de utilización de la instrumentación, conjuntamente con el uso de medidas que disminuyen el nivel de incertidumbre dentro del proceso de medida. Específicamente, en el presente estudio tenemos una media de mediciones válidas del 86,17%, un porcentaje de medidas no tomadas en cuenta por influencia de agentes externos del 8,6%, y finalmente una porción de medidas no validas totalmente por condiciones meteorológicas desfavorables que

ocurrieron, así como interferencias promedio en el equipo de medida, del 5,2%, que sirve de respaldo en la veracidad de la medida realizada.

### 3.1.2. Distribución de velocidades

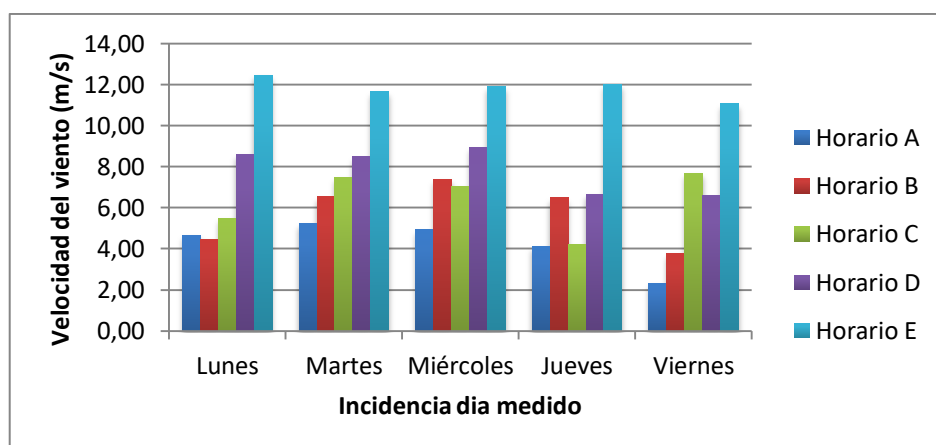
La caracterización del recurso eólico está compuesto por la distribución de las velocidad del viento en primera instancia, continuando con la medición de las direcciones. Para la simplificación de la comprensión de este fenómeno dentro de este capítulo, se supuso un promedio referencial por día, estableciéndose las medidas originales en el Anexo No. 1. En las siguientes tablas y gráficas se especifican mensualmente los niveles de velocidad alcanzados durante los 6 meses establecidos.

**Tabla 3.2. Distribución de velocidades Junio 2013.**

Horario	JUNIO – 2013 (en m/s)				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
A (8:00)	4,65	5,25	4,93	4,10	2,33
B (10:00)	4,48	6,53	7,38	6,48	3,75
C (12:00)	5,48	7,48	7,05	4,20	7,68
D (14:00)	8,60	8,48	8,95	6,65	6,58
E (16:00)	12,45	11,68	11,93	12,03	11,08

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Gráfico 3.1. Distribución de velocidades Junio 2013**



Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

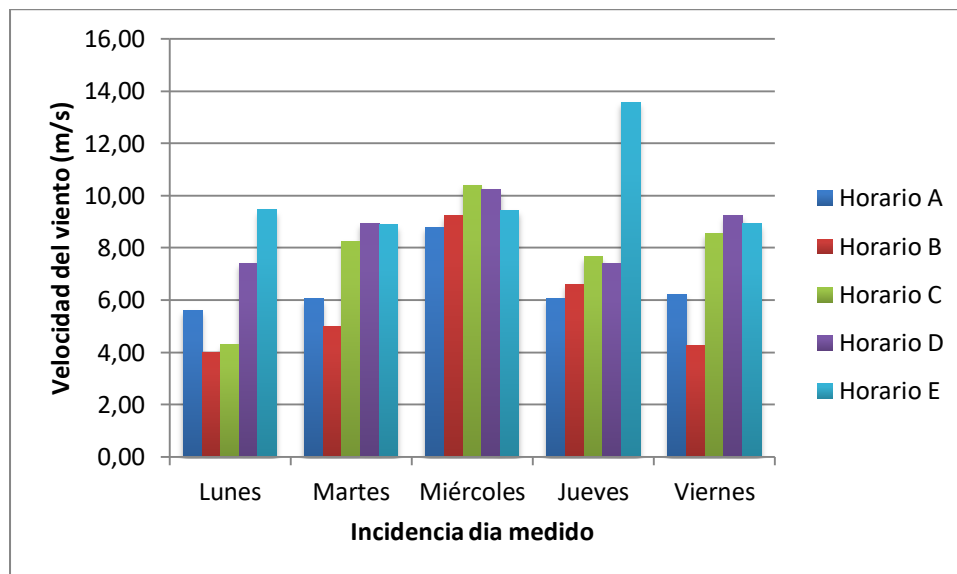
En el mes de Junio, cuando se empezaron a realizar las mediciones, se observa una mayor velocidad del viento en el horario E (16:00), sobre todo por las características meteorológicas del mes, donde se provee una mayor incidencia del cambio de velocidad en horarios de la tarde.

**Tabla 3.3. Distribución de velocidades Julio 2013.**

Horario	JULIO – 2013 (en m/s)				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
A (8:00)	5,60	6,05	8,78	6,08	6,23
B (10:00)	4,00	5,00	9,25	6,60	4,25
C (12:00)	4,30	8,25	10,40	7,65	8,55
D (14:00)	7,40	8,95	10,23	7,40	9,23
E (16:00)	9,45	8,88	9,43	13,58	8,93

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Gráfico 3.2. Distribución de velocidades Julio 2013**



Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

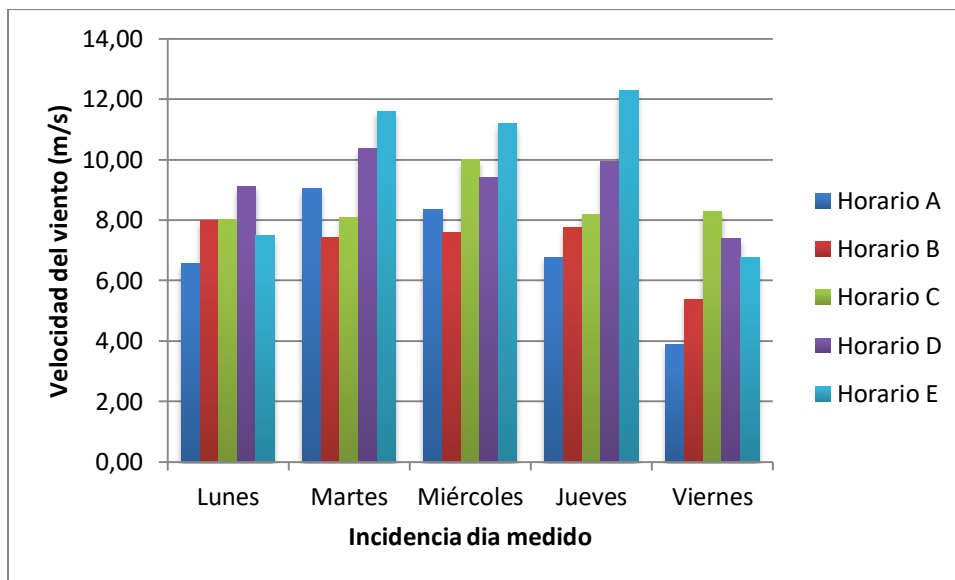
A partir del mes de Julio, las velocidades incidentes durante la medición promedio semanal, se determina una mayor aproximación de valores, existiendo en ocasiones, como se observa el día Jueves, que existen puntos de rafagosidad muy importantes, que deben ser tomados en cuenta en los aspectos de seguridad y protección de la captación por aerogenerador doméstico.

**Tabla 3.4. Distribución de velocidades Agosto 2013.**

Horario	AGOSTO – 2013 (en m/s)				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
A (8:00)	6,58	9,05	8,35	6,78	3,88
B (10:00)	8,00	7,43	7,58	7,75	5,38
C (12:00)	8,03	8,08	10,00	8,20	8,30
D (14:00)	9,13	10,38	9,43	9,95	7,40
E (16:00)	7,50	11,60	11,20	12,30	6,75

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Gráfico 3.3. Distribución de velocidades Agosto 2013**



Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Agosto se ha caracterizado siempre por la presencia de altos niveles de viento con mucha velocidad, por lo que el aumento en este parámetro no es sorprendente dentro de la medición. En este aspecto, la regularidad que se presenta entre cada horario de medida es de carácter beneficioso, ya que de la estabilidad del viento se mantiene la producción energética de esta parte del sistema.

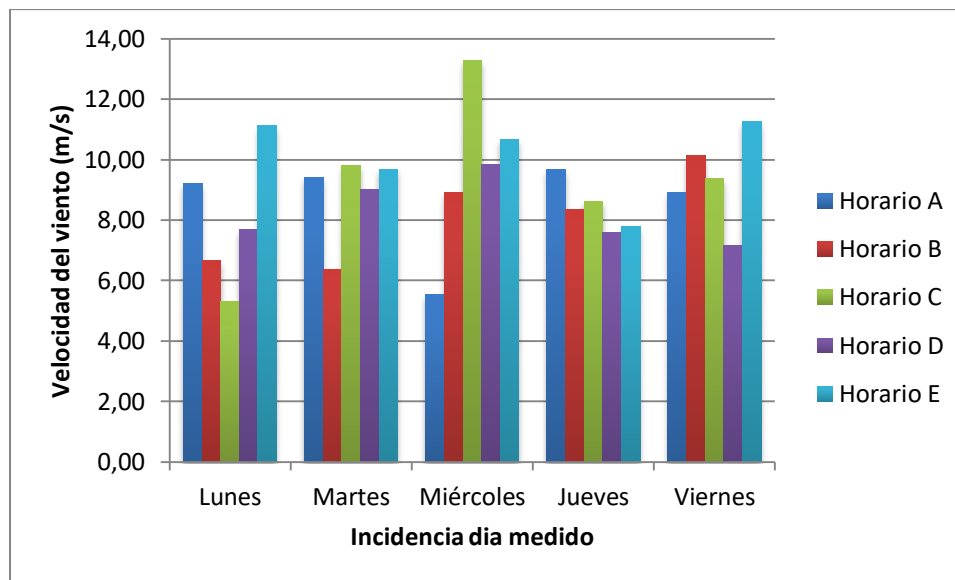
Si bien es cierto, la regularidad de la velocidad del viento es evidente, cabe señalar que los niveles de rafagosidad siguen presentes en las mediciones, por lo que se evidencia la necesidad de una protección eficiente del sistema a implementar.

**Tabla 3.5. Distribución de velocidades Septiembre 2013.**

Horario	SEPTIEMBRE – 2013 (en m/s)				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
A (8:00)	9,20	9,43	5,53	9,68	8,93
B (10:00)	6,65	6,38	8,90	8,35	10,13
C (12:00)	5,30	9,80	13,28	8,63	9,38
D (14:00)	7,68	9,03	9,85	7,58	7,15
E (16:00)	11,13	9,68	10,68	7,78	11,25

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Gráfico 3.4. Distribución de velocidades Septiembre 2013**



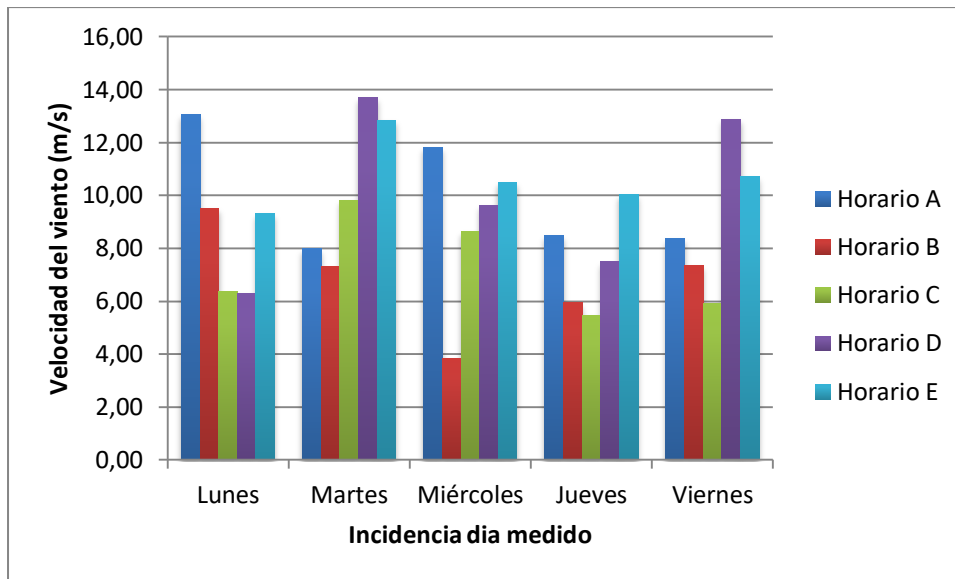
Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Tabla 3.6. Distribución de velocidades Octubre 2013.**

Horario	OCTUBRE – 2013 (en m/s)				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
A (8:00)	13,05	7,98	11,83	8,50	8,38
B (10:00)	9,50	7,30	3,85	5,95	7,35
C (12:00)	6,35	9,83	8,63	5,45	5,93
D (14:00)	6,30	13,70	9,63	7,50	12,88
E (16:00)	9,33	12,85	10,50	10,05	10,70

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Gráfico 3.5. Distribución de velocidades Octubre 2013**



Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

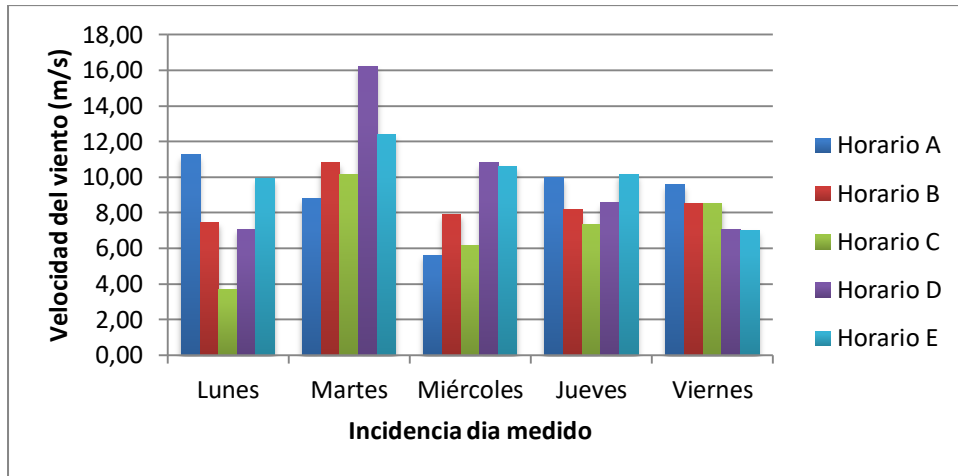
En Septiembre y Octubre se presenciaron un porcentaje considerable de mediciones con influencia de factores externos, por la presencia regular de nubosidad y de precipitaciones, por lo que no se mantiene una regularidad de la velocidad del viento. La rafagosidad del viento es cada vez más presente en las mediciones, además de presenciar fenómenos de turbulencia superficial del viento, que no benefician en el proceso de captación.

**Tabla 3.7. Distribución de velocidades Noviembre 2013.**

Horario	NOVIEMBRE – 2013 (en m/s)				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
<b>A (8:00)</b>	11,25	8,80	5,63	9,98	9,58
<b>B (10:00)</b>	7,45	10,80	7,90	8,18	8,53
<b>C (12:00)</b>	3,68	10,15	6,18	7,33	8,53
<b>D (14:00)</b>	7,05	16,23	10,80	8,55	7,05
<b>E (16:00)</b>	9,95	12,40	10,60	10,18	7,00

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

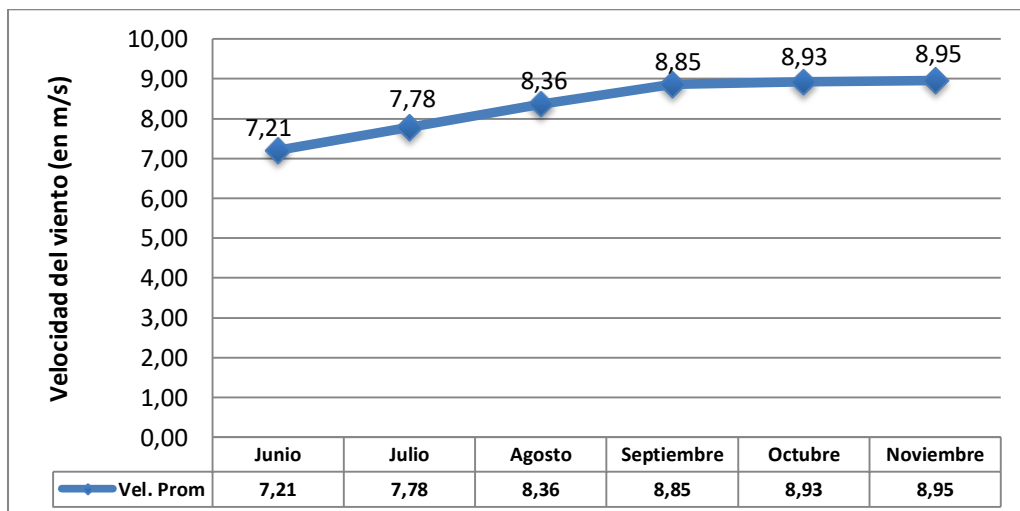
**Gráfico 3.6. Distribución de velocidades Noviembre 2013**



Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Lo más destacable de la medición realizada en el mes de Noviembre, es que se obtuvo el pico más alto de rafagosidad presente, con un valor promedio de 16,23 m/s, siendo identificado como valor de referencia promedial máximo de protección del sistema, es decir se puede establecer que el aerogenerador tome medidas de desactivación del rotor de generación cuando identifique valores promedio superiores al identificado. El valor general mensual, que es la proyección de medida de uso generalizado durante el presente estudio, se encuentra detallado en el gráfico No. 3.7.

**Gráfico 3.7. Distribución de velocidades promedio mensual incidente**



Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

A nivel global, se proyecta un crecimiento sostenido de la velocidad del viento desde el mes de Junio hasta Septiembre, donde este valor se mantiene sin una variación mayor aparente. Para la implementación de un sistema eólico con dimensionamiento doméstico, es necesario un ambiente relativamente estable de velocidad del viento, para que su producción sea regular y no existan variantes productiva de ningún tipo, por lo que se demuestra que el emplazamiento es indicado para la introducción de este tipo de captación eólico.

### 3.1.3. Distribución de direcciones

La distribución de direcciones es uno de los parámetros de mayor importancia dentro de la medida y posterior diseño de la parte del sistema encargada del aprovechamiento del recurso eólico, por cuanto nos provee la información adecuada para el direccionamiento del aerogenerador hacia una ubicación indicada que aumente su rendimiento.

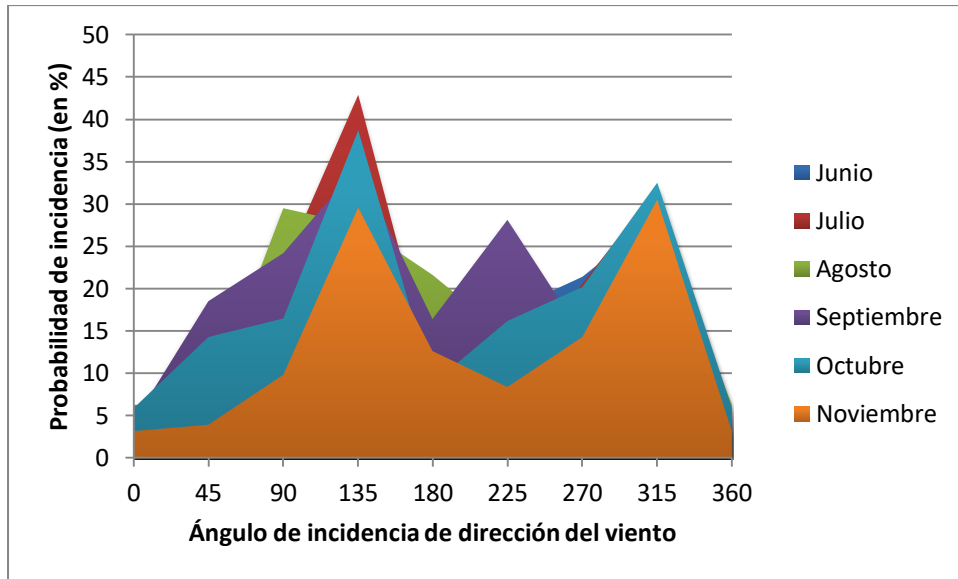
La simplicidad constructiva de un aerogenerador doméstico ocasiona que, al no disponer de gran tamaño de ubicación de componentes, y al no incluir sistemas de posicionamiento de las palas por comprobación de la dirección del viento, su ubicación se indique de acuerdo a la probabilidad medida de mayor incidencia. Es así que en la tabla No. 3.8 se identifique bajo parámetros probabilísticos la dirección del viento, así como en el gráfico No. 3.8 se sobrepongan las medidas para visualización para obtener el ponderado comparativo de este parámetro.

**Tabla 3.8. Distribución de direcciones mensual**

	Probabilidad de incidencia de la dirección del viento (en %)								
	E	NE	N	NW	W	SW	S	SE	E
<b>Junio</b>	3,2	10,1	20,5	30,8	14,2	17,3	21,4	28,4	3,2
<b>Julio</b>	5,4	12,4	22,7	42,9	9,7	8,2	20,6	31,9	5,4
<b>Agosto</b>	6,3	6,3	29,5	27,5	21,6	14,4	16,7	29,3	6,3
<b>Septiembre</b>	4,3	18,5	24,2	34,5	16,4	28,1	14,5	31,3	4,3
<b>Octubre</b>	5,9	14,3	16,5	38,7	8,8	16,2	20,2	32,5	5,9
<b>Noviembre</b>	3,2	3,9	9,8	29,6	12,6	8,4	14,3	30,5	3,2

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Gráfico 3.8. Ponderado comparativo de incidencia de dirección.**



Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

A partir del ponderado comparativo, se indica que la posición del aerogenerador doméstico tiene que estar determinada para el aprovechamiento del viento incidente a 135 grados (NW), o bien a 315 grados (SE), si bien estos factores no son de influencia mayoritaria a lo que representarían en construcciones de gran tamaño como los parques eólicos, este ítem ayudaría proporcionalmente a mejorar la eficiencia del sistema.

### **3.2.Tratamientos de datos de radiación solar.**

#### **3.2.1. Parámetros iniciales**

La parametrización inicial para la medida de datos de radiación solar en el emplazamiento correspondiente al Barrio Brazales, donde se encuentra ubicada la escuela “Pedro Páez”, es:

- La ubicación del grupo de medida se ubica en un lugar donde se presente la mayor radiación directa, difusa y global promedio posible. Es importante que no existan objetos que interfieran en el proceso de

medida, así como elementos constructivos que aumenten la temperatura del medio circundante donde se realiza la medida.

- Se realizan una media de 5 medidas diarias, 5 días a la semana, durante un rango de tiempo semestral, teniendo como tiempo referencial la trayectoria aparente de captación eólica y solar fotovoltaica, con horarios de 8:00 (Horario A), 10:00 (Horario B), 12:00 (Horario C), 14:00 (Horario D) y 16:00 (Horario E). Esta medición está validada de acuerdo a la correlación de criterios por expertos, CELEC EP y el Instituto Nacional de Energía Renovables INER, basándose a parámetros de tipo de suelo, áreas protegidas, distancias a zonas pobladas, accesos viales, contaminación acústica y visual, entre otros factores expuestos en el documento “Guidelines on Climate Metadata and Homogenization”, WCDMD, No. 53, de la Organización Meteorológica Mundial OMM (2003).
- Se mantiene el proceso de validación establecido para la medida eólica, y se identifica su relación directa por cuanto trabajan dependientemente. Además de tomar en cuenta que la eficiencia de los módulos Fotovoltaicos está influenciada por la temperatura de los módulos.
- En un estudio de medición del recurso sol, la radiación solar debe medirse bajo el mismo ángulo de ubicación de los paneles fotovoltaicos, pero en este caso se desprecia esta indicación por cuanto el medidor de temperatura identifica la temperatura del medio en un área tridimensional.

### **3.2.2. Medición de insolación por radiación directa.**

Continuando con la medición requerida para el posterior dimensionamiento del sistema híbrido eólico - solar fotovoltaico, se procede a la medición eficiente de la radiación, tanto directa como difusa, para establecer una medida de radiación

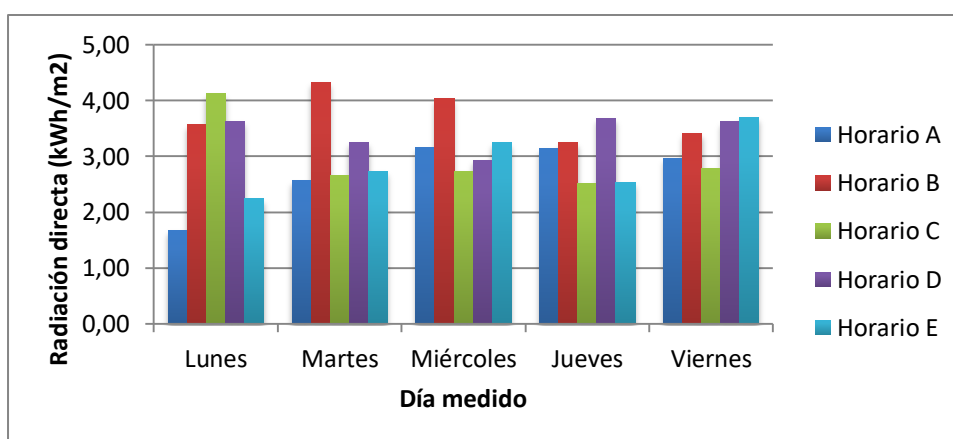
global promedio aproximada. De esta forma, la medición mensual del parámetro de radiación directa está expuesta en los siguientes gráficos y tablas demostrativos.

**Tabla 3.9. Insolación directa Junio 2013**

Horario	Junio – 2013 (en kWh/m <sup>2</sup> )				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
A (8:00)	1,67	2,56	3,16	3,14	2,96
B (10:00)	3,56	4,32	4,03	3,24	3,40
C (12:00)	4,12	2,65	2,73	2,51	2,78
D (14:00)	3,63	3,24	2,93	3,68	3,62
E (16:00)	2,24	2,74	3,24	2,53	3,70

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Gráfico 3.9. Insolación directa Junio 2013**



Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

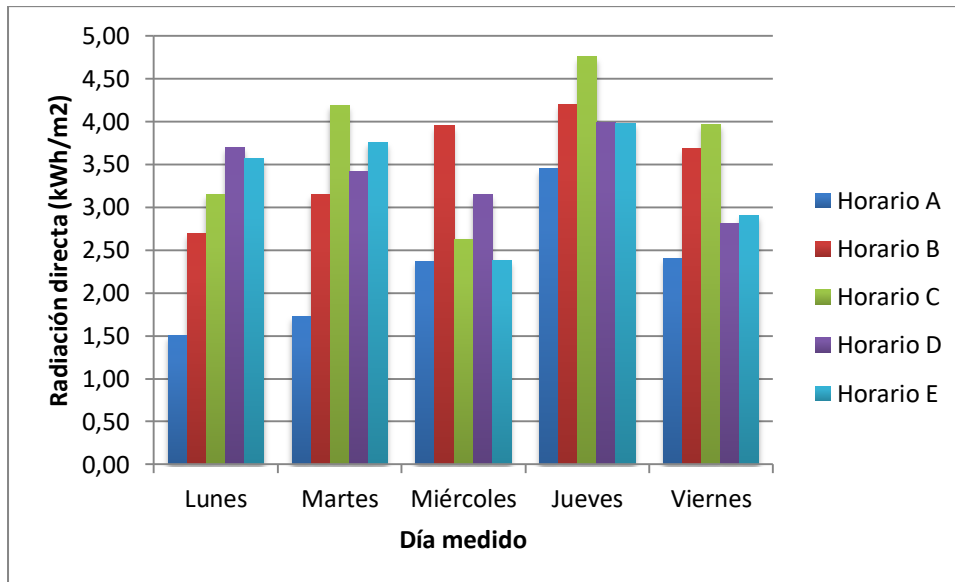
Como se puede ver en el Gráfico No. 3.9 los horarios con mayor incidencia de insolación directa son el horario B, horario D y horario E, en concordancia con lo establecido por la trayectoria aparente de la radiación fotovoltaica establecida en el marco metodológico. Además se identificó como el mes con mayor medida de radiación solar directa, con valores promediales máximos de 4,32 kWh/m<sup>2</sup>, lo que lo predispone como uno de los meses de mayor aprovechamiento para el sistema energético fotovoltaico

**Tabla 3.10. Insolación directa Julio 2013**

Horario	Julio – 2013 (en kWh/m <sup>2</sup> )				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
A (8:00)	1,50	1,73	2,37	3,45	2,41
B (10:00)	2,70	3,15	3,95	4,20	3,68
C (12:00)	3,15	4,19	2,63	4,75	3,97
D (14:00)	3,70	3,42	3,15	3,99	2,81
E (16:00)	3,56	3,76	2,38	3,98	2,91

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Gráfico 3.10. Insolación directa Julio 2013**



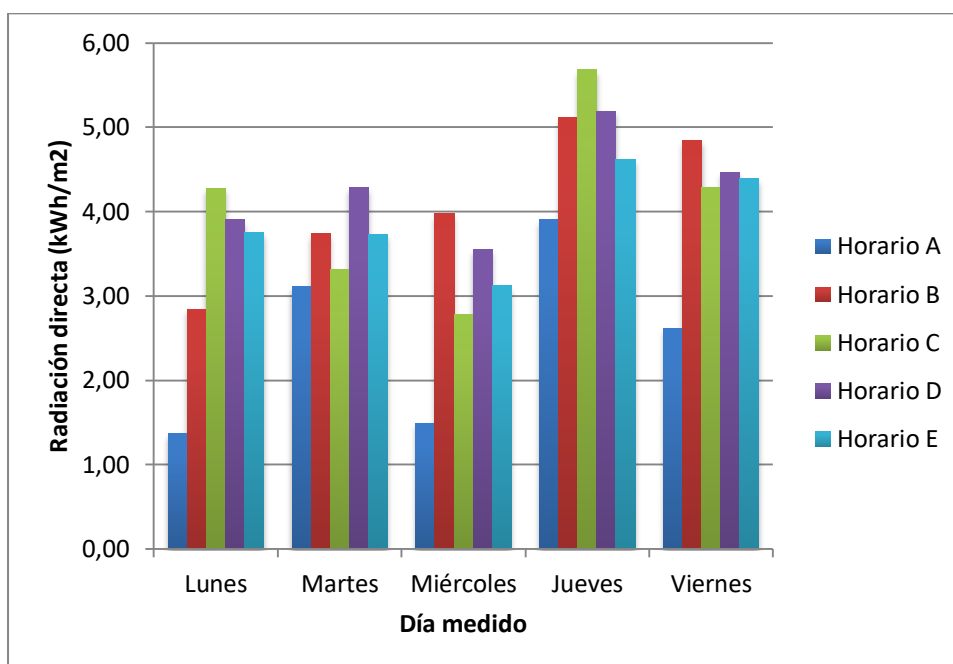
Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Tabla 3.11. Insolación directa Agosto 2013**

Horario	Agosto – 2013 (en kWh/m <sup>2</sup> )				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
A (8:00)	1,37	3,11	1,49	3,90	2,61
B (10:00)	2,84	3,74	3,97	5,11	4,84
C (12:00)	4,27	3,31	2,78	5,68	4,29
D (14:00)	3,90	4,29	3,55	5,19	4,46
E (16:00)	3,76	3,73	3,12	4,62	4,39

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Gráfico 3.11. Insolación directa Agosto 2013**



Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

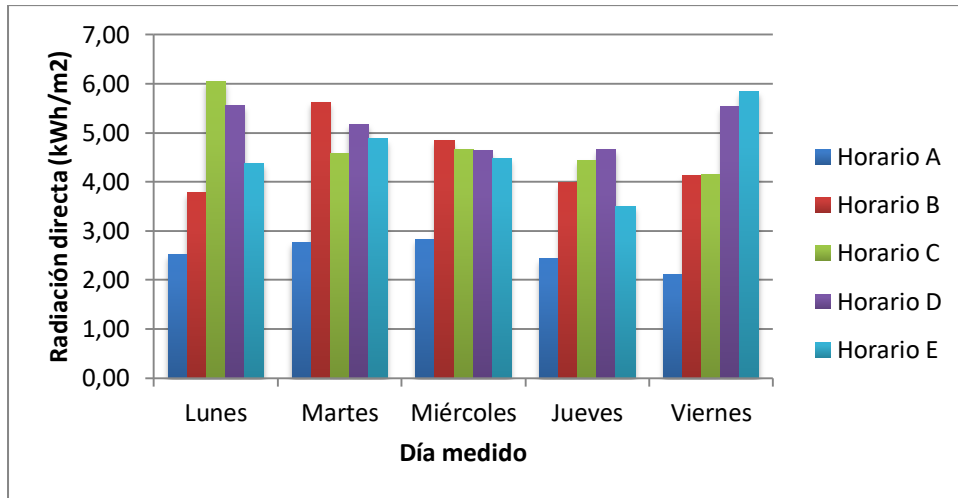
En los meses de Julio y Agosto, paralelamente a la alta presencia del recurso eólico, se presenta una estabilidad de la radiación solar directa incidente sobre los paneles, aunque con picos de radiación tal como se presencia en el horario C de los días Jueves, manteniendo un margen de crecimiento sostenido en las horas de mayor ángulo de dirección del haz fotovoltaico.

**Tabla 3.12. Insolación directa Septiembre 2013**

Horario	Septiembre – 2013 (en kWh/m <sup>2</sup> )				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
<b>A (8:00)</b>	2,53	2,76	2,83	2,43	2,11
<b>B (10:00)</b>	3,77	5,63	4,85	3,98	4,14
<b>C (12:00)</b>	6,05	4,58	4,66	4,43	4,14
<b>D (14:00)</b>	5,55	5,17	4,63	4,67	5,54
<b>E (16:00)</b>	4,38	4,88	4,48	3,51	5,58

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Gráfico 3.12. Insolación directa Septiembre 2013**



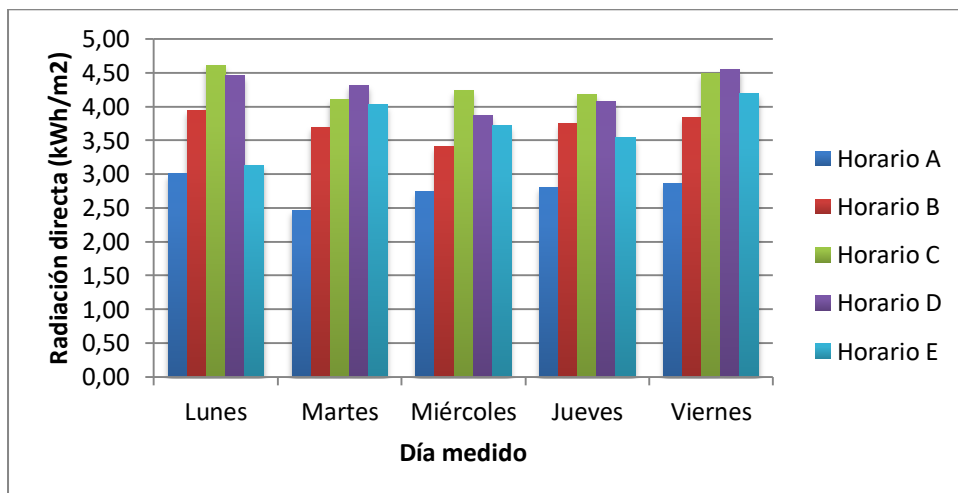
Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Tabla 3.13. Insolación directa Octubre 2013**

Horario	Octubre – 2013 (en kWh/m <sup>2</sup> )				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
<b>A (8:00)</b>	3,00	2,46	2,74	2,80	2,86
<b>B (10:00)</b>	3,94	3,70	3,40	3,75	3,83
<b>C (12:00)</b>	4,61	4,10	4,24	4,18	4,48
<b>D (14:00)</b>	4,47	4,31	3,87	4,07	4,54
<b>E (16:00)</b>	3,13	4,03	3,72	3,54	4,19

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Gráfico 3.13. Insolación directa Octubre 2013**



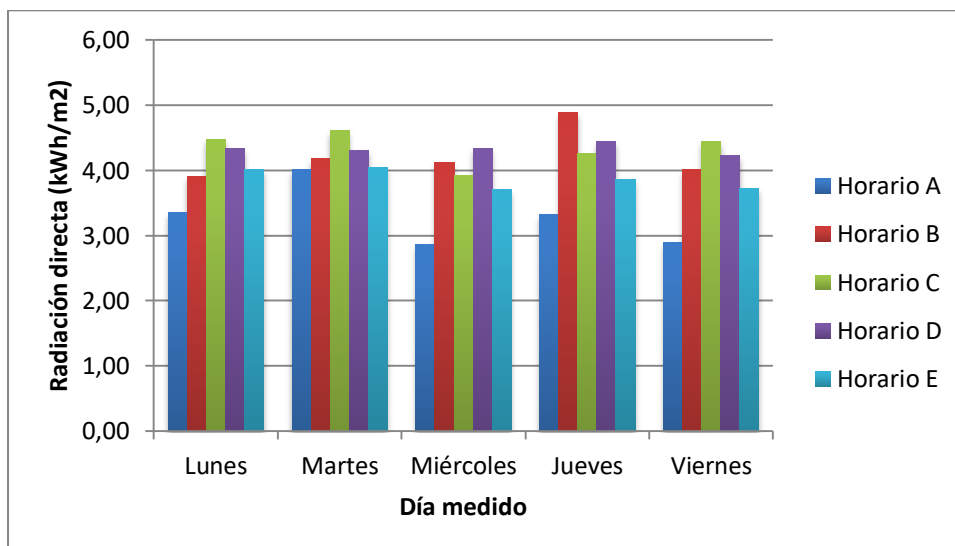
Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Tabla 3.14. Insolación directa Noviembre 2013**

Horario	Noviembre – 2013 (en kWh/m <sup>2</sup> )				
	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
A (8:00)	3,36	4,01	2,87	3,33	2,89
B (10:00)	3,91	4,18	4,12	4,89	4,01
C (12:00)	4,47	4,61	3,93	4,27	4,44
D (14:00)	4,33	4,31	4,33	4,45	4,23
E (16:00)	4,01	4,05	3,70	3,87	3,73

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Gráfico 3.14. Insolación directa Noviembre 2013**



Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

En los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre, se mantiene una constante de variación estable de la medida de radiación solar y temperatura obtenida, por cuanto son meses que presentan un crecimiento regular en los aspectos meteorológicos de presencia directa, donde no afecta considerablemente la nubosidad, la neblina ni las heladas, presentes en gran medida en los meses posteriores a la presente investigación.

### 3.2.3. Medición de insolación por radiación difusa.

Para el señalamiento de la insolación por radiación difusa, se procede al uso de los histogramas de frecuencia establecidos en bases de datos publicadas por el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC (2008), por cuanto en la radiación difusa participan otros factores externos como el microclima del suelo, la humedad, entre otros.

Cabe recordar que, la radiación difusa es aquel tipo de radiación de la atmósfera que se logra de la dispersión de parte de la radiación del sol en la misma atmósfera. Este tipo de energía supone en días extremadamente soleados aproximadamente un 40 a 50% de la radiación global, pero su participación es mucho mayor en días en los cuales la radiación directa es muy baja, proveyendo un porcentaje mucho mayor a la radiación global.

Es así que la medida de la insolación por radiación difusa se encuentra explicada gráficamente en el Anexo 2, y recabada la información en la Tabla 3.15.

**Tabla 3.15. Radiación difusa Junio - Noviembre**

<b>Radiación difusa Junio – Noviembre (en kWh/m<sup>2</sup>/día)</b>					
<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Octubre</b>	<b>Noviembre</b>
1,8	2,0	2,3	2,5	3,6	2,4

Fuente: CONELEC (2008)

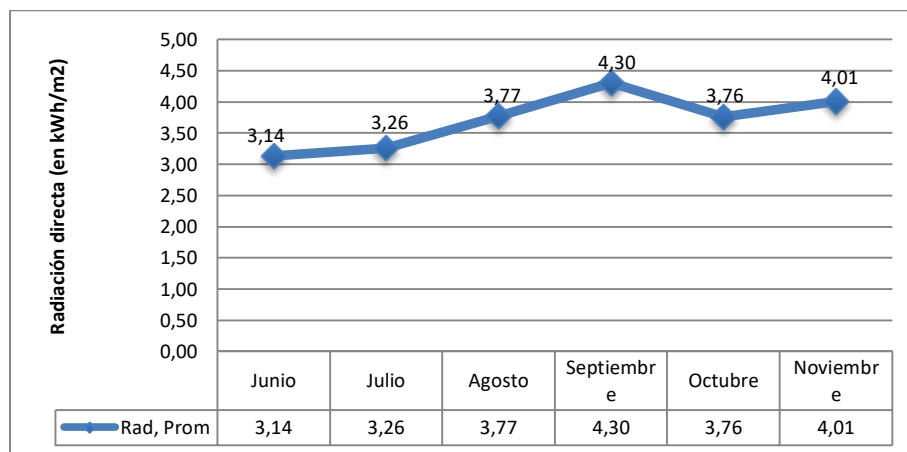
Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Se observa claramente que tiene una presunción en crecimiento a medida que pasan los meses, hasta llegar a un tope de 3,6 kWh en el mes de Octubre. Esta medida de crecimiento es opuesta a lo expresado por la radiación directa, donde en Junio se obtuvieron los mayores valores de temperatura, teniendo un aspecto de decrecimiento a medida que pasaban los meses.

### 3.2.4. Medición de radiación global promedio.

La radiación global promedio del sistema, toma en cuenta la variación que se presenta mensual de la radiación directa del sistema, en este caso la insolación por radiación difusa, al ser un sistema con un dimensionamiento menor, no influye tanto en la medida de la captación fotovoltaica, sino que es considerado un parámetro de comprobación externo y validación del proceso de medida, así como de influencia media en los días nublados o poca incidencia directa del sol. Este valor promedio del sistema, se ve reflejado en el gráfico 3.15:

**Gráfico 3.15. Radiación global promedio Junio – Noviembre 2013**



Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Se concluye, que como se especificó anteriormente en la medida de la radiación difusa contrario a este parámetro la radiación global promedio experimentaría un crecimiento considerable de Junio a Septiembre, pero a partir de aquí a medida que pasan los meses siguientes se estabiliza, con valores variables entre 4,30 y 3,76 k kWh/m<sup>2</sup>, siendo los valores globales promedio mínimo y máximo de 3,14 kWh/m<sup>2</sup> y 4,30 kWh/m<sup>2</sup> respectivamente.

### 3.3. Rendimiento del sistema.

Para la delimitación efectiva del rendimiento del sistema, bajo los parámetros medidos anteriormente, tanto eólicos como solar fotovoltaicos, primero se define

el rendimiento de los sistemas por separado, para en el marco propositivo poder establecer la hibridación del sistema mediante la participación de elementos de conversión y conjunción de corrientes y activación.

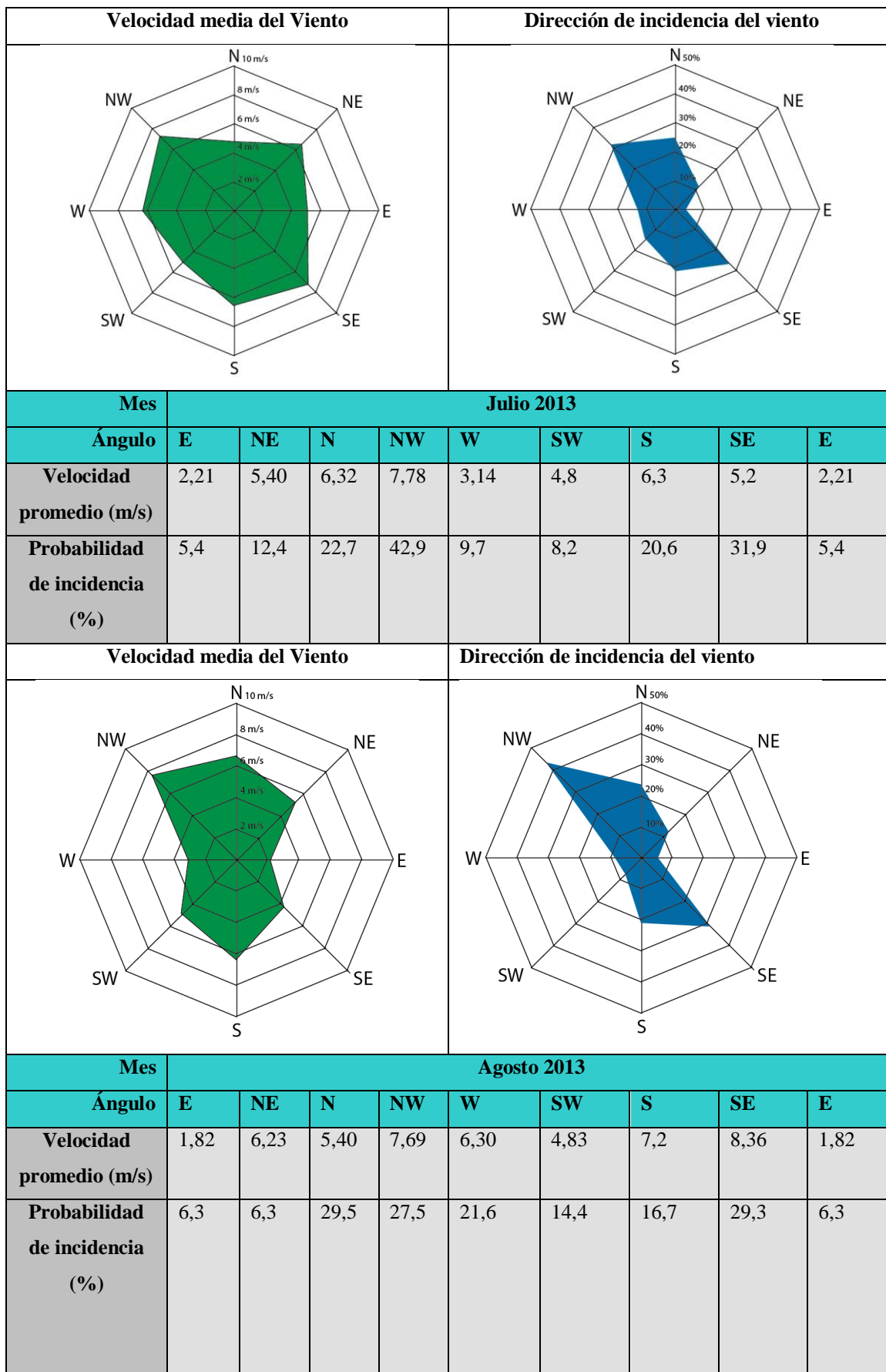
Para comprensión del significado de rendimiento del sistema es necesario hacer referencia a lo expuesto por (C.E.C.U., 2012) donde “El rendimiento de las maquinas eólicas depende de la *intensidad del viento*: a igualdad de diámetro de las palas, al aumentar la velocidad del viento, la potencia teóricamente extraíble aumenta de manera más que proporcional.” (p.14). Por lo tanto, como lo explica (C.E.C.U., 2012), antes de decidir instalar un sistema eólico es indispensable conocer bien las características del viento en el lugar en el que se piensa instalar los aerogeneradores. Estos conocimientos se obtienen realizando preventivamente un atento estudio de la frecuencia, de la velocidad, de la duración y de la dirección del viento.

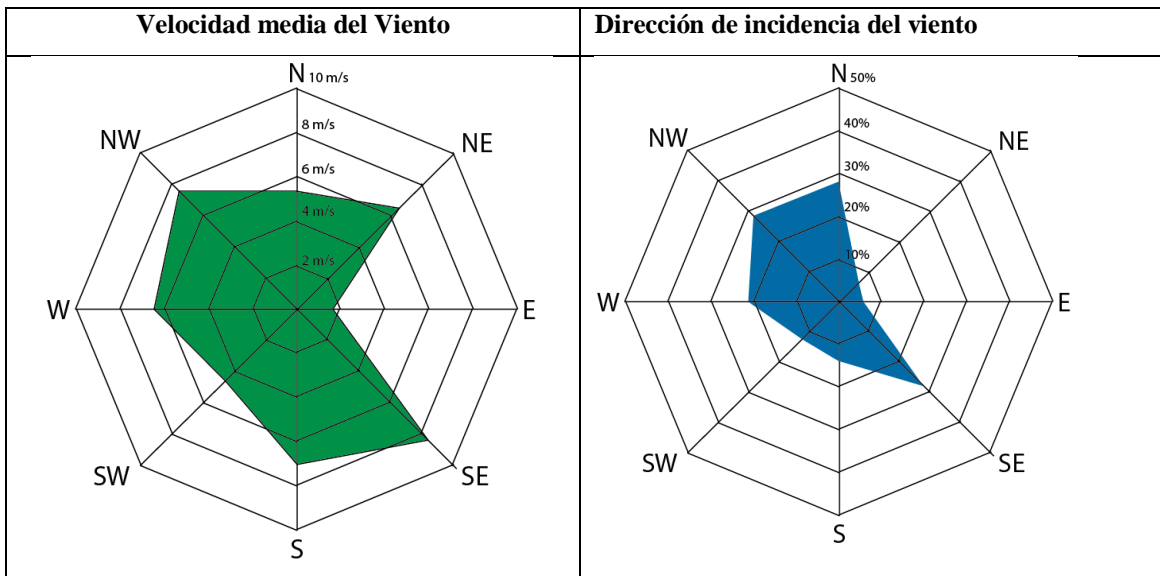
### 3.3.1. Diagrama eólico de relación dirección velocidad.

La relación existente entre la velocidad y la dirección, nos especifica una idea clara de la eficiencia que puede tener el sistema indicando además, mediante la elaboración de rosas de vientos, la dirección predominante del viento (parámetro fundamental para la ubicación del sistema), así como la velocidad media del viento. En la tabla 3.16 se detallan la velocidad media global media mensual obtenida, así como la incidencia probabilística de la dirección del viento.

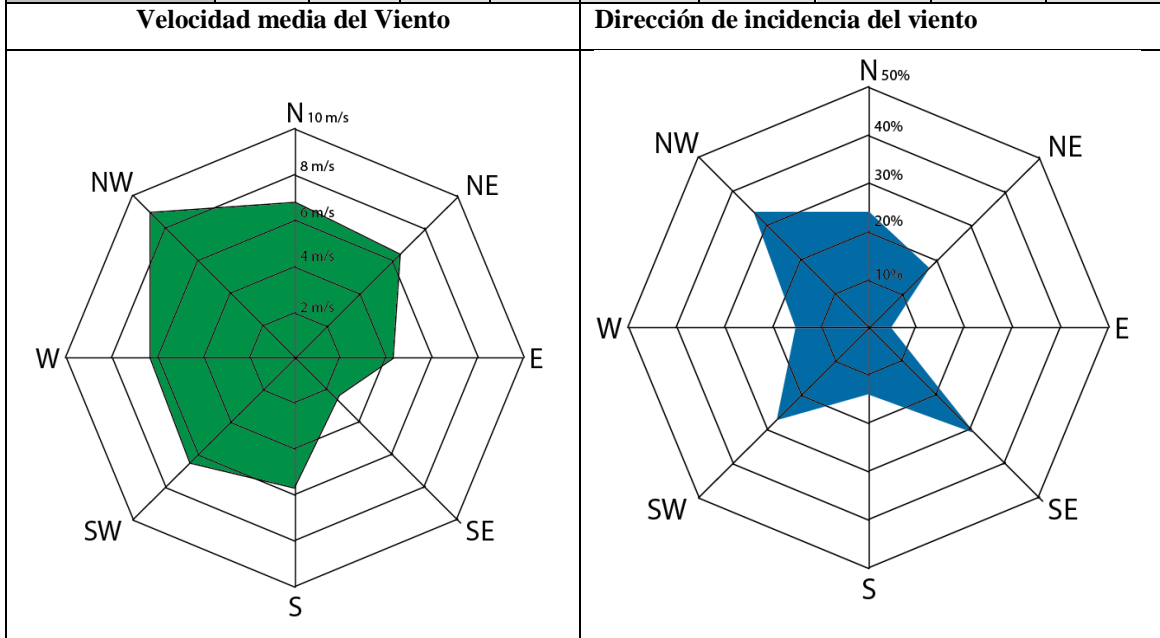
**Tabla 3.16. Diagrama eólico de relación dirección velocidad**

Mes	Junio 2013								
Ángulo	E	NE	N	NW	W	SW	S	SE	E
<b>Velocidad promedio (m/s)</b>	5,12	6,21	5,47	7,21	6,32	5,24	6,90	7,12	5,12
<b>Probabilidad de incidencia (%)</b>	3,2	10,1	20,5	30,8	14,2	17,3	21,4	28,4	3,2

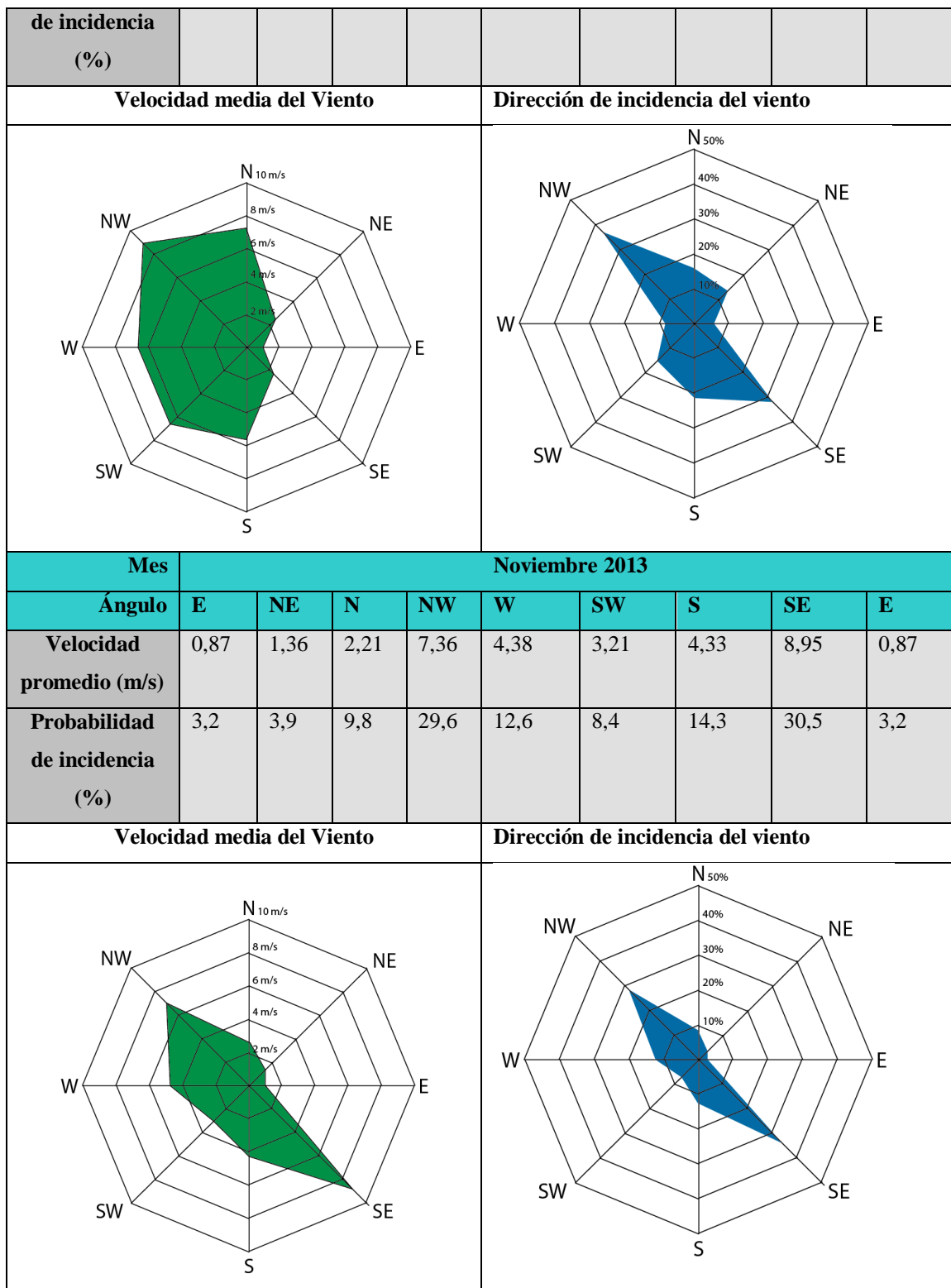




Mes	Septiembre 2013								
Ángulo	E	NE	N	NW	W	SW	S	SE	E
<b>Velocidad promedio (m/s)</b>	4,22	6,32	6,40	8,85	7,36	5,45	4,32	6,50	4,22
<b>Probabilidad de incidencia (%)</b>	4,3	18,5	24,2	34,5	16,4	28,1	14,5	31,3	4,3



Mes	Octubre 2013								
Ángulo	E	NE	N	NW	W	SW	S	SE	E
<b>Velocidad promedio (m/s)</b>	0,96	2,21	7,45	8,93	6,32	6,45	5,87	2,33	0,96
<b>Probabilidad</b>	5,9	14,2	16,5	38,7	8,8	16,2	20,2	32,5	5,9



Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

De estos diagramas de rosas de vientos y de direcciones, se obtiene el siguiente análisis:

- Existe una mayor disposición de velocidad del viento en dirección N, NW y W, lo que nos indica un parámetro efectivo de dirección de la góndola de aprovechamiento del carácter eólico.
- La presencia de velocidad del viento va en crecimiento sostenido con respecto a la dirección, aunque muchos aspectos de influencia dentro de las medidas se debieron a pequeños picos de rafagosidad presentes.
- La rugosidad del terreno es ideal para el tipo de implementación eólica que se pretende implementar.
- Factores de construcción y regularidad del viento incidente, aumentan el nivel de factibilidad técnica de uso del recurso eólico.

### 3.3.2. Aprovechamiento solar energético

El grado de aprovechamiento solar energético, se ve relacionado directamente con el grado de consumo que se requiere por parte de la red, ya que no sería factible un sobredimensionamiento del sistema, con la final de asegurar la cantidad de aportación, cuando mucha de esa aportación se desperdiciaría, además de influir directamente en el valor económico de implementación. Consecuentemente, en medida de desarrollar el aprovechamiento solar energético, se debe identificar el consumo de energía y demanda promedio de la escuela “Pedro Páez”, ubicada en el Barrio Brazales. Este consumo medio se ve indicado en la Tabla No. 3.17

**Tabla 3.17. Demanda promedio de emplazamiento**

Descripción	Estimación de carga Escuela “Pedro Páez”			
	Unidades	Potencia (W)	Horas de uso /día	Energía / día (Wh/día)
Luminarias	4	20	5	400
Computador	1	150	4	600
Televisor	1	40	4	160
Radio Portátil	1	30	2	60
Puntos de luz	3	20	6	360
			<b>TOTAL</b>	1580

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Indicada la demanda promedio del emplazamiento comprendido por la Escuela “Pedro Páez”, anterior al establecimiento de los parámetros técnicos tanto de los paneles solares, como de las baterías utilizadas para el almacenamiento de energía en momento de menor o consumo nulo, se procede a un estudio de selección de alternativa final, mediante pares de requerimiento de ingeniería, identificados en las tablas No. 3.18, No. 3.19 y No. 3.20 respectivamente.

**Tabla 3.18. Criterios ponderados por requerimiento de ingeniería.**

CRITERIOS	Fácil Uso	Facilidad de Montaje	Peso	Facilidad de mantenimiento	Funcionalidad	Complejidad de control	Rendimiento y capacidad de generación	Costo	$\Sigma+1$	Ponderación
Fácil uso		1	0,5	1	1	1	1	1	7,5	0,18
Facilidad de Montaje y Fabricación	1		0	1	1	0	0,5	1	5,5	0,13
Peso	0	0		0,5	1	1	1	1	5,5	0,13
Facilidad de Mantenimiento	1	1	0		0,5	0,5	0	1	5	0,12
Funcionalidad	0,5	0	1	0		1	0,5	0,5	4,5	0,11
Complejidad de control	1	0	1	0,5	1		1	1	6,5	0,15
Rendimiento y capacidad de generación	0	0,5	0	0,5	1	0		0	3	0,07
Costo	0	0,5	1	0,5	0	1	0,5		4,5	0,11
<b>SUMA</b>									<b>42</b>	<b>1</b>

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Tabla 3.19. Ponderación y selección de alternativas panel solar.**

TABLA DE ASIGNACIÓN DE ALTERNATIVAS DEL PROYECTO	FACIL USO	FACILIDAD DE MONTAJE	TAMAÑO	FACILIDAD DE MANTENIMIENTO	DISTANCIA DE OPERACION	COMPLEJIDAD DE CONTROL	RENDIMIENTO Y CAPACIDAD DE GENERACIÓN	CAPACIDAD DE CARGA	TOTAL
Panel Solar Zytech ZT50S	3	1	1	2	3	2	1	5	18
Panel Solar Yingli 165 P23B	3	5	4	4	5	2	3	3	29
Panel Solar SLP100-12U	5	4	3	5	5	4	4	4	34

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Tabla 3.20. Ponderación y selección de alternativas batería solar**

<b>TABLA DE ASIGNACIÓN DE ALTERNATIVAS DEL PROYECTO</b>	<b>FACIL USO</b>	<b>FACILIDAD DE MONTAJE</b>	<b>TAMAÑO</b>	<b>FACILIDAD DE MANTENIMIENTO</b>	<b>DISTANCIA DE OPERACION</b>	<b>COMPLEJIDAD DE CONTROL</b>	<b>RENDIMIENTO Y CAPACIDAD DE GENERACIÓN</b>	<b>CAPACIDAD DE CARGA</b>	<b>TOTAL</b>
SolarBlock SB12/130A	5	4	4	5	5	5	4	5	37
Hoppecke Power VL	4	3	4	4	3	3	4	3	28
TAB Monoblock 115A	5	1	5	5	4	3	3	4	30

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Tomando como características de construcción los mejores implementos que conforman un esquema solar, de acuerdo a su valor costo beneficio actualmente en el mercado ecuatoriano, módulos policristalinos de Silicón Solarland SLP100-12U de 100 W de potencia y baterías SolarBloc SB12/130A con la siguiente información técnica:

**Tabla 3.21. Características eléctricas Panel Solar SLP100-12U**

<b>Características eléctricas</b>	<b>SLP100-12U</b>
Código de Producto	100011206 <sup>a</sup>
Potencia Máxima (P <sub>máx</sub> )	100W
Voltaje a P <sub>máx</sub> (V <sub>mp</sub> )	17,2V
Intensidad a P <sub>máx</sub> (I <sub>mp</sub> )	5,81 A
Voltaje a Circuito abierto (V <sub>oc</sub> )	21,6V
Intensidad a corto circuito (I <sub>sc</sub> )	6,46 A.
Coficiente de temperatura de V <sub>oc</sub>	-(80 ±10)mV/°C
Coficiente de temperatura de I <sub>sc</sub>	(0,065 ±0, 015)%/°C
Temperatura de coeficiente de potencia	-(0,5±0, 05)%/°C
Temperatura nominal de funcionamiento de la celda	47±2°C
Temperatura de operación	-40°C a 85°C
Voltaje máximo del sistema	1000V DC
Tolerancia de la potencia	±5%

Fuente: SolarWind US.

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Tabla 3.22. Características eléctricas Batería SolarBloc SB12/130A**

<b>Características eléctricas</b>	<b>SB12/130A</b>
Voltaje nominal	12 V
Capacidad nominal (Ah)	130 Ah
Intensidad de carga (A)	1,30 A
Largo x Ancho (mm)	513x223
Altura sin conectores (mm)	195
Altura con conectores (mm)	223
Peso aproximado	48 Kg
Terminal	A terminal

Fuente: Hispania Solar

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Tomando en cuenta que la carga en corriente continua (12V CC) son las 8 luminarias que se utilizan en las instalaciones de la Escuela, lo que nos da un consumo de 400 Wh/día, mientras que el consumo en corriente alterna (110V CA) corresponde al resto de artefactos eléctricos y electrónico, que nos da 1180 Wh/día, por lo que en la siguiente tabla, a partir de la aplicación de formulas de dimensionamiento de sistema, se presenta el dimensionamiento de cargas para con el sistema solar fotovoltaico.

**Tabla 3.23. Determinación de cargas del sistema**

<b>Características eléctricas</b>	<b>Valor</b>
Carga CA total diaria	1180 Wh/día
Factor del inversor (CC-CA)	1,20
Carga diaria CC equivalente	1416 Wh/día CC
Carga máxima pico	280 Vatios
Carga máxima pico CA 40W	280 Vatios

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

En la determinación de cargas efectiva se introduce un factor de inversión de 1,20, ya que se necesita una estandarización de la medida de cargas a CC para los

cálculos posteriores, obteniendo este parámetro como las pérdidas que se producen en el inversor de voltaje.

**Tabla 3.24. Corriente Pico del Módulo**

<b>Características eléctricas</b>	<b>Valor</b>
Carga diaria CC	400 Wh/día
Carga CC (de cargas CA)	1416 Wh/día
Carga CC total diaria	1816 Wh/día
Tensión CC del sistema	12 V
Carga diaria corriente CC	151,33 Ah
Factor de seguridad (pérdidas del sistema)	1,2
Carga corriente corregida	181,6 Ah
Radiación solar promedio	3,71 kWh/m <sup>2</sup> /día
Corriente pico del sistema	48,95 A

Elaborado por: Cevallos Viscaíno Edison Xavier.

Se concluye que, para la carga diaria establecida en la tabla 3.20, la corriente pico del sistema será de 48,95 Amperios, además de que este valor es característico fundamental para el dimensionamiento del módulo, del banco de baterías y del inversor, dentro del marco propositivo del presente estudio.

### **3.3.3. Conclusiones parciales.**

A partir de las mediciones realizadas, y en forma conjunta por lo establecido a partir del marco teórico y metodológico que preceden, se estructuran las siguientes conclusiones parciales:

- Se desprende del proceso de validación de la medición por afección de incertidumbre y efectos externos que, con un porcentual promedial de 86,17% se aceptan como válidos los datos obtenidos para el espacio de tiempo comprendido entre Junio y Noviembre del año 2013.

- Mediante análisis comparativo mensual, se indica que el horario E (16:00) en el emplazamiento de análisis, es aquel donde se registra una mayor regularidad de la velocidad del viento.
- La rafagosidad existente en el emplazamiento, a partir del registro tomado para el mes de Octubre es cada vez más presente, además de existir una mayor turbulencia en el viento, de forma consecuente con la rafagosidad.
- En el mes de Noviembre se registró el mayor pico de rafagosidad del viento con 16,23 m/s, siendo este valor el referencial de protección del sistema.
- En cuestión al parámetro de dirección del viento, existe una mayor incidencia del viento en sentido NW o SE de forma análoga, siendo este el mejor indicador para la posición efectiva del sistema.
- El mes de Junio registró el mayor valor de radiación solar directa con valores promedio de 4,32 kWh/m<sup>2</sup>, que conjuntamente con los parámetros de radiación difusa, caracterizan el bien energético correspondiente a la captación solar fotovoltaica.
- Efectos externos como la nubosidad, la neblina y las heladas, son de afección considerable a los meses posteriores a Noviembre, ya que estos perjudican el funcionamiento óptimos de los paneles de captación fotovoltaico.
- Mediante criterios de ponderación para asignación de alternativas del panel solar y la batería solar, bajo conceptos de usabilidad, facilidad de montaje y fabricación, peso, mantenimiento, funcionalidad, complejidad de control, rendimiento, capacidad de generación y costo, se seleccionó como factible la utilización dentro del diseño de el panel solar SLP100-12U y la batería SolarBlock SB12/130A respectivamente, quedando las

otras alternativas a utilización solamente si las principales no fueran adquiridas.

## **CAPÍTULO IV**

### **MARCO PROPOSITIVO**

#### **4.1. Título de la propuesta**

Diseño de un Sistema de Suministro Eléctrico Híbrido con captación eólico – solar fotovoltaica para implementación en la escuela “Pedro Páez” del barrio Brazales, parroquia Eloy Alfaro.

#### **4.2. Justificación**

La presente propuesta se justifica efectivamente bajo el plan de introducción de proyectos, de pequeño y mediano alcance, implementados por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, además del apoyo total del Gobierno Nacional, siendo controlado y patrocinado por el Consejo Nacional de Electricidad CONELEC, como parte de su continuo sistema de implementación de sistemas de generación por fuentes de energía renovable eólico fotovoltaica en emplazamientos de difícil acceso, o con presencia de inestabilidad en la electricidad ofertada.

#### **4.3. Objetivo**

- Diseñar un sistema híbrido de captación eólico – solar fotovoltaico, con un dimensionamiento de cada uno de los sistemas independientemente de acuerdo a las características de generación medidas en el emplazamiento correspondiente a la escuela “Pedro Páez”, del barrio Brazales, parroquia Eloy Alfaro.

#### **4.4. Estructura de la propuesta**

La esquematización propositiva obtenida a partir del estudio técnico realizado en los medios físicos del emplazamiento, manifiesta un análisis de

implementación de un diseño eólico solar fotovoltaico ubicado en la parte superior de la estructura principal de la escuela, mediante la hibridación de un sistema eólico de características de generación doméstica, conjuntamente con un dimensionamiento de paneles de captación de radiación directa, difusa y global promedio, a partir del siguiente flujo de procesos:

- Realizar un estudio técnico previo de las características de emplazamiento del recurso eólico, donde conste la medición promedio mensual de la velocidad del viento, la predominancia de incidencia de la dirección, conjuntamente con la prospección del medio solar fotovoltaico, visualizando la radiación directa, difusa y global promedio del sector.
- Dimensionamiento de las cargas existentes del sistema, de forma paralela con la prospección de la corriente pico del módulo, como parámetros iniciales de determinación del consumo necesario por parte de los usuarios de la electricidad producida.
- Cumplimentar un diagnóstico y evaluación técnica, socioeconómica y de impacto ambiental de la potencial implementación, siendo estos aspectos influenciados directamente por la ubicación del sistema híbrido eólico solar fotovoltaico.
- Identificar las mejores opciones funcionales de sistemas para su adquisición, construcción y posterior uso conjunto, estableciendo la ubicación del mismo para evitar problemas de involucramiento por factor humano, o interferencias por agentes externos.
- Reducir los niveles de contaminación auditiva y visual, si dentro del análisis existieren niveles de afección elevados, mediante mecanismo de intervención para la minimización de vibraciones, cumplimiento de mantenimientos y aminorar el impacto con el entorno circundante.

#### 4.4.1. Concepción inicial.

La concepción inicial de esta propuesta se origina a partir de la necesidad de ir reduciendo el uso de la energía convencional en sectores alejados de las urbes principales del país donde, si bien se encuentra presente en los complejos, la calidad de servicio no es la esperada. Las características del viento y radiación del sector son aprovechables en gran medida, comprobados por medios de información relevante expuesta en bases de datos tanto locales, nacionales como internacionales.

Si bien el consumo energético dentro de la escuela “Pedro Páez” no es muy elevado, la generación energética no tan solo se direccionaría al uso particular del sistema, sino que además la energía sobrante puede ser aportada a la red eléctrica general, para apoyo auxiliar eléctrico del barrio Brazales, en la parroquia Eloy Alfaro.

#### 4.4.2. Valores iniciales de emplazamiento

El emplazamiento indicado al sector de estudio, de acuerdo a las mediciones conformadas mediante instrumentación especializadas, tabulación y análisis de la información recogida, nos demuestra unos valores iniciales enunciados en la tabla 4.1.

**Tabla 4.1. Valores iniciales de emplazamiento**

Características eléctricas	Valor
Altura (m.s.n.m.)	2764 m.
Densidad del aire	0,9355 kg/m <sup>3</sup>
Rugosidad del terreno	0,2
Velocidad promedio (m/s)	8,35 m/s
Racha máxima	16 m/s
Dirección del viento (en %)	NW (34%)
Radiación global promedio kWh/m <sup>2</sup>	3,71 kWh/m <sup>2</sup>

Carga total diaria CC	1816 Wh/día
Tensión CC del sistema	12 V
Corriente pico del sistema	48,95 A

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

#### 4.4.3. Dimensionamiento de instalación.

Para el dimensionamiento total de la instalación, se procede primero a la determinación del máximo aprovechamiento del sistema eólico, posteriormente se continúa con el aprovechamiento máximo y dimensionamiento de los aspectos solar fotovoltaico, para finalizar con una prospección de la entrega efectiva de la hibridación de ambos sistemas.

La máxima potencia aprovechable del viento, por intervención de la captación realizada por medio del aerogenerador eólico doméstico, viene determinada mediante la medición de la velocidad media del viento (Tabla 4.2), la medición de la incidencia del viento (Tabla 4.3), la tabla de valores de coeficiente de potencia  $C_p$  y la curva de potencia del generador seleccionado.

Para el presente estudio se ha seleccionado el aerogenerador Aeolos-H de 1kW de potencia, tomando en cuenta el costo de implementación del sistema, los costos de logística y transporte, así como los valores de mantenimiento más beneficiosos en el mercado nacional. Las características físicas del aerogenerador Aeolos-H se encuentran detalladas en la tabla 5.2.

**Tabla 4.2. Características de aerogenerador Aeolos-H**

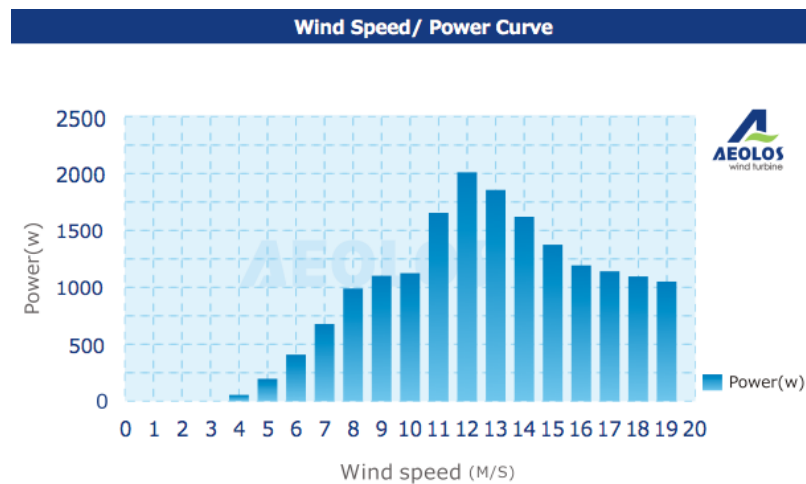
Características eléctricas	Especificación
Tipo de generación	Magneto permanente de 3 fases
Diámetro del rotor	3.2 m
Peso de la turbina	60 kg
Material de las aspas	Aleación de aluminio
Cantidad de aspas	3

Temperatura de funcionamiento	-20°C a 50°C
Tiempo de vida útil general	30 años
Potencia promedio	1000 W
Potencia máxima a la salida	1500 W
Velocidad de arranque	3.0 m/s
Velocidad máx. de funcionamiento	25 m/s
Velocidad a protección	45 m/s
Eficiencia del generador	96%
Nivel de contaminación sonora	<45 dBA
Garantía de construcción	5 años
Limitación de RPM a las aspas	350 RPM
Carga máxima a PWM	2kW en caja
Freno mecánico	Electrónico automático de protección

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Además, para la aeroturbina Aeolos-H, tenemos la siguiente curva de potencia especificada en el Gráfico 4.1, con un  $C_p$  de 0.52 como factor máximo de capacidad de captación eólica establecida por el fabricante.

**Gráfico 4.1. Curva de potencia Aeolos-H 1 kW**



Fuente: Catálogo Aeolos-H 1kW

Partiendo que, la máxima potencia mecánica aprovechada del viento, por medio de la actuación del aerogenerador, viene dada por la ecuación:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Se obtiene que para el rango de meses medidos entre Junio y Noviembre del año 2013, la potencia eólica aprovechable media se especifica en la tabla No. 4.3.

**Tabla 4.3. Potencia eólica media aprovechable**

Mes	Velocidad media (m/s)	Potencial eólica aprovechable media (W)
Junio	7,21	429,382
Julio	7,78	539,481
Agosto	8,36	669,355
Septiembre	8,85	794,087
Octubre	8,93	815,816
Noviembre	8,95	821,310
Media	8,35	678,238

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

La validación de los resultados obtenidos para el dimensionamiento establecido para el emplazamiento, se lo realiza mediante estudio comparativo con la información de potencia de salida estimada por el fabricante, indicada en el gráfico 4.2.

**Gráfico 4.2. Curva de potencia Aeolos-H 1 kW**

Aeolos-H 1kW Wind Turbine Output								
Wind Speed(m/s)	3	4	5	6	7	8	9	10
Generator Power(w)	14	40	172	400	670	1000	1070	1200
Annual Energy Output(kWh)	123	350	1507	3504	5869	8760	9373	10512

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Para el dimensionamiento del captador de generación fotovoltaico, es indispensable realizar el proceso de caracterización de los siguientes elementos:

- Dimensionamiento del módulo Fotovoltaico.
- Dimensionado del banco de baterías.
- Dimensionado del Inversor de energía.
- Capacidad de la unidad de control.

A partir de una serie de cálculos determinados mediante el análisis de las cargas impuestas al sistema (Tabla 3.20) y Corriente Pico del Módulo (Tabla 3.21), en las siguientes tablas se especifican sus características de composición de elementos.

**Tabla 4.4. Dimensionamiento del Módulo Fotovoltaico**

<b>Características eléctricas</b>	<b>Valor</b>
Corriente pico del sistema	48,95 A
Corriente pico del panel fotovoltaico	5,81 A
Arreglo de módulos	8,43
Factor de módulos en paralelo	8
Tensión CC nominal del sistema	12 V
Tensión CC nominal del módulo	17,2 V
Relación CC sistema – módulo	0,69
Numero de módulos	6 módulos

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Tabla 4.5. Dimensionamiento Banco de Baterías**

<b>Características eléctricas</b>	<b>Valor</b>
Carga CC total diaria	181,6 Ah
Días de reserva según fabricante	4 días
Capacidad nominal banco baterías	726,4 Ah
Profundidad de descarga según fabricante	0,75

Capacidad corregida	968,53 Ah
Capacidad nominal batería	130 Ah
Arreglo de baterías paralelo	7,45
Factor de baterías en paralelo	7
Tensión CC nominal del sistema	12 V
Tensión CC nominal batería	12 V
Número de baterías en serie	1
Numero total de baterías	7

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

**Tabla 4.6. Dimensionamiento del Inversor**

Características eléctricas	Valor
Carga Máxima continua	280 Vatios
Carga máxima pico	280 Vatios
Capacidad máxima continua CA del inversor	500 Vatios
Capacidad máxima pico CA del inversor	500 Vatios

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

#### 4.4.4. Producción energética estimada.

Para la producción energética estimada del sistema, de igual manera se proyecta su producción independientemente cada sistema, por un lado la producción por captación eólica, y por otro lado la indicada como resultante de la captación solar fotovoltaica.

Para la producción eólica de la aeroturbina se obtiene que, por interpolación de valores determinados por el fabricante en la curva de potencia (Gráfico 4.2), indicando nuestra potencia máxima aprovechable del recurso eólico existente en el emplazamiento, la siguiente tabla de producción energética eólica mensual, trimestral, semestral y anual bruta (Tabla 4.7), tomando en cuenta para determinar la producción energética neta los siguientes elementos de pérdidas y sus respectivos coeficientes:

- Suciedad en las palas: 3%
- Pérdidas eléctricas: 5%
- Disponibilidad del recurso: 13%
- Mantenimiento: 2%
- Histéresis por accionamiento: 3%
- Factor medio de pérdidas: 5,2%

Además, al ser el parámetro eólico una fuente de características cambiables, se establece una obtención real del sistema del 35%, en el peor de los casos, indicando así la producción energética neta real en el peor de los casos.

**Tabla 4.7. Producción energética sistema eólico**

<b>Parámetro</b>	<b>Producción mensual (kWh/mes)</b>	<b>Producción trimestral (kWh/trim)</b>	<b>Producción semestral (kWh/sem)</b>	<b>Producción anual (kWh/año)</b>
Producción energética bruta	495,1	1485,3	2970,6	5941,16
Factor medio de pérdidas	5,2%	5,2%	5,2%	5,2%
Producción energética neta	469,35	1408,06	2816,13	5632,22

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Direccionándonos ahora hacia la producción por su composición de captación solar fotovoltaica, es necesario apuntar el parámetro de pérdidas medias anuales del sistema, debido en su gran mayoría a la intervención de pérdidas por características técnicas, calidad de los equipos que se utilizaron en el estudio técnico de diseño y factores externos en el proceso de construcción. PR, como se le indica a este valor, es de aproximadamente el 22%, por lo que la producción del sistema solar fotovoltaico se desarrolla en la Tabla 4.8.

**Tabla 4.8. Producción energética sistema solar fotovoltaico**

<b>Parámetro</b>	<b>Producción mensual (kWh/mes)</b>	<b>Producción trimestral (kWh/trim)</b>	<b>Producción semestral (kWh/sem)</b>	<b>Producción anual (kWh/año)</b>
Producción energética bruta	54,48	163,44	326,88	653,76
Rendimiento de obtención real del sistema	78%	78%	78%	78%
Producción energética real del sistema	42,49	127,48	254,97	509,93

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Como es sistema es híbrido en conjunto, en la Tabla 4.9 se especifica la producción energética general del sistema:

**Tabla 4.9. Producción energética sistema híbrido**

<b>Parámetro</b>	<b>Producción mensual (kWh/mes)</b>	<b>Producción trimestral (kWh/trim)</b>	<b>Producción semestral (kWh/sem)</b>	<b>Producción anual (kWh/año)</b>
Captación eólica	161,94	485,856	971,70	5632,22
Captación solar fotovoltaica	42,49	127,48	254,97	509,93
<b>PRODUCCIÓN TOTAL</b>	204,43	613,336	1226,67	6142,15

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

De lo que se concluye que tendría un aproximado de producción energética diaria de 6,81 kWh, comparándolo con la demanda de consumo general de la escuela “Pedro Páez”, que es de 1,816kWh al día, tenemos una sobreproducción energética del 375%, en el peor de los casos, pudiendo utilizar este rango para

aporte a la red local de energía, acumulando la necesaria en el banco de baterías, o estableciendo circuitos de funcionamiento de los sistemas para alargar su vida útil promedio.

#### 4.5. Análisis de factibilidad

##### 4.5.1. Gastos de adquisición

Los gastos de adquisición correspondientes a la implementación de un sistema de captación híbrido eólico – solar fotovoltaico, que en producción energética demuestra su factibilidad técnica, se encuentran detallados en la tabla 4.10.

**Tabla 4.10. Gastos de adquisición sistema híbrido (en USD)**

No	Parámetro	Cantidad	Valor neto	Transporte	Valor Final
1	Sistema de captación eólico 1kW Aeolos-H	1	2690,00	134,50	2824,50
2	Panel Solar SLP 100-12U	6	960,00	48,00	1008,00
3	Batería Solar SolarBloc SB12/130 A	7	752,68	37,63	790,31
4	Inversor de corriente	1	612,90	30,65	643,55
5	Sistemas de Conexión	1 grupo	400,00	20,00	420,00
6	Equipos Auxiliares	1 grupo	650,00	32,5	682,50
				<b>TOTAL</b>	6368,86

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

Cabe señalar que no se incluyen de ninguna forma impuestos agregados por cuanto, según normativa legal el Estado Ecuatoriano y el Consejo Nacional de Electricidad dispusieron no se agregue aranceles a la importación, compra e implementación de medios de captación de energía renovable. El lugar seleccionado de montaje se encuentra detallado mediante fotografías expresas dentro del Anexo No. 3.

#### 4.5.2. Gastos de montaje e instalación.

Los gastos correspondientes al montaje e instalación del sistema de captación híbrido eólico solar fotovoltaico, incluyen los valores que derivan del estudio técnico inicial, toda la instrumentación de medida y recolección de información, obra civil si fuera necesario, cimentación de la torre eólica, la utilización de grúas o mecanismos de elevación, y un porcentaje propuesto para imprevistos de instalación. Todos estos rubros se encuentran organizados en la tabla 4.11.

**Tabla 4.11. Gastos de adquisición sistema híbrido (en USD)**

No	Descripción	Tipo	Valor Final
1	Estudio técnico de desarrollo	Humano	800,00
2	Instrumentación	Material	300,00
3	Obra civil	Material	600,00
4	Cimentación	Material	300,00
5	Sistemas de ubicación	Material	100,00
6	Presupuesto imprevistos	10%	210,00
<b>TOTAL</b>			<b>2310,00</b>

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

#### 4.5.3. Gastos de personal.

Para el cálculo de gastos por personal de implementación del sistema se mantiene las siguientes suposiciones de participación dentro del proyecto:

- El personal completo participa solamente en el momento de instalación del sistema.
- En un principio se establecen revisiones del sistema completo, realizadas solamente por el técnico supervisor y el auxiliar técnico de mantenimiento, con un intervalo de 3 meses durante el primer año, siendo extendida posteriormente a revisiones semestrales desde el segundo año hasta el 5 año, y revisiones anuales durante los años posteriores para cumplimentar su vida útil.

Es así que, como podemos visualizar en la tabla 4.12, los gastos de personal se detallan de la siguiente manera:

**Tabla 4.12. Gastos de personal (en USD)**

No	Descripción	Instalación	Rev. 1er año	Rev 2 – 5 años	Rev. 5 – 10 años	Rev 10 – 25 años	Total
1	Técnico supervisor de instalación	300,00	-----	-----	-----	-----	300,00
2	Auxiliar técnico de mantenimiento	200,00	400,00	200,00	200,00	1000	2000,00
3	Director de obra	200,00	-----	-----	-----		200,00
4	Personal de implementación	300,00	-----	-----	-----		300,00
<b>TOTAL</b>							2800,00

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

#### 4.5.4. Gastos de mantenimiento.

El parámetro de mantenimiento es primordial para garantizar la vida útil del sistema de captación híbrido eólico – solar fotovoltaico, por cuanto se logra predisponer de un sistema preventivo y correctivo de las diferentes falencias generadas por desgaste normal de los implementos, por exposición continua a la atmósfera del emplazamiento y los valores altos de humedad, radiación, frío, y rafagosidad elevada, comprobada en el estudio técnico previo. De esta manera los gastos de mantenimiento son:

**Tabla 4.13. Gastos de mantenimiento (en USD)**

No	Descripción	Rev. 1er año	Rev 2 – 5 años	Rev. 5 – 10 años	Rev 10 – 25 años	Total
1	Sistema eólico	565,00	282,50	210,00	350,00	1407,50
2	Sistema solar fotovoltaico	303,16	151,58	130,00	300,00	884,74
3	Instrumentos adicionales y conexiones	283,48	141,74	130,00	300,00	855,22
<b>TOTAL</b>						2786,96

Elaborado por: Cevallos Viscaino Edison Xavier.

#### 4.5.5. Inversión Total.

La inversión total del proyecto corresponde a la sumatoria de los valores por rubros de adquisición, montaje e instalación, gastos de personal de implementación y revisión a lo largo de su vida útil, y los gastos de mantenimiento del sistema. De esta forma, la inversión total se representa por:

$$Inversión\ Total = Valores_{adq} + Valores_{mont.} + Gastos_{person} + Gastos_{mant}$$

De lo que, reemplazando por sus respectivos valores, se obtiene una inversión total de:

$$Inversión\ Total(en\ USD) = 6368,86 + 2310,00 + 2800,00 + 2786,96$$

$$Inversión\ Total(en\ USD) = 14265,82USD$$

Cabe aclarar que la proyección de esta inversión, está determinada para una vida útil de los implementos de 25 años, después de los cuales es necesario recondicionarlos para los cambios de requerimiento, o reemplazarlos por equipamiento con un mayor nivel de tecnología, de coste reducido por el avance de la tecnología y de mayor eficiencia energética.

#### 4.5.6. Tiempo recuperación de inversión.

El tiempo de recuperación de la inversión, además de que claramente se apoya la introducción y uso de fuentes de energía renovable no convencional desde todo punto de vista, se mide de la relación que existe entre la inversión total del proyecto, y la producción estimada valorada en USD.

Colectivamente el sistema híbrido eólico solar fotovoltaico tiene una producción anual de 6142,15 kWh total, y el coste del kWh en el Ecuador sin subsidios actualmente es de 0,15 centavos de dólar. El valor de producción en dólares es:

$$\text{Valor de producción(en USD)} = (6142,15 \text{ kWh}) * (25) * (0,15 \text{ USD/kWh})$$

$$\text{Valor de producción(en USD)} = 23033,06 \text{ USD}$$

#### **4.6. Evaluación de influencia con el entorno y compatibilidad.**

La afección directa e indirecta de la implementación del sistema de generación híbrida eólico solar fotovoltaica, se señala expresamente bajo las siguientes premisas:

- El impacto visual es notorio, por cuanto la construcción de una torre eólica de pequeña o mediana dimensión no es compatible con el entorno, aunque se minimiza por el nivel de innovación y generación eléctrica que aporta.
- La contaminación sonora se ve controlada mediante tecnología incluida dentro de la concepción estructural del aerogenerador, con materiales atenuadores de vibraciones y acústica interior, además de asimiladores de frecuencia en las etapas de protección del dispositivo por presencia de altos niveles de rafagosidad.
- El impacto sobre flora y fauna es mínimo por razones que el emplazamiento de implementación no mantiene un constante desarrollo de la flora, además por cuanto las especies circundante por características del microclima son poco asiduos al paso por los predios de captación.

#### **4.7. Comprobación de hipótesis.**

La factibilidad de implementación de un sistema doméstico híbrido eólico – solar fotovoltaico de producción de energía renovable no convencional se ve corroborado por las siguientes afirmaciones:

- Por medio de la caracterización de las propiedades eólicas y la implementación del sistema Aeolos – H 1 kW, conjuntamente con las propias del sistema de captación solar fotovoltaico, después del análisis por pérdidas e influencia externa, se mantiene una sobreproducción del 375%, suficiente para la distribución auxiliar a medios de requerimiento energético aledaños.
- Se observa una inversión inicial total de 14265,82 USD., correspondiente al valor total de adquisición, montaje, gastos de personal y gastos de mantenimiento, los mismos que tomando en cuenta la vida útil de los implementos que es 25 años, durante este tiempo se obtendrá una producción energética representativa a valor actual de 23033,06 USD., mayor en un 61,46% a la inversión inicialmente anotada, garantizando tu factibilidad económica dentro de parámetros temporales.
- Si bien el impacto visual es notorio por la mediana magnitud representada por la torre de captación eólica, este menester se ve contrarrestado por la mínima contaminación sonora producida gracias a la tecnología vibro-acústica incluida dentro de la concepción estructural del aerogenerador y la influencia mínima sobre flora y fauna, debido a que el emplazamiento no mantiene un constante desarrollo en estas características.

## CONCLUSIONES

- Se evaluó que, mediante la introducción de un aerogenerador doméstico Aeolos –H, además de las mediciones efectivas de los parámetros eólicos del emplazamiento correspondiente a la Escuela “Pedro Páez”, que se pueden obtener 678,238 Watts de potencia aprovechables del viento incidente en la zona.
- Teniendo como origen la demanda energética que se tiene en la edificación educativa, con una corriente pico de 22,15A, se especificó que eran necesarios 3 módulos fotovoltaicos tipo SLP 100-12U de tipo policristalinos, ya que la radiación global promedio del emplazamiento es de 3,71 kWh/m<sup>2</sup>.
- El banco de baterías necesario para poder administrar la energía en aquellos momentos donde la radiación directa es mucho menor, y la radiación difusa no puede crear un ambiente de producción, está conformada por 7 baterías para una carga CC diaria total establecida de 181,6 Ah.
- Dentro de la hibridación, la generación eólica provee una producción anual de 5632,22 kWh, tomando en cuenta el factor de pérdidas mecánicas y de componentes del 5,2%; a diferencia del sistema fotovoltaico, que por sus características de dimensionamiento anualmente provee 509,93 kWh, con un rendimiento de obtención real del 78%.
- La producción anual conjunta del sistema híbrido es de 6142,15 kWh, lo que nos representa una sobreproducción del 375% con respecto a la demanda requerida por la institución educativa, la misma que puede ser extendida a los medios habitables y pequeñas casas cercanas para su uso.
- Económicamente, el valor de producción por el medio híbrido es de 23033,06 USD, valor superior al de la inversión total dispuesta para 25 años de vida útil del sistema estimado de 13752,82 USD, demostrando así su factibilidad de implementación.
- El impacto visual y sonoro es mínimo, ya que la colocación de los paneles y de la torre eólica no son invasivos y tiene medios efectivos de reducción.

## RECOMENDACIONES

- El personal técnico de implementación y aplicación del sistema, debe orientarse desde un inicio en el estudio característico de parámetros del emplazamiento, para la ubicación correcta de dirección de la torre eólica doméstica, y de inclinación de los paneles solares fotovoltaicos.
- Para el mantenimiento del sistema, se debe regir a las indicaciones provistas por el fabricante, con una correcta capacitación del auxiliar técnico de mantenimiento, dentro de los plazos establecidos por cronograma del proyecto.
- La manutención del sistema se provee para una vida útil de 25 años, siendo primordial adjuntar en un estudio posterior un cronograma de mantenimiento industrial, así como medidas de seguridad para el personal de acción directa sobre el equipo y socialización del sistema con las comunidades circundantes.
- Las técnicas de estudio indicadas, pueden diferir entre intervalos de tiempo de 5 años, por cuanto los medios meteorológicos tienen influencia directa del nivel de radiación directa y la producción generalizada del viento, por lo que es necesario hacer comprobación de mediciones dentro de estos intervalos hasta finalizar la vida útil del equipo de captación.
- Tomar en cuenta todas las indicaciones para la correcta medición de parámetros eólicos y solar fotovoltaicos, con la finalidad de garantizar un mínima influencia dentro de la medida por incertidumbre o descalibración de los equipos de medición.

## BIBLIOGRAFÍA

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CONSULTADAS

- AITE. (2012). *Información general sobre Energía Eólica*. Tenerife, España: Independiente.
- Amada, J. (2009). *Curso de Energía Eólica*. Zaragoza, España: IE.
- Brown, A. (2012). *Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 12. Plantas eólicas*. Barcelona, España: ABB.
- BUN-CA. (2002). *Manual sobre energía renovable Solar Fotovoltaica*. San José, Costa Rica: GEF.
- Cruz, J. I. (2012). *Evolución tecnológica de la mini eólica*. Madrid, España: CIEMAT.
- Delgado, R., Monge, B., & Farrerons, B. (2011). *Sistema Autónomo de Generación de Energía Renovable*. Barcelona, España: UPC.
- Departamento de Energía de Estados Unidos. (2010). *Sistemas Eólicos Pequeños para generación de Electricidad*. Texas, Estados Unidos: EERE.
- Díaz, T., & Carmona, G. (2010). *Componentes de una instalación solar fotovoltaica*. Valencia: McGraw - Hill.
- Herrera, V. C. (2011). *Sistema Híbrido Eólico-Fotovoltaico para la generación de energía eléctrica en el departamento de turismo del I.M. de Baños de Agua Santa*. Ambato, Ecuador: UTA.
- Hulshorts, W., & Criado, V. (2013). *Manual Práctico Energía Eólica*. Madrid, España: Leonardo ENERGY.
- ITER. (2012). *Energía Solar Fotovoltaica*. Tenerife, España: AGENERGIA.

Mattio, H. F., & Tilca, F. (2009). *RECOMENDACIONES PARA MEDICIONES DE VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DE VIENTO CON FINES DE GENERACIÓN ELÉCTRICA, Y MEDICIÓN DE POTENCIA ELÉCTRICA GENERADA POR AEROGENERADORES*. . Buenos Aires, Argentina: C.R.E.E.

MEER. (2008). *Políticas Energéticas del Ecuador 2008 - 2020*. Quito, Ecuador: MEER.

Merino, L. (2006). *Energías Renovables para todos*. Madrid, España: Sacal.

PROGENSA. (2008). *KIT SOLAR FOTOVOLTAICO PARA CONEXIÓN A LA RED ELÉCTRICA*. Sevilla, España: PVSun.

Sanz, B. (2012). *La Minieólica en el Mundo y España*. Madrid, España: FENERCOM.

### **CITAS BIBLIOGRÁFICAS TEXTUALES**

Brown, A. (2012). Cuaderno de aplicaciones técnicas No. 12. Plantas eólicas. Barcelona, España: ABB. (p. 5).

CONAFE. (2014). *Uso eficiente de la energía*. Santiago de Chile, Chile: CONAFE.

Delgado, R., Monge, B., & Farrerons, B. (2011). *Sistema Autónomo de Generación de Energía Renovable*. Barcelona, España: UPC. (p. 76).

Escudero, A. (1998). *Sistema mixto eólico fotovoltaico en vivienda rural basada en el concepto de "Permacultura"*. Madrid, España: Nodo50.

Robalino, R. (2012). *La generación de Energía Eléctrica*. Loja: UTPL. (p. 5)

## **ANEXOS**