

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

Tesis previa a la obtención del

Título de: Ingeniero Eléctrico.

**“ESTUDIO DE FACTIBILIDAD DE GENERACIÓN ELÉCTRICA MEDIANTE  
ENERGÍA EÓLICA Y ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA PARA EL  
SECTOR DE GARAUZHÍ DE LA PARROQUIA QUINGEO PERTENECIENTE  
A LA CIUDAD DE CUENCA”**

**AUTORES:** Raúl Hernán Neira González

Marco Vinicio Velecela Zhindón

**DIRECTOR:** Ing. Jorge Luis Rojas Espinoza

Cuenca, Junio del 2014

## DECLARATORIA

Los conceptos desarrollados, análisis de resultados y las conclusiones vertidos en este trabajo, son de absoluta responsabilidad de los Autores.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigente.



---

Raúl Hernán Neira González



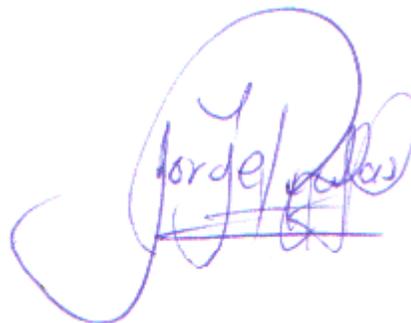
---

Marco Vinicio Velecela Zhindón

CERTIFICACION

El presente trabajo de tesis previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico fue guiado satisfactoriamente por el Ing. Jorge Rojas, quien autoriza su presentación para continuar con los trámites correspondientes.

Cuenca, junio del 2014



---

Ing. Jorge L. Rojas Espinoza

## DEDICATORIA

*“Primeramente quiero dedicar esta tesis a Dios, porque a él he recurrido en los momentos más difíciles de mi vida estudiantil, obteniendo sabiduría para afrontar los problemas, consuelo en los fracasos y fortaleza para alcanzar mis objetivos.*

*Además a mis queridos padres Raúl y Zoila, por su apoyo incondicional, sabios consejos y porque a pesar de las adversidades siempre confiaron en mí.*

*A mi hermana Angélica, mi cuñado Paúl, mis sobrinas, mi enamorada Mónica y en general a toda mi familia y amigos, que siempre estuvieron pendientes y prestos a ayudarme y animarme a seguir adelante hasta llegar a cumplir este gran objetivo planteado en mi vida.”*

***Raúl Neira...***

## DEDICATORIA

*“Dedico principalmente a Dios, por haberme dado la fortaleza y sabiduría para continuar día a día con mis estudios y proyectos. A mis queridos padres y hermanos con todo mi cariño, quienes hicieron todo lo posible para que yo pudiera cumplir uno de los objetivos de mi formación profesional.*

*A una persona maravillosa que me ha dado todos los días su amor y comprensión, Mariela, quien ha sido y es mi inspiración y felicidad.”*

*Marco Velecela...*

## AGRADECIMIENTO

*“Queremos expresar nuestros más sinceros Agradecimientos a nuestro director de tesis Ing. Jorge Rojas, por sus consejos y valioso aporte a nuestro trabajo de tesis, hasta llegar a su feliz término.*

*Al Ingeniero Freddy Campoverde por brindarnos su amistad, ayuda y por encaminarnos en el desarrollo de este proyecto.*

*A los Ingenieros Pablo Robles, Hernán Quito e Ingeniera Mónica Urgilés, por aportar con sus conocimientos y colaborar de manera desinteresada logrando despejar las dudas y solucionando los problemas que se presentaron durante el desarrollo de nuestro trabajo de tesis.*

*A la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, y a cada uno de los catedráticos que supieron guiarnos por el camino correcto y nos ayudaron a formarnos profesionalmente.*

***Raúl Neira...***

***Marco Velecela...***

## AGRADECIMIENTO

*“Quiero agradecer con todo mi amor a mis padres, quienes hicieron posible la conclusión de mi carrera universitaria, por su constancia, sacrificio y ganas de verme realizado profesionalmente.*

*Quiero agradecer de forma general a toda mi familia, amigos y compañeros, que estuvieron en el momento y lugar adecuado para aconsejarme, guiarme, y ayudarme a afrontar los problemas que se presentaron a lo largo de mi vida estudiantil y hacer de mí una mejor persona.”*

***Raúl Neira...***

## AGRADECIMIENTO

*“Agradezco a Dios por haberme dado la vida. A mi familia por el apoyo incondicional y permitirme llegar a este momento tan importante cumpliendo ya una de mis metas. A todos mis amigos que me apoyaron de alguna u otra forma durante el tiempo de estudio.*

*Mis más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas gratas que me apoyaron en todo momento y así poder alcanzar el presente triunfo.”*

*Marco Velecela...*

**INDICE**

INDICE DE FIGURAS .....	13
INDICE DE TABLAS .....	15
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS .....	17
INTRODUCCION .....	19
<b>CAPITULO I .....</b>	<b>20</b>
<b>GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS EOLICOS Y SOLARES FOTOVOLTAICOS.....</b>	<b>20</b>
1.1    INTRODUCCIÓN A LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES .....	20
1.1.1    SITUACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR .....	22
1.1.2    ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y GENERACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR EN LOS ÚLTIMOS 13 AÑOS.....	23
1.1.2.1    APORTE DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES AL SNI.....	25
1.2    CARACTERÍSTICA DE LA ZONA Y UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	27
1.2.1    ANTECEDENTES DEL PROYECTO .....	29
1.2.2    UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN METEREOLÓGICA.....	29
1.2.3    ESTACIÓN METEOROLÓGICA VAISALA .....	30
1.2.3.1    SISTEMA MAWS100 HydroMet™ DE VAISALA .....	30
1.2.3.2    SENSOR DE VIENTO WM30 .....	31
1.2.3.3    PIRANÓMETRO .....	31
1.2.3.4    SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA.....	32
1.2.3.5    PLUVIÓMETRO RM52203 .....	32
1.2.4    MANTENIMEINTO DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA VAISALA.....	33
1.2.5    ADQUISICIÓN DE DATOS .....	34
1.3    GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS EÓLICOS Y SOLARES .....	36
1.3.1    AEROGENERADORES .....	36
1.3.1.1    PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO .....	37
1.3.1.2    COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR .....	37
1.3.1.3    TIPOS DE AEROGENERADORES.....	39
1.3.1.4    CONTROL DE POTENCIA EN AEROGENERADORES .....	40
1.3.1.5    SISTEMA EÓLICO CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA .....	40
1.4    MODULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS .....	41
1.4.1    CARACTERÍSTICAS DE LAS CELULAS FOTOVOLTAICAS.....	42

1.4.2	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED .....	44
1.5	SISTEMAS EÓLICOS Y SOLARES EN EL ECUADOR.....	45
1.5.1	ENERGÍA EÓLICA EN EL ECUADOR.....	45
1.5.1.1	IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EL ECUADOR .....	46
1.5.1.2	RECURSOS EÓLICOS.....	47
1.5.2	ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR.....	48
1.5.2.1	IMPORTANCIA Y DESARROLLO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR .....	49
<b>CAPITULO II .....</b>		<b>50</b>
<b>ESTUDIO DE LOS RECURSOS EÓLICO Y SOLAR EN EL SECTOR DE GARAUZHÍ PERTENECIENTE A LA PARROQUIA QUINGEO .....</b>		<b>50</b>
2.1	ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	50
2.1.1	RADIACIÓN SOLAR.....	50
2.1.2	CÁLCULO DE LA RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE .....	51
2.1.3	EFFECTO FOTOVOLTAICO .....	52
2.2	ENERGÍA EÓLICA.....	52
2.2.1	GENERALIDADES SOBRE EL VIENTO .....	52
2.2.2	POTENCIA DEL VIENTO .....	54
2.2.3	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DEL VIENTO.....	54
2.2.4	VARIACION DEL VIENTO CON LA ALTURA .....	55
2.3	REPRESENTACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS EOLICOS Y SOLARES MEDIANTE EL SOFTWARE MATLAB.....	56
2.3.1	VALIDACIÓN DE DATOS .....	56
2.3.1.1	PRUEBA DE GRUBBS .....	57
2.3.1.2	ANÁLISIS DE VALORES ATÍPICOS MEDIANTE CUARTILES.....	58
2.3.1.3	INTERPOLACIÓN DE DATOS.....	59
2.3.1.4	FUNCIONES ESTADÍSTICAS UTILIZADAS EN MATLAB .....	60
2.4	ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR EN LA ZONA .....	67
2.4.1	ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO EN GARAUZHI.....	67
2.4.2	ANÁLISIS DEL POTENCIAL SOLAR EN GARAUZHÍ .....	71
<b>CAPITULO III .....</b>		<b>74</b>
<b>DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE GENERACION EOLICO Y SOLAR.....</b>		<b>74</b>
3.1	DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DEL SECTOR.....	74

3.2	DIMENSIONAMIENTO DE LOS PANELES SOLARES.....	78
3.2.1	CARGA ELÉCTRICA QUE SERÁ SUSTITUIDA POR EL SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	79
3.2.2	DEFINICIÓN DEL SISTEMA.....	80
3.2.3	COMPONENTES REQUERIDOS PARA DETERMINAR EL SISTEMA FOTOVOLTAICO. ....	80
3.2.4	..... CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL MÓDULO FOTOVOLTAICO SELECCIONADO .....	<b>82</b>
3.2.5	..... CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL INVERSOR ELEGIDO .....	<b>83</b>
3.2.6	DETERMINACION DEL NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA SATISFACER LA CARGA ELÉCTRICA DE GARAUZHI.....	83
3.2.6.1	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FV REQUERIDO PARA SATISFACER LA DEMANDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA ACTUAL. ....	83
3.2.6.2	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FV REQUERIDO PARA SATISFACER TODA LA CARGA ELÉCTRICA PROYECTADA AL AÑO 2017. ....	84
3.2.6.3	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FV REQUERIDO PARA SATISFACER LAS $\frac{3}{4}$ PARTES DE LA CARGA ELÉCTRICA PROYECTADA AL AÑO 2017 (75% DE LA DEMANDA TOTAL).....	86
3.2.6.4	DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA FV REQUERIDO PARA SATISFACER LA MITAD DE LA CARGA ELÉCTRICA PROYECTADA AL AÑO 2017 (50% DE LA DEMANDA TOTAL). ....	87
3.2.7	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	88
3.2.8	PROCESO PARA DIMENSIONAR EL AEROGENERADOR.....	91
3.2.9	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	93
<b>CAPITULO IV.....</b>		<b>97</b>
<b>ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA GENERACION EOLICO-SOLAR .....</b>		<b>97</b>
4.1	IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS QUE INTERVIENEN EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO. ....	97
4.1.1	INVERSION INICIAL .....	97
4.1.2	PRINCIPALES COSTOS Y GASTOS .....	98
4.1.2.1	SERVICIOS BÁSICOS .....	98
4.1.2.2	PERSONAL.....	98
4.1.2.3	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....	98
4.1.2.4	SUMINISTROS DE OFICINA .....	98
4.1.2.5	VARIOS.....	99
4.1.3	FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO .....	99

4.1.4	INGRESOS PROYECTADOS .....	99
4.1.5	ESTADO DE RESULTADOS PROYECTADO .....	99
4.1.5.1	VALOR ACTUAL NETO (VAN) .....	100
4.1.5.2	TASA INTERNA DE RETORNO (TIR) .....	100
4.1.6	ANÁLISIS FINANCIERO PARA EL SISTEMA EÓLICO .....	100
4.1.7	ANÁLISIS FINANCIERO PARA SISTEMA EÓLICO SOLAR FOTOVOLTAICO .....	102
4.1.8	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	103
<b>CAPITULO V .....</b>		<b>105</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>		<b>105</b>
5.1	CONCLUSIONES .....	105
5.2	RECOMENDACIONES .....	107
Bibliografía .....		109

**INDICE DE FIGURAS**

Figura 1 Demanda histórica anual de energía (GWh) (CENACE, 2013)..... 23

Figura 2 Producción neta de energía (GWh) (CENACE, 2013)..... 24

Figura 3 Producción neta total de energía en el SNI (GWh) en el 2012 (CENACE, 2013) ..... 25

Figura 4 Generación eléctrica con ERNC en el año 2012 (CONELEC, 2012) ..... 26

Figura 5 (a) Parroquias rurales de Cuenca (b) Parroquia Quingeo y sus comunidades (Revista Cuenca Ilustre-Ecuador, 2008) ..... 27

Figura 6 Centro de Garauzhí, se aprecia la carretera de lastre (Neira & Velecela, 2014)..... 28

Figura 7 Ubicación de la estación meteorológica Garauzhí (Neira & Velecela, 2014) ..... 29

Figura 8 Sistema MAWS1000DCP (Neira & Velecela, 2014) ..... 30

Figura 9 Equipo de Anemómetro y Velela (Neira & Velecela, 2014) ..... 31

Figura 10 Piranómetro (Neira & Velecela, 2014) ..... 31

Figura 11 Sensor de Humedad y Temperatura con un DTR500 (Neira & Velecela, 2014)..... 32

Figura 12 Pluviómetro (Neira & Velecela, 2014) ..... 32

Figura 13 Mantenimiento de la Central Meteorológica Vaisala (Neira & Velecela, 2014) ..... 33

Figura 14 Pasos para la adquisición de datos de la estación meteorológica de Garauzhí (Neira & Velecela, 2014) ..... 35

Figura 15 Aerogenerador (AEOLOS, 2014) ..... 37

Figura 16 Componentes de un aerogenerador (Alvarez, 2009) ..... 38

Figura 17 Sistema Eólico conectado a la red (AEOLOS, 2014)..... 41

Figura 18 Módulo Fotovoltaico (TRINASOLAR, 2014) ..... 42

Figura 19 Parte izquierda de una célula fotovoltaica (Macancela & Regalado, 2012) ..... 42

Figura 20 Disposición simplificada de un sistema FV conectado a la red (Nofuentes, Muñoz, D.Talavera, Aguilera, & Terrados, 2011) ..... 45

Figura 21. Interpolación lineal (Chapra & Canale, sf)..... 60

Figura 22 Archivo de Excel importado a matlab (Neira & Velecela, 2014) ..... 61

Figura 23 Hora separada en vectores para proceder a programar (Neira & Velecela, 2014)..... 61

Figura 24 Distribución de Weibull en MATLAB (Neira & Velecela, 2014) ..... 64

Figura 25 Rosa de Vientos en MATLAB (Neira & Velecela, 2014) ..... 65

Figura 26 Ajuste Lineal en MATLAB (Neira & Velecela, 2014) ..... 66

Figura 27 Pantalla Matlab Análisis de Potencial Eólico Anual en Garauzhí (Neira & Velecela, 2014) ..... 67

Figura 28 Promedios Mensuales de la Velocidad del Viento (Neira & Velecela, 2014)..... 69

Figura 29 Promedios Horarios Anuales de la Velocidad del Viento y su Gráfica (Neira & Velecela, 2014) ..... 69

Figura 30 Rosa de Vientos de Direcciones y Velocidades del Año 2013 (Neira & Velecela, 2014) ..... 70

Figura 31 Análisis del Potencial Solar en el Año 2013 en MATLAB (Neira & Velecela, 2014)..... 71

Figura 32 Irradiación del año 2013 en Garauzhí (Neira & Velecela, 2014) ..... 72

Figura 33 Irradiación del año 2013 por Hora (Neira & Velecela, 2014) ..... 73

Figura 34 Pantalla del GEOPORTAL de la EERCS.....	74
Figura 35 Pantalla consulta de planillas E.E.R.C.S. (Neira & Velecela, 2014) .....	75
Figura 36 Curvas de energía demandada del año 2013 y proyectada para el 2017 con el ingreso de cocinas de inducción al sistema eléctrico (Neira & Velecela, 2014) .....	78
Figura 37 Diagrama de bloques del sistema FV a implementar. (Rojas, 2013).....	80
Figura 38 Irradiación del año 2013 (Neira & Velecela, 2014) .....	89
Figura 39. Vista en 3D del sistema FV propuesto.....	89
Figura 40 Diagrama unifilar del sistema FV.....	90
Figura 41 Entorno gráfico de MATLAB, análisis del potencial del viento según la altura del buje del aerogenerador (Neira & Velecela, 2014) .....	92
Figura 42 Curva de velocidad diaria a 18 m de altura (Neira & Velecela, 2014).....	95
Figura 43 Curva de la velocidad diaria a 30 m de altura (a) y 40 m de altura (b) (Neira & Velecela, 2014) .....	95
Figura 44 Disposición del aerogenerador en el Garauzhí (Neira & Velecela, 2014) .....	96
Figura 45 Vista del aerogenerador colocado de frente a las direcciones predominantes del viento (Neira & Velecela, 2014) .....	96

**INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Precios Preferentes Energías Renovables (cUSD/KWh) (CONELEC, 2011) .....	26
Tabla 2 Capacidad Efectiva de Generación (MW) (CONELEC, 2014).....	27
Tabla 3 Información de la Estación Meteorológica Garauzhí (Neira & Velecela, 2014) .....	30
Tabla 4 Datos que se muestran en el Excel, adquiridos de la estación meteorológica (Neira & Velecela, 2014) .....	36
Tabla 5 Principales características de las células no comerciales (Nofuentes, Muñoz, D.Talavera, Aguilera, & Terrados, 2011) .....	43
Tabla 6 Proyectos de generación por ERNC incorporados al SNI, periodo 2000-2009 (CONELEC, 2014) .....	46
Tabla 7 Lugares para la generación de electricidad con energía eólica (CONELEC, 2009) .....	47
Tabla 8 Aplicaciones de la energía solar (CONELEC, 2014) .....	49
Tabla 9 Clasificación de los terrenos, según la longitud de rugosidad (López & Villarubia, 2012) .....	55
Tabla 10 Resultados Anuales de Velocidad y Dirección del Viento (Neira & Velecela, 2014) ....	68
Tabla 11 Resultados de la Irradiación Solar en Garauzhí .....	71
Tabla 12 Consumo mensual de cada cliente de la Comunidad de Garauzhí (Neira & Velecela, 2014) .....	75
Tabla 13 Demanda de energía proyectada (2017) (Neira & Velecela, 2014).....	77
Tabla 14 Demanda de potencia proyectada (2017) (Neira & Velecela, 2014).....	77
Tabla 15 Energía Eléctrica Actual y Proyectada Sector Garauzhí (Neira & Velecela, 2014).....	79
Tabla 16 Energía eléctrica requerida para dimensionar el Sistema FV (2017) (Neira & Velecela, 2014) .....	79
Tabla 17 Datos de Radiación Solar .....	81
Tabla 18 Parámetros obtenidos de la NASA.....	81
Tabla 19 Características técnicas del módulo fotovoltaico.....	82
Tabla 20 Características técnicas del inversor .....	83
Tabla 21 Energía Eléctrica Generada por el sistema FV .....	84
Tabla 22 Energía Eléctrica generada por el sistema FV (100%) .....	85
Tabla 23 Energía Eléctrica generada por el sistema FV (75%) .....	86
Tabla 24 Energía Eléctrica generada por el sistema FV (50%) (Neira & Velecela, 2014) .....	87
Tabla 25 Resumen General para el dimensionamiento del sistema FV. (Neira & Velecela, 2014) .....	88
Tabla 26 Características de los aerogeneradores seleccionados (Neira & Velecela, 2014).....	91
Tabla 27 Datos de la turbina y la localidad (Neira & Velecela, 2014) .....	91
Tabla 28 Datos de la velocidad del viento, de la turbina y resultados (Neira & Velecela, 2014).....	92
Tabla 29 Resultados de la velocidad del viento según la altura del buje del aerogenerador (Neira & Velecela, 2014) .....	93
Tabla 30 Energía anual generada por los aerogeneradores seleccionados (Neira & Velecela, 2014) .....	93

Tabla 31 Energía anual (MWh) generada por el aerogenerador seleccionado, para cubrir el consumo anual de energía (MWh) (Neira & Velecela, 2014).....	93
Tabla 32 Energía anual (MWh) generada por los aerogenerador seleccionados, para cubrir el consumo anual proyectado para el año 2017 de energía (MWh) (Neira & Velecela, 2014) .....	94
Tabla 33 Inversión Inicial Sistema Eólico.....	101
Tabla 34 Estado de Resultados del Proyectado Sistema Eólico .....	101
Tabla 35 Inversión Inicial del Sistema Solar Fotovoltaico .....	102
Tabla 36 Estado de resultados del Proyecto Solar Fotovoltaico .....	103
Tabla 37 Análisis de resultados financieros de generación eólica y solar.....	104

### ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- CONELEC	Consejo Nacional de Electrificación
- CENACE	Corporación del Centro Nacional del Control de Energía
- E.E.R.C.S.	Empresa Eléctrica Regional Centro Sur
- INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
- INER	Instituto Nacional de Energías Renovables
- P	Potencia Eléctrica
- I	Corriente Eléctrica
- V	Voltaje Eléctrico
- W/m <sup>2</sup>	Irradiación Directa Normal en un Área (vatios)
- m/s	Velocidad del viento
- °	Grados (dirección)
- °C	Grados Centígrados.
- GWh	Giga vatios hora
- MWh	Mega vatios hora
- KWh	Kilo vatios hora
- MW	Mega Vatios
- GW	Giga Vatios
- FV	Fotovoltaico
- BT	Baja Tensión
- MT	Media Tensión
- SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red
- ERC	Energías Renovables Convencionales
- ERNC	Energías Renovables No Convencionales
- GLP	Gas Licuado de Petróleo
- SNI	Sistema Nacional Interconectado
- VAN	Valor Actual Neto
- TIR	Tasa Interna de Retorno
- CI	Cocinas de Inducción

- USD\$            Dólares
- cUSD\$        Centavos de dólar
- .                Separación de decimales
- ,                Separación de miles

## INTRODUCCION

Las energías renovables son inagotables, limpias y se consideran como fuentes importantes para cubrir la demanda energética futura, además de sustituir las energías fósiles no renovables que actualmente se utilizan. Nuestro país cuenta con lugares privilegiados con un gran potencial de recursos renovables y con el apoyo del gobierno ecuatoriano para la ejecución de proyectos con energía limpia.

Aprovechando el interés del estado ecuatoriano por apoyar proyectos de generación mediante energías renovables, la comunidad de Garauzhí, perteneciente a la parroquia Quingeo de la ciudad de Cuenca, realizó un convenio con la Universidad Politécnica Salesiana para que realice el estudio del potencial eólico y solar del sector, para saber si es posible la generación de energía eléctrica mediante energía eólica o energía solar en el sector, y se instaló una estación meteorológica de propiedad de la UPS, para el registro de datos y su posterior análisis.

Este trabajo de tesis tiene como objetivo principal realizar un estudio factibilidad de generación eólica y solar en el sector de Garauzhí de la ciudad de Cuenca.

Para el estudio se ha previsto, registrar los datos de la estación meteorológica durante un año. Una vez obtenidos los datos, se procede a realizar el análisis estadístico de los mismos, para determinar el potencial eólico y solar del sector.

Posteriormente, se lleva a cabo el dimensionamiento del sistema eólico y del sistema solar fotovoltaico, de tal forma que cubra la demanda eléctrica del sector, para ello se realizan una serie de cálculos en el software Excel, los cuales nos permiten determinar la energía que cada sistema genera al año.

Luego se realizará un análisis económico para cada sistema de generación eléctrica, determinando la viabilidad para su implementación.

Finalmente se determina la mejor opción de generación de energía eléctrica eólica o solar FV, que se ajuste técnica y económicamente a las necesidades del sector.

## CAPITULO I

### GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS EOLICOS Y SOLARES FOTOVOLTAICOS

#### 1.1 INTRODUCCIÓN A LAS ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES

La energía se define de forma general como toda causa capaz de producir un trabajo, o a su vez se puede convertir en otra clase de energía, por este motivo, como principio general de la naturaleza se establece que la energía no se crea ni se destruye, sino que únicamente se transforma, en consecuencia en todo proceso la suma de las energías iniciales de los elementos que participan es igual a la suma de las energías de los elementos resultantes del proceso. (Sarnón, 2003)

Las fuentes de energía se dividen a su vez en energías renovables y no renovables:

- **Las Energías Renovables** son las energías que una vez consumidas, se pueden volver a consumir porque se reponen, no se agotan. (Viloria, Energías Renovables, 2008)
- **Las Energías No Renovables** son aquellas que una vez consumida no tiene recuperación. (Viloria, Energías Renovables, 2008)

Las energías que más contaminan el medioambiente son las no renovables, especialmente el carbón y petróleo.

Las energías renovables se dividen en convencionales (ERC) y no convencionales (ERNC). Dentro de las primeras, la más conocida es la energía hidráulica a gran escala, mientras que las no convencionales que poseen un gran potencial de desarrollo, son la geotérmica, eólica, solar, biomasa y la mini hidráulica. (Avila, 2005)

Las energías renovables además pueden ser contaminantes y no contaminantes, las energías renovables no contaminantes son:

- Fotovoltaica
- Solar Termoeléctrica
- Eólica
- Biomasa
- Geotermia
- Corrientes Marinas
- Pequeñas hidroeléctricas

Hay que considerar que no todas las energías renovables son amigables con el medio ambiente, dentro del grupo de las energías contaminantes como por ejemplo la madera u otra materia vegetal sólida, tienen el mismo efecto que los combustibles fósiles, emiten dióxido de carbono, gas de efecto invernadero, por lo tanto se debe tener en cuenta el problema de la contaminación según el tipo de energía a utilizar.

En Ecuador, la normativa vigente que define una central convencional y no convencional aparece en la **REGULACION No. 004/11 del CONELEC (ANEXO 1)**.

**Una central no convencional:** Central que utiliza para su generación recursos energéticos capaces de renovarse ilimitadamente provenientes del: sol ( fotovoltaicas), viento (eólicas), agua, (pequeñas centrales hidroeléctricas), interior de la tierra (geotérmicas), biomasa, biogás, olas, mareas, rocas calientes y secas, las mismas que, por su relativo reciente desarrollo y explotación, no han alcanzado todavía un grado de comercialización para competir libremente con las fuentes convencionales, pero que a diferencia de estas últimas, tienen un impacto ambiental muy reducido.

**Central convencional:** Central que genera electricidad utilizando como energía primaria las fuentes de energía que han tenido ya una larga trayectoria de explotación y comercialización a nivel mundial, como por ejemplo: agua, carbón, combustibles fósiles, derivados del petróleo, gas natural, materiales radioactivos, etc.

### 1.1.1 SITUACIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN EL ECUADOR

Ecuador es un país privilegiado porque cuenta con un gran potencial de recursos, la prioridad es aprovechar los recursos renovables, a pesar de ser un país petrolero y tener la opción de incrementar su generación térmica a base de combustibles fósiles. El Plan Nacional de Eficiencia Energética se dio en el Ecuador recién por el año 2007. El gobierno ecuatoriano apoya la generación de energía con fuentes de generación renovables, como lo podemos ver en los siguientes artículos de la constitución política del Ecuador:

- **Art.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...
- **Art. 313** El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos, de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Se consideran sectores estratégicos la energía en todas sus formas...
- **Art. 314** El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos de agua potable y de riego, saneamiento, energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias y los demás que determine la ley.
- **Art. 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.

### 1.1.2 ANÁLISIS DE LA DEMANDA Y GENERACIÓN ELÉCTRICA DEL ECUADOR EN LOS ÚLTIMOS 13 AÑOS

Según el último informe del CENACE (2013), indica que la demanda de energía durante el año 2012 fue de 18,605.91GWh con un incremento del 4.84% con relación al año 2011.

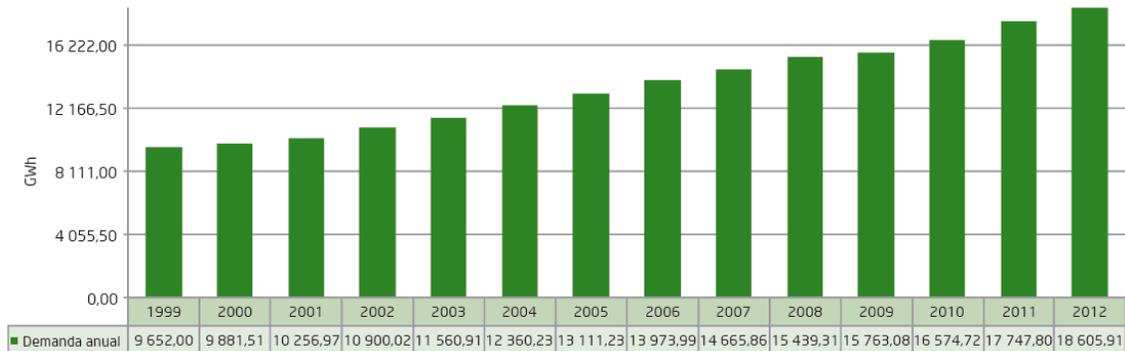


Figura 1 Demanda histórica anual de energía (GWh) (CENACE, 2013)

La Figura 1 indica que desde el año 1999 al año 2012 la demanda de energía eléctrica en el país se ha incrementado gradualmente, se puede ver que en 1999 la demanda ha sido de 9,652.00 GWh y en el 2012 ha sido de 18,605.91 GWh, es decir en este periodo se ha dado un incremento en demanda de 8,953.91 GWh, en 13 años la demanda eléctrica, prácticamente se ha duplicado, generando un problema en cuanto a la generación eléctrica, porque necesariamente se debía incrementar la misma, las medidas inmediatas fueron generar un cambio de matriz energética e ir cambiando paulatinamente el uso de generación mediante combustibles fósiles, a generación con energías renovables, especialmente aprovechando la generación hidroeléctrica.

En la Figura 2 se aprecia este cambio, en 1999 la generación es muy débil, con apenas 7,494.69 GWh, es decir no se abastecía toda la demanda del país, y se tenían problemas de racionamientos de energía especialmente cuando existía escases de agua en la central Molino en Paute; en 1999 la generación hidráulica es la principal fuente de generación

seguida por la térmica en un 20% , en ese entonces no existía la importación de energía con Perú y no existía generación de energía con fuentes renovables no convencionales.

Recién en el año 2004 entran a funcionar centrales con energías renovables no convencionales aportando 0.65 GWh/año y en este mismo año, se eleva la importación de energía con Colombia teniendo una generación total anual de 12,803.36 GWh, que es un aumento importante, sin embargo al crecer la demanda, sigue aumentando la generación, es así que al llegar al año 2009, se ve necesaria la importación de energía del Perú, para aportar al SNI. Ecuador incrementa la generación de energía eléctrica de manera importante, tanto así que para el año 2012 solamente la generación hidráulica aporta 12,047.71 GWh anuales, casi toda la generación eléctrica nacional sumada la importación con Colombia que se dio en el 2004, es decir en solo 8 años, se disminuyó el uso de energía importada con Perú y Colombia, las cuales se usan únicamente para cubrir picos de demanda en los cuales esta energía resulta más barata que la nacional. Algo digno de mencionar es el incremento de generación con energías renovables no convencionales, en el año 2012 el aporte fue de 155.65 GWh, sin duda un logro importante para el país.

En la actualidad están en construcción muchos proyectos hidroeléctricos y proyectos de energías renovables no convencionales, que permitirán al Ecuador asegurar un suministro continuo de energía, eficiente y de alta confiabilidad.

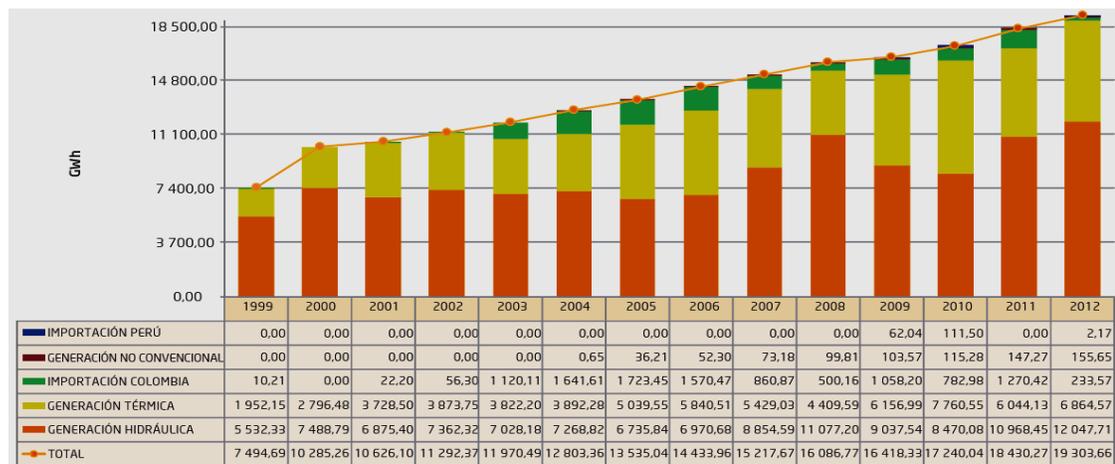


Figura 2 Producción neta de energía (GWh) (CENACE, 2013)

### 1.1.2.1 APOORTE DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES AL SNI

En el informe del CENACE (2012), indica que la generación bruta de energías renovables no convencionales ha sido de 155.65 GWh, que equivale a un 79% de la generación bruta del país que es de 19,652.21 GWh.

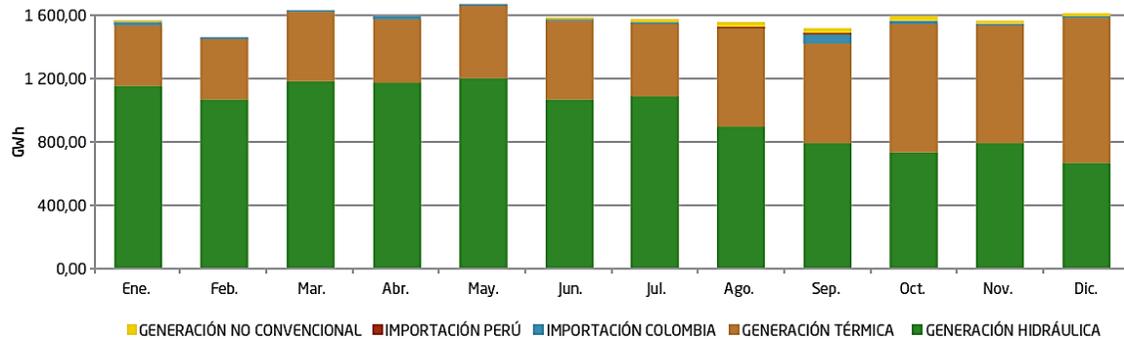


Figura 3 Producción neta total de energía en el SNI (GWh) en el 2012 (CENACE, 2013)

En la Figura 3 podemos observar la generación neta del Ecuador en el año 2012; la generación hidráulica empieza a decaer desde agosto hasta diciembre, que son meses de escasez de lluvias, y se utiliza generación térmica en su mayoría, el objetivo sería tratar de que esta generación térmica vaya disminuyendo y siendo reemplazada por energías renovables no convencionales, el aporte de las energías renovables no convencionales no es muy significativo, pero ayudan a la producción nacional justamente es estos momentos en que la generación hidráulica se ve disminuida.

En la Figura 4 se muestra que en el año 2012 la generación hidráulica predomina con un 42%, seguido de la generación térmica en sus distintas facetas y las energías renovables no convencionales en un 6%, dividiéndose como se indica en la figura 4 (b), hay que considerar que son centrales menores a 1MW, en este caso no entra en análisis la central eólica Villonaco, ni las grandes centrales hidroeléctricas, con esta consideración, se ha generado 657.10 MW anuales predominando las pequeñas hidroeléctricas y las centrales fotovoltaicas y un pequeño aporte de las centrales de Biogás.

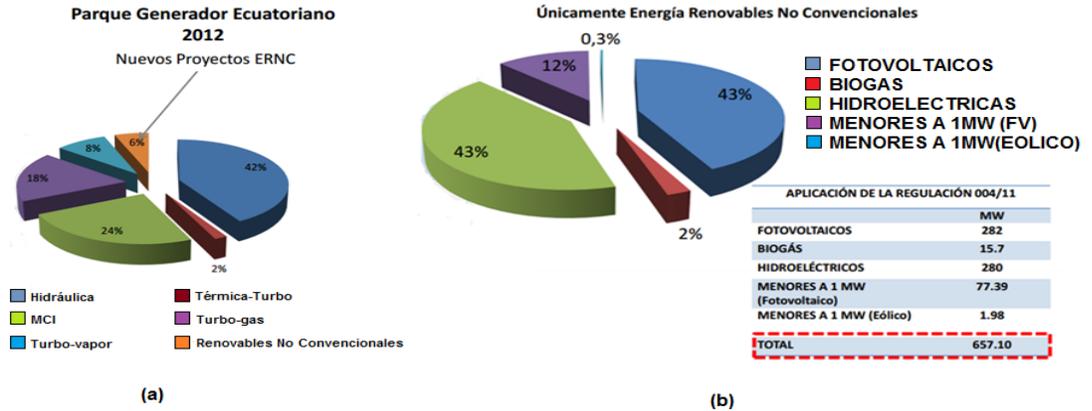


Figura 4 Generación eléctrica con ERNC en el año 2012 (CONELEC, 2012)

Según informe del CENACE (2012), el volumen total transado en generación no convencional fue de 19.56 millones de dólares, correspondiente a 220.10 GWh. El promedio mensual de transacciones corresponde a 1.63 millones de dólares.

En la Tabla 1, se muestran los precios preferentes de las energías renovables no convencionales determinados por la *Regulación No.CONELEC-004/11*.

Tabla 1. Precios Preferentes Energías Renovables (cUSD/KWh) (CONELEC, 2011)

CENTRALES	Territorio Continental	Territorio Insular de Galápagos
EÓLICAS	9.13	10.04
FOTVOLTAICAS	40.03	44.03
SOLAR TERMOELÉCTRICA	31.02	34.12
CORRIENTES MARINAS	44.77	49.25
BIOMASA Y BIOGÁS < 5 MW	11.05	12.16
BIOMASA y BIOGÁS > 5 MW	9.60	10.56
GEOTÉRMICAS	13.21	14.53
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS HASTA 10 MW	7.17	-
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS HASTA 10 MW a 30 MW	6.88	-
CENTRALES HIDROELÉCTRICAS HASTA 30 MW a 50 MW	6.21	-

Estos precios tienen duración de 15 años para las empresas que hayan suscrito convenio hasta el 31 de diciembre del 2012, las empresas que ingresen después de esta fecha podrán ver alterados estos valores según consideraciones del CONELEC (2011).

Según la información estadística del CONELEC (2014), la capacidad efectiva de generación de energía renovable ha sido de 2,354.49 MW, aportando mayoritariamente la generación hidráulica como se puede apreciar en la tabla 2.

Tabla 2 Capacidad Efectiva de Generación (MW) (CONELEC, 2014)

CAPACIDAD EFECTIVA DE GENERACIÓN		MW	%
Energía Renovable	Hidráulica	2,236.62	43.83%
	Solar	4.90	0.10%
	Eólica	19.56	0.38%
	Turbovapor	93.40	1.83%
<b>Total Energía Renovable</b>		<b>2,354.49</b>	<b>46.14%</b>
No Renovable	MCI	1,326.33	25.99%
	Turbogas	973.90	19.09%
	Turbovapor	448.24	8.78%
<b>Total Energía No Renovable</b>		<b>2,748.47</b>	<b>53.86%</b>
<b>Total Capacidad Instalada</b>		<b>5,102.96</b>	<b>100.00%</b>

## 1.2 CARACTERÍSTICA DE LA ZONA Y UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

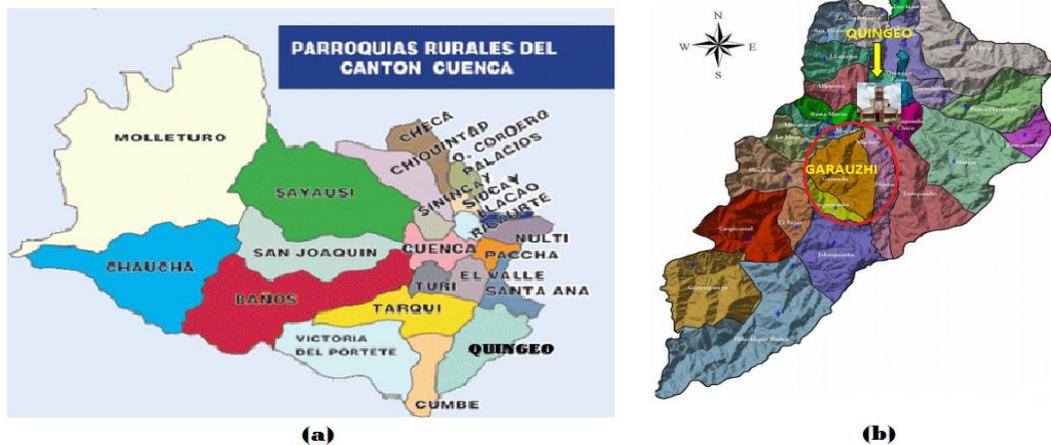


Figura 5 (a) Parroquias rurales de Cuenca (b) Parroquia Quingeo y sus comunidades (Revista Cuenca Ilustre-Ecuador, 2008)

El lugar de estudio se encuentra en la comunidad de Garauzhí, perteneciente a la parroquia Quingeo, de la ciudad de Cuenca. Quingeo se encuentra al sur este, aproximadamente a 20 km de la ciudad de Cuenca, a una altura de 2700 msnm, con una superficie de la parroquia de 116.59 km<sup>2</sup>, el clima es templado con una temperatura aproximada de 14°C (Karina & Reivan, 2010). Esta parroquia cuenta con 27 comunas, dentro de las cuales se encuentra la comunidad de Garauzhí. Según el INEC (2014), Quingeo posee 7450 habitantes, 1595 viviendas particulares con personas presentes por procedencia de luz eléctrica, de un total de 1766, es decir no poseen servicio eléctrico 170 viviendas.

Garauzhí está situada al sureste de la parroquia Quingeo, sus habitantes se dedican a la ganadería y a la agricultura. La vía de acceso hasta Quingeo es asfaltada, para entrar a Garauzhí el acceso es de una carretera lastrada, que lamentablemente con el clima cambiante se deteriora constantemente, por lo que necesita mantenimiento continuo por parte de los gobiernos locales.



**Figura 6** Centro de Garauzhí, se aprecia la carretera de lastre (Neira & Velecela, 2014)

### 1.2.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

El proyecto nace por el interés de David Murillo, que es el dirigente de la comunidad, tras conocer la tesis realizada por Daniel Icaza, quien planteó monitorear el clima de la comunidad de Garauzhí, mediante la implementación de una estación meteorológica. Se hicieron las gestiones para que el gobierno apoye el proyecto y pueda ser ejecutado.

Posteriormente con apoyo de la Universidad Politécnica Salesiana, y en coordinación con el Dpto. de Vinculación con la Colectividad, se realizó un convenio de cooperación interinstitucional con el comité de Quingeo con el objetivo de realizar un estudio del potencial eólico y solar de la comunidad de Garauzhí. A partir de esto se procedió con la instalación de la estación meteorológica de propiedad de la UPS en el sitio preestablecido por el Ing. Freddy Campoverde, Docente de la Universidad, y responsable del proyecto.

### 1.2.2 UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN METEREOLÓGICA



Figura 7 Ubicación de la estación meteorológica Garauzhí (Neira & Veleceta, 2014)

La estación meteorológica se encuentra situada en un lugar en donde se pueden medir las condiciones climáticas de manera óptima como podemos ver en la Figura 7, se encuentra en un sitio alto, libre de obstáculos, ideal para medir la velocidad y dirección del viento,

así como la radiación solar, esta estación se encuentra instalada en las siguientes coordenadas.

**Tabla 3 Información de la Estación Meteorológica Garauzhí (Neira & Velecela, 2014)**

ESTACIÓN METEOROLÓGICA GARAUZHÍ	
LATITUD	-3,0569108333° S
LONGITUD	-78,9424108333°W
ALTURA (msnm)	2841
ALTURA DEL ANEMÓMETRO	10m
INSTITUCIÓN RESPONSABLE	UPS

### 1.2.3 ESTACIÓN METEOROLÓGICA VAISALA

La estación meteorológica VAISALA que se encuentra instalada en el sitio, consta de los sensores y equipos que se describen en los siguientes puntos, y son necesarios para monitorear el clima de la zona.

#### 1.2.3.1 SISTEMA MAWS100 HydroMet™ DE VAISALA



**Figura 8 Sistema MAWS1000DCP (Neira & Velecela, 2014)**

Es un sistema compacto para monitoreo hidrometeorológico, para casos en dónde se necesiten pocos sensores; los datos pueden ser adquiridos mediante el transmisor meteorológico WXT510 y mediante telemetría celular, sin embargo en este caso específico, los datos son adquiridos directamente de la memoria flash compacta que posee este equipo. Este sistema tiene un bajo consumo de energía, aproximadamente 10 mA

con los sensores en funcionamiento, para abastecer este consumo la estación viene incorporada con un panel solar de 11 W, que carga una batería 5 Ah/12V que es suficiente para alimentar al sistema. (VAISALA, 2009)

### 1.2.3.2 SENSOR DE VIENTO WM30



Figura 9 Equipo de Anemómetro y Veleta (Neira & Velecela, 2014)

Para la velocidad del viento se suministra una salida con contacto de relé, la velocidad del viento puede registrarse ya sea contando el número de pulsos dentro de un periodo de tiempo fijado, o midiendo el tiempo entre pulsos sucesivos. Un potenciómetro detecta la posición de la veleta. Cuando se suministra voltaje al potenciómetro, el voltaje de salida es directamente proporcional al ángulo de la veleta. (VAISALA, 2010)

### 1.2.3.3 PIRANÓMETRO



Figura 10 Piranómetro (Neira & Velecela, 2014)

El piranómetro es un sensor que mide la radiación solar global. Utiliza un detector de fotodiodo para crear una salida de voltaje proporcional a la radiación recibida. Su

sensibilidad es proporcional al coseno del ángulo de incidencia de la radiación, lo que permite una medición constante y consistente. Cada piranómetro se entrega con un certificado de calibración que muestra su factor de calibración. (VAISALA, 2014)

#### 1.2.3.4 SENSOR DE HUMEDAD Y TEMPERATURA



Figura 11 Sensor de Humedad y Temperatura con un DTR500 (Neira & Velecela, 2014)

El equipo mide temperatura y humedad relativa. Los sensores de humedad y temperatura vienen protegidos por el DTR500, que es un dispositivo, que protege las sondas de temperatura y humedad de la radiación difusa, además de la radiación solar directa y de la lluvia. (VAISALA, 2014)

#### 1.2.3.5 PLUVIÓMETRO RM52203



Figura 12 Pluviómetro (Neira & Velecela, 2014)

Utiliza el mecanismo de cazoletas basculantes para medir la precipitación; la geometría y el material del que se encuentran fabricadas las cazoletas, facilitan la salida de toda el agua para minimizar contaminación y errores. La superficie de recogida del agua es de  $200\text{ cm}^2$  y cada vuelco supone  $0.1\text{ mm}$  de precipitación. (SIAR, 2014)

#### 1.2.4 MANTENIMIENTO DE LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA VAISALA



Figura 13 Mantenimiento de la Central Meteorológica Vaisala (Neira & Velecela, 2014)

Esta estación fue diseñada para soportar condiciones adversas y ser ubicada en lugares remotos, así que prácticamente no requieren mantenimiento, sin embargo periódicamente hay que ir al sitio y verificar el buen estado sus componentes.

En este trabajo de tesis, se planificaron visitas mensuales al sitio para adquirir los datos directamente como lo veremos más adelante y es allí cuando verificamos el estado de cada uno de los equipos para evitar pérdida de información por mal funcionamiento.

**Verificación de los Datos Medidos:** Luego de extraer los datos, se debe comprobar que no tengan ningún error o medida que parezca inapropiada, esto ayuda a conocer si los diferentes elementos trabajan eficientemente o si presentan alguna anomalía, luego de esta verificación de los datos, en el sitio se inspeccionan los elementos:

- **Anemómetro:** Se realiza una inspección visual, hay que asegurarse que las cazoletas giren libremente ante la presencia de viento.
- **Veleta:** Es difícil verificar visualmente su funcionamiento, porque no se sabe con exactitud cuándo cambia la dirección del viento, esto más bien se hace analizando los datos obtenidos.
- **Panel Solar:** Verificar que el panel se encuentre en buen estado y si es posible limpiar con un trapo húmedo las impurezas, como se ve en la Figura 13.
- **Piranómetro:** Verificar que se encuentre en buen estado, limpiar con un trapo húmedo el polvo y las partículas acumuladas.
- **Pluviómetro:** El pluviómetro prácticamente no necesita mantenimiento, se debe verificar que no existan impurezas como hojas o ramas que hayan caído en su interior, que tiene forma de embudo.

En cuanto al mantenimiento de la estación en los alrededores, se debe tratar de que el entorno por lo menos dentro de la cerca que protege la estación meteorológica, se encuentre libre de malezas, en un mes el monte crece rápidamente, especialmente en el periodo de lluvias, debemos limpiar y dejar libre de montes.

### 1.2.5 ADQUISICIÓN DE DATOS

Los datos de la estación meteorológica se extraen directamente del datalogger, sacando la memoria flash que este posee; para extraer la información se siguen los siguientes pasos:

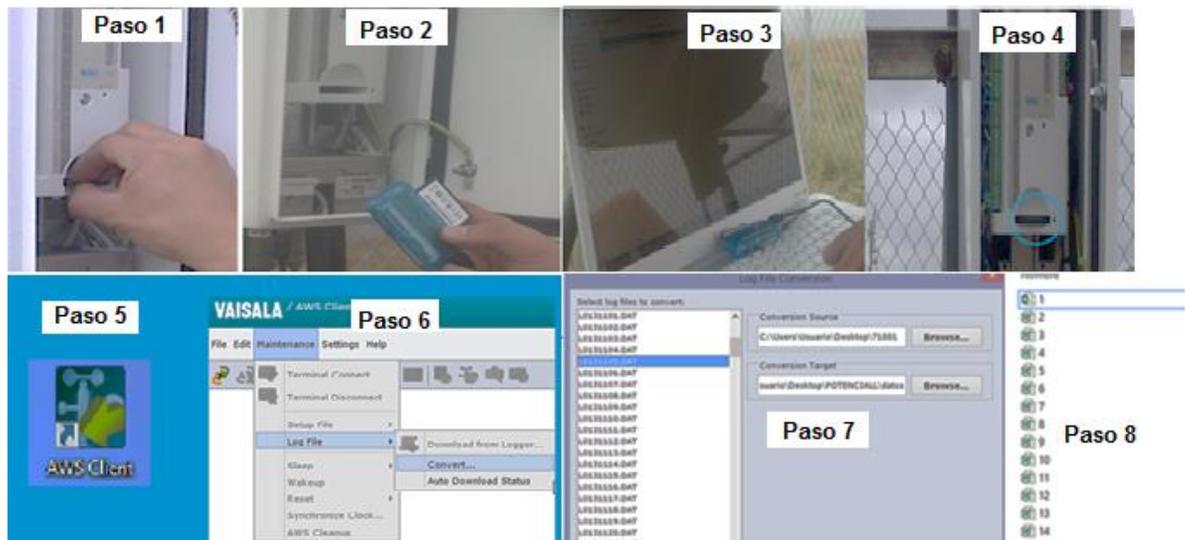


Figura 14 Pasos para la adquisición de datos de la estación meteorológica de Garauzhí (Neira & Veleccla, 2014)

1. Extraer la memoria flash.
2. Colocar la memoria en un adaptador serial para pasar los datos al computador.
3. Copiar el archivo en el computador y extraer la memoria
4. Colocar nuevamente la memoria en su lugar.
5. Abrir AWS Client que es el software que vaisala utiliza para adquirir datos.
6. Dar clic en maintenance, load file y convert.
7. Buscar el archivo que contiene los datos y además especificar la carpeta a donde queremos que se guarden los datos.
8. Guardar los archivos en una base de datos para mantener un registro ordenado de los datos

Considerar que en el paso 7 existen varios tipos de toma de mediciones entregadas por la estación, las que inician con:

- **L01** contienen las mediciones instantáneas tomadas cada minuto
- **L11** contienen el valor promedio de las mediciones de cada un minuto
- **L21** contienen el valor promedio de las mediciones promedio de cada hora.

Para las necesidades del presente trabajo de tesis, utilizaremos **L11** es decir cada minuto. Los datos que se muestran en Excel se indican en la tabla 4.

**Tabla 4** Datos que se muestran en el Excel, adquiridos de la estación meteorológica (Neira & Velecela, 2014)

<b>Parámetro Medido</b>	<b>Identificación</b>
AvgMinMaxTA_1m	Temperatura ambiente (°C)
Avg	Promedio
Max	Máxima
Min	Mínima
AvgMinMaxRH_1m	Humedad Relativa (%)
Avg	Promedio
Max	Máxima
Min	Mínima
SumPR_1m	Precipitación de lluvia (mm)
Sum	Promedio
GenWind_1m	Dirección y velocidad del viento
DirAvg	Dirección Promedio
DirMax	Dirección Máxima
DirMin	Dirección Mínima
GustDir	Dirección de la ráfaga
GustH	Minuto que ocurrió la ráfaga
GustM	Segundo que ocurrió la ráfaga
Wrun	Velocidad del viento [Km/min]
SumSR_1m	Suma de la radiación Solar
Sum	Suma de la máxima y el promedio
AvgMinMaxSR_1m	Radiación Solar (w/m <sup>2</sup> )
Avg	Promedio
Max	Máxima
Min	Mínima

### 1.3 GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS EÓLICOS Y SOLARES

#### 1.3.1 AEROGENERADORES

Como define Fernández (2009), “Los aerogeneradores son dispositivos que convierten la energía cinética del viento en energía eléctrica, de modo que aprovechan la energía del viento para producir electricidad”.



**Figura 15 Aerogenerador (AEOLOS, 2014)**

Un aerogenerador no se elige al azar, antes de hacerlo, se debe realizar un estudio de mercado, que se ajuste técnica y económicamente a las necesidades del lugar.

### **1.3.1.1 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO**

Antes de conocer los componentes de un aerogenerador, es de mucha importancia primero saber su principio de funcionamiento y cuál es el proceso de conversión de la energía que se produce en ellos.

Básicamente el viento mueve las palas o aspas del aerogenerador, desarrollando un par que se traduce a potencia mecánica, y esta a su vez es transmitida al generador para convertirla finalmente en energía eléctrica.

### **1.3.1.2 COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR**

Según Alvares (2009) Los componentes de un aerogenerador son:

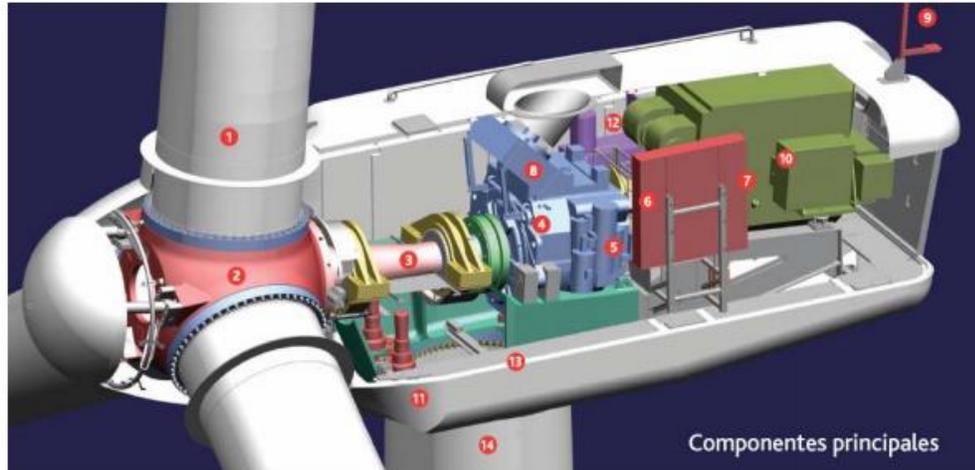


Figura 16 Componentes de un aerogenerador (Alvarez, 2009)

- |                                  |                                      |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| 1. Palas y rotor                 | 8. Sistema de refrigeración          |
| 2. Buje                          | 9. Sistema de medición eólica        |
| 3. Eje principal                 | 10. Generador                        |
| 4. Multiplicadora                | 11. Sistema de posicionamiento (yaw) |
| 5. Freno de disco                | 12. Sistema hidráulico               |
| 6. Acoplamiento con el generador | 13. Rodamiento del yaw               |
| 7. Sistema de control            | 14. Torre                            |

Cuando se mira un aerogenerador, se pueden identificar enseguida, la góndola, que es la carcasa que cubre a los elementos internos, además las palas del aerogenerador y el mástil, pero en realidad existen muchos más elementos involucrados en el funcionamiento del aerogenerador.

Brevemente se explicarán los elementos que conforman el aerogenerador. En primer lugar se encuentra una pieza llamada buje, que une las palas con el eje de baja velocidad y este a su vez está conectado a un multiplicador, que permite que la velocidad aumente significativamente en el eje de alta velocidad. De no ser por este aumento de la velocidad, el generador eléctrico no se pondría en marcha, y es el que se encarga de realizar la transformación completa de la fuerza del viento en electricidad. Existe otro componente, el controlador electrónico, que monitorea las condiciones del viento y reorienta las palas según sea preciso. A grandes rasgos, y sin olvidar el sistema de refrigeración necesario para evitar sobre calentamientos en el generador, estos son los componentes que bajo la

góndola y coronando la torre del molino, ayudan a generar energía eléctrica. (twEnergy, 2011)

### 1.3.1.3 TIPOS DE AEROGENERADORES

Los aerogeneradores se clasifican según la posición de su eje en:

- **Aerogeneradores de eje horizontal.-** Son los más utilizados, en ellos el movimiento de rotación se origina por la incidencia del viento sobre unas palas orientadas con un cierto ángulo con respecto a éste, la fuerza del viento se descompone en dos vectores, uno axial que tiende a empujar al aerogenerador y otro tangencial que es el que hace girar el aerogenerador. Los aerogeneradores de eje horizontal pueden ser monopala, bipala o tripala, los más utilizados son los tripala. (Mugmal & Vega, 2012)
- **Aerogeneradores de eje vertical.-** Un aerogenerador de eje vertical es esencialmente una turbina eólica en el cual el eje del rotor se encuentra instalado en posición vertical, lo que le permite generar energía eléctrica sin importar de que dirección viene el viento. Este tipo de aerogenerador vertical ofrece la ventaja de poder producir energía eléctrica aun en lugares con poco viento y en zonas urbanas donde las regulaciones de construcción típicamente prohíben la instalación de turbinas eólicas horizontales. (LBA, 2014)

Respecto a la posición del equipo con referencia al viento:

- **A Barlovento.-** Cuando el rotor recibe el aire de frente, por lo que necesita un dispositivo orientador para encararse al viento. (Roldán, 2013)
- **A Sotavento.-** El viento ataca por el lado de la Góndola de diseño especial, no necesita dispositivo de orientación, debido al diseño especial de las palas, que lo posicionan correctamente. (Roldán, 2013)

#### 1.3.1.4 CONTROL DE POTENCIA EN AEROGENERADORES

Los aerogeneradores habitualmente están diseñados para rendir al máximo a velocidades alrededor de 15 m/s. (Alvarez, 2009)

Generalmente todos los aerogeneradores están diseñados con algún tipo de control de potencia. Hay varias formas de hacerlo con seguridad en los modernos aerogeneradores: (Alvarez, 2009)

1. Regulación de potencia por cambio del ángulo de paso (“pitch-controlled”)
2. Regulación pasiva por pérdida aerodinámica (“stall-controlled”)
3. Regulación activa por pérdida aerodinámica

#### 1.3.1.5 SISTEMA EÓLICO CONECTADO A LA RED ELÉCTRICA

Los sistemas eólicos, se dividen en sistemas aislados de la red eléctrica y sistemas conectados a la red eléctrica pública, en nuestra tesis nos dedicamos únicamente a los sistemas conectados a la red, que se dividen en:

- **Pequeños Sistemas.-** Este sistema es aplicable en los casos en que exista una red en las proximidades del centro de consumo. La energía requerida por el usuario sería suministrada por el sistema eólico y la red eléctrica. Si el aerogenerador produce energía en exceso, se entrega el excedente a la red eléctrica, y si produce menos energía de la requerida, se toma de la red eléctrica, esta es denominada red compartida. (Romero, 2013)
- **Sistemas de la gran eólica sin consumo propio.-** Como su nombre mismo lo indica son grandes sistemas o parques eólicos que suministran directamente la energía generada al sistema eléctrico, en nuestro país este tipo de sistema sería el de Villonaco.

Un sistema conectado a la red consta principalmente de un aerogenerador, un controlador, y un inversor. EL aerogenerador convierte la energía del viento en energía eléctrica de

corriente continua, luego a energía eléctrica de corriente alterna mediante el inversor, para poder conectar a la red pública, como se ve en el la Figura 17:



Figura 17 Sistema Eólico conectado a la red (AEOLOS, 2014)

#### 1.4 MODULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS

El módulo fotovoltaico, es un conjunto de células solares conectadas eléctricamente entre sí, que convierten directamente la radiación solar en energía eléctrica, de tal forma que la energía incidente de la luz crea partículas móviles cargadas en algunos materiales semiconductores, los cuales están separados por la estructura del aparato y producen corriente eléctrica continua.



Figura 18 Módulo Fotovoltaico (TRINASOLAR, 2014)

Para la transformación de la energía de la radiación solar en electricidad se requiere que se cumplan tres aspectos fundamentales: (Macancela & Regalado, 2012)

- a) Existencia de una unión p-n.
- b) Incidencia de fotones igual o mayor que la banda prohibida del semiconductor.
- c) Producción de portadores de carga libre (Electrones y huecos).

Un conjunto de módulos conectados entre sí conforman un panel. El conjunto de varios módulos conforman un sistema fotovoltaico.

#### 1.4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS CELULAS FOTOVOLTAICAS

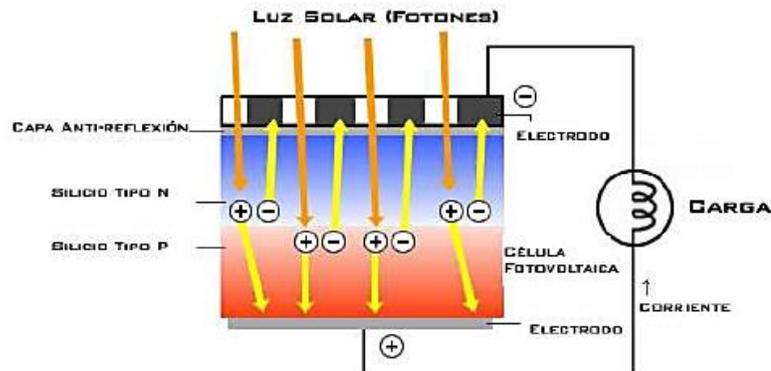


Figura 19 Parte izquierda de una célula fotovoltaica (Macancela & Regalado, 2012)

Generalmente, una célula fotovoltaica tiene un grosor que varía entre los 0,25 y los 0,35mm y una forma generalmente cuadrada, con una superficie aproximadamente igual a 100 cm<sup>2</sup>. La vida útil media de la célula fotovoltaica, a máximo rendimiento se sitúa en torno a los 25 años, periodo a partir del cual la potencia entregada disminuye. Actualmente, la mayor parte de material celular fotovoltaico utilizado es el silicio. Entre las celdas más importantes de acuerdo a la estructura cristalina son: (Macancela & Regalado, 2012)

- Silicio Cristalino:
  - Silicio Mono-cristalino:
    - Convencional.
    - Alta Eficiencia.
  - Silicio Poli-cristalino.
  
- Capa Delgada:
  - Silicio Amorfo.
  - CdTe.

En la Tabla 5 se muestran las principales características de las células solares comerciales.

**Tabla 5 Principales características de las células no comerciales (Nofuentes, Muñoz, D.Talavera, Aguilera, & Terrados, 2011)**

<b>PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS DE LAS CÉLULAS SOLARES COMERCIALES</b>			
<b>Material</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>Degradación de potencia nominal después de 22 años de exposición en el exterior</b>	<b>Color</b>
<b>Si monocristalino</b>	<b>15-22%</b>	<b>14,8%</b>	<b>Azul Oscuro</b>
		<b>(encapsulante Tedlar™ y EVA)</b>	
<b>Si multicristalino</b>	<b>13-15%</b>	<b>6,4%</b>	<b>Azul</b>
		<b>(Encapsulante de silicio transparente)</b>	
<b>Si amorfo</b>	<b>8-15%</b>	<b>N/A</b>	<b>Rojo azulado, negro</b>
<b>CdTe</b>	<b>6-9%</b>	<b>N/A</b>	<b>Verde Oscuro, negro</b>
<b>CIS</b>	<b>7,5-9,5%</b>	<b>N/A</b>	<b>Negro</b>

## 1.4.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS A LA RED

Enfocaremos la presente tesis a los sistemas fotovoltaicos conectados a la red (SFCR), esto quiere decir que toda la energía generada es entregada a la red eléctrica.

Según (Nofuentes, Muñoz, D.Talavera, Aguilera, & Terrados, 2011), un SFCR consta esencialmente de:

- **Módulos FV**, normalmente llamados generador FV (algunos módulos FV conectados en serie o en paralelo en una estructura de soporte)
- **Inversor** (un aparato en estado sólido que convierte la electricidad de CC de los módulos en electricidad de CA con las mismas características que las que suministra la red).
- **Dispositivo medidor** destinado a medir la electricidad vendida a la red.
- **Dispositivo medidor** destinado a medir la electricidad comprada a la red.
- **Cargas de CA** de aparatos eléctricos

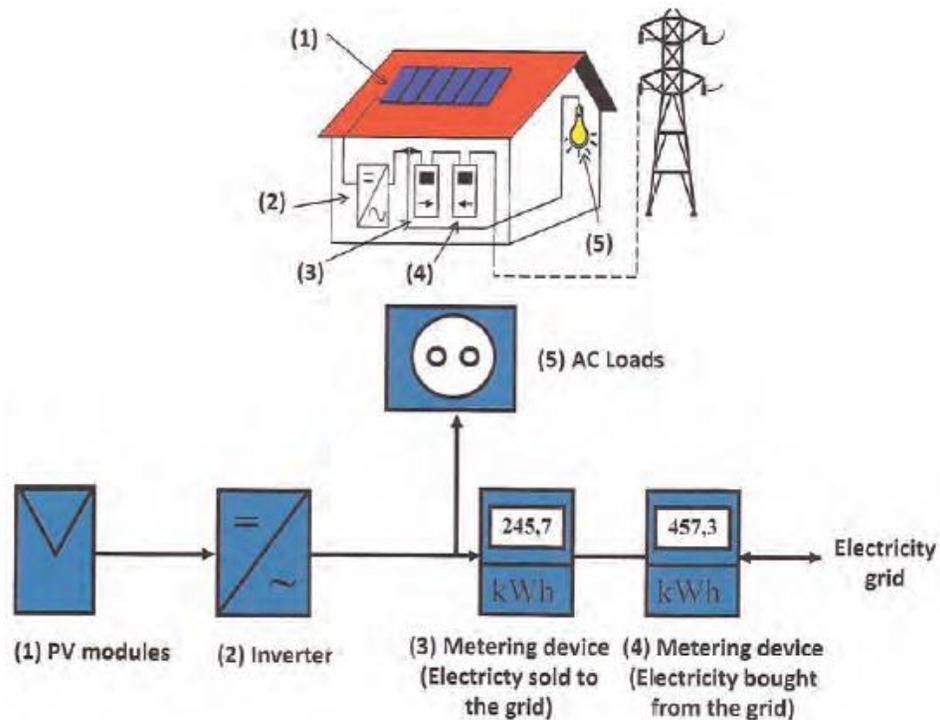


Figura 20 Disposición simplificada de un sistema FV conectado a la red (Nofuentes, Muñoz, D.Talavera, Aguilera, & Terrados, 2011)

Como se ve en la Figura 20 el sistema es simple, primeramente convertimos la energía solar en energía eléctrica de C.C. mediante los módulos solares fotovoltaicos, es por eso necesario un inversor para convertirla en corriente alterna. Posteriormente, tenemos equipos de medición, para medir la energía que se consume de la red eléctrica y la energía que el SFCR entrega al sistema eléctrico público.

## 1.5 SISTEMAS EÓLICOS Y SOLARES EN EL ECUADOR

### 1.5.1 ENERGÍA EÓLICA EN EL ECUADOR

Actualmente el mercado de las energías renovables en el Ecuador ha ido aumentando. En el campo eólico se ha progresado muchísimo, tanto así que ya se cuenta con un parque eólico de gran magnitud, que es el parque eólico de Villonaco, ubicado en la ciudad de Loja.

Las centrales de generación eléctrica que funcionan con recursos renovables no convencionales la ilustramos en la Tabla 6.

**Tabla 6 Proyectos de generación por ERNC incorporados al SNI, periodo 2000-2009 (CONELEC, 2014)**

Central	Potencia instalada (MW)	Año de incorporación al SIN	Provincia	Empresa
<b>HIDROELÉCTRICAS DE MENOS DE 50 MW</b>				
Hidroabanico	37,50	2006	M. Santiago	Hidroabanico
Calope	16,50	2006	Cotopaxi	Enermax
Sibimbe	15,80	2006	Los Ríos	Hidrosimbibe
El Carmen	8,20	2000	Pichincha	EMAAP-Q
La Esperanza	6,00	2005	Manabí	Manageneración
Poza Honda	3,00	2007	Manabí	Manageneración
Perlaba	2,46	2004	Pichincha	Perlaba
Loreto	2,15	2002	Napo	Ecoluz
<b>EÓLICAS</b>				
San Cristóbal	2,40	2007	Galápagos	EOLICSA
<b>FOTOVOLTAICAS</b>				
Floreana 2	0,03	2004	Galápagos	E.E. Galápagos
<b>BIOMASA</b>				
Ecudos	29,80	2006	Guayas	Ecudos S.A.
San Carlos	35,00	2005	Guayas	Ingenio San Carlos
Ecoelectric - Ingenio Valdez	36,50	2005	Guayas	Ecoelectric
<b>TÉRMICAS A BASE DE COMBUSTIBLES FÓSILES 2008</b>				
Barcaza de Termoguayas	129,00	2006	Guayas	Termoguayas
Barcaza Power Barge I	30,00	2003	Guayas	Ulysseas
Jivino - CNEL - Sucumbíos	11,00	2002	El Oro	CNEL – Sucumbios
<b>TOTAL</b>	<b>365,34</b>			

### 1.5.1.1 IMPORTANCIA DE LA ENERGÍA EÓLICA EN EL ECUADOR

En la actualidad, en el Ecuador, existen registros de dirección y velocidad de viento que se han obtenido a partir de mediciones de estaciones meteorológicas ubicadas en distintas partes del país. De ahí que los sitios que presentan condiciones favorables de generación eólica se encuentran, especialmente, en las crestas de las montañas andinas y en las playas ecuatorianas. (García P. , 2011)

### 1.5.1.2 RECURSOS EÓLICOS

El Ecuador cuenta con lugares aptos para la generación eólica, sin embargo recientemente se comenzó a estudiarlos y analizar su potencial, algunos de estos sitios se indican en la Tabla 7.

**Tabla 7 Lugares para la generación de electricidad con energía eólica (CONELEC, 2009)**

Provincia	Localidad
Carchi	El Ángel
Imbabura	Salinas
Pichincha	Machaci, Malchingui, Páramo Grande
Cotopaxi	Mintrac, Tigua
Chimborazo	Chimborazo, Altar, Tixán
Bolívar	Salinas, Simiatug
Azuay	Huascachaca
Loja	Saraguro, El Tablón, Manú, Villonaco, Membrillo, Chinchas
Galápagos	San Cristóbal, Baltra

García (2011) describe los principales proyectos eólicos para la generación de electricidad en el Ecuador.

- **Parque Eólico San Cristóbal (2,4 MW).**- La primera central eólica ecuatoriana inició su operación en octubre de 2007. Ubicada en la isla San Cristóbal, tiene una potencia instalada de 2,4 MW y una producción anual estimada de 3,2 GWh. Actualmente funciona con tres aerogeneradores de 0,8 MW cada uno, fabricados por la empresa española Gamesa Eólica. Según los responsables del proyecto, este parque permitirá un ahorro de 5.000 barriles de petróleo.
- **Parque Eólico Villonaco (16,5 MW).**- La zona de Villonaco, en la provincia de Loja, tiene un enorme potencial eólico, con vientos promedio de 12,5 m/s. Este proyecto tiene una gran importancia simbólica por ser el primer parque eólico en

Ecuador de gran dimensión y por ser el más alto del mundo, a unos 2.700 metros de altitud.

- **Parque Eólico Minas de Huascachaca (50 MW).**- El proyecto eólico Minas de Huascachaca se encuentra ubicado a 84 km. al suroeste de la ciudad de Cuenca. La velocidad media del viento en la zona es 5,35 m/s a una altura de 68,5 m. De acuerdo a los resultados obtenidos en los estudios de factibilidad, el parque eólico podría estar compuesto por 25 aerogeneradores de 2 MW cada uno con una capacidad total de 50 MW y una producción energética media anual aproximada de 101 GWh.

### 1.5.2 ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR

La ubicación geográfica del Ecuador, lo convierte en un país privilegiado en lo que a recurso solar se refiere, ya que tiene un potencial solar que, sin ser el mejor del planeta, se sitúa en niveles muy importantes, y se debe a que el ángulo de incidencia de la luz solar es perpendicular a su superficie durante todo el año, es por tanto que esta ventaja posicional de Ecuador se traduce en la recepción de una mayor y constante cantidad de radiación solar. (García P. , 2011)

Por lo tanto podemos decir que dentro de nuestro país, la gran incidencia de radiación solar, además de ser constante la mayor parte del año, hace que sea muy confiable y rentable el uso tecnológico de este recurso para aplicaciones solares fotovoltaicas, aunque debemos aclarar que aún es muy costosa su implementación y existe falta de conocimiento, difusión e incentivos, para que las empresas o grandes edificios se autoabastezcan utilizando este tipo de generación, además que la energía hidroeléctrica, es la mayor fuente de generación eléctrica del país, siendo también energía limpia y barata.

### 1.5.2.1 IMPORTANCIA Y DESARROLLO DE LA ENERGÍA SOLAR EN EL ECUADOR

Los proyectos fotovoltaicos que existen en el Ecuador, son principalmente implementados en lugares aislados, por la dificultad de llegar a estos sitios mediante la red eléctrica, sin embargo existen proyectos piloto que tienen como objetivo autoabastecerse de energía eléctrica, como por ejemplo la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, implemento un sistema solar fotovoltaico, que cubre un porcentaje de la demanda eléctrica del edificio.

Esta fuente de energía renovable además de aportar con generación de energía eléctrica al país, proporcionara fuentes de trabajo y será de mucha importancia para el comercio.

En la Tabla 8 se muestran las principales aplicaciones, de la tecnología solar fotovoltaica, que en la mayoría de los casos puede solucionar muchos de los problemas de abastecimiento eléctrico, siempre y cuando las características del lugar así lo permitan.

Tabla 8 Aplicaciones de la energía solar (CONELEC, 2014)

Tipo de Energía	Aplicación	Ámbito
Solar fotovoltaica	Paneles solares generadores de electricidad para bombeo, telecomunicaciones, control, iluminación, iluminación pública, refrigeración De alta y baja potencia	Rural y urbano. Se debe en cada caso específico hacer un estudio de factibilidad y eficiencia

## CAPITULO II

### ESTUDIO DE LOS RECURSOS EÓLICO Y SOLAR EN EL SECTOR DE GARAUZHÍ PERTENECIENTE A LA PARROQUIA QUINGEO

#### 2.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar es un recurso gratuito, invaluable e inagotable, que pudiera cubrir la demanda de energía en nuestro planeta, sin embargo no existe la suficiente tecnología para aprovechar su potencial, y la poca tecnología que existe es muy costosa.

##### 2.1.1 RADIACIÓN SOLAR

El sol es una estrella, en cuyo interior se producen reacciones nucleares, debido a que los átomos de hidrógeno se combinan para formar átomos de helio, y una pequeña parte de la masa de estos átomos se convierte en energía, la cual es emitida hacia el espacio en todas direcciones, esta energía se denomina *radiación solar*.

La constante solar es la radiación solar que llega en una superficie perpendicular a los rayos del sol fuera de la atmosfera, y su valor es  $1353 \text{ W/m}^2$ . El valor máximo medido en la superficie terrestre en condiciones óptimas, en medio día, en verano es de  $1000 \text{ W/m}^2$ . (Buitrón & Burbano, 2010)

La radiación solar que recibe la superficie de la tierra está definida por los siguientes conceptos:

**Irradiancia.**- Es la potencia incidente por unidad de superficie y se mide en  $\text{W/m}^2$  (valor medio en una hora). (Viloria, Estudios de Viabilidad de Instalaciones Solares. Determinación del Potencial Solar, 2011)

**Irradiación.-** Es la energía incidente por unidad de superficie en un determinado periodo de tiempo y se mide en  $J/m^2$ . (Viloria, Estudios de Viabilidad de Instalaciones Solares. Determinación del Potencial Solar, 2011)

**Angulo Horario Solar.-** Angulo que forma la proyección del sol sobre el plano ecuatorial en un momento dado y la proyección del sol sobre el mismo plano en el mediodía solar, su valor cambia según la hora del día. Para todas las latitudes, el sol se desplaza de este a oeste y barre cada hora  $15^\circ < > 360^\circ/24h$ . (Prando, 2013)

Prando (2013) Indica que sobre la superficie terrestre incidirán distintos tipos de energía radiante como:

**Radiación Directa.-** Radiación solar que incide sobre una superficie, sin cambiar de dirección. Suele medirse sobre incidencia normal.

**Radiación Difusa.-** Aquella parte de la radiación solar incidente dispersada en la atmósfera y reflejada por el suelo.

**Albedo.-** Radiación solar incidente que llega a una superficie después de haberse reflejado en las superficies del entorno.

**Radiación Global.-** Es la suma de la directa y de la difusa.

### 2.1.2 CÁLCULO DE LA RADIACIÓN SOLAR EXTRATERRESTRE

La radiación solar extraterrestre para una superficie horizontal situada fuera de la atmósfera, viene dada por: (Jutglar, 2004)

$$I_0 = I_{cs} E_o \cos \theta \quad (1)$$

Donde:

$I_{cs}$  es la constante solar

$E_0$  es el factor de corrección de la distancia tierra-sol

$\Theta$  es el ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie.

La radiación que incide sobre una superficie a lo largo de un intervalo de tiempo determinado, que se conoce como irradiación viene dada por: (Jutglar, 2004)

$$H = \int_{t_1}^{t_2} I dt \quad (2)$$

### **2.1.3 EFECTO FOTOVOLTAICO**

El efecto fotovoltaico es la capacidad que poseen los materiales semiconductores, para convertir la luz solar en electricidad. Para ser más explícitos, las partículas de luz o fotones inciden sobre una célula fotovoltaica y su energía es transferida a un electrón del átomo de una célula, con la cual este electrón escapa de su posición normal y forma parte de la corriente de un circuito eléctrico.

La conversión de luz solar en electricidad, tiene lugar en una célula fotovoltaica, que es un dispositivo formado por una lámina de material semiconductor, que se compone de una delgada capa de material tipo n y otra de mayor espesor de material tipo p, cuando la luz incide sobre las células, los fotones rompen el par electrón-hueco, mediante un conductor externo, se conecta la capa negativa a la positiva, generándose así el flujo de electrones, de la zona p a la zona n. (Méndez & Cuervo, 2007)

## **2.2 ENERGÍA EÓLICA**

### **2.2.1 GENERALIDADES SOBRE EL VIENTO**

El viento se produce por el movimiento de las masas de aire en la troposfera, la capa más baja de la atmósfera; dentro de ella, los vientos que tendrán interés desde el punto de vista energético son los que se producen a nivel de la superficie terrestre. Los movimientos de

masas de aire hay que buscarlos en los gradientes de presión existentes, que en último término son debidos a los gradientes térmicos originados por la radiación solar recibida sobre la tierra. Es decir, las capas de aire caliente ascienden dejando hueco libre para las capas de aire frío, generando así el movimiento de las capas de aire. El gradiente vertical de presión, originará movimientos verticales de masas de aire, aunque de menor magnitud que los horizontales. Los movimientos de masas de aire tienden a compensar las diferencias de presión, de modo que, a mayor gradiente de presión, mayor velocidad de viento. (Mur, sf)

Además de lo expuesto se debe considerar que debido al movimiento rotacional de la tierra, también se ve afectado el movimiento y dirección del viento, este fenómeno es denominado fuerza de *coriolis*.

A parte de la circulación global del viento, existen efectos locales que producen la desviación de la dirección de los vientos, pueden ser de origen térmico y de origen geográfico como lo indica Mur (sf):

#### **Origen Térmico:**

- **Brisas:** Debidas al diferente calentamiento entre la tierra y el mar, el viento sopla hacia la tierra en el día y en sentido contrario en la noche.
- **Viento de Ladera y Valle:** Al amanecer se calientan las laderas del valle, y comienzan sobre ella los flujos de aire ascendentes. Al mediodía las corrientes ascendentes ya son fuertes y el aire comienza a subir valle arriba, al descender el sol, los vientos comienzan a descender a lo largo del valle.

#### **Origen Geográfico:**

- Las colinas, acantilados y pequeños valles pueden dar lugar a la formación de vientos con suficiente contenido energético susceptibles a ser aprovechados energéticamente. Especialmente el caso de las canalizaciones.

### 2.2.2 POTENCIA DEL VIENTO

Para determinar la potencia del viento se utiliza la ecuación 3, interviniendo la densidad del viento por el área de barrido de las palas del aerogenerador y esto por la velocidad del viento de la zona al cubo.

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

El límite de Betz indica que la proporción máxima de energía que se puede extraer del viento utilizando un aerogenerador es de 0.59. La potencia se ve entonces afectada por el coeficiente de potencia  $C_p$  donde  $0 \leq C_p \leq 0.59$ , a mayor eficiencia aerodinámica del sistema generador, más alto será el valor de  $C_p$ . (Ruben Bufanio, 2012)

### 2.2.3 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA VELOCIDAD DEL VIENTO

La topografía local y los patrones climáticos son factores predominantes, que influyen en la disponibilidad y velocidad del viento, la velocidad del viento aumenta con la altura, por lo que las colinas o montañas pueden ser lugares que dispongan de altas velocidades del viento. Existen dos factores bien definidos que afectan la velocidad del viento, estos son: (Buñuelos, 2011)

- **Factores Ambientales.**- Incluyen la orografía del terreno, temperatura, vegetación natural, cultivos, estación del año.
- **Factores Artificiales.**- Van desde estructuras artificiales hasta los obstáculos permanentes y temporales como edificios, casas, vallas y chimeneas.

Estos obstáculos, perturban el régimen laminar del viento, sobre todo en las capas más bajas, pues al encontrar un obstáculo el viento es desviado vertical u horizontalmente y, debido a la concentración del flujo laminar, aumenta en la parte superior y disminuye en la parte inferior. (Buñuelos, 2011)

### 2.2.4 VARIACION DEL VIENTO CON LA ALTURA

La estación meteorológica de Garauzhí, permite obtener datos estacionarios de la velocidad del viento a 10 m de altura, a intervalos de 1 minuto, pero hay que considerar que la altura del buje de los aerogeneradores generalmente sobrepasa los 18 m de altura, dependiendo del tipo de aerogenerador que se elija. Para poder estimar la velocidad del viento a la altura del buje del aerogenerador, se aplica la siguiente ecuación.

$$v' = v \frac{\ln\left(\frac{z'}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad (4)$$

Donde:

$v$  y  $v'$  son las velocidades a las alturas  $z$  y  $z'$ , en m/s respectivamente.

$z_0$  es la rugosidad del terreno en metros.

La rugosidad del terreno se caracteriza por el parámetro  $z_0$ , denominado longitud de rugosidad, definido como la altura al nivel del suelo, hasta que la velocidad del suelo es nula, la tabla 9 muestra la clasificación de los terrenos según la longitud de rugosidad. (López & Villarubia, 2012)

Tabla 9 Clasificación de los terrenos, según la longitud de rugosidad (López & Villarubia, 2012)

Clase de Rugosidad	Longitud de Rugosidad ( $z_0$ ) (m)	Índice de Energía (%)	Tipo de Terreno
0	0.0002	100	Superficie de agua, terreno abierto, superficie liza
0.5	0.0024	73	Pistas de hormigón (aeropuertos), césped
1	0.03	52	Campos abiertos sin cercados ni setos. Edificios muy dispersos, colinas suaves redondeadas
1.5	0.055	45	Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8m situado como mínimo a 1250m
2	0.1	39	Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8m situado como mínimo a 500m
2.5	0.2	31	Campo con algunas casas y arbolado de hasta 8m situado como mínimo a 250m
3	0.4	24	Pueblos, bosques y terreno accidentado y desigual
3.5	0.8	18	Ciudades con edificios altos
4	1.6	13	Grandes ciudades con edificios muy elevador

## **2.3 REPRESENTACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS EOLICOS Y SOLARES MEDIANTE EL SOFTWARE MATLAB**

### **2.3.1 VALIDACIÓN DE DATOS**

La validación se define como el proceso de revisión de los datos para verificar que estén completos y que sus valores sean razonables. Este paso transforma los datos crudos en datos validados. Los datos validados posteriormente se procesan para producir los reportes de resumen que se requieren para el análisis. Ejecutar estos procedimientos con celeridad es crucial para detectar y corregir tempranamente cualquier problema en la torre de medición. (Escobar & Hentzschel, 2011)

Para validar los datos se hacen pruebas estadísticas, se indican algunas definiciones estadísticas necesarias:

**Datos crudos.-** Son los datos que se extraen de la estación meteorológica directamente.

**Valor atípico.-** Un valor atípico es una observación con un valor que no parece corresponderse con el resto de los valores en el grupo de datos. Los valores atípicos también suelen llamarse valores aberrantes o inconsistentes. (Murphy & Lau, 2008)

**Cuartiles.** – Los cuartiles dividen al conjunto en cuatro partes iguales, los cuartiles se identifican como primer cuartil (Q1), segundo cuartil (Q2) y tercer cuartil (Q3).

**Rango.** - El rango es la diferencia entre la observación más alta y más baja. (Webster, 2001)

**Valores Máximos Y Mínimos.-** Se define como el valor más grande y pequeño respectivamente que se presenta en un periodo de tiempo determinado. (Webster, 2001)

**Varianza.-** Es el promedio de las observaciones respecto a su media elevada al cuadrado. (Webster, 2001)

### 2.3.1.1 PRUEBA DE GRUBBS

La prueba de Grubbs utiliza una estadística de prueba, T, que es la diferencia absoluta entre el valor atípico,  $X_o$ , y el promedio de la muestra  $\bar{X}$  dividida por la desviación estándar de la muestra. (Murphy & Lau, 2008)

$$T = \frac{|X_o - \bar{X}|}{S} \quad (5)$$

Esta prueba es confiable y sirve para identificar los datos atípicos, sin embargo debe aclararse que **los datos atípicos no deben retirarse a menos que exista una causa totalmente justificada por parte de los investigadores.** De no tener una causa justificada, un enfoque sería realizar un análisis de datos con el valor atípico y sin él. Si las conclusiones son diferentes, entonces se considera que el valor atípico tiene influencia y esto debería indicarse en el informe. Otra opción es utilizar estimadores rigurosos para caracterizar los grupos de datos, tal como la mediana de la muestra en lugar de la media. (Murphy & Lau, 2008)

El código en matlab es un aporte de Groot (2006) y se detalla a continuación:

Como primer paso, encuentra la media del conjunto de datos y ordena de forma ascendente:

```
ybar = mean(y);
[ys, is] = sort(bs(y-ybar));
```

Realiza la prueba de Grubbs para k valores atípicos:

```
for i = 0:k,
    yy = ys(1:n-i);
    R(i+1) = abs(yy(n-i) - mean(yy)) / std(yy);
end
```

### 2.3.1.2 ANÁLISIS DE VALORES ATÍPICOS MEDIANTE CUARTILES

Según JR (2013), la manera de detectar valores atípicos por intermedio de los cuartiles es:

$$\text{Límite Inferior} = Q1 - 1.5(Q3 - Q1)$$

$$\text{Límite Superior} = Q3 + 1.5(Q3 - Q1)$$

Los valores atípicos son los que están fuera de estos límites.

Ahora existen valores extremos denominados valores atípicos extremos, los cuales se encuentran en una muestra de datos mediante:

$$\text{Límite Inferior} = Q1 - 3(Q3 - Q1)$$

$$\text{Límite Superior} = Q3 + 3(Q3 - Q1)$$

En matlab esto se realiza de la siguiente manera según Dave (2010):

Primero se ordena los datos de forma ascendente:

```
y = sort (V);
```

Encontrar el primer, segundo y tercer cuartil:

```
Q (1) = median (y (find (y < median (y))));
```

```
Q (2) = median (y);
```

```
Q (3) = median (y (find (y > median (y))));
```

El rango intercuartílico es la diferencia del tercer cuartil menos el primer cuartil

```
IQR = Q (3) - Q (1);
```

Para determinar los valores atípicos extremos se aplica:

```
iy = find(y < Q(1) - 3 * IQR);
if length(iy) > 0,
    atipicoQ1 = y(iy);
else
    atipicoQ1 = [];
end
iy = find(y > Q(1) + 3 * IQR);
```

```

if length(iy)>0,
    atipicoQ3 = y(iy);
else
    atipicoQ3 = []
End

```

El código de matlab, primero realiza la operación que determina la existencia de valores atípicos, y de existir, los escribe en un vector (atípicosQ3).

### 2.3.1.3 INTERPOLACIÓN DE DATOS

Al adquirir los datos es inevitable que existen datos faltantes, un método eficiente llamado Interpolación de datos se aplica para remediarlo.

Cuando se tiene que estimar valores intermedios entre datos definidos por puntos. La forma más simple de interpolación, consiste en unir dos puntos con línea recta, dicha técnica se llama interpolación lineal. Se ilustra de manera gráfica en la figura, usando triángulos semejantes. La notación  $f_1(x)$  nos indica que es un polinomio de primer grado, cuando menor sea el intervalo entre los datos, menor será la aproximación. (Chapra & Canale, sf)

$$\frac{f_1(x) - f(x_0)}{x - x_0} = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} \quad (6)$$

Reordenando se tiene

$$f_1(x) = f(x_0) + \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0}(x - x_0) \quad (7)$$

Esta es la fórmula de la interpolación lineal

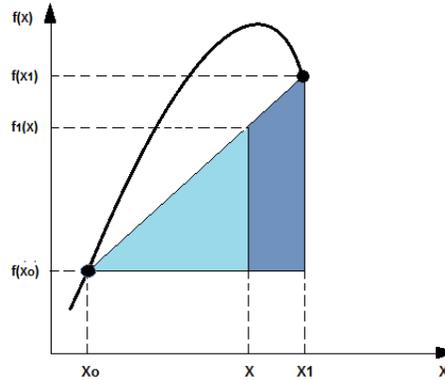


Figura 21. Interpolación lineal (Chapra & Canale, sf)

La interpolación de datos en MATLAB se realiza mediante el siguiente script: (García A. F., 2013)

```
if any(isnan(Velocidad))
    x=1:length(Velocidad);
    i=find(~isnan(Velocidad));
    Velocidad=interp1(x(i),Velocidad(i),x);
end
```

Primeramente verifica si existe algún dato faltante, lee la serie, si existe NAN (casilla en blanco), entonces realiza la interpolación mediante la función *interp1* que es la que realiza la interpolación lineal.

#### 2.3.1.4 FUNCIONES ESTADÍSTICAS UTILIZADAS EN MATLAB

Cuando los datos adquiridos son confiables, el siguiente paso es tener un promedio de los datos cada diez minutos (IEC, 2005), para ello se realiza en matlab este sencillo código:

En primer lugar se importa el archivo Excel (guardado en .csv) como ejemplo vamos analizar el mes de enero, esto se realiza mediante el siguiente comando:

```
mes=dataset('file','enero.csv','delimiter',' ');
```

Una vez que los datos se encuentran en Matlab (figura 22), se extraen los valores a evaluar.

	1	2	3	4	5
	date	time	velocidad	direccion	radiacion
1	'01/01/201...	'12:00:02 A...	0.9333	259	0.1570
2	'01/01/201...	'12:01:02 A...	1.0167	258	0
3	'01/01/201...	'12:02:02 A...	0.7833	250	0.0330

Figura 22 Archivo de Excel importado a matlab (Neira & Velecela, 2014)

Cabe destacar que para extraer toda la columna únicamente se pone el nombre de la ubicación del archivo punto (.) y el nombre de columna, como se ve en el código:

```
fecha=mes.date;
hora=mes.time;
Velocidad=mes.velocidad;
Direccion=mes.direccion;
Radiacion=mes.radiacion;
```

Para poder programar en matlab, existe un comando muy útil que es *datevec*, este separa los datos de fecha u hora en vectores, como se ve en la Figura 23, las tres primeras columnas no se consideran ya vienen por defecto, lo que interesa son las columnas 4, 5 y 6, que corresponden a la hora, minutos y segundos, para extraer la columna de minutos se realizó el código:

```
minutovec=datevec (hora);
minuto=minutovec (:,5);
```

	1	2	3	4	5	6
1	2014	1	1	0	0	2
2	2014	1	1	0	1	2
3	2014	1	1	0	2	2
4	2014	1	1	0	3	2
5	2014	1	1	0	4	2
6	2014	1	1	0	5	2
7	2014	1	1	0	6	2
8	2014	1	1	0	7	2

Figura 23 Hora separada en vectores para proceder a programar (Neira & Velecela, 2014)

Para separar los valores de todo el mes cada diez minutos se programa de la siguiente manera:

```
diez=minuto>=0&minuto<=9;
v1=Velocidad (diez);
d1=Direccion (diez);
```

```

ordenv1=reshape (r1, 10, []);
pv1=mean (ordenr1);
ordenr2=reshape (d1, 10, []);
pd1=mean (ordenr2);

```

Para obtener la radiación, velocidad y dirección en este periodo; se multiplica los vectores de velocidad y dirección o radiación por el rango (diez); **ordenr1** y **ordenr2**, reordenan los datos extraídos en columnas de 10 datos, para obtener finalmente su promedio de velocidad **pv1** y dirección **pd1**.

Con este código se obtienen promedios cada 10 minutos, y se repite hasta llegar a cubrir la hora, (0-9; 10-19; 20-29; 30-39; 40-49; 50-59), Ahora ya se tienen los datos en promedios de diez minutos y se puede proceder a realizar el análisis correspondiente, puede ser horario, diario, mensual o anual.

**Media Aritmética.-** La manera de evaluar los datos en periodos cortos o largos de tiempo, es mediante la media aritmética, que se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{V}_T = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_{ei} \left[ \frac{m}{s} \right] \quad (8)$$

Donde:

$\bar{V}_T$ = Velocidad promedio del viento (o radiación solar)

n = Numero de intervalos cada 10 minutos en un periodo T

$V_{ei}$ = Valores de velocidad del viento medido cada 10 minutos en un periodo T.

En MATLAB la media se realiza mediante la función **mean**, que devuelve los valores medios de los elementos a lo largo de las diferentes dimensiones de una matriz.

**Desviación Estándar.-** La desviación estándar la variación esperada con respecto de la media aritmética:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n V_{ei} - \bar{V}_T \left[ \frac{m}{s} \right]} \quad (9)$$

En MATLAB utilizamos *std* para obtener la desviación estándar de un conjunto de datos.

**Moda.-** Es el valor que se repite más frecuencia en un conjunto de datos. En MATLAB la moda se determina mediante la función *mode*.

**Distribución de Weibull.-** El conocimiento de la ley de distribución de weibull de la velocidad del viento, permiten calcular su potencial energético y la energía anual que puede producir un aerogenerador. Esta ley para una altura sobre el nivel del suelo, expresa el comportamiento de las velocidades para un año medio o tipo. (López & Villarubia, 2012)

La distribución de Weibull, que se representa mediante la siguiente ecuación:

$$p(V) = \frac{k}{V} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left\{-\left(\frac{V}{c}\right)^k\right\} \quad (10)$$

Donde:

V= velocidad del viento

p(V)= Frecuencia de ocurrencia de la velocidad del viento

c= parámetro de escala

k= Parámetro adimensional asociado a la forma de la distribución.

En matlab esta ecuación según Gracia (2013) se representa mediante:

$$f=@(k,V) (k/V)*((V/k).^(k-1)).*exp(-(V/k).^k);$$

k y c pueden ser calculados mediante las siguientes ecuaciones:

$$k = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \ln(V_i)}{\sum_{i=1}^n V_i^k} - \frac{\sum_{i=1}^n \ln(V_i)}{n}\right)^{-1} \quad (11)$$

$$c = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^k\right)^{\frac{1}{k}} \quad (12)$$

Para sacar los valores  $c$  y  $k$  se utiliza en matlab  $af$  que es un vector de coeficientes estimados de la regresión no lineal. (García A. F., 2013)

```
af=nlfit(x5,frec,f,a0);
k=af(1);
c=af(2);
```

Esta distribución presenta un buen ajuste especialmente con datos de velocidad del viento, los factores de forma y escala son muy importantes porque ellos ayudan a determinar la probabilidad de ocurrencia de las velocidades. Mediante estos datos obtenemos la siguiente gráfica (Figura 24).

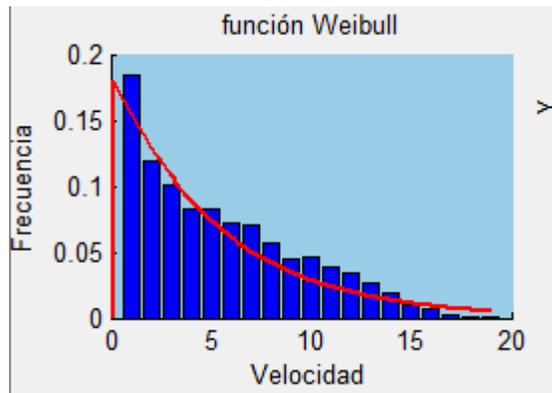


Figura 24 Distribución de Weibull en MATLAB (Neira & Velecela, 2014)

Cuando  $k=2$  la distribución de weibull coincide con la de Rayleigh.

**Rosa de Vientos.-** La distribución de direcciones de viento es de vital importancia a la hora de ubicar las turbinas eólicas en terrenos no uniformes o formando varios conjuntos de ellas, e incluso para conocer la variabilidad direccional del régimen de vientos al que debe responder el sistema de orientación de la máquina. (Buitrón & Burbano, 2010)

Matlab presenta la posibilidad de generar una rosa de vientos muy ilustrativa, podemos encontrar las direcciones y velocidades del viento más comunes, separada por secciones

las direcciones y colores las velocidades, todo esto gracias al script de matlab que es un aporte de M MA (2007):

`wind_rose1 (direccion, velocidad,'varargin')`

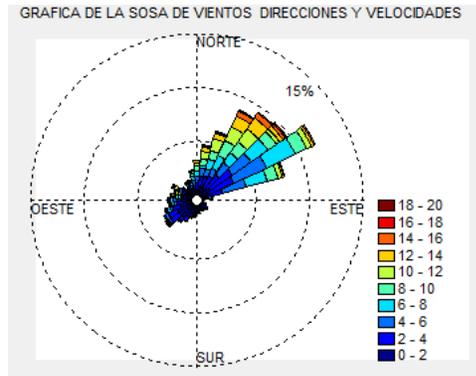


Figura 25 Rosa de Vientos en MATLAB (Neira & Velecela, 2014)

**Ajuste Lineal.-** En esta expresión de frecuencias acumuladas  $F(x)$ , despejamos  $1-F(x)$  y tomamos dos veces logaritmos neperianos: (MATLAB, 2014)

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{c}\right)^k\right] \quad (13)$$

$$\ln[-\ln(1 - f(x))] = k \ln(x) - k \ln(c) \quad (14)$$

Esta ecuación es la de una línea recta de pendiente  $a$  y de la ordenada en el origen  $b$ .

$$z = au + b \quad (15)$$

Donde  $u$  y  $z$  son variables.

$$z = \ln[-\ln(1 - f(x))] \quad (16)$$

El código en matlab de la regresión lineal, comienza con el cálculo de la frecuencia acumulada, para ello usamos el comando `cumsum`:

```
fa=cumsum (frecuencia);
```

Luego procedemos a sacar el logaritmo neperiano de las horas ( $x_5$ ):

```
xr1=log(x5);
```

Aplicamos luego la ecuación de la línea recta

```
z=log(-log(1-fa));
```

Como la frecuencia acumulada nos puede dar uno y esto al sacar logaritmo da infinito, produce un error en el programa, por lo que procedemos a eliminar el último término mediante el código:

```
x = xr1';
y = z;
cont=length(y);
fa=cont-1;
Y=y(1:fa,1);
X=x(1:fa,1);
```

Como podemos ver X y Y ahora no poseen la última fila. Por último procedemos a graficar, utilizamos los comandos *polifit* y *polival* para hacer un ajuste polinomial de datos y una evaluación de los mismos para graficarlos, entonces la gráfica del ajuste nos queda así:

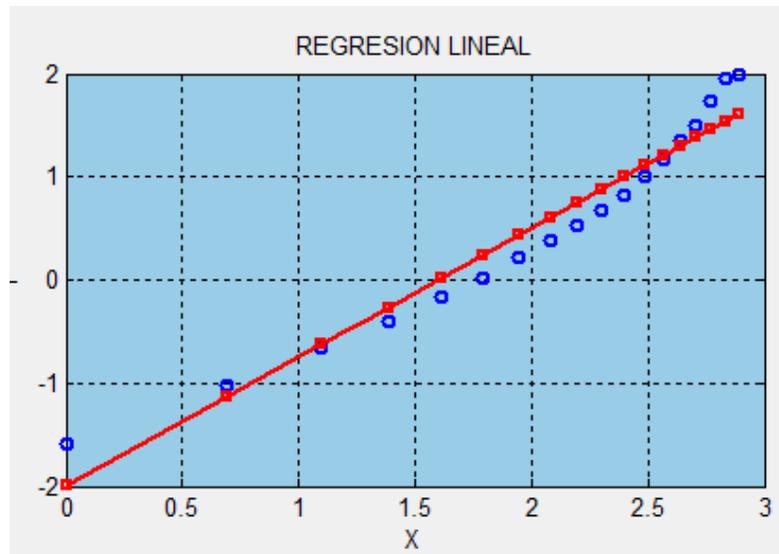


Figura 26 Ajuste Lineal en MATLAB (Neira & Velecela, 2014)

Todos estos códigos en conjunto forman un solo programa para el análisis del potencial eólico y solar, y se puede ver en el ANEXO II.

## 2.4 ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR EN LA ZONA

Hacer el análisis estadístico mes a mes, día a día o anual es muy tedioso si lo hacemos por medio de un script de matlab por separado, por eso vimos la necesidad de tener todos los datos en una sola ventana que permita analizarlos en conjunto, la solución fue hacer un GUI de matlab (ANEXO II), en dónde tenemos todos los datos y gráficas necesarias para poder entender de mejor manera el comportamiento del viento y de la radiación solar en el sector de Garauzhí.

### 2.4.1 ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO EN GARAUZHI

El entorno gráfico muestra los datos que ayudan a determinar el potencial eólico, en la Figura 27 se indica la pantalla de MATLAB.

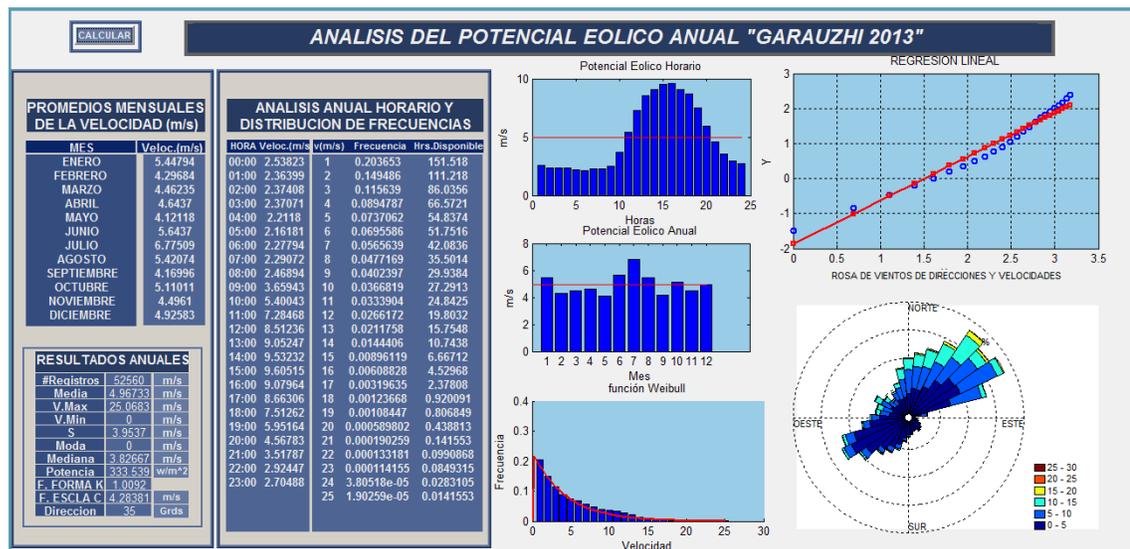


Figura 27 Pantalla Matlab Análisis de Potencial Eólico Anual en Garauzhí (Neira & Veleceta, 2014)

En la Tabla 10, se muestra un resumen de los datos más importantes del comportamiento del viento.

Tabla 10 Resultados Anuales de Velocidad y Dirección del Viento (Neira & Velecela, 2014)

RESULTADOS ANUALES		
#Registros	52560	m/s
Media	4.96733	m/s
V.Max	25.0683	m/s
V.Min	0	m/s
S	3.9537	m/s
Moda	0	m/s
Mediana	3.82667	m/s
Potencia	333.539	w/m <sup>2</sup>
F. FORMA K	1.0092	
F. ESCLA C	4.28381	m/s
Direccion	35	Grds

Toda la campaña de medición, adquisición y tratamiento de datos, se resume en esta tabla, en primer lugar se indica el número de registros 52560 que son el resultado de los datos adquiridos cada 10 minutos en un año, el valor máximo de la velocidad que se ha registrado es de 25m/s y el valor mínimo es de 0 m/s, obteniendo una media de 4.9 m/s, con una desviación estándar de 3.9 m/s, es decir los datos son dispersos. La dirección predominante del viento en el año es de 35 ° N y el viento nos entregaría una potencia media de 333.539 w/m<sup>2</sup>.

Estos datos dan una idea del comportamiento del viento, en la Figura 28 se muestra el promedio por mes, de esta manera se determinó que el mes de Julio es el que muestra mejor potencial eólico con una velocidad media anual del viento de 6.77 m/s, y el mes de mayo es el de menos potencial con 4.12 m/s, el resto de meses se mantienen dentro de esos límites. Considerando que la mayoría de aerogeneradores comerciales, arrancan con 4m/s, se podría decir que la velocidad del viento apenas nos permitiría arrancar y mantener al aerogenerador trabajando con su mínima potencia.

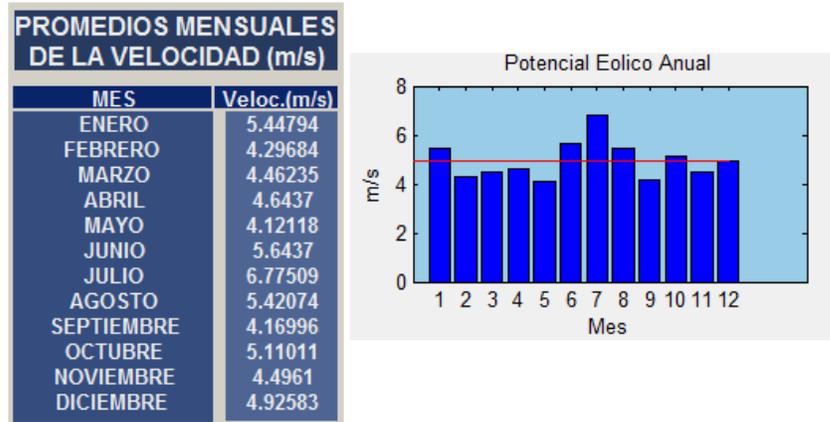


Figura 28 Promedios Mensuales de la Velocidad del Viento (Neira & Velecela, 2014)

Es indispensable conocer los promedios por hora, porque la media anual es baja considerando que el valor máximo es de 25 m/s, y el menor es de 0 m/s, es decir hay ciertas horas del día en que el valor de la velocidad del viento es baja y horas en las que es alta, en la Figura 29 podemos ver los promedios horarios anuales.

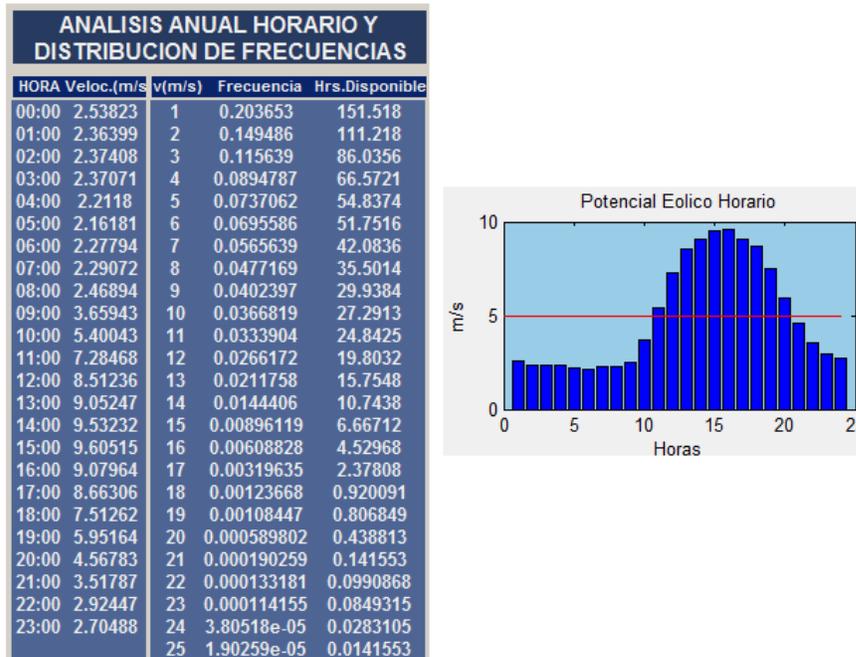


Figura 29 Promedios Horarios Anuales de la Velocidad del Viento y su Gráfica (Neira & Velecela, 2014)

Sacamos la conclusión que desde las 9:00 PM hasta las 9:00 AM el potencial es bajo, esa es la razón porque la media también baja considerablemente, sin embargo desde las 10:00 AM la velocidad del viento es de 5.4 m/s y comienza a subir hasta llegar a su pico a las 3:00 PM con una media anual de 9.6 m/s, y decrece de nuevo hasta las 8:00PM que la velocidad es de 4.5 m/s.

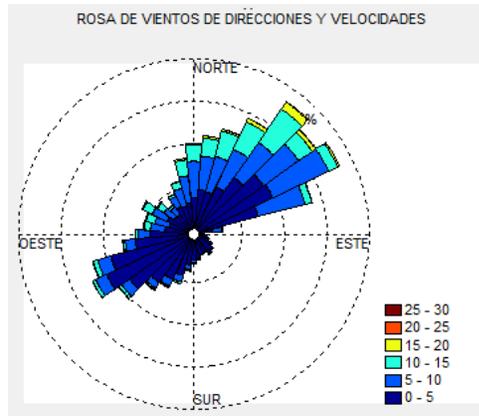


Figura 30 Rosa de Vientos de Direcciones y Velocidades del Año 2013 (Neira & Veleceta, 2014)

La Rosa de Vientos (Figura 30) muestra velocidades habituales que llegan hasta los 15 m/s, y velocidades de 15 a 25 m/s en menor proporción, por ende existen velocidades que pueden hacer que los aerogeneradores trabajen a potencia nominal y velocidades altas que provoquen que los aerogeneradores frenen.

Las direcciones permiten ubicar el aerogenerador en el sitio, en Garauzhí, la dirección predominante es 35 ° N.

Todo este análisis permite concluir que es posible generar energía eléctrica en Garauzhí, porque estos datos son medidos a 10m sobre el nivel del suelo. En el CAPITULO III elegiremos el aerogenerador y obtendremos la altura del buje, y los datos de la velocidad del viento los calcularemos para esa altura, lógicamente esta nueva velocidad será mayor, y podremos calcular la potencia anual que nos entregaría el aerogenerador.

2.4.2 ANÁLISIS DEL POTENCIAL SOLAR EN GARAUZHÍ

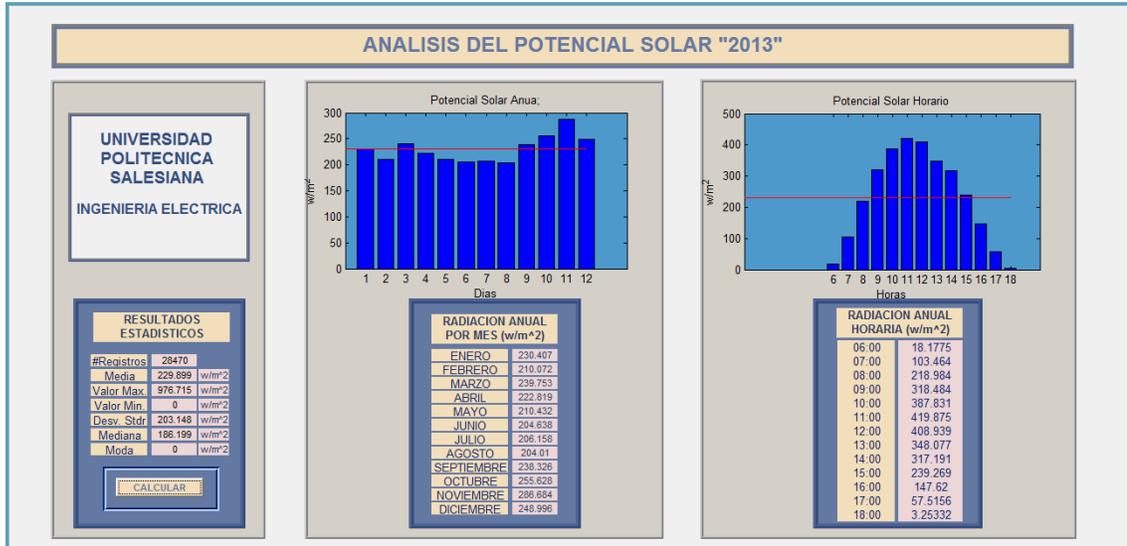


Figura 31 Análisis del Potencial Solar en el Año 2013 en MATLAB (Neira & Veleccla, 2014)

De la misma manera que el potencial eólico, se analizó el potencial solar en la zona, en la Tabla 11 tenemos el resumen de los datos obtenidos.

Tabla 11 Resultados de la Irradiación Solar en Garauzhí (Neira & Veleccla, 2014)

RESULTADOS ESTADISTICOS		
#Registros	28470	
Media	229.899	w/m <sup>2</sup>
Valor Max.	976.715	w/m <sup>2</sup>
Valor Min.	0	w/m <sup>2</sup>
Desv. Stdr	203.148	w/m <sup>2</sup>
Mediana	186.199	w/m <sup>2</sup>
Moda	0	w/m <sup>2</sup>

**CALCULAR**

Los datos son considerados desde las 6:00 AM hasta las 18:59 PM, que son las horas útiles de radiación solar, debido a eso el registro de datos es de 28470 datos al año; La radiación solar máxima que se ha detectado en el año es de  $976.7 \text{ w/m}^2$ , la mínima es de 0, y el promedio anual es de  $229.8 \text{ w/m}^2$ , es una irradiación baja.

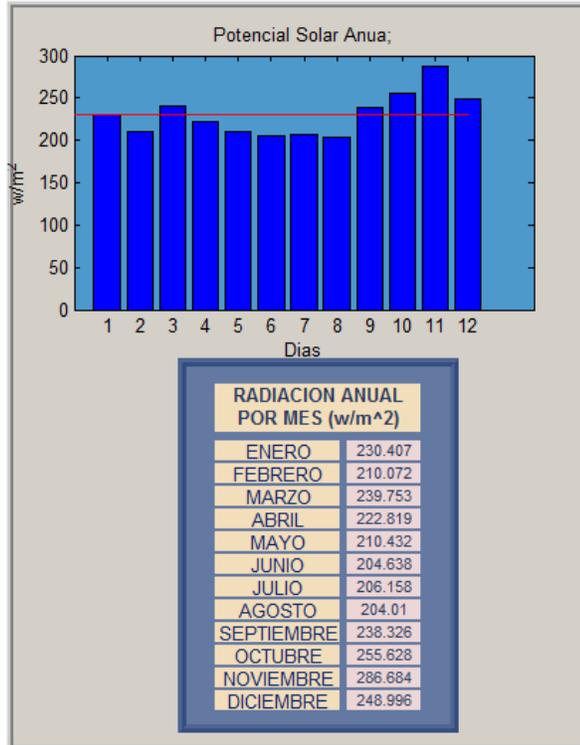


Figura 32 Irradiación del año 2013 en Garauzhí (Neira & Veleccla, 2014)

El promedio de la irradiación mensual, se presenta en la Figura 32, el mes de noviembre es el que presenta la irradiación más alta,  $286.68 \text{ w/m}^2$ , y el mes con irradiación solar más bajo es agosto con  $204 \text{ w/m}^2$ , pero en general podemos ver que durante el año se ha mantenido el promedio de radiación, ahora en la Figura 33 veremos presentamos el comportamiento diario de la radiación.

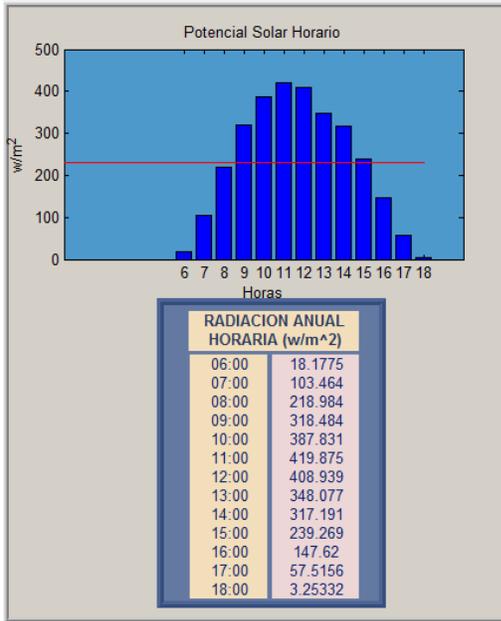


Figura 33 Irradiación del año 2013 por Hora (Neira & Velecela, 2014)

El comportamiento de la radiación solar diaria, es normal, comienza desde las 6:00 AM con una irradiación de 18.1 w/m<sup>2</sup>, y llega a un pico de 419.8 w/m<sup>2</sup> a las 11:00 AM, comienza nuevamente a decaer hasta llegar a las 18:00 PM con una irradiación solar promedio de 3.25 w/m<sup>2</sup>, porque a esta hora ya cae la noche.

La irradiación solar en Garauzhí es baja desde las 6:00 AM a las 8:00 AM y desde las 16:00 PM a las 18:00 PM, en este periodo de tiempo no garantizamos un funcionamiento óptimo de los paneles solares. Considerando que el pico es de 419.8 w/m<sup>2</sup> y la media es de 229.89 w/m<sup>2</sup>, Tendríamos una irradiación óptima de 324.845 w/m<sup>2</sup>, es decir a partir de este dato tendremos un funcionamiento eficiente de los paneles solares, y según los datos obtenidos anualmente, las horas en que los paneles funcionarían en su máxima capacidad serían desde las 10:00 AM hasta las 13:00 PM.

## CAPITULO III

## DIMENSIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE GENERACION EOLICO Y SOLAR

## 3.1 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA DEL SECTOR

Para determinar la demanda eléctrica en el sector de Garauzhí, utilizamos el GEOPORTAL de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, en dónde pudimos constatar que existen 12 transformadores, que abastecen a 124 clientes residenciales. La demanda anual de Garauzhí la determinamos mediante los siguientes pasos:

### 1. Determinación del número de clientes existentes en la comunidad de Garauzhí.

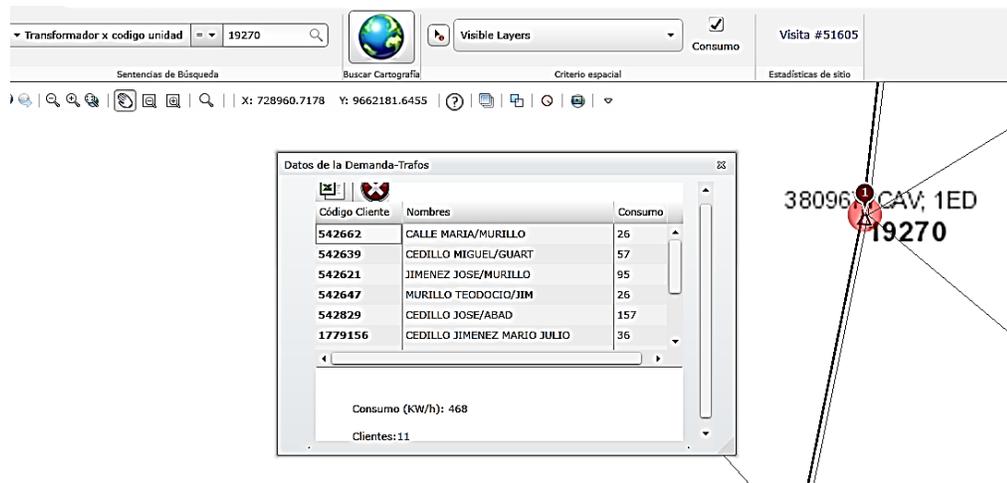


Figura 34 Pantalla del GEOPORTAL de la EERCS

En la Figura 34 se muestra la información completa de un transformador del sector, específicamente del transformador #19270. Activando la pestaña de consumo, aparece la sub-pantalla Datos de la Demanda-Trafos; podemos ver directamente que el consumo del mes de mayo de 2014 ha sido de 468 KWh, y que el transformador posee 11 clientes. Una ventaja de este sistema es que muestra también el código del cliente de cada usuario conectado al transformador.

**2. Determinación del consumo anual de cada cliente**

El consumo anual de cada cliente se realizó mediante la sección “consulte sus planillas”, de los servicios en línea de la E.E.R.C.S.; por ejemplo, el código de cliente #542662 arroja los resultados que se muestra en la figura 35.

Año	2013	Mes	Marzo	Nro MESES	12	VARIABLES	TODOS	<a href="#">Datos del Cliente</a>		<input type="button" value="Confirmar"/>
<b>FACTURA(CAB)</b>			Mayo Abril							
FACTURA No.			Marzo	3-007531633		RUC	0190003809001			
EMISIÓN			Febrero		PERÍODO QUE SE CANCELA		11 de Febrero al 13 de Marzo			
CÓDIGO			Enero		CLIENTE		CALLE MARIA/MURILLO			
VALOR TOTAL			Diciembre		DIRECCIÓN		GARAUZHI			
FECHA DE RECAUDACIÓN			Noviembre		ESTADO DE LA PLANILLA		Con Deuda Pendiente			
TOTAL RECAUDADO			Octubre		USO DE ENERGÍA		RESIDENCIAL O DOMESTICO			
DEUDA ACUMULADA			Septiembre		FECHA MÁX. PAGO SIN INTERESES		24/03/2013			
PLANILLAS PENDIENTES			Agosto							
			Julio							
			Junio							

Figura 35 Pantalla consulta de planillas E.E.R.C.S. (Neira & Veleceta, 2014)

En la parte superior izquierda se elige el año y el mes que se requiere conocer la demanda, además se puede verificar que el cliente pertenece a la comunidad de Garauzhí.

**3. Determinación de la demanda mensual de los 124 clientes de Garauzhí:**

Tabla 12 Consumo mensual de cada cliente de la Comunidad de Garauzhí (Neira & Veleceta, 2014)

		CONSUMO POR MES (KWH)												
	TRAF0	CODIGO_CLIENTE	2013-Ene.	2013-Feb.	2013-Mar.	2013-Abr.	2013-May.	2013-Jun.	2013-Jul.	2013-Ago.	2013-Sep.	2013-Oct.	2013-Nov.	2013-Dic.
1	8379	542795	37	89	94	94	91	94	76	90	83	83	86	83
2	8379	542787	15	12	14	13	12	13	19	14	23	18	16	16
3	x	542779	42	43	39	43	42	43	0	29	29	28	29	28
4	x	1779172	4	4	3	4	3	4	0	4	4	3	4	3
5	8379	542761	40	29	3	16	15	16	22	17	18	16	24	19
6	8379	4370516	0	65	0	56	54	56	111	83	180	127	334	223
7	19148	1846294	35	45	76	38	38	39	38	35	35	29	32	0
8	8379	542753	25	27	17	22	21	22	104	43	80	59	93	73
9	19148	4112678	25	30	36	34	33	34	35	34	15	23	28	24
10	8379	542746	22	35	44	40	39	40	18	35	33	33	35	33
11	8379	542738	17	13	12	13	12	13	20	14	17	15	9	11
12	8379	1113182	0	0	0	0	0	0	20	7	20	13	0	1
13	8379	542803	0	0	0	0	0	0	0	0	125	18	31	23
14	19148	542811	45	26	13	20	19	20	0	9	0	1	30	27
15	19148	1779149	56	52	20	37	36	37	109	56	58	55	49	50
16	19148	1779131	37	35	69	53	51	53	0	25	24	52	0	0
17	19148	542720	46	36	54	46	45	46	57	49	34	40	47	42
18	19148	542712	0	22	0	24	23	24	0	46	0	15	0	27
19	19148	542704	0	4	37	21	21	21	0	8	0	8	0	11
20	19148	542696	86	74	79	79	76	79	66	76	53	62	107	81
21	19148	542688	65	118	140	72	69	72	69	130	130	41	42	90

En el ANEXO III, se presenta a detalle el consumo de cada cliente y el cálculo de la demanda anual obteniendo como resultado una demanda total de 41.914 MWh.

Como nuestro país, Ecuador, tiene previsto cambiar las cocinas de gas LP a cocinas de inducción, debido al cambio de la matriz energética, debemos estimar la demanda para este tipo de consumo, que se pretende realizar en el año 2017.

Para estimar el consumo mensual en kW de las cocinas de inducción para el año 2013, según CENTROSUR (2014) se tiene:

- Carga Instalada 3KVA cada cocina de inducción
- Factor de carga=0.8
- $Fp=0.92$

$$Demanda_{C.I} = carga instalada * FC = 3KVA * 0.8 = 2.4KVA$$

$$Demanda_{C.I.} = 2.4KVA * 0.92 = 2.208KW$$

Se debe tomar en cuenta que el consumo de cada abonado es diferente, por eso para tener una estimación real, se obtiene el número de horas mensual de consumo mediante la siguiente ecuación:

$$horas = \frac{Energía\ mensual\ (KWh)}{Tipo\ de\ cliente\ (KVA) * fdp} \quad (18)$$

**Donde:**

**Energía**= Consumo mensual de cada cliente del sector

**Tipo de Cliente**= Según los m<sup>2</sup> de construcción y el sector (A, B, C, D, E, F, G, H)

**Fp**=0.92 (CONELEC, 2001)

El tipo de cliente de la comunidad de Garauzhí es H, por encontrarse en un sector rural (Centrosur, 2014) y considerando además el área promedio de construcción de las viviendas del sector. Mediante las horas de consumo de cada cliente se encuentra la demanda (KW) del sector, dividiendo la energía consumida por el tiempo de uso. A esta

demanda del sector se suma la demanda de las cocinas de inducción y se tiene la demanda total con el ingreso de las cocinas de inducción al sistema eléctrico.

La proyección para el año 2017 se la realiza de la siguiente manera según (Serrano & Rojas, 2013)

$$P_{2017} = D_{cc} + D_{ce} \quad (19)$$

Siendo  $D_{cc}$  la potencia debido al uso de cocinas de inducción proyectada al año 2017, y  $D_{ce}$  la demanda de potencia por consumo eléctrico proyectada al año 2017.

$$D_{cc} = Pcc_{2013} * e^{0.0124*K} \quad (20)$$

$$D_{ce} = Pce_{2013} * e^{0.0486*K} \quad (21)$$

En donde,  $Pcc_{2013}$  es la potencia en KW del año 2013 por el uso de cocinas de inducción, y  $Pce_{2013}$  es la potencia en KW estimada al 2013 por uso eléctrico. Las curvas de la demanda eléctrica se han ajustado de acuerdo a los datos estadísticos de crecimiento de la demanda de electricidad (4.86%), y de población (1.24%) en el Ecuador. (Serrano & Rojas, 2013)

Las Tablas 13 y 14 indican la demanda de potencia y de energía del sector de Garauzhí, proyectada al año 2017, muestran la demanda normal con y sin cocinas de inducción. La suma de estas dos demandas nos proporciona la demanda total de potencia como de energía proyectada para el año 2017.

**Tabla 13 Demanda de energía proyectada (2017) (Neira & Veleceta, 2014)**

	KWh												MWh
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
<i>Sin C.I.</i>	4112.01	4103.57	3035.17	3899.78	3818.99	3955.25	5720.64	4189.19	4526.83	4148.19	4648.62	4384.54	<b>50.54</b>
<i>Solo C.I.</i>	14241.8	18571.51	16831.30	18585.43	18989.16	18794.25	15968.16	19420.73	14826.58	19852.30	15035.40	19852.30	<b>210.97</b>
TOTAL	18353.8	22675.08	19866.47	22485.21	22808.14	22749.50	21688.80	23609.92	19353.41	24000.49	19684.03	24236.84	<b>261.51</b>

**Tabla 14 Demanda de potencia proyectada (2017) (Neira & Veleceta, 2014)**

	KW												MW
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
<i>Sin C.I.</i>	47.593	66.342	56.246	64.178	63.457	64.899	53.362	64.899	51.198	66.342	51.919	66.342	<b>0.716</b>
<i>Solo C.I.</i>	153.138	213.465	180.981	206.504	204.184	208.825	171.700	208.825	164.739	213.465	167.060	213.465	<b>2.306</b>
TOTAL	200.731	279.807	237.228	270.683	267.642	273.724	225.062	273.724	215.938	279.807	218.979	279.807	<b>3.023</b>

El consumo actual de energía del sector es de 41.914 MWh al año, como se calculó anteriormente; mientras que el proyectado al año 2017 considerando las cocinas de inducción al sistema eléctrico, el consumo se incrementa a 261.51 MWh al año, es decir aumenta un 524% de la demanda actual. Esto es importante para el dimensionamiento del aerogenerador y del sistema solar fotovoltaico.

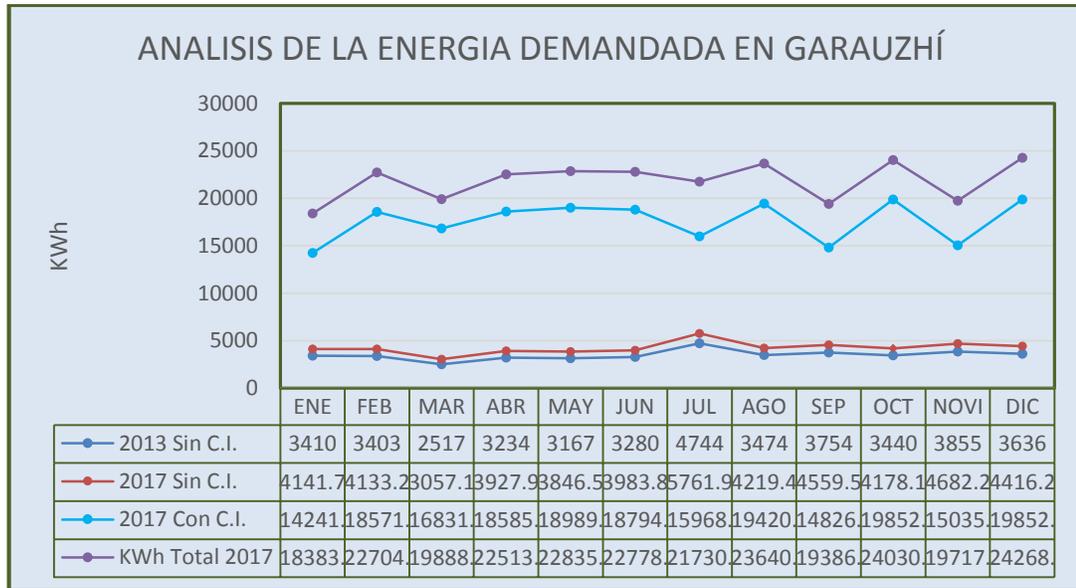


Figura 36 Curvas de energía demandada del año 2013 y proyectada para el 2017 con el ingreso de cocinas de inducción al sistema eléctrico (Neira & Velecela, 2014)

La demanda en el año 2013, presenta una curva normal, manteniendo un pico en el mes de julio y una demanda baja en el mes de marzo, si no entrarían las cocinas de inducción al sistema, el incremento de la demanda es normal, pero como se ve en la Figura 36, es importante el aumento de demanda al momento de ingresar cocinas de inducción.

### 3.2 DIMENSIONAMIENTO DE LOS PANELES SOLARES

Para aprovechar la energía del sol, se propone la instalación de paneles solares fotovoltaicos, de tal forma que contribuya a cubrir la demanda eléctrica del sector. Para este propósito se realiza el cálculo del número de paneles solares y de inversores del sistema, realizando además el análisis económico que permita estimar el costo total de implementación de dicho sistema, presentando varios propuestas para diferentes escenarios según el porcentaje de demanda que cubra el sistema FV.

### 3.2.1 CARGA ELÉCTRICA QUE SERÁ SUSTITUIDA POR EL SISTEMA FOTOVOLTAICO

En la Tabla 15 se muestra la energía eléctrica actual que consume el sector y la energía eléctrica proyectada (año 2017), considerando dos casos: la energía demandada por uso eléctrico y la energía debida al uso de cocinas de inducción.

**Tabla 15 Energía Eléctrica Actual y Proyectada Sector Garauzhí (Neira & Veleceta, 2014)**

UNIDAD	CONSUMO ACTUAL	CONSUMO 2017	
		Sin C.I.	Con C.I.
MWh/año	41.91	50.91	261.88

A continuación se plantean tres opciones para cubrir la energía eléctrica proyectada por el sector, y posteriormente en base a estos datos dimensionar el sistema fotovoltaico adecuado para cada uno de ellos.

1. Cubrir toda la demanda eléctrica.
2. Cubrir las  $\frac{3}{4}$  partes de la demanda eléctrica.
3. Cubrir la mitad de la demanda eléctrica.

**Tabla 16 Energía eléctrica requerida para dimensionar el Sistema FV (2017) (Neira & Veleceta, 2014)**

UNIDAD	CONSUMO TOTAL CON C.I.		
	50%	75%	100%
MWh/año	130.94	196.41	261.88

De esta manera, se procede a dimensionar el Sistema FV, determinando así mismo sus costos económicos respectivos, para finalmente realizar un análisis y determinar cuál sería la mejor opción.

### 3.2.2 DEFINICIÓN DEL SISTEMA

Nuestro proyecto considera implementar un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica de baja tensión, ya que la carga actual del sector se encuentra conectada a la red de distribución de la EERCS. Como se mencionó en el apartado anterior, se plantean tres opciones de dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico, para cubrir la demanda eléctrica del sector.

Sin embargo, la energía eléctrica que se suministra actualmente al sector (energía eléctrica convencional), se utilizará como respaldo, cuando la energía de salida del sistema fotovoltaico resulte insuficiente durante las noches o en días nublados.

La configuración de un sistema FV conectado a la red eléctrica es representada a través de la Figura 37.

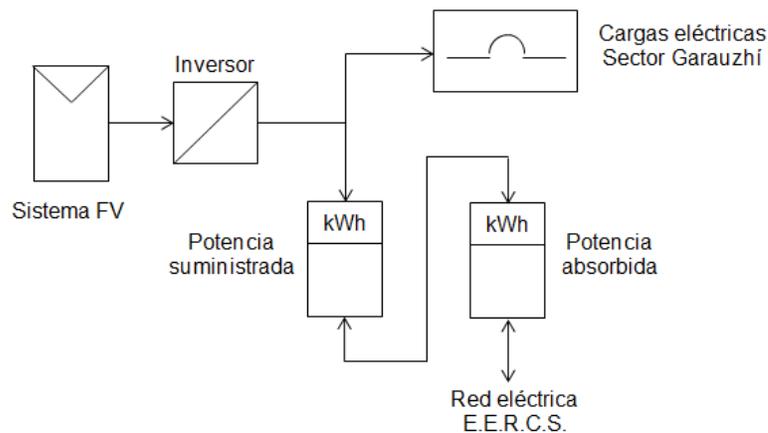


Figura 37 Diagrama de bloques del sistema FV a implementar. (Rojas, 2013)

### 3.2.3 COMPONENTES REQUERIDOS PARA DETERMINAR EL SISTEMA FOTOVOLTAICO.

Para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, se utilizó el software Excel (Moreno, 2013) con un archivo muy útil, programado para la elección del modelo de panel fotovoltaico, que es el elemento encargado de transformar la luz del sol en electricidad;

y del modelo de inversor (c.d./c.a.), cuya función es adecuar la energía generada por el arreglo a las características eléctricas de la red para su conexión a ésta.

El programa en Excel empleado permite realizar la configuración del sistema FV, ingresando parámetros como: una gran variedad de parámetros para determinar el tamaño de los paneles solares.

La radiación horizontal total obtenida de la estación meteorológica Vaisala durante el año 2013 es:

**Tabla 17 Datos de Radiación Solar**

RADIACION HORIZONTAL TOTAL (KWh/m2/d)											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
5.530	5.042	5.754	5.348	5.050	4.911	4.948	4.896	5.720	6.135	6.880	5.976

Latitud: -3.06°;  
 Longitud: -78.94°;  
 Altitud: 2841.0 msnm

Puesto que el programa requiere datos adicionales como: temperatura, horas de insolación y días continuos sin sol, y conociendo que la estación Vaisala carece de los mismos, dichos datos fueron obtenidos a partir de la página de la NASA. (NASA, 2014)

**Tabla 18 Parámetros obtenidos de la NASA**

	Temperatura Promedio (°C)	Horas de Insolación h/d	Días continuos sin sol d/sem
<b>Ene</b>	21.6	12.2	5.3
<b>Feb</b>	20.8	12.2	3.9
<b>Mar</b>	21.2	12.1	5.1
<b>Abr</b>	20.8	12.0	3.1
<b>May</b>	20.5	11.9	3.6
<b>Jun</b>	20.1	11.9	3.5
<b>Jul</b>	20.3	11.9	3.2
<b>Ago</b>	21.7	12.0	5.3
<b>Sep</b>	23.2	12.0	4.8
<b>Oct</b>	24.3	12.1	3.4
<b>Nov</b>	23.7	12.2	5.5
<b>Dic</b>	22.1	12.3	5.4

### 3.2.4 Características técnicas del módulo fotovoltaico seleccionado

**Tabla 19 Características técnicas del módulo fotovoltaico**

Modelo:	Trinasolar TSM-DA05-240	
Potencia Nominal:	240	W
Voltaje Max (Vmp):	30.6	V
Corriente Max (Imp):	7.84	A
Potencia Máxima:	239.9	W
Voltaje Circuito Abierto (Voc):	37.5	V
Corriente Corto Circuito (Isc):	8.38	A
Máximo Voltaje :	600	V
Largo:	1.650	m
Ancho:	0.992	m
Profundidad:	0.046	m
Área:	1.637	m <sup>2</sup>
Peso:	19.5	kg
EffCel:	14.66%	
Temperatura de Operación:	-40 a 85	°C
Fusible:	14	A
Tolerancia:	+/-3%	
$\Delta TP$ :	-0.45	%/K
$\Delta TV$ :	-0.35	%/K
$\Delta TI$ :	0.05	%/K
NOCT:	47	°C
DNI-STC:	1000	W/m <sup>2</sup>
T <sub>amb</sub> -STC:	25	°C
AM:	1.50	

### 3.2.5 Características técnicas del inversor elegido

**Tabla 20 Características técnicas del inversor**

Modelo:	Fronius-IG-Plus-10.0-1uni/600Vdc-208Vac	
Potencia Max. DC:	11500	W
Voltaje Máx. DC:	600	V
Rango Voltaje PV, MPPT Min.:	230	V
Rango Voltaje PV, MPPT Max.:	500	
Corriente Max. Entrada:	46.7	A
Potencia Nominal AC:	9995	W
Potencia Max. AC:	9995	W
Voltaje Nominal AC:	208	V
Rango Voltaje AC Min.:	183	V
Rango Voltaje AC Max.:	229	V
Eficiencia Máx.:	95.0%	

### 3.2.6 DETERMINACION DEL NÚMERO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS PARA SATISFACER LA CARGA ELÉCTRICA DE GARAUZHI.

#### 3.2.6.1 Dimensionamiento del Sistema FV requerido para satisfacer la demanda de energía eléctrica actual.

El Sistema FV diseñado para satisfacer el consumo estimado de energía anual de 41.91MWh, requiere la siguiente cantidad de módulos e inversores:

- **Arreglo:**

<b>Configuración:</b>	<b>Cantidad</b>
Paneles por Arreglo:	40
Paneles en Serie:	8
Paneles en Paralelo:	5
Inversor por Arreglo:	3

- **Sistema fotovoltaico:**

	<b>Cantidad</b>
Módulos requeridos por el sistema:	120
Inversor por sistema:	3

Considerando que los paneles se instalarán en una superficie inclinada igual a la latitud (3°), el resultado de energía obtenido por el sistema se muestra en la tabla 21.

Tabla 21 Energía Eléctrica Generada por el sistema FV

Mes	días/mes	Superficie Inclinada	
		Diaria (KWh)	Mensual (KWh)
Enero	31	120.25	3728
Febrero	28.25	109.97	3079
Marzo	31	123.22	3820
Abril	30	114.48	3435
Mayo	31	107.85	3343
Junio	30	104.76	3143
Julio	31	105.50	3270
Agosto	31	104.65	3244
Septiembre	30	121.24	3637
Octubre	31	129.93	4028
Noviembre	30	145.92	4378
Diciembre	31	129.57	4017
<b>Promedio</b>	<b>30.42</b>	<b>118.11</b>	<b>3593</b>
<b>Total Anual</b>	<b>365</b>		<b>43121</b>

De esta manera se determina que, el promedio anual de energía generada por el sistema FV es de 43.12 MWh, que representa el 2.9% más de lo requerido; por lo tanto, la configuración diseñada cumple con los requerimientos de consumo del sector.

### 3.2.6.2 Dimensionamiento del Sistema FV requerido para satisfacer toda la carga eléctrica proyectada al año 2017.

El Sistema Fotovoltaico diseñado para satisfacer el consumo estimado de energía anual de 261.88 MWh, requiere la siguiente cantidad de módulos e inversores:

- **Arreglo:**

<b>Configuración:</b>	<b>Cantidad</b>
Paneles por Arreglo:	40

Paneles en Serie: 8  
 Paneles en Paralelo: 5  
 Inversor por Arreglo: 20

▪ **Sistema fotovoltaico:**

**Cantidad**

Módulos requeridos por el sistema: 800  
 Inversor por sistema: 20

Considerando que los paneles se instalarán en una superficie inclinada igual a la latitud (3°), el resultado de energía obtenido por el sistema se muestra en la tabla 22.

**Tabla 22 Energía Eléctrica generada por el sistema FV (100%)**

Mes	días/mes	Superficie Inclinada	
		Diaria (KWh)	Mensual (KWh)
Enero	31	776.42	24069
Febrero	28.25	710.05	20059
Marzo	31	795.61	24664
Abril	30	739.21	22176
Mayo	31	696.34	21587
Junio	30	676.44	20293
Julio	31	681.18	21117
Agosto	31	675.73	20948
Septiembre	30	782.81	23484
Octubre	31	838.92	26007
Noviembre	30	942.19	28266
Diciembre	31	836.63	25936
<b>Promedio</b>	<b>30.44</b>	<b>762.63</b>	<b>23217</b>
<b>Total Anual</b>	<b>365</b>		<b>278604</b>

De esta manera se determina que, el promedio diario de energía generada por el sistema FV es de 278.60 MWh, que representa el 6.3% más de lo requerido; por lo tanto, la configuración diseñada cumple con los requerimientos de consumo del sector.

### 3.2.6.3 Dimensionamiento del Sistema FV requerido para satisfacer las $\frac{3}{4}$ partes de la carga eléctrica proyectada al año 2017 (75% de la demanda total).

El Sistema Fotovoltaico diseñado para satisfacer el consumo estimado de energía anual de 196.41 MWh, requiere la siguiente cantidad de módulos e inversores:

- **Arreglo:**

<b>Configuración:</b>	<b>Cantidad</b>
Paneles por Arreglo:	40
Paneles en Serie:	8
Paneles en Paralelo:	5
Inversor por Arreglo:	15

- **Sistema Fotovoltaico:**

	<b>Cantidad</b>
Módulos requeridos por el sistema:	600
Inversor por sistema:	15

Considerando que los paneles se instalarán en una superficie inclinada igual a la latitud ( $3^\circ$ ), el resultado de energía obtenido por el sistema se muestra en la tabla 23.

**Tabla 23 Energía Eléctrica generada por el sistema FV (75%)**

Mes	días/mes	Superficie Inclinada	
		Diaria (KWh)	Mensual (KWh)
Enero	31	582.32	18052
Febrero	28.25	532.53	15044
Marzo	31	596.70	18498
Abril	30	554.41	16632
Mayo	31	522.26	16190
Junio	30	507.33	15220
Julio	31	510.88	15837
Agosto	31	506.80	15711
Septiembre	30	587.11	17613
Octubre	31	629.19	19505
Noviembre	30	706.64	21199
Diciembre	31	627.47	19452
<b>Promedio</b>	<b>30.44</b>	<b>571.97</b>	<b>17413</b>
<b>Total Anual</b>	<b>365</b>		<b>208953</b>

De esta manera se determina que, el promedio anual de energía generada por el sistema FV es de 208.95 KWh, que representa el 6.3% más de lo requerido; por lo tanto, la configuración diseñada cumple con los requerimientos de consumo del sector.

**3.2.6.4 Dimensionamiento del Sistema FV requerido para satisfacer la mitad de la carga eléctrica proyectada al año 2017 (50% de la demanda total).**

El Sistema Fotovoltaico diseñado para satisfacer el consumo estimado de energía anual de 130.94 MWh, requiere la siguiente cantidad de módulos e inversores:

▪ **Arreglo:**

<b>Configuración:</b>	<b>Cantidad</b>
Paneles por Arreglo:	40
Paneles en Serie:	8
Paneles en Paralelo:	5
Inversor por Arreglo:	10

▪ **Sistema Fotovoltaico:**

	<b>Cantidad</b>
Módulos requeridos por el sistema:	400
Inversor por sistema:	10

Considerando que los paneles se instalarán en una superficie inclinada igual a la latitud (3°), el resultado de energía obtenido por el sistema se muestra en la tabla 24.

**Tabla 24 Energía Eléctrica generada por el sistema FV (50%) (Neira & Velecela, 2014)**

Mes	días/mes	Superficie Inclinada	
		Diaria (KWh)	Mensual (KWh)
Enero	31	388.21	12035
Febrero	28.25	355.02	10029
Marzo	31	397.80	12332
Abril	30	369.60	11088
Mayo	31	348.17	10793
Junio	30	338.22	10147
Julio	31	340.59	10558
Agosto	31	337.86	10474
Septiembre	30	391.41	11742
Octubre	31	419.46	13003
Noviembre	30	471.10	14133
Diciembre	31	418.32	12968
<b>Promedio</b>	<b>30.44</b>	<b>381.31</b>	<b>11609</b>
<b>Total Anual</b>	<b>365</b>		<b>139302</b>

De esta manera se determina que, el promedio anual de energía generada por el sistema FV es de 139.30 MWh, que representa el 6.3% más de lo requerido; por lo tanto, la configuración diseñada cumple con los requerimientos de consumo del sector.

### 3.2.7 ANALISIS DE RESULTADOS DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

En la Tabla 25 se presenta un resumen del dimensionamiento de los Sistemas Fotovoltaicos para abastecer la demanda actual y la demanda proyectada al año 2017.

Tabla 25 Resumen General para el dimensionamiento del sistema FV. (Neira & Velecela, 2014)

SISTEMA FOTOVOLTAICO	DEMANDA ACTUAL	DEMANDA PROYECTADA CON C.I. (2017)		
		50%	75%	100%
Paneles por Arreglo	40	40	40	40
Paneles en serie	8	8	8	8
Paneles en Paralelo	5	5	5	5
Inversor por Arreglo	3	10	15	20
Módulos requeridos por el sistema	120	400	600	800
Inversor por Sistema	3	10	15	20
Energía generada anual por FV (MWh)	43.12	139.30	208.95	278.60
Energía requerida anual (MWh)	41.91	130.94	196.41	261.88

Como se puede notar para el dimensionamiento de los sistemas FV, se realiza una configuración de paneles en serie y paralelo (8x5), realizando a su vez arreglos de 40 paneles. Las diferentes conexiones en serie y paralelo de los módulos solares determina la calidad del arreglo completo, ya que de acuerdo a las diferentes tecnologías, no se podrían conectar sobre todo módulos en serie de diferentes fabricantes, puesto que el enlace más débil de una cadena determinaría la calidad del sistema completo de la misma.

- El número de arreglos varía según la demanda que se requiere cubrir.
- Se considera un inversor por arreglo.

Ahora bien es de gran importancia notar que las horas útiles de radiación solar para la eficiencia del sistema FV son considerados desde las 6:00 AM hasta las 18:59 PM

aproximadamente, siendo las 11:00 AM, la hora de mayor incidencia solar, tal como se aprecia en la Figura 38.

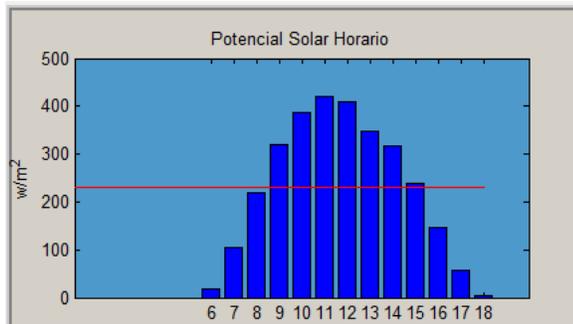


Figura 38 Irradiación del año 2013 (Neira & Velecela, 2014)

Entonces a partir de esto se puede decir que a las 6:00-8:00 AM y 16:00-18:00 PM, el sistema FV no estará funcionando a su máxima eficiencia, puesto que es un periodo de tiempo que no garantiza un funcionamiento óptimo.

La figura 39 muestra la propuesta de diseño del Sistema Fotovoltaico en el terreno donde se encuentra actualmente instalada la estación meteorológica (Garauzhí).

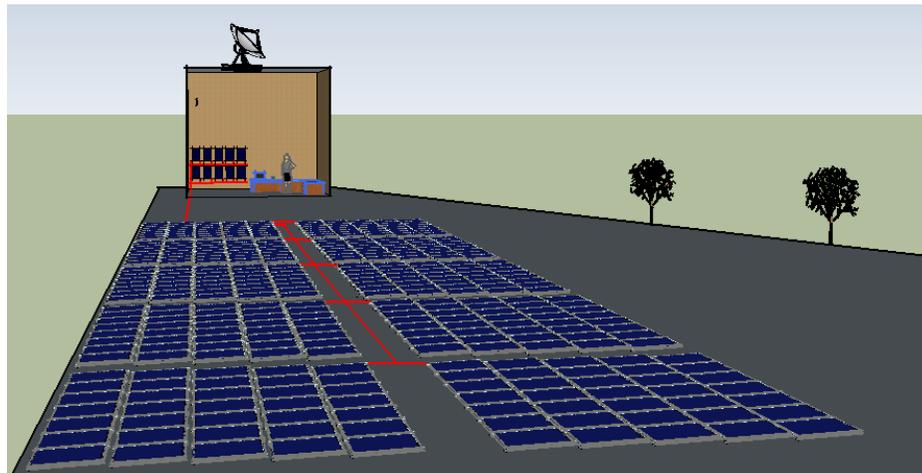


Figura 39. Vista en 3D del sistema FV propuesto

Como se puede apreciar, se dispone de una casa de control, en donde irán instalados los inversores y los diferentes elementos necesarios para el funcionamiento del sistema

fotovoltaico. Cabe indicar que los mismos se instalarán dentro de un tablero metálico para protección del ambiente.

La figura 40 muestra de manera general el diagrama unifilar resultante del sistema FV para abastecer la carga actual (2013). Se muestra como está configurado los arreglos de los paneles y la disposición de un inversor para cada arreglo.

La corriente que circulará por los paneles conectados en serie de cada arreglo es de 7.84A; mientras que, la corriente total de cada arreglo será de 39.2 A. debido a la configuración de ramales en paralelo diseñada.

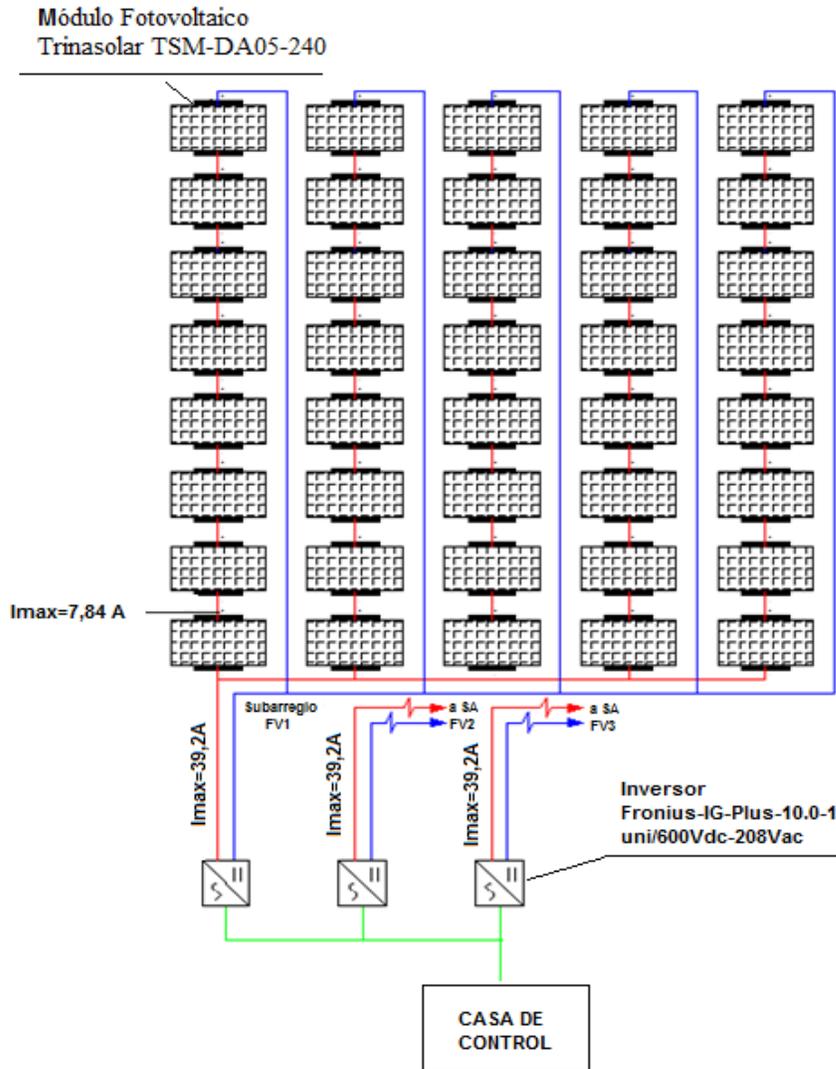


Figura 40 Diagrama unifilar del sistema FV

### 3.2.8 PROCESO PARA DIMENSIONAR EL AEROGENERADOR

Luego de analizar la demanda en el apartado 3.1, se optó por buscar aerogeneradores de gama baja, es decir menores a 100KW, por que el consumo eléctrico del sector es bajo. AEOLOS y NORWIN son fabricantes de aerogeneradores que contribuyeron con sus catálogos (ANEXO V), para poder realizar el dimensionamiento. NORWIN de 200KW se utilizó para analizar la generación, cuando se proyecta la demanda para el año 2017 y se le agrega cocinas de inducción, en la Tabla 26 se presentan las principales características de cada uno de ellos.

Tabla 26 Características de los aerogeneradores seleccionados (Neira & Velecela, 2014)

AEROGENERADOR	AEOLOS		AEOLOS		NORWIN	
DENOMINACION	Valor	Unidad	valor	unidad	valor	unidad
Potencia	20	KW	60	KW	200	KW
Altura del Buje	18	M	30	m	40	m
Diámetro del Rotor	10	M	22.3	m	29.1	m
Velocidad del viento de Arranque	3	m/s	2.5	m/s	4	m/s
Velocidad del viento Nominal	10	m/s	9	m/s	25	m/s
Velocidad del viento de corte	50	m/s	59.5	m/s	67	m/s

Para calcular la energía anual producida por el aerogenerador, utilizamos un software en Excel, los datos que se introducen para el cálculo son:

Tabla 27 Datos de la turbina y la localidad (Neira & Velecela, 2014)

DATOS DE LA TURBINA Y LA LOCALIDAD			
R=	0.03	T =	287.15 K
P=	101.17 kPa		
D=	10.00 m		
Pref=	101.17 kPa		
rho ref =	11.74 kg/m <sup>3</sup>		
Preal =	101.17 kPa		
rho real=	11.74 kg/m <sup>3</sup>		
A =	78.54 m <sup>2</sup>		
Vprom =	5.470 m/s		

Estos datos representan:

**R**= rugosidad del terreno

**P**= Presión atmosférica

D= Diámetro del rotor

V<sub>prom</sub>= Velocidad promedio a la altura del buje

T= temperatura °k

Tabla 28 Datos de la velocidad del viento, de la turbina y resultados (Neira & Veleceta, 2014)

DATOS SOBRE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DEL LUGAR						DATOS TURBINA		RESULTADO	
Clase	V <sub>min</sub>	V <sub>max</sub>	V <sub>prom</sub>	F(V)	Prob	Horas	Pot Turbina	Pot Turbina	Energía Turbina
	m/s	m/s	m/s				kW		MW.h

En la tabla 28 se introducen los datos de la velocidad del viento del sector, las cuatro primeras casillas (Clase, V<sub>min</sub>, V<sub>max</sub>, V<sub>prom</sub>), vienen por defecto, y son esencialmente la clasificación de las velocidades en forma ascendente, generalmente de 1 a 25 m/s. La F(V) representa la frecuencia de las velocidades, Prob representa la frecuencia acumulada y Horas, las horas en las que es probable que ocurran dichas velocidades en el sector de Garauzhí. Estos tres parámetros son encontrados mediante la distribución de Weibull, para realizarlo, utilizamos MATLAB, mediante un entorno gráfico como se ve en la Figura 41, que permite introducir la altura del buje del aerogenerador y el coeficiente de rugosidad del terreno, para calcular las nuevas características del viento.

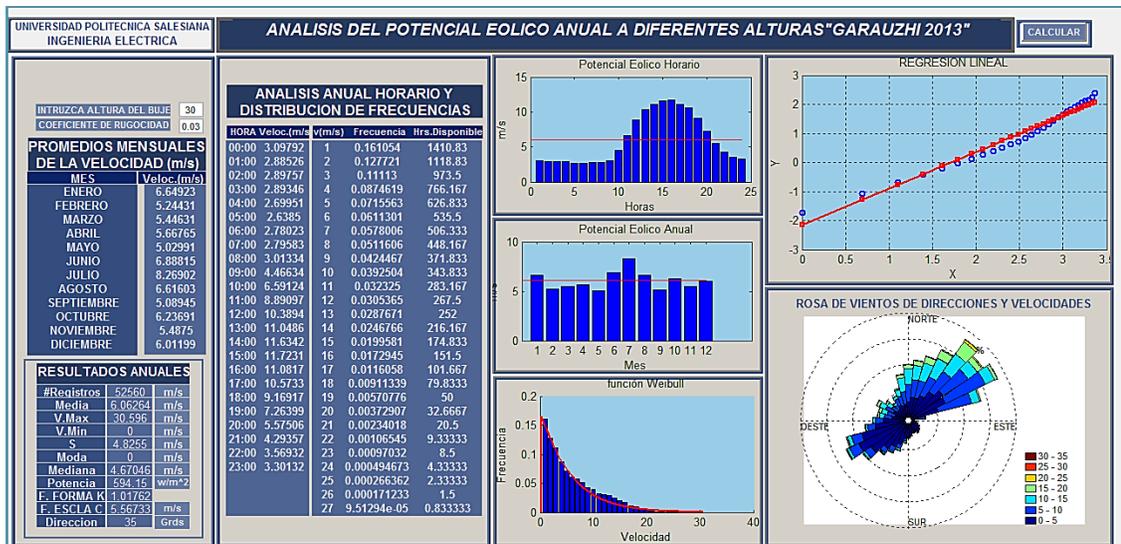


Figura 41 Entorno gráfico de MATLAB, análisis del potencial del viento según la altura del buje del aerogenerador (Neira & Veleceta, 2014)

En la tabla 29, se muestran los resultados de la velocidad del viento para las diferentes alturas en las que estaría el buje de los aerogeneradores seleccionados, se puede ver claramente que la velocidad del viento aumenta a medida que aumenta la altura. Además MATLAB exporta los datos de frecuencia, frecuencia acumulada y horas a un archivo en Excel (ANEXO IV), para facilitar la introducción de los datos para calcular la energía anual producida por el aerogenerador.

**Tabla 29 Resultados de la velocidad del viento según la altura del buje del aerogenerador (Neira & Velecela, 2014)**

<b>Coefficiente de rugosidad</b>	0.03	0.03	0.03
<b>Altura sobre el nivel del suelo</b>	18 m	30m	40m
<b>Velocidad media anual</b>	5.46 m/s	5.90 m/s	6.15 m/s
<b>Velocidad máxima</b>	27.6 m/s	29.8 m/s	29.8 m/s
<b>Velocidad mínima</b>	0	0	0

Una vez que se introducen todos datos del sector, resta por colocar la potencia del aerogenerador, que se obtiene de la curva potencia-velocidad de los catálogos de los fabricantes y el programa de Excel calcula automáticamente la energía que el aerogenerador produce al año (ANEXO VIII), los resultados se muestran en la tabla 30.

**Tabla 30 Energía anual generada por los aerogeneradores seleccionados (Neira & Velecela, 2014)**

<b>AEROGENERADOR</b>	<b>AEOLOS</b>	<b>AEOLOS</b>	<b>NORWIN</b>
<b>DENOMINACION</b>	H-20KW	H-60KW	29 STALL-200 KW
<b>ENERGIA ANUAL PRODUCIDA (MWh)</b>	58.7	194.7	493.72

### 3.2.9 ANALISIS DE RESULTADOS

**Tabla 31 Energía anual (MWh) generada por el aerogenerador seleccionado, para cubrir el consumo anual de energía (MWh) (Neira & Velecela, 2014)**

<b>DEMANDA ACTUAL SIN C.I.</b>	<b>ENERGIA ANUAL AEOLOS H-20 KW</b>
<b>41.914</b>	<b>58.7</b>

En la tabla 31 se puede ver que para cubrir el consumo de energía actual (41.914 MWh) de Garauzhí, se eligió el aerogenerador AEOLOS H- 20 KW que genera 58.7 MWh al año, cubre un 40% más de la energía requerida, suficiente para garantizar que se va a cubrir la demanda durante la vida útil del aerogenerador.

**Tabla 32 Energía anual (MWh) generada por los aerogenerador seleccionados, para cubrir el consumo anual proyectado para el año 2017 de energía (MWh) (Neira & Veleccla, 2014)**

DEMANDA PROYECTADA (2017) CON C.I.	ENERGIA ANUAL AEOLOS H-60 KW	ENERGIA ANUAL NORWIN - 200 KW
<b>261.51</b>	<b>194.7</b>	<b>493.72</b>

Con el ingreso de las cocinas de inducción al sistema, el incremento de la demanda es considerable, se debe cubrir 261.51 MWh, para ello tenemos dos opciones, la primera, es utilizar un aerogenerador AEOLOS de 60 KW, que entrega 194.7 MWh al año y con esta energía cubre el 74.4 % de la demanda de energía del sector; la otra opción es colocar un aerogenerador de mayor capacidad, por ejemplo colocando un aerogenerador NORWIN de 200 KW, que entrega 493.72 MWh al año, generando un 88.5% más de lo que necesita la comunidad.

Si se desea cubrir únicamente la demanda del sector, recomendamos utilizar el aerogenerador AEOLOS H-60 KW, para que cubra aproximadamente el 75% de la demanda, porque si se utiliza el NORWIN de 200 KW, se está sobredimensionando. Si la intención es cubrir la demanda y vender el exceso a la red eléctrica, recomendamos utilizar el NORWIN de 200 KW, ya que aparte de cubrir la demanda en su totalidad, el exceso de energía se vendería al sistema.

Para cubrir la demanda actual según los resultados obtenidos mediante MATLAB de las características del viento, tenemos una velocidad media anual de 5.46 m/s, como se puede ver en la Figura 42, el comportamiento diario del viento, indica que se puede generar energía eléctrica desde las 11:00 AM a las 20:00 PM, si consideramos únicamente este periodo de tiempo, se obtiene una nueva media anual de generación de 8 m/s, que se

aproxima a la velocidad nominal del viento que necesita el aerogenerador AEOLOS H-20 KW , que es de 10 m/s.

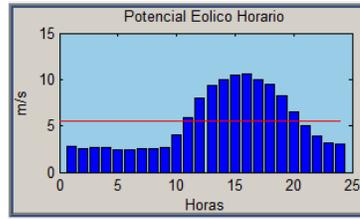


Figura 42 Curva de velocidad diaria a 18 m de altura (Neira & Velecela, 2014)

Para analizar de la misma manera para el 2017 con el ingreso de cocinas de inducción, obtuvimos dos opciones de aerogeneradores, los cuales generarían desde las 11:00 AM hasta las 20:00 PM como se ve en la figura 43.

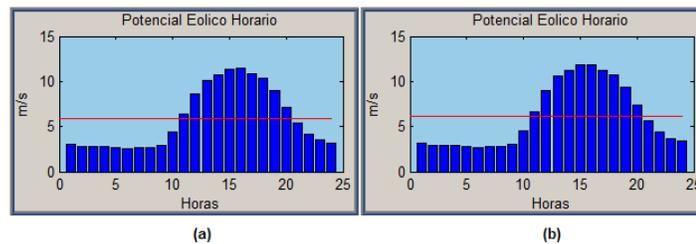


Figura 43 Curva de la velocidad diaria a 30 m de altura (a) y 40 m de altura (b) (Neira & Velecela, 2014)

Considerando el tiempo diario de trabajo obtenemos una nueva media anual de velocidad que a 30 m es de 8.66 m/s y para 40 m es 9m/s, mediante los datos de los aerogeneradores, la velocidad nominal para el aerogenerador AEOLOS H-60 KW es 9m/s y del NORWIN es 25 m/s, entonces podemos concluir que el aerogenerador que mejor se adapta a las características de la velocidad del viento de Garauzhí es el AEOLOS H-60 KW.

En la figura 44 se muestra la disposición del aerogenerador en el sector, al terreno se le debe hacer un tratamiento para dejarlo plano y construir un edificio de control, generalmente en la parte baja de la colina, para que no altere la velocidad del viento.

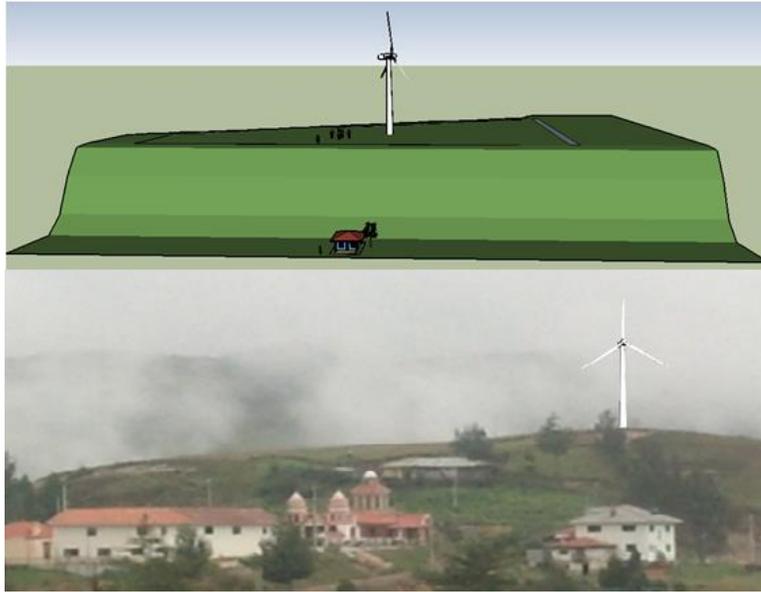


Figura 44 Disposición del aerogenerador en el Garauzhí (Neira & Velecela, 2014)

Para colocar el aerogenerador es necesario conocer la dirección predominante de los vientos en el año, en este caso es  $35^{\circ}N$ , como se ve en la Figura 45, en la figura superior se tiene una vista frontal norte sur, y en la figura inferior una vista sur norte, y en la rosa de vientos se ve claramente las direcciones predominantes.

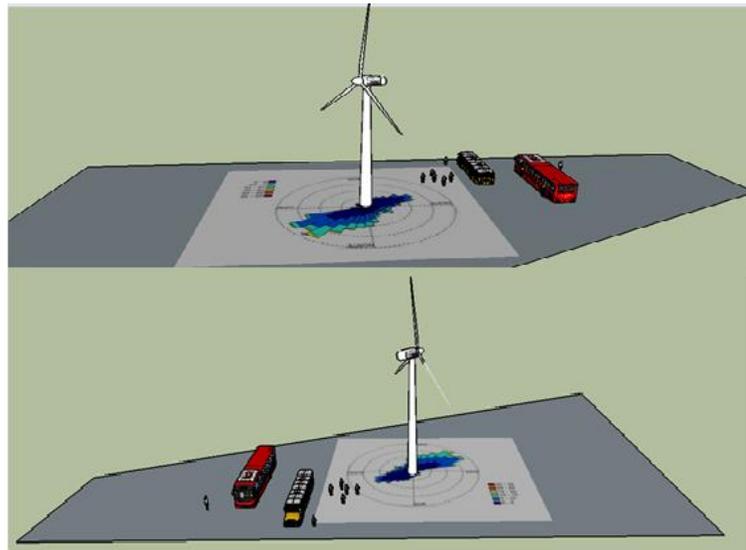


Figura 45 Vista del aerogenerador colocado de frente a las direcciones predominantes del viento (Neira & Velecela, 2014)

## **CAPITULO IV**

### **ANALISIS ECONÓMICO DE LA GENERACION EOLICO-SOLAR**

Para realizar una estimación de los costos de inversión, hemos recurrido a analizar algunos estudios de costos de parques eólicos en el Ecuador como el parque eólico Villonaco y San Cristóbal, para obtener una referencia confiable.

Con la finalidad de determinar la inversión tanto para una estación de generación eólica como para una estación de generación solar fotovoltaica; así como analizar el costo beneficio del proyecto más conveniente para el sector de Garauzhí. Se ha considerado los diversos costos y gastos de producción, mantenimiento, eficiencia, vida útil de la maquinaria, entre otros; los mismos que son necesarios determinar para incursionar en esta clase de proyectos.

#### **4.1 IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS ECONÓMICOS Y FINANCIEROS QUE INTERVIENEN EN EL DESARROLLO DEL PROYECTO.**

Entre los elementos que se han considerado para determinar la viabilidad financiera de la implementación tanto de una estación eólica como de una estación solar fotovoltaica, se encuentran los siguientes:

##### **4.1.1 INVERSION INICIAL**

Dentro de la inversión inicial se ha considerado el costo de los equipos que intervienen en la implementación tanto del sistema eólico como para el sistema solar fotovoltaico. Así como también el costo de la obra civil, la instalación eléctrica, el sistema de gestión telemétrica, la investigación (estudios factibilidad) y la casa de control.

#### **4.1.2 PRINCIPALES COSTOS Y GASTOS**

Se han considerado tanto los Gastos Operacionales como los Administrativos para el proyecto entre los cuales están el valor de los servicios básicos, personal técnico y de vigilancia, mantenimiento, suministros de oficina entre otros.

##### **4.1.2.1 SERVICIOS BÁSICOS**

Dentro de este rubro se ha considerado el valor de US\$ 80.00 mensuales para la parte operativa y US\$ 30.00 para la administrativa; estos valores involucran el servicio de internet, agua teléfono y energía eléctrica. En la proyección de los gastos se considera un porcentaje de crecimiento anual del 2% de los mismos.

##### **4.1.2.2 PERSONAL**

Se ha considerado necesario para el desarrollo del proyecto un técnico que tendrá la función de controlar y monitorear el funcionamiento del proyecto así como elaborar los reportes necesarios de control. Se ha estimado un sueldo de US\$ 800.00 mensuales más los respectivos beneficios sociales. También se ha considerado un incremento del 2% anual para la proyección de los gastos.

##### **4.1.2.3 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

En este rubro se ha destinado el 2% anual de la depreciación de la maquinaria, en razón de que los equipos son completamente nuevos y por lo tanto durante sus primeros años no requerirá de un mantenimiento mayor.

##### **4.1.2.4 SUMINISTROS DE OFICINA**

Se ha considerado US\$ 40.00 dólares mensuales para lo que involucra suministros como están papel bond, esferos, folletos y otro material menor de oficina. Para este rubro también se ha considerado un incremento del 2% anual para la proyección de los gastos.

#### **4.1.2.5 VARIOS**

También se han considerado adecuado destinar un rubro para otros gastos, los mismos que serán necesarios para el desarrollo del proyecto entre los cuales están los valores por concepto de mensajería, transporte y otros. El valor mensual estimado es de US\$ 100.00 dólares, así como un incremento del 2% anual en la proyección de los gastos.

#### **4.1.3 FINANCIAMIENTO DEL PROYECTO**

Debido a que se requiere de financiamiento para el desarrollo de este proyecto se ha considerado esencial conocer el costo del mismo; el valor a financiar corresponde al total de la inversión inicial y al capital de trabajo necesario para incursionar en el proyecto. Se considera una tasa de interés del 7% en razón a la tasa de interés que el gobierno central maneja para el financiamiento de proyectos eléctricos.

#### **4.1.4 INGRESOS PROYECTADOS**

Se ha identificado y proyectado la demanda del sector desde el 2014 hasta el 2018); así como se ha considerado el precio de US\$ 0.09 centavos de dólar por cada KWh para la generación eólica y de US\$ 0.40 centavos de dólar por cada KWh para la generación solar; valores que se han determinado en base a la regulación No.004/11 del CONELEC.

#### **4.1.5 ESTADO DE RESULTADOS PROYECTADO**

En éste estado financiero se consolida la información tanto de los ingresos y los gastos así como el resultado del proyecto; se obtiene una rentabilidad cuando los ingresos son superiores a los costos y gastos proyectados; y, se obtiene una pérdida cuando ocurre lo contrario. Para determinar la rentabilidad del proyecto se procederá a calcular el Valor Actual Neto (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR), y el periodo de recuperación de la inversión.

#### 4.1.5.1 VALOR ACTUAL NETO (VAN)

El criterio del valor actual neto, plantea, que el proyecto debe aceptarse si su valor actual neto (VAN) es igual o superior a cero, donde el VAN es la diferencia entre todos sus ingresos y egresos expresados en moneda actual. El VAN se calcula mediante la siguiente ecuación: (Sapag & Sapag, 2000)

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+i)^t} - \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+i)^t} - I_o \quad (22)$$

Donde  $Y_t$  representa el flujo de ingresos del proyecto,  $E_t$  sus egresos e  $I_o$  la inversión inicial en el momento cero de la evaluación. La tasa de descuento se representa mediante  $i$ .

#### 4.1.5.2 TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

El criterio de la tasa interna de retorno (TIR) evalúa el proyecto en función de una única tasa de rendimiento por periodo con la cual la totalidad de los beneficios actualizados son exactamente iguales a los desembolsos expresados en moneda actual. La tasa interna de retorno puede calcularse aplicando la siguiente expresión: (Sapag & Sapag, 2000)

$$\sum_{t=1}^n \frac{Y_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t} + I_o \quad (23)$$

Donde  $r$  es la tasa interna de retorno.

#### 4.1.6 ANÁLISIS FINANCIERO PARA EL SISTEMA EÓLICO

Para realizar el análisis financiero del sistema eólico se han considerado los valores de la inversión inicial que se muestran en la Tabla 33, el costo de la maquinaria, fue

generosamente enviado por el fabricante AEOLOS vial E-mail, el resto de inversión inicial, son precios estimados en base al análisis financiero del proyecto Villonaco.

**Tabla 33 Inversión Inicial Sistema Eólico (Neira & Velecela, 2014)**

DETALLE	Nº	Costo Unitario	Costo Total
			2014
<b>MAQUINARIA</b>			
<b>Aerogenerador</b>			
20 KW Wind Turbine	1,00	22.470,00	22.470,00
Grid-on controller	1,00	3.800,00	3.800,00
Grid-on inverter (Power One 50k	1,00	11.920,00	11.920,00
18m monopole tower	1,00	9.620,00	9.620,00
<b>TOTAL EQUIPOS</b>	<b>4,00</b>	<b>47.810,00</b>	<b>47.810,00</b>
<b>OTROS</b>			
Intalación Obra Civil	1,00	30.000,00	30.000,00
Instación Electrica	1,00	20.000,00	20.000,00
Sistema de Gestion Telemetrica	1,00	12.500,00	12.500,00
Investigacion	1,00	40.000,00	40.000,00
Casa de Control	1,00	10.000,00	10.000,00
<b>TOTAL OTROS</b>	<b>5,00</b>	<b>112.500,00</b>	<b>112.500,00</b>
		<b>160.310,00</b>	<b>160.310,00</b>

**Tabla 34 Estado de Resultados del Projectado Sistema Eólico (Neira & Velecela, 2014)**

AÑOS	2014	2015	2016	2017	2018
Generación (Kw h) Energía Eólica	43.922,20	46.026,62	48.231,87	261.510,00	266.570,00
Precio de (Kw h)	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>4.010,10</b>	<b>4.202,23</b>	<b>4.403,57</b>	<b>23.875,86</b>	<b>24.337,84</b>
<b>Gastos Operacionales</b>					
Servicios Basicos	960,00	1.008,00	1.058,40	1.111,32	1.166,89
Personal (Tecnico)	13.158,40	13.816,32	14.507,14	15.232,49	15.994,12
Operación y Mantenimieto 2%	2.206,20	2.316,51	2.432,34	2.553,95	2.681,65
Depreciación Aerogenerador	4.781,00	4.781,00	4.781,00	4.781,00	4.781,00
Depreciación Intalación Obra Civil	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00
Depreciación Instación Electrica	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00
Depreciación Sistema de Gestion Telemetrica	4.125,00	4.125,00	4.125,00	4.125,00	4.125,00
<b>Gastos Administrativos</b>					
Servicios Basicos	360,00	378,00	396,90	416,75	437,58
Personal (Guardia)	6.775,20	7.113,96	7.469,66	7.843,14	8.235,30
Suministros de oficina	480,00	504,00	529,20	555,66	583,44
Varios	180,00	189,00	198,45	208,37	218,79
Depreciacion Oficina	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
Amortizacion Gasto Investigación	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00
<b>TOTAL GASTOS OPERACIONALES Y AMINISTRATIVOS</b>	<b>46.525,80</b>	<b>47.731,79</b>	<b>48.998,08</b>	<b>50.327,68</b>	<b>51.723,77</b>
<b>UTILIDAD Y/O PERDIDA OPERACIONAL</b>	<b>- 42.515,70</b>	<b>- 43.529,56</b>	<b>- 44.594,51</b>	<b>- 26.451,82</b>	<b>- 27.385,93</b>
Gastos Financieros	12.250,00	11.433,33	10.616,67	9.800,00	21.466,67
<b>UTILIDAD Y/O PERDIDA ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>- 54.765,70</b>	<b>- 54.962,89</b>	<b>- 55.211,18</b>	<b>- 36.251,82</b>	<b>- 48.852,59</b>
Impuesto a la Renta 5%	- 12.048,45	- 12.091,84	- 12.146,46	- 7.975,40	- 10.747,57
<b>UTILIDAD Y/O PERDIDA LIQUIDA</b>	<b>- 42.717,25</b>	<b>- 42.871,06</b>	<b>- 43.064,72</b>	<b>- 28.276,42</b>	<b>- 38.105,02</b>

En la Tabla 34 podemos ver el Estado de Resultados del proyecto eólico, el mismo que tiene una proyección de 5 años. En la fila de la tabla identificada como “total de ingresos”, los valores corresponden a los ingresos por concepto de la venta de la energía generada;

y, en la fila de “total gastos operacionales y administrativos” se registra el total de los gastos que se han considerado necesarios para poner en marcha el proyecto.

Como resultado final de la esta tabla podemos determinar y concluir que el proyecto eólico financieramente no es viable, debido a que se obtiene una perdida tanto operacional así como antes de impuestos, ya que el resultado es negativo, por lo que tampoco se puede determinar el VAN y el TIR.

#### 4.1.7 ANÁLISIS FINANCIERO PARA SISTEMA EÓLICO SOLAR FOTOVOLTAICO

El costo de la inversión inicial del proyecto, se muestra en la tabla 35, los valores del panel solar, inversor y controlador se estimaron de acuerdo a los precios existentes en el mercado ecuatoriano. El resto de parámetros de la inversión inicial se consideraron iguales a los del sistema eólico, porque de igual manera se necesita una casa de control, gastos de investigación, sistema de gestión telemétrica, instalación eléctrica y obra civil, prácticamente de la misma magnitud.

Tabla 35 Inversión Inicial del Sistema Solar Fotovoltaico (Neira & Velecela, 2014)

DETALLE	Nº	Costo Unitario	Costo Total
			2014
<b>MAQUINARIA</b>			
Paneles Solares	120,00	510,12	61.214,40
Inversores	3,00	3.100,00	9.300,00
Grid-on controller	1,00	5.280,00	5.280,00
<b>TOTAL EQUIPOS</b>	<b>124,00</b>	<b>8.890,12</b>	<b>75.794,40</b>
<b>OTROS</b>			
Intalación Obra Civil	1,00	30.000,00	30.000,00
Instación Electrica	1,00	20.000,00	20.000,00
Sistema de Gestion Telemetrica	1,00	12.500,00	12.500,00
Investigacion	1,00	40.000,00	40.000,00
Casa de Control	1,00	10.000,00	10.000,00
<b>TOTAL OTROS</b>	<b>5,00</b>	<b>112.500,00</b>	<b>112.500,00</b>
		<b>121.390,12</b>	<b>188.294,40</b>

**Tabla 36 Estado de resultados del Proyecto Solar Fotovoltaico (Neira & Velecela, 2014)**

AÑOS	2014	2015	2016	2017	2018
Generación (Kwh) Energía Solar Fotovoltaica	43.922,20	46.026,62	48.231,87	50.542,77	52.964,40
Precio de (Kwh)	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>17.700,65</b>	<b>18.548,73</b>	<b>19.437,44</b>	<b>20.368,74</b>	<b>21.344,65</b>
<b>Gastos Operacionales</b>					
Servicios Basicos	960,00	1.008,00	1.058,40	1.111,32	1.166,89
Personal (Tecnico)	13.158,40	13.816,32	14.507,14	15.232,49	15.994,12
Operación y Mantenimieto 2%	2.765,89	2.904,18	3.049,39	3.201,86	3.361,95
Depreciación Sistema SF	7.579,44	4.781,00	4.781,00	4.781,00	4.781,00
Depreciación Intalación Obra Civil	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00	3.000,00
Depreciación Instación Electrica	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00	2.000,00
Depreciación Sistema de Gestion Telemetrica	4.125,00	4.125,00	4.125,00	4.125,00	4.125,00
<b>Gastos Administrativos</b>					
Servicios Basicos	360,00	378,00	396,90	416,75	437,58
Personal (Guardia)	6.775,20	7.113,96	7.469,66	7.843,14	8.235,30
Suministros de oficina	480,00	504,00	529,20	555,66	583,44
Varios	180,00	189,00	198,45	208,37	218,79
Depreciacion Oficina	500,00	500,00	500,00	500,00	500,00
Amortizacion Gasto Investigación	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00
<b>TOTAL GASTOS OPERACIONALES Y AMINISTRATIVOS</b>	<b>49.883,93</b>	<b>48.319,46</b>	<b>49.615,14</b>	<b>50.975,59</b>	<b>52.404,07</b>
<b>UTILIDAD Y/O PERDIDA OPERACIONAL</b>	<b>- 32.183,28</b>	<b>- 29.770,73</b>	<b>- 30.177,69</b>	<b>- 30.606,86</b>	<b>- 31.059,42</b>
Gastos Financieros	14.000,00	13.066,67	12.133,33	11.200,00	10.266,67
<b>UTILIDAD Y/O PERDIDA ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>- 46.183,28</b>	<b>- 42.837,40</b>	<b>- 42.311,03</b>	<b>- 41.806,86</b>	<b>- 41.326,09</b>
Impuesto a la Renta 5%	- 10.160,32	- 9.424,23	- 9.308,43	- 9.197,51	- 9.091,74
<b>UTILIDAD Y/O PERDIDA LIQUIDA</b>	<b>- 36.022,96</b>	<b>- 33.413,17</b>	<b>- 33.002,60</b>	<b>- 32.609,35</b>	<b>- 32.234,35</b>

A pesar de que se paga más por KWh vendido en el sistema solar fotovoltaico, igualmente el proyecto no es viable financieramente, en la tabla 36, se puede ver que se obtiene resultados negativos ocasionando una perdida, por lo que tampoco se puede proceder con el cálculo del VAN y el TIR.

#### 4.1.8 Análisis de Resultados

En la tabla 37 presentamos un análisis visto desde dos campos, uno sin financiamiento y otro con financiamiento de los proyectos eólico y solar fotovoltaico.

AÑOS	Sin Financiamiento		Con Financiamiento	
	EOLICO	SOLAR	EOLICO	SOLAR
	2014	2014	2014	2014
Generación (Kw h) Energía Eólica	43.922,2010	43.922,2010	43.922,2010	43.922,2010
Precio de (Kw h)	0,0913	0,4030	0,0913	0,4030
<b>TOTAL INGRESOS</b>	<b>4.010,10</b>	<b>17.700,65</b>	<b>4.010,10</b>	<b>17.700,65</b>
<b>Gastos Operacionales</b>				
Servicios Basicos	960,00	960,00	960,00	960,00
Personal (Tecnico)	13.158,40	13.158,40	13.158,40	13.158,40
Operacion y Mantenimieto 2%	2.206,20	2.765,89	2.206,20	2.765,89
Depreciación (Aerogenerador o Paneles Solares)	4.781,00	7.579,44	-	-
Depreciación Intalación Obra Civil	3.000,00	3.000,00	-	-
Depreciación Instación Electrica	2.000,00	2.000,00	-	-
Depreciación Sistema de Gestion Telemetrica	4.125,00	4.125,00	-	-
<b>Gastos Administrativos</b>	-	-	-	-
Servicios Basicos	360,00	360,00	360,00	360,00
Personal (Guardía)	6.775,20	6.775,20	6.775,20	6.775,20
Suministros de oficina	480,00	480,00	480,00	480,00
Varios	180,00	180,00	180,00	180,00
Depreciacion Oficina	500,00	500,00		
Amortización Gasto Investigación	8.000,00	8.000,00		
<b>TOTAL GASTOS OPERACIONALES Y AMINISTRATIVO</b>	<b>46.525,80</b>	<b>49.883,93</b>	<b>24.119,80</b>	<b>24.679,49</b>
<b>UTILIDAD Y/O PERDIDA OPERACIONAL</b>	<b>- 42.515,70</b>	<b>- 32.183,28</b>	<b>- 20.109,70</b>	<b>- 6.978,84</b>
Gastos Financieros	12.250,00	14.000,00		
<b>UTILIDAD Y/O PERDIDA ANTES DE IMPUESTOS</b>	<b>- 54.765,70</b>	<b>- 46.183,28</b>	<b>- 20.109,70</b>	<b>- 6.978,84</b>

Tabla 37 Análisis de resultados financieros de generación eólica y solar (Neira & Velecela, 2014)

Al tener un resultado negativo no es factible calcular el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR) y por ende el periodo de recuperación de la inversión, en ninguno de los casos. También se puede apreciar que inclusive si el proyecto fuera financiado en su totalidad, los ingresos por generación, no alcanzan a cubrir los gastos operativos, lo cual es justificable, debido a que únicamente se está cubriendo la demanda del sector. Sin embargo si se viera desde el punto de rentabilidad, la mejor opción sería colocar más aerogeneradores o paneles solares, y al incrementar las unidades de generación bajarían los costos operativos, esto aplicando economías de escala.

## CAPITULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- La determinación del potencial eólico y solar de la zona fue el primer indicador para saber si el proyecto es viable técnicamente. Mediante el análisis del potencial eólico, se obtuvo un promedio anual de la velocidad del viento de 4.9 m/s a una altura de 10m y una dirección predominante de 35°N. Luego del análisis realizado del comportamiento del viento en el sector, se determinó que la energía del viento es óptima desde las 11:00 AM hasta las 20:00 PM. Con esto es posible generar energía eléctrica, teniendo en cuenta que la velocidad del viento es una función directa de la altura y considerando que los aerogeneradores pueden llegar a tener alturas por encima de los 20m.
- El análisis del potencial solar indica que la irradiación solar se debe considerar desde las 6:00 AM hasta las 18:30 PM, teniendo una irradiación óptima para la generación de energía eléctrica desde las 11:00 AM hasta las 16:00 PM. La irradiación solar obtenida en el sector, tiene una media anual de 229.89 w/m<sup>2</sup>, que es baja considerando que el valor máximo de irradiación es de 976.71 w/m<sup>2</sup>, sin embargo la ventaja del Ecuador es que posee una radiación solar constante, porque se encuentra sobre la línea ecuatorial, además para obtener la potencia requerida se puede aumentar el número de arreglos de paneles fotovoltaicos, siempre y cuando el terreno así lo permita.
- La demanda de energía y de potencia eléctrica anual del sector, es baja (41.9 MWh), en razón de que existen una gran cantidad de viviendas deshabitadas teniendo por tanto demanda cero, esto se debe principalmente por la migración de los habitantes del sector. El gobierno nacional tiene pensado cambiar las cocinas de GLP por cocinas de inducción para el año 2017, cuando se terminen las centrales hidroeléctricas que se encuentran en construcción. Por este motivo, fue necesario proyectar la demanda para el año 2017 incluyendo la demanda de las cocinas de inducción (261.51 MWh),

esto ocasionó una subida de la demanda del 400%, dato a tomar en cuenta al momento de dimensionar el aerogenerador y los paneles solares.

- La importancia de instalar un sistema fotovoltaico en el sector de Garauzhí es primordial para aminorar el gasto eléctrico obtenido directamente de la red eléctrica; sin embargo, vale aclarar que para la implementación de estos sistemas debe existir un respaldo o iniciativa por parte del Estado Ecuatoriano, de tal forma que busque incentivar el uso de energías renovables para mitigar el uso energético de fuentes convencionales contribuyendo a su vez con el cuidado del medio ambiente.
- En este trabajo se propuso una metodología de cálculo para implementar un sistema de energía solar fotovoltaico conectado a la red de servicio público de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur de la Ciudad de Cuenca, aprovechando toda la radiación solar posible existente en el sector, para cubrir la demanda actual y proyectada del sector.
- Luego de realizar el estudio de factibilidad de generación, se pudo determinar que si es posible la generación de energía eléctrica por medio de los dos sistemas (Eólico y Solar Fotovoltaico). Mediante los dos sistemas se logra cubrir la demanda del sector, sin embargo, el sistema solar fotovoltaico es más eficiente, ya que con un correcto arreglo de los paneles, se puede tener un dimensionamiento óptimo del sistema, e incluso si en el futuro se necesita aumentar la generación, fácilmente se colocan más paneles, claro dependiendo del área del terreno disponible. Sin embargo el inconveniente principal de este sistema, es el costo de sus equipos. En cambio un sistema eólico es más difícil de dimensionar, porque comercialmente ya vienen establecidas las potencias de los aerogeneradores y es más difícil llegar a cubrir una demanda específica.
- Luego del análisis financiero realizado, ninguno de los dos sistemas es rentable, esto debido al elevado costo de adquisición e implementación de sus equipos, y además

porque la generación de energía eléctrica que se obtiene de cada sistema es muy baja como para obtener ganancias futuras.

- Finalmente, la generación de energía eléctrica por medio de fuentes de energías renovables son una alternativa muy importante para solucionar los problemas de energía eléctrica especialmente en las comunidades ecuatorianas alejadas de las redes de distribución eléctrica, sin embargo se debe tener en cuenta la parte económica que representa de gran importancia la viabilidad e implementación de estos sistemas.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Es de gran importancia la optimización de la estación meteorológica VAISALA que actualmente se encuentra instalada en el sector, mediante la implementación de un sensor de presión atmosférica, ya que es un dato importante a considerar al momento de realizar el dimensionamiento del aerogenerador. Además se debe hacer uso de la opción de telemetría celular, para la adquisición remota de los datos de la estación meteorológica.
- La medición, recolección y análisis de los datos en el sector es muy importante para conocer el potencial eólico y solar de la zona con precisión, por lo que se debe continuar al menos por unos 2 años más, porque mientras más información se analice mayores serán las oportunidades de obtener resultados positivos y viables para la implementación de los proyectos.
- Para realizar un análisis más profundo del potencial eólico y solar del sector es importante contar con un software adecuado para obtener información precisa y eficaz.
- El estudio de factibilidad se realizó únicamente para cubrir la demanda de la comunidad de Garauzhí, sin embargo existe la posibilidad de analizar la generación

para que se conecte al SNI, mediante la implementación de un parque eólico o una granja solar de mayor magnitud, que podrían ser rentables económicamente.

- Debido al alto costo que representan los estudios e implementación de estos sistemas de generación eléctrica, es necesario tener el respaldo técnico y económico por parte del gobierno ecuatoriano.

### Bibliografía

- [1] AEOLOS. (Mayo de 2014). AEOLOS Wind Turbine. España.
- [2] Alvarez, N. (2009). *Proyecto de diseño, construcción y explotación de un parque eólico*. Madrid.
- [3] Avila, J. P. (2005). Energías Renovables Convencionales y no Convencionales. *Electro Industria*.
- [4] Buitrón, R., & Burbano, G. (2010). *Elaboración de una Normativa para el Diseño y Diagnóstico de Sistemas Fotovoltaicos Residenciales Autónomos para el Ecuador*. Ecuador.
- [5] Buñuelos, F. (2011). *Impacto de la Generación Eléctrica Usando Fuentes de Energía Eólica en la Red Eléctrica Nacional*. Mexico.
- [6] CENACE. (2013). Informe Anual 2012.
- [7] Chapra, S. C., & Canale, R. P. (sf). *Métodos Numéricos para Ingenieros*. Mexico: McGRAWHILL.
- [8] CONELEC. (23 de Mayo de 2001). REGULACION No CONELEC - 004/01. *CALIDAD DE SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN*. Quito.
- [9] CONELEC. (2009). *Plan Maestro de Electrificación del Ecuador 2009-2020*. Quito.
- [10] CONELEC. (2011). Regulación No. CONELEC-004/11.
- [11] CONELEC. (2012). Regulación de Energías Renovables no Convencionales.
- [12] CONELEC. (2014). Estadísticas del sector eléctrico Ecuatoriano.
- [13] CONELEC. (2014). *Procedimiento Preliminar para Determinar el Impacto de la Incorporación de Cocinas de Inducción en el Sistema Eléctrico de Distribución*. Quito.
- [14] Dave. (11 de Marzo de 2010). *Matlab - hallar cuartiles matlab*. Obtenido de [http://www.lawebdelprogramador.com/foros/Matlab/1188458-hallar\\_cuartiles\\_matlab.html](http://www.lawebdelprogramador.com/foros/Matlab/1188458-hallar_cuartiles_matlab.html)
- [15] Energelia. (19 de Mayo de 2014). *Aeolos Eolica*. Obtenido de <http://energelia.com/empresas/aeolos-eolica>
- [16] Escobar, R., & Hentzschel, F. (2011). *Buenas Prácticas en Evaluación del Recurso Solar y Eólico*. Santiago.
- [17] Fernández, J. (2009). *Tecnologías de las energías renovables*. España: Mundiprensa.

- [18] García, A. F. (11 de Abril de 2013). *MATLAB*. Obtenido de Análisis de datos:  
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/energias-renovables/MATLAB/datos/viento/viento.html>
- [19] García, P. (2011). *El mercado de las energías renovables en el Ecuador*. Quito.
- [20] Gerardo Velasco, E. C. (s.f.). *Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura*. Quito.
- [21] Groot, J. d. (17 de Mayo de 2006). *Matlab Central*. Obtenido de Outlier removal:  
<http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/11106-outlier-removal>
- [22] IEC. (2005). *Wind turbines –Part 12-1:Power performance measurements*.
- [23] INEC. (2010 de Enero de 2014). *Censo de Población y Vivienda*. Obtenido de  
[https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.inec.gob.ec%2Ftabulados\\_CPV%2F28\\_Promedio%2520de%2520Personas%2520por%2520Hogar.xls&ei=0z2aU\\_nWlojjsASho4LQBg&usg=AFQjCNGTGkqas\\_rcCRz2sBdt](https://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0CBoQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.inec.gob.ec%2Ftabulados_CPV%2F28_Promedio%2520de%2520Personas%2520por%2520Hogar.xls&ei=0z2aU_nWlojjsASho4LQBg&usg=AFQjCNGTGkqas_rcCRz2sBdt)
- [24] Javier Méndez, R. C. (2007). *La Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Fundación Confemetal.
- [25] JR. (7 de Febrero de 2013). *Blog Estadístico*. Obtenido de Datos atípicos o Outliers:  
<http://elestadistico.blogspot.com/2013/02/datos-atipicos-o-outliers.html>
- [26] Jutglar, L. (2004). *Energía Solar*. Barcelona: Ceac.
- [27] Karina, & Reivan. (2010). *Inventarios de Atractivos de la Parroquia de San Pedro de Quingeo, Patrimonio Cultural del Ecuador*. Cuenca.
- [28] LBA. (20 de Mayo de 2014). *LBA*. Obtenido de <http://www.lbaindustrial.com.mx/que-es-un-aerogenerador/>
- [29] López, & Villarubia, M. (2012). *Ingeniería de la Energía Eólica*. Barcelona: MARCOMBO.
- [30] MA, M. (27 de Noviembre de 2007). *Wind rose of direction and intensity*. Obtenido de MATLAB CENTRAL: [http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/17748-windrose/content/wind\\_rose.m](http://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/17748-windrose/content/wind_rose.m)
- [31] Macancela, & Regalado. (2012). *Análisis técnico de una central solar para la producción de energía eléctrica en el cantón Santa Isabel de la provincia del Azuay*. Cuenca.
- [32] MATLAB. (22 de abril de 2014). *Análisis de Datos*. Obtenido de Estadística del viento:  
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/energias-renovables/MATLAB/datos/viento/energia.html>
- [33] Méndez, J., & Cuervo, R. (2007). *La Energía Solar Fotovoltaica*. Madrid: Fundación Confemetal.

- [34] Moreno, R. (2014).
- [35] Muciño, D. (2009). *Evaluación del Recurso Eólico en la Ciudad Universitaria*. Mexico.
- [36] Mugmal, & Vega. (2012). *Implementación de un generador eólico como sistema alternativo de energía renovable, en la cabaña el sol del sector el Tablón ubicada en la comunidad Naranjito parroquia Caranqui cantón Ibarra, a partir del año 2012*. Ibarra.
- [37] Mur, J. (sf). *Curso de Energía Eólica*. Zaragoza.
- [38] Murphy, T., & Lau, A. (Diciembre de 2008). *Magazines & Newsletters / ASTM Standardization News*. Obtenido de Manejo de Valores Atípicos:  
[http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND08/datapoints\\_spnd08.html](http://www.astm.org/SNEWS/SPANISH/SPND08/datapoints_spnd08.html)
- [39] NASA. (19 de Mayo de 2014). *Atmospheric Science Data Center*. Obtenido de NASA Surface meteorology and Solar Energy - Location: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=na>
- [40] Neira, & Velecela. (6 de Junio de 2014). Azogues, Cañar, Ecuador.
- [41] Nofuentes, G., Muñoz, J., D.Talavera, Aguilera, J., & Terrados, J. (2011). *Manual Técnico de Instalación de Plantas Fptovoltaicas en Terrenos Marginales*. Valencia.
- [42] Prando, R. (2013). *Curso matriz Energética y Energía Sostenible en la Industria de Procesos*.
- [43] Reiban, K. (2011). *Inventarios de atractivos de la Parroquia de San Pedro de Quingeo, patrimonio cultural del Ecuador*. Cuenca.
- [44] *Revista Cuenca Ilustre-Ecuador*. (27 de Noviembre de 2008). Obtenido de Plano Turístico de Cuenca- Sus parroquias y del Azuay:  
<http://patomiller.wordpress.com/2008/11/27/plano-turistico-de-cuenca-sus-parroquias-y-del-azuay/>
- [45] Rojas, Rodrigues, Novillo, & Vargas. (2014). *Diseño y evaluación de un sistema fotovoltaico*. Ecuador.
- [46] Roldán, J. (2013). *Energías Renovables*. España: Paraninfo S.A.
- [47] Romero, L. (2013). *Operación y puesta en servicio de instalaciones de energía eólica*. España: Paraninfo S.A.
- [48] Ruben Bufanio, M. B. (2012). *Estimación de Potencia Anual Generada por un Generador Eólico*. Mendoza.
- [49] Sapag, N., & Sapag, R. (2000). *Preparación y Evaluación de Proyectos*. Chile: Mc Graw Hill.

- [50] Sarnón, J. M. (2003). *energías Renovables pra el Desarrollo*. España: Editorial Paraninfo.
- [51] Serrano, X., & Rojas, J. (2013). *Impactode la implementación masiva dela cocina de inducción en el sistema eléctrico ecuatoriano*. Cuenca.
- [52] SIAR. (23 de ABRIL de 2014). *PLUVIÓMETRO RM52203*. Obtenido de SENSOR DE PRESIPITACIÓN: [http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-sostenible-de-regadios/Pluvi%C3%B3metros\\_tcm7-188684.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/agua/temas/gestion-sostenible-de-regadios/Pluvi%C3%B3metros_tcm7-188684.pdf)
- [53] TODOPRODUCTIVIDAD. (14 de Abril de 2014). *Los sistemas de energía renovable conectados a la Red en Detalle*. Obtenido de [http://todoproductividad.blogspot.com/2010/09/los-sistemas-de-energias-renovables\\_26.html](http://todoproductividad.blogspot.com/2010/09/los-sistemas-de-energias-renovables_26.html)
- [54] TRINASOLAR. (2014). *Trina TSL-DA05 catalogo*.
- [55] twEnergy. (30 de Noviembre de 2011). Obtenido de Aerogeneradores qué son y cómo funcionan: <http://twenergy.com/energia-eolica/aerogeneradores-que-son-y-como-funcionan-375>
- [56] VAISALA. (Mayo de 2009). *Sistema Vaisala HydroMet™ MAWS100*. Obtenido de [http://es.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/MAWS100\\_datasheet\\_B210843ES-B\\_LowRes.pdf](http://es.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/MAWS100_datasheet_B210843ES-B_LowRes.pdf)
- [57] VAISALA. (2010). *Sensor de viento WM30 para aplicaciones móviles*. Obtenido de <http://es.vaisala.com/Vaisala%20Documents/Brochures%20and%20Datasheets/WM30-Datasheet-B210384EN-B-LoRes.pdf>
- [58] VAISALA. (23 de Abril de 2014). *Piranómetro QMS101 de Vaisala*. Obtenido de <http://es.vaisala.com/sp/roads/products/atmosphericsensors/Pages/QMS101.aspx>
- [59] VAISALA. (23 de ABRIL de 2014). *Protector de radiación solar serie DTR500 de Vaisala*. Obtenido de <http://es.vaisala.com/sp/industrialmeasurements/products/humidity/Calibrators/Pages/DTR500.aspx>
- [60] Viloría, J. R. (2008). *Energías Renovables*. España: EDICIONES PARANINFO, S.A.
- [61] Viloría, J. R. (2011). *Estudios de Viabilidad de Instalaciones Solares. Determinación del Potencial Solar*. España: Paraninfo.
- [62] Webster, A. (2001). *Estadística aplicada a los negocios y la economía*. Mc Graw Hil.

## ANEXOS

**ANEXO I:** REGULACIÓN No. CONELEC – 004/11

**ANEXO II:** CÓDIGOS EN MATLAB PARA EL ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO Y SOLAR

**ANEXO III:** DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA ANUAL DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LOS CLIENTES DEL SECTOR DE GARAUZHÍ.

**ANEXO IV:** DATOS ENTREGADOS POR MATLAB DE LA DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL UTILIZANDO EL PROGRAMA “ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO ANUAL A LA ALTURA DEL BUJE DEL AEROGENERADOR”.

**ANEXO V:** CATÁLOGOS DE LOS AEROGENERADORES

**ANEXO VI:** CATALOGO DEL INVERSOR FRONIUS IG PLUS 10.0-208

**ANEXO VII:** CATALOGO DEL PANEL SOLAR FV TRINA TSL-DA05

**ANEXO VIII:** CÁLCULO DE LA ENERGÍA GENERADA POR EL AEROGENERADOR EN UN AÑO

**ANEXO IX:** ANÁLISIS FINANCIERO DEL SISTEMA EÓLICO Y SOLAR FV