



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA DE PARQUES
EÓLICOS EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

**JORGE LUIS NÚÑEZ SILVA
ALONSO FABIÁN RAMÍREZ VALAREZO**

TRABAJO DE TITULACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

**RIOBAMBA – ECUADOR
2017**

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE PROYECTO
DE TITULACION**

2016-05-17

Yo recomiendo que el Trabajo de titulación preparado por:

JORGE LUIS NUÑEZ SILVA

Titulada:

**“ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA DE PARQUES EÓLICOS
EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez
ASESOR DE TESIS

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE PROYECTO
DE TITULACION**

2016-05-17

Yo recomiendo que el Trabajo de titulación preparado por:

ALONSO FABIÁN RAMÍREZ VALAREZO

Titulada:

**“ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA DE PARQUES EÓLICOS
EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Carlos José Santillán Mariño.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Diego Fernando Mayorga Pérez
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JORGE LUIS NÚÑEZ SILVA

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACIÓN: “ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA DE PARQUES EÓLICOS EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

Fecha de Examinación: 2017-05-09

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|--|---------|------------|-------|
| Ing. Geovanny Novillo Andrade PRESIDENTE TRIB. DEFENSA | | | |
| Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez DIRECTOR DE TESIS | | | |
| Ing. Diego Fernando Mayorga P. ASESOR | | | |

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Geovanny Novillo A.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: ALONSO FABIÁN RAMÍREZ VALAREZO

TÍTULO DEL TRABAJO DE TITULACION: “ESTUDIO DE VIABILIDAD TÉCNICA DE PARQUES EÓLICOS EN LA PROVINCIA DE CHIMBORAZO”

Fecha de Examinación: 2017-05-09

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

| COMITÉ DE EXAMINACIÓN | APRUEBA | NO APRUEBA | FIRMA |
|--|---------|------------|-------|
| Ing. Geovanny Novillo Andrade PRESIDENTE TRIB. DEFENSA | | | |
| Ing. Edwin Fernando Viteri Núñez DIRECTOR DE TESIS | | | |
| Ing. Diego Fernando Mayorga P. ASESOR | | | |

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Ing. Geovanny Novillo A.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORIA

El trabajo de titulación que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos-científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los Autores. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

ALONSO FABIÁN RAMÍREZ V.

JORGE LUIS NÚÑEZ S.

DEDICATORIA

Dedico con mucho amor y cariño nuestro trabajo de titulación a mis padres, mi hermana, mi esposa Estefanía y todas aquellas personas que nunca dejaron de confiar y motivar mis sueños y aspiraciones.

JORGE LUIS NÚÑEZ SILVA

La vida se encuentra plagada de retos, y uno de ellos es la universidad, al verme dentro de ella me he dado cuenta más allá de ser un reto, es una base no solo para mi entendimiento del campo en el que me he visto inmerso, sino para lo que concierne a la vida y mi futuro.

Me es grato dedicar este trabajo a mis padres José Edulfo y Gladis Melania porque ellos han dado razón a mi vida con sus sabios consejos, su apoyo incondicional y su paciencia, todo lo que hoy soy es por ellos.

A toda mi familia que es lo más valioso que Dios me ha dado.

ALONSO FABIÁN RAMÍREZ VALAREZO

AGRADECIMIENTO

A Dios, mis padres, amigos, compañeros que formaron parte importante en el avance de mis estudios con sus consejos y observaciones.

De igual manera agradezco al Ing. Lenin Orozco e Ing. Ángel Jácome, por sus grandes aportes de conocimientos como su perseverancia en la dirección y asesoramiento en este trabajo de titulación.

JORGE LUIS NÚÑEZ SILVA

Hijo, Leonardo Matías eres mi orgullo y mi gran motivación, liberas mi mente de todas las adversidades que se presentan, y me impulsas cada día a superarme ante las adversidades de la vida y los obstáculos en mi carrera. No es fácil, eso lo sé, pero tal vez si no te tuviera, no habría logrado tantas cosas grandes, tal vez mi vida sería un desastre sin ti.

Le agradezco a Dios por ponerme en frente a mi hijo, que a pesar de su corta edad me ha enseñado sabias lecciones para la vida.

Muchas gracias hijo, porque sin tu ayuda, no habría logrado desarrollar con éxito, mi proyecto de culminación de carrera.

ALONSO FABIÁN RAMÍREZ VALAREZO

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I

| | |
|--|---|
| 1.- INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1.- Identificación del problema..... | 1 |
| 1.2.- Justificación..... | 3 |
| 1.3.- Alcance..... | 3 |
| 1.4.- Objetivo general..... | 4 |
| 1.5.- Objetivos específicos..... | 4 |

CAPÍTULO II

| | |
|---|----|
| 2.- MARCO REFERENCIAL..... | 5 |
| 2.1.- Antecedentes del estudio..... | 5 |
| 2.2.- Marco conceptual y teórico..... | 8 |
| 2.2.1.- <i>Energías Renovables</i> | 9 |
| 2.2.2.- <i>Energías No Renovables</i> | 9 |
| 2.2.3.- <i>Energía Eólica</i> | 10 |
| 2.2.4.- <i>Características de la energía eólica</i> | 11 |
| 2.2.5.- <i>Ventajas de la energía eólica</i> | 11 |
| 2.2.6.- <i>Desventajas de la energía eólica</i> | 12 |
| 2.2.7.- <i>Limitaciones Técnicas:</i> | 12 |
| 2.2.8.- <i>Limitaciones ambientales:</i> | 13 |
| 2.2.9.- <i>Limitaciones económicas:</i> | 14 |
| 2.2.10.- <i>Usos de la energía eólica</i> | 14 |
| 2.2.10.1.- <i>Energía mecánica:</i> | 16 |
| 2.2.10.2.- <i>Energía térmica:</i> | 16 |

| | |
|---|----|
| 2.2.10.3.- <i>Energía eléctrica:</i> | 16 |
| 2.3.- Ahorro de combustibles fósiles | 17 |
| 2.4.- Ahorro de emisiones de gases contaminantes | 17 |
| 2.5.- Uso del suelo | 18 |
| 2.6.- Ruido | 19 |
| 2.6.1.- <i>Ruido Mecánico:</i> | 19 |
| 2.6.2.- <i>Ruido Aerodinámico:</i> | 19 |
| 2.7.- La atmósfera | 20 |
| 2.7.1.- <i>Gases permanentes:</i> | 20 |
| 2.7.2.- <i>Gases en proporciones variables:</i> | 20 |
| 2.8.- Velocidad del viento..... | 20 |
| 2.9.- Variabilidad de la velocidad del viento | 23 |
| 2.10.- Rugosidad | 23 |
| 2.11.- Parques eólicos | 25 |
| 2.11.1.- <i>Variables a considerar para la instalación de parques eólicos</i> | 25 |
| 2.11.2.- <i>Proceso de caracterización del viento</i> | 25 |
| 2.11.2.1.- <i>Procedimiento de toma de datos:</i> | 25 |
| 2.11.2.2.- <i>Técnica de medición:</i> | 25 |
| 2.11.2.3.- <i>Métodos de tratamiento de datos:</i> | 26 |
| 2.12.- Distribución de Weibull | 26 |
| 2.13.- Rosa de los vientos | 26 |
| 2.14.- Recursos eólicos | 26 |
| 2.15.- Parámetros económicos en un proyecto eólico | 27 |
| 2.15.1.- <i>Perspectiva a nivel mundial de la energía eólica</i> | 28 |
| 2.16.- Hipótesis | 30 |
| 2.16.1.- <i>Hipótesis Nula H_0:</i> | 30 |
| 2.16.2.- <i>Hipótesis Alternativa H_a:</i> | 30 |

| | |
|--|----|
| 2.17.- Variables..... | 30 |
| 2.17.1.- <i>Variable independiente:</i> | 30 |
| 2.17.2.- <i>Variable dependiente:</i> | 30 |
| CAPÍTULO III | |
| 3.- MARCO METODOLÓGICO | 31 |
| 3.1.- Tipo y nivel de investigación | 31 |
| 3.2.- Descripción del ámbito de investigación..... | 32 |
| 3.3.- Población y muestra | 32 |
| 3.4.- Muestra | 33 |
| 3.5.- Técnicas e instrumentos | 33 |
| 3.6.- Software requerido: | 34 |
| CAPÍTULO IV | |
| 4.- RESULTADOS | 35 |
| 4.1.- Resultados obtenidos | 35 |
| 4.1.1.- <i>Evaluación de entrega de energía</i> | 35 |
| 4.2.- Aproximación a la ecuación lineal | 42 |
| 4.3.- Cálculo del parámetro de forma (k) y el parámetro de escala (C)..... | 42 |
| 4.4.- Método de la distribución de Weibull | 44 |
| 4.5.- Función densidad de probabilidad de Weibull | 47 |
| 4.6.- Cálculo de la potencia media de salida..... | 48 |
| 4.7.- Cálculo de la potencia media de salida acumulada | 48 |
| 4.8.- Cálculo de Energía anual extraíble del recurso eólico | 49 |
| 4.9.- Potencia disponible..... | 49 |
| 4.10.- Análisis de factibilidad técnica..... | 52 |
| 4.11.- Representación en la Rosa de los vientos velocidad y dirección del viento en Atillo en el año 2015..... | 53 |
| 4.12.- Georreferenciación del mapa de la provincia de Chimborazo | 55 |

| | |
|--|----|
| 4.13.- Análisis y discusión de resultado | 59 |
|--|----|

CAPÍTULO V

| | |
|--|----|
| 5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 61 |
|--|----|

| | |
|-------------------------|----|
| 5.1.- Conclusiones..... | 61 |
|-------------------------|----|

| | |
|-----------------------------|----|
| 5.2.- Recomendaciones | 62 |
|-----------------------------|----|

| | |
|-------------------------|----|
| 5.3.- BIBLIOGRAFÍA..... | 64 |
|-------------------------|----|

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Escala de velocidades de viento | 22 |
| Tabla 2. Rugosidad de la superficie en de velocidades de viento..... | 24 |
| Tabla 3. Valores promedio dirección y velocidad ATILLO 2015..... | 35 |
| Tabla 4.Distribución de frecuencias de velocidad promedio ATILLO 2015 | 37 |
| Tabla 5.Distribución de frecuencias de velocidad máxima ATILLO 2015..... | 38 |
| Tabla 6.Valores de X e Y doble logarítmica en ATILLO 2015 | 42 |
| Tabla 7.Valores para calcular k y C en Atillo 2015..... | 43 |
| Tabla 8.- Distribución acumulativa y acumulativa complementaria en Atillo 2015 | 44 |
| Tabla 9.Puntos para la aproximación lineal en Atillo 2015..... | 45 |
| Tabla 10.Función densidad de probabilidad de Weibull Atillo 2015 | 47 |
| Tabla 11.Potencia instantánea, potencia media de salida en Atillo 2015 | 49 |
| Tabla 12.Velocidades del viento promedio anual..... | 50 |
| Tabla 13.Velocidades del viento a diferentes alturas en condiciones normales | 51 |
| Tabla 14. Tabla de atributos para arcgis | 56 |
| Tabla 15-A. POTENCIA DEL AEROGENERADOR SELECCIONADO | 68 |
| Tabla 16-B. Valores promedio dirección y Velocidad ATILLO 2014..... | 70 |
| Tabla 17-B. Distribución de frecuencias velocidad promedio ATILLO 2014 | 72 |
| Tabla 18-B. Distribución de frecuencias velocidad máxima ATILLO 2014 | 73 |
| Tabla 19-B. Valores de X e Y doble logarítmica ATILLO 2014 | 76 |
| Tabla 20-B.Valores para calcular k y C Atillo 2014 | 77 |
| Tabla 21-B. Resultado de k y C Atillo 2014..... | 77 |
| Tabla 22-B.Distribución acumulativa y complementaria Atillo 2014..... | 77 |
| Tabla 23-B.Puntos para la aproximación lineal Atillo 2014 | 78 |
| Tabla 24-B. Función densidad de probabilidad de Weibull Atillo 2014 | 80 |
| Tabla 25-B. Valores promedio dirección y velocidad ATILLO 2016..... | 81 |
| Tabla 26-B. Distribución de frecuencias de la velocidad promedio en ATILLO 2016.. | 82 |
| Tabla 27-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima ATILLO 2016..... | 83 |
| Tabla 28-B. Valores de X e Y doble logarítmica en ATILLO 2016 | 86 |
| Tabla 29-B. Valores para calcular k y C Atillo 2016 | 87 |
| Tabla 30-B. Resultado de k y C Atillo 2016..... | 87 |
| Tabla 31-B. Distribución acumulativa y complementaria en ATILLO 2016..... | 88 |
| Tabla 32-B. Puntos para la aproximación lineal Atillo 2016 | 89 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 33-B. Función densidad de probabilidad de Weibull en Atillo 2016 | 90 |
| Tabla 34-B. Valores promedio de la dirección y velocidad ESPOCH 2014 | 92 |
| Tabla 35-B. Distribución de frecuencias de la velocidad promedio ESPOCH 2014 | 94 |
| Tabla 36-B. Valores de X e Y doble logarítmica en ESPOCH 2014 | 97 |
| Tabla 37-B. Valores para calcular k y C en ESPOCH 2014..... | 97 |
| Tabla 38-B. Resultado de k y C en ESPOCH 2014..... | 98 |
| Tabla 39-B. Distribución acumulativa y complementaria ESPOCH 2014..... | 98 |
| Tabla 40-B. Puntos para la aproximación lineal en ESPOCH 2014..... | 99 |
| Tabla 41-B. Función densidad de probabilidad de Weibull ESPOCH 2014 | 101 |
| Tabla 42-B. Valores promedio de la dirección y velocidad ESPOCH 2015 | 102 |
| Tabla 43-B. Distribución de frecuencias de la velocidad promedio ESPOCH 2015 ... | 103 |
| Tabla 44-B. Distribución de frecuencias de la velocidad máxima ESPOCH 2015 | 104 |
| Tabla 45-B. Valores de X e Y doble logarítmica ESPOCH 2015 | 108 |
| Tabla 46-B. Valores para calcular k y C en ESPOCH 2015..... | 108 |
| Tabla 47-B. Resultado de k y C ESPOCH 2015..... | 108 |
| Tabla 48-B. Distribución acumulativa y complementaria ESPOCH 2015..... | 109 |
| Tabla 49-B. Puntos para la aproximación lineal ESPOCH 2015 | 110 |
| Tabla 50-B. Función densidad de probabilidad de Weibull ESPOCH 2015 | 111 |
| Tabla 51-B. Valores promedio de dirección y velocidad ESPOCH 2016..... | 113 |
| Tabla 52-B. Distribución de frecuencias de la velocidad promedio ESPOCH 2016 ... | 114 |
| Tabla 53-B. Distribución de frecuencias de la velocidad máxima ESPOCH 2016..... | 115 |
| Tabla 54-B. Valores de X e Y doble logarítmica en ESPOCH 2016 | 118 |
| Tabla 55-B. Valores para calcular k y C ESPOCH 2016 | 119 |
| Tabla 56-B. Resultado de k y C ESPOCH 2016..... | 119 |
| Tabla 57-B. Distribución acumulativa y complementaria ESPOCH 2016..... | 119 |
| Tabla 58-B. Puntos para la aproximación lineal ESPOCH 2016 | 120 |
| Tabla 59-B. Función densidad probabilidad de Weibull Espoch 2015 | 122 |
| Tabla 60-B. Valores promedio de dirección y velocidad MATUS 2014 | 123 |
| Tabla 61-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio MATUS 2014..... | 124 |
| Tabla 62-B. Distribución de frecuencias de la velocidad máxima MATUS 2014 | 125 |
| Tabla 63-B. Valores de X e Y doble logarítmica MATUS 2014 | 128 |
| Tabla 64-B. Valores para calcular k y C MATUS 2014..... | 129 |
| Tabla 65-B. Resultado de k y C MATUS 2014..... | 129 |
| Tabla 66-B. Distribución acumulativa y complementaria MATUS 2014 | 129 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 67-B. Puntos para la aproximación lineal MATUS 2014..... | 130 |
| Tabla 68-B. Función densidad de probabilidad de Weibull MATUS 2014 | 132 |
| Tabla 69-B. Valores promedio de dirección y la velocidad MATUS 2015 | 133 |
| Tabla 70-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio MATUS 2015..... | 134 |
| Tabla 71-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima MATUS 2015 | 135 |
| Tabla 72-B. Valores de X e Y doble logarítmica MATUS 2015 | 138 |
| Tabla 73-B. Valores para calcular k y C MATUS 2015..... | 139 |
| Tabla 74-B. Resultado de k y C MATUS 2015 | 139 |
| Tabla 75-B. Distribución acumulativa y complementaria MATUS 2015 | 139 |
| Tabla 76-B. Puntos para la aproximación lineal MATUS 2015..... | 140 |
| Tabla 77-B. Función densidad de probabilidad de Weibull MATUS 2015 | 142 |
| Tabla 78-B. Valores promedio de dirección y velocidad MATUS 2016 | 143 |
| Tabla 79-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio MATUS 2016..... | 144 |
| Tabla 80-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima MATUS 2016 | 145 |
| Tabla 81-B. Valores de X e Y doble logarítmica MATUS 2016 | 148 |
| Tabla 82-B. Valores para calcular k y C MATUS 2016..... | 149 |
| Tabla 83-B. Resultado de k y C MATUS 2016..... | 149 |
| Tabla 84-B. Distribución acumulativa y complementaria MATUS 2016..... | 149 |
| Tabla 85-B. Puntos para la aproximación lineal MATUS 2016..... | 150 |
| Tabla 86-B. Función densidad de probabilidad de Weibull MATUS 2016 | 152 |
| Tabla 87-B. Valores promedio de dirección y la velocidad QUIMIAG 2014..... | 153 |
| Tabla 88-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio QUIMIAG 2014..... | 154 |
| Tabla 89-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima QUIMIAG 2014 | 155 |
| Tabla 90-B. Valores de X e Y doble logarítmica QUIMIAG 2014..... | 159 |
| Tabla 91-B. Valores para calcular k y C QUIMIAG 2014..... | 159 |
| Tabla 92-B. Resultado de k y C QUIMIAG 2014 | 159 |
| Tabla 93-B. Distribución acumulativa y complementaria QUIMIAG 2014 | 160 |
| Tabla 94-B. Puntos para la aproximación lineal QUIMIAG 2014 | 161 |
| Tabla 95-B. Función densidad de probabilidad de Weibull QUIMIAG 2014..... | 162 |
| Tabla 96-B. Valores promedio de dirección y velocidad QUIMIAG 2015..... | 163 |
| Tabla 97-B. Distribución frecuencias de velocidad promedio QUIMIAG 2015..... | 164 |
| Tabla 98-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima QUIMIAG 2015 | 165 |
| Tabla 99-B. Valores de X e Y doble logarítmica QUIMIAG 2015..... | 169 |
| Tabla 100-B. Valores para calcular k y C QUIMIAG 2015..... | 169 |

| | |
|---|-----|
| Tabla 101-B. Resultado de k y C QUIMIAG 2015 | 169 |
| Tabla 102-B. Distribución acumulativa y complementaria QUIMIAG 2015 | 170 |
| Tabla 103-B. Puntos para la aproximación lineal QUIMIAG 2015 | 171 |
| Tabla 104-B. Función densidad de probabilidad de Weibull QUIMIAG 2015..... | 172 |
| Tabla 105-B. Valores promedio de dirección y velocidad QUIMIAG 2016..... | 173 |
| Tabla 106-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio QUIMIAG 2016... | 174 |
| Tabla 107-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima QUIMIAG 2016 | 175 |
| Tabla 108-B. Valores de X e Y doble logarítmica QUIMIAG 2016..... | 178 |
| Tabla 109-B. Valores para calcular k y C en QUIMIAG 2016 | 178 |
| Tabla 110-B. Resultado de k y C QUIMIAG 2016 | 178 |
| Tabla 111-B. Distribución acumulativa y complementaria QUIMIAG 2016 | 179 |
| Tabla 112-B. Puntos para la aproximación lineal QUIMIAG 2016 | 180 |
| Tabla 113-B. Función densidad de probabilidad de Weibull QUIMIAG 2016..... | 181 |
| Tabla 114-B. Valores promedio de dirección y velocidad SAN JUAN 2014 | 182 |
| Tabla 115-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio SAN JUAN 2014 .. | 183 |
| Tabla 116-B. Distribución de frecuencias velocidad máxima SAN JUAN 2014..... | 184 |
| Tabla 117-B. Valores de X e Y doble logarítmica SAN JUAN 2014 | 187 |
| Tabla 118-B. Valores para calcular k y C SAN JUAN 2014 | 188 |
| Tabla 119-B. Resultado de k y C SAN JUAN 2014..... | 188 |
| Tabla 120-B. Distribución acumulativa y complementaria SAN JUAN 2014..... | 189 |
| Tabla 121-B. Puntos para la aproximación lineal SAN JUAN 2014..... | 190 |
| Tabla 122-B. Función densidad probabilidad de Weibull SAN JUAN 2014..... | 191 |
| Tabla 123-B. Valores promedio de dirección y velocidad SAN JUAN 2015 | 193 |
| Tabla 124-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio SAN JUAN 2015 . | 194 |
| Tabla 125-B. Distribución de frecuencias velocidad máxima SAN JUAN 2015..... | 195 |
| Tabla 126-B. Valores de X e Y doble logarítmica SAN JUAN 2015 | 198 |
| Tabla 127-B. Valores para calcular k y C SAN JUAN 2015 | 199 |
| Tabla 128-B. Resultado de k y C SAN JUAN 2015..... | 199 |
| Tabla 129-B. Distribución acumulativa y complementaria SAN JUAN 2015..... | 199 |
| Tabla 130-B. Puntos para la aproximación lineal SAN JUAN 2015..... | 200 |
| Tabla 131-B. Función densidad de probabilidad de Weibull SAN JUAN 2015 | 202 |
| Tabla 132-B. Valores promedio de dirección y velocidad SAN JUAN 2016 | 203 |
| Tabla 133-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio SAN JUAN 2016 . | 204 |
| Tabla 134-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima SAN JUAN 2016.... | 205 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 135-B. Valores de X e Y doble logarítmica SAN JUAN 2016 | 208 |
| Tabla 136-B. Valores para calcular k y C SAN JUAN 2016 | 208 |
| Tabla 137-B. Resultado de k y C SAN JUAN 2016..... | 209 |
| Tabla 138-B. Distribución acumulativa y complementaria SAN JUAN 2016..... | 209 |
| Tabla 139-B. Puntos para la aproximación lineal SAN JUAN 2015..... | 210 |
| Tabla 140-B. Función densidad de probabilidad de Weibull SAN JUAN 2016 | 211 |
| Tabla 141-B. Valores promedio de dirección y velocidad TUNSHI 2014..... | 212 |
| Tabla 142-B. Distribución frecuencias de velocidad promedio TUNSHI 2014..... | 214 |
| Tabla 143-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima TUNSHI 2014 | 215 |
| Tabla 144-B. Valores de X e Y doble logarítmica TUNSHI 2014..... | 218 |
| Tabla 145-B. Valores para calcular k y C TUNSHI 2014 | 218 |
| Tabla 146-B. Resultado de k y C TUNSHI 2014 | 218 |
| Tabla 147-B. Distribución acumulativa y complementaria TUNSHI 2014 | 219 |
| Tabla 148-B. Puntos para la aproximación lineal TUNSHI 2014 | 220 |
| Tabla 149-B. Función densidad de probabilidad de Weibull TUNSHI 2014..... | 221 |
| Tabla 150-B. Valores promedio de dirección y velocidad TUNSHI 2015..... | 222 |
| Tabla 151-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio TUNSHI 2015 | 224 |
| Tabla 152-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima TUNSHI 2015 | 225 |
| Tabla 153-B. Valores de X e Y doble logarítmica TUNSHI 2015..... | 228 |
| Tabla 154-B. Valores para calcular k y C TUNSHI 2015 | 228 |
| Tabla 155-B. Resultado de k y C TUNSHI 2015 | 228 |
| Tabla 156-B. Distribución acumulativa y complementaria TUNSHI 2015 | 229 |
| Tabla 157-B. Puntos para la aproximación lineal TUNSHI 2015 | 230 |
| Tabla 158-B. Función densidad probabilidad de Weibull TUNSHI 2015 | 231 |
| Tabla 159-B. Valores promedio de dirección y velocidad TUNSHI 2016..... | 232 |
| Tabla 160-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio TUNSHI 2016 | 233 |
| Tabla 161-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima TUNSHI 2016 | 234 |
| Tabla 162-B. Valores de X e Y doble logarítmica TUNSHI 2016..... | 237 |
| Tabla 163-B. Valores para calcular k y C TUNSHI 2016 | 238 |
| Tabla 164-B. Resultado de k y C TUNSHI 2016 | 238 |
| Tabla 165-B. Distribución acumulativa y complementaria TUNSHI 2016 | 238 |
| Tabla 166-B. Puntos para la aproximación lineal TUNSHI 2016 | 239 |
| Tabla 167-B. Función densidad probabilidad de Weibull TUNSHI 2015 | 241 |
| Tabla 168-B. Valores promedio de dirección y velocidad URBINA 2014 | 242 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 169-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio URBINA 2014 | 243 |
| Tabla 170-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima URBINA 2014..... | 244 |
| Tabla 171-B. Valores de X e Y doble logarítmica URBINA 2014 | 247 |
| Tabla 172-B. Valores para calcular k y C URBINA 2014 | 248 |
| Tabla 173-B. Resultado de k y C URBINA 2014..... | 248 |
| Tabla 174-B. Distribución acumulativa y complementaria URBINA 2014..... | 249 |
| Tabla 175-B. Puntos para la aproximación lineal URBINA 2014 | 250 |
| Tabla 176-B. Función densidad probabilidad de Weibull URBINA 2014..... | 251 |
| Tabla 177-B. Valores promedio de dirección y velocidad | 252 |
| Tabla 178-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio URBINA 2015 | 254 |
| Tabla 179-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima URBINA 2015..... | 255 |
| Tabla 180-B. Valores de X e Y doble logarítmica URBINA 2015 | 258 |
| Tabla 181-B. Valores para calcular k y C URBINA 2015 | 259 |
| Tabla 182-B. Resultado de k y C URBINA 2015..... | 259 |
| Tabla 183-B. Distribución acumulativa y complementaria URBINA 2015..... | 260 |
| Tabla 184-B. Puntos para la aproximación lineal URBINA 2015 | 261 |
| Tabla 185-B. Función densidad probabilidad de Weibull URBINA 2015..... | 262 |
| Tabla 186-B. Valores promedio de dirección y velocidad URBINA 2016 | 263 |
| Tabla 187-B. Distribución de frecuencias de velocidad promedio URBINA 2016 | 265 |
| Tabla 188-B. Distribución de frecuencias de velocidad máxima URBINA 2016..... | 266 |
| Tabla 189-B. Valores de X e Y doble logarítmica URBINA 2016 | 269 |
| Tabla 190-B. Valores para calcular k y C URBINA 2016 | 270 |
| Tabla 191-B. Resultado de k y C URBINA 2015..... | 270 |
| Tabla 192-B. Distribución acumulativa y complementaria URBINA 2016..... | 271 |
| Tabla 193-B. Puntos para la aproximación lineal URBINA 2016 | 272 |
| Tabla 194-B. Función densidad probabilidad de Weibull URBINA 2016..... | 273 |
| Tabla 195-C. Potencia instantánea, potencia media de salida ATILLO 2014..... | 275 |
| Tabla 196-C. Potencia Disponible ATILLO 2014..... | 276 |
| Tabla 197-C. Potencia instantánea, potencia media de salida ATILLO 2016..... | 277 |
| Tabla 198-C. Potencia Disponible ATILLO 2016..... | 278 |
| Tabla 199-C. Potencia instantánea, potencia media de salida ESPOCH 2014..... | 279 |
| Tabla 200-C. Potencia Disponible ESPOCH 2014..... | 280 |
| Tabla 201-C. Potencia instantánea, potencia media de salida ESPOCH 2015..... | 281 |
| Tabla 202-C. Potencia Disponible ESPOCH 2015..... | 282 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 203-C. Potencia instantánea, potencia media de salida ESPOCH 2016..... | 283 |
| Tabla 204-C. Potencia Disponible ESPOCH 2016..... | 284 |
| Tabla 205-C. Potencia instantánea, potencia media de salida MATUS 2014 | 285 |
| Tabla 206-C. Potencia Disponible MATUS 2014 | 286 |
| Tabla 207-C. Potencia instantánea, potencia media de salida MATUS 2015 | 287 |
| Tabla 208-C. Potencia Disponible MATUS 2015 | 287 |
| Tabla 209-C. Potencia instantánea, potencia media de salida MATUS 2016 | 288 |
| Tabla 210-C. Potencia Disponible MATUS 2016 | 289 |
| Tabla 211-C. Potencia instantánea, potencia media de salida QUIMIAG 2014 | 290 |
| Tabla 212-C. Potencia Disponible QUIMIAG 2014 | 290 |
| Tabla 213-C. Potencia instantánea, potencia media de salida QUIMIAG 2015 | 291 |
| Tabla 214-C. Potencia Disponible QUIMIAG 2015 | 292 |
| Tabla 215-C. Potencia instantánea, potencia media de salida QUIMIAG 2016 | 293 |
| Tabla 216-C. Potencia Disponible QUIMIAG 2016 | 293 |
| Tabla 217-C. Potencia instantánea, potencia media de salida SAN JUAN 2014..... | 294 |
| Tabla 218-C. Potencia Disponible SAN JUAN 2014..... | 295 |
| Tabla 219-C. Potencia instantánea, potencia media de salida SAN JUAN 2015..... | 296 |
| Tabla 220-C. Potencia Disponible SAN JUAN 2015..... | 297 |
| Tabla 221-C. Potencia instantánea, potencia media de salida SAN JUAN 2016..... | 298 |
| Tabla 222-C. Potencia Disponible SAN JUAN 2016..... | 299 |
| Tabla 223-C. Potencia instantánea, potencia media de salida TUNSHI 2014 | 300 |
| Tabla 224-C. Potencia Disponible TUNSHI 2014 | 301 |
| Tabla 225-C. Potencia instantánea, potencia media de salida TUNSHI 2015 | 302 |
| Tabla 226-C. Potencia Disponible TUNSHI 2015 | 303 |
| Tabla 227-C. Potencia instantánea, potencia media de salida TUNSHI 2016 | 304 |
| Tabla 228-C. Potencia Disponible TUNSHI 2016 | 305 |
| Tabla 229-C. Potencia instantánea, potencia media de salida URBINA 2014..... | 306 |
| Tabla 230-C. Potencia Disponible URBINA 2014..... | 307 |
| Tabla 231-C. Potencia instantánea, potencia media de salida URBINA 2015..... | 308 |
| Tabla 232-C. Potencia Disponible URBINA 2015..... | 309 |
| Tabla 233-C. Potencia instantánea, potencia media de salida URBINA 2016..... | 310 |
| Tabla 234-C. Potencia Disponible URBINA 2016..... | 311 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Producción Energética Anual con su respectiva fuente energética | 2 |
| Figura 2. Componentes de vector velocidad..... | 21 |
| Figura 3. Componente de velocidad de viento | 22 |
| Figura 4. Producción eléctrica por años..... | 30 |
| Figura 5. Histograma de frecuencias velocidad promedio ATILLO 2015. | 38 |
| Figura 6.- Histograma de frecuencias velocidad máxima ATILLO 2015 | 39 |
| Figura 7. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media ATILLO 2015 | 40 |
| Figura 8. Variaciones mensuales velocidad media ATILLO 2015 | 40 |
| Figura 9. Variaciones diarias velocidad media ATILLO 2015 | 41 |
| Figura 10. Variaciones diarias de velocidad máxima ATILLO 2015..... | 41 |
| Figura 11. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 45 |
| Figura 12. Aproximación lineal y puntos de doble logarítmica Atillo 2015 | 46 |
| Figura 13. Aproximación distribución de Weibull Atillo 2015..... | 48 |
| Figura 14. Velocidad del viento en relación a la altura | 52 |
| Figura 15. Rosa de los vientos en ATILLO 2015..... | 54 |
| Figura 16. Rosa de los vientos en el sitio (ATILLO 2015) | 55 |
| Figura 17. Mapa de la provincia de Chimborazo..... | 57 |
| Figura 18. Representación de la estaciones | 58 |
| Figura 19-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio ATILLO 2014 | 72 |
| Figura 20-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima ATILLO 2014 | 74 |
| Figura 21-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media ATILLO 2014 | 74 |
| Figura 22-B. Variaciones mensuales de la velocidad media ATILLO 2014..... | 75 |
| Figura 23-B. Variaciones diarias de la velocidad media ATILLO 2014..... | 75 |
| Figura 24. -B Variaciones diarias de velocidad máxima ATILLO 2014..... | 76 |
| Figura 25-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 78 |
| Figura 26-B. Aproximación lineal y puntos de la transformación doble logarítmica | 79 |
| Figura 27-B. Aproximación distribución de Weibull | 80 |
| Figura 28-B. Histograma frecuencias velocidad promedio ATILLO 2016..... | 82 |
| Figura 29-B. Histograma frecuencias velocidad máxima ATILLO 2016 | 84 |
| Figura 30-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media ATILLO 2016 | 84 |
| Figura 31-B. Variaciones mensuales de la velocidad media ATILLO 2016..... | 85 |
| Figura 32-B. Variaciones diarias de la velocidad media ATILLO 2016..... | 85 |

| | |
|---|-----|
| Figura 33-B. Variaciones diarias de la velocidad máxima ATILLO 2016..... | 86 |
| Figura 34-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 88 |
| Figura 35-B. Aproximación lineal y puntos de doble logarítmica | 90 |
| Figura 36-B. Aproximación distribución de Weibull | 91 |
| Figura 37-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio ESPOCH 2014 | 94 |
| Figura 38-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media ESPOCH 2014 | 95 |
| Figura 39-B. Variaciones mensuales de velocidad media ESPOCH 2014..... | 95 |
| Figura 40-B. Variaciones diarias de velocidad media ESPOCH 2014..... | 96 |
| Figura 41-B. Variaciones diarias de velocidad máxima ESPOCH 2014..... | 96 |
| Figura 42-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 99 |
| Figura 43-B. Aproximación lineal y puntos de la transformación doble logarítmica .. | 100 |
| Figura 44-B. Aproximación distribución de Weibull | 101 |
| Figura 45-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio ESPOCH 2015 | 104 |
| Figura 46-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima ESPOCH 2015..... | 105 |
| Figura 47-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media ESPOCH 2015 | 106 |
| Figura 48-B. Variaciones mensuales de la velocidad media ESPOCH 2015 | 106 |
| Figura 49-B. Variaciones diarias de velocidad media ESPOCH 2015..... | 107 |
| Figura 50-B. Variaciones diarias velocidad máxima ESPOCH 2015 | 107 |
| Figura 51-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 109 |
| Figura 52-B. Aproximación lineal y puntos de doble logarítmica | 111 |
| Figura 53-B. Aproximación distribución de Weibull | 112 |
| Figura 54-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio ESPOCH 2016 | 114 |
| Figura 55-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima ESPOCH 2016..... | 116 |
| Figura 56-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media ESPOCH 2016 | 116 |
| Figura 57-B. Variaciones mensuales de velocidad media ESPOCH 2016..... | 117 |
| Figura 58-B. Variaciones diarias de velocidad media ESPOCH 2016..... | 117 |
| Figura 59-B. Variaciones diarias de velocidad máxima ESPOCH 2016..... | 118 |
| Figura 60-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 120 |
| Figura 61-B. Aproximación lineal y puntos doble logarítmica | 121 |
| Figura 62-B. Aproximación distribución de Weibull | 122 |
| Figura 63-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio MATUS 2014 | 125 |
| Figura 64-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima MATUS 2014..... | 126 |
| Figura 65-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media MATUS 2014..... | 126 |
| Figura 66-B. Variaciones mensuales de velocidad media MATUS 2014 | 127 |

| | |
|---|-----|
| Figura 67-B. Variaciones diarias de velocidad media MATUS 2014 | 127 |
| Figura 68-B. Variaciones diarias de velocidad máxima MATUS 2014 | 128 |
| Figura 69-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 130 |
| Figura 70-B. Aproximación lineal y puntos de la transformación doble logarítmica .. | 131 |
| Figura 71-B. Aproximación distribución de Weibull | 132 |
| Figura 72-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio MATUS 2015 | 135 |
| Figura 73-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima MATUS 2015 | 136 |
| Figura 74-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media MATUS 2015 | 136 |
| Figura 75-B. Variaciones mensuales de velocidad media MATUS 2015 | 137 |
| Figura 76-B. Variaciones diarias de velocidad media MATUS 2015 | 137 |
| Figura 77-B. Variaciones diarias de velocidad máxima MATUS 2015 | 138 |
| Figura 78-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 140 |
| Figura 79-B. Aproximación lineal y puntos de doble logarítmica | 141 |
| Figura 80-B. Aproximación distribución de Weibull | 142 |
| Figura 81-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio MATUS 2016 | 144 |
| Figura 82-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima MATUS 2016 | 146 |
| Figura 83-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media MATUS 2016 | 146 |
| Figura 84-B. Variaciones mensuales de velocidad media MATUS 2016 | 147 |
| Figura 85-B. Variaciones diarias de la velocidad media en MATUS 2016 | 147 |
| Figura 86-B. Variaciones diarias de velocidad máxima MATUS 2016 | 148 |
| Figura 87-B. Distribución acumulativa y complementaria | 150 |
| Figura 88-B. Aproximación lineal y puntos de doble logarítmica | 151 |
| Figura 89-B. Aproximación distribución de Weibull | 152 |
| Figura 90-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio QUIMIAG 2014 | 155 |
| Figura 91-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima QUIMIAG 2014 | 156 |
| Figura 92-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media QUIMIAG 2014 | 157 |
| Figura 93-B. Variaciones mensuales velocidad media QUIMIAG 2014 | 157 |
| Figura 94-B. Variaciones diarias velocidad media QUIMIAG 2014 | 158 |
| Figura 95-B. Variaciones diarias velocidad máxima QUIMIAG 2014 | 158 |
| Figura 96-B. Distribución acumulativa y complementaria | 160 |
| Figura 97-B. Aproximación lineal y puntos de transformación doble logarítmica | 162 |
| Figura 98-B. Aproximación distribución de Weibull | 162 |
| Figura 99-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio QUIMIAG 2015 | 165 |
| Figura 100-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima QUIMIAG 2015 | 166 |

| | |
|---|-----|
| Figura 101-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media QUIMIAG 2015 | 167 |
| Figura 102-B. Variaciones mensuales velocidad media QUIMIAG 2015 | 167 |
| Figura 103-B. Variaciones diarias de la velocidad media QUIMIAG 2015 | 168 |
| Figura 104-B. Variaciones diarias velocidad máxima QUIMIAG 2015 | 168 |
| Figura 105-B. Distribución acumulativa y complementaria..... | 170 |
| Figura 106-B. Aproximación lineal y puntos de la transformación doble logarítmica | 172 |
| Figura 107-B. Aproximación distribución de Weibull | 172 |
| Figura 108-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio QUIMIAG 2016..... | 174 |
| Figura 109-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima QUIMIAG 2016 | 175 |
| Figura 110-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media QUIMIAG 2016 | 176 |
| Figura 111-B. Variaciones mensuales velocidad media QUIMIAG 2016 | 176 |
| Figura 112-B. Variaciones diarias velocidad media QUIMIAG 2016 | 177 |
| Figura 113-B. Variaciones diarias velocidad máxima QUIMIAG 2016 | 177 |
| Figura 114-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 179 |
| Figura 115-B. Aproximación lineal y puntos de doble logarítmica | 181 |
| Figura 116-B. Aproximación distribución de Weibull | 181 |
| Figura 117-B. Histograma de frecuencias de velocidad promedio SAN JUAN 2014 . | 184 |
| Figura 118-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima SAN JUAN 2014..... | 185 |
| Figura 119-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media SAN JUAN 2014..... | 185 |
| Figura 120-B. Variaciones mensuales velocidad media SAN JUAN 2014..... | 186 |
| Figura 121-B. Variaciones diarias velocidad media SAN JUAN 2014..... | 186 |
| Figura 122-B. Variaciones diarias velocidad máxima SAN JUAN 2014..... | 187 |
| Figura 123-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 189 |
| Figura 124-B. Aproximación lineal y puntos del doble logarítmica | 191 |
| Figura 125-B. Aproximación distribución de Weibull | 192 |
| Figura 126-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio SAN JUAN 2015 | 195 |
| Figura 127-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima SAN JUAN 2015..... | 196 |
| Figura 128-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media SAN JUAN 2015..... | 196 |
| Figura 129-B. Variaciones mensuales velocidad media SAN JUAN 2015..... | 197 |
| Figura 130-B. Variaciones diarias de la velocidad media en SAN JUAN 2015 | 197 |
| Figura 131-B. Variaciones diarias de la velocidad máxima SAN JUAN 2015 | 198 |
| Figura 132-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 200 |
| Figura 133-B. Aproximación lineal y puntos doble logarítmica | 201 |
| Figura 134-B. Aproximación distribución de Weibull | 202 |

| | |
|--|-----|
| Figura 135-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio SAN JUAN 2016 | 204 |
| Figura 136-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima SAN JUAN 2016..... | 205 |
| Figura 137-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media SAN JUAN 2016..... | 206 |
| Figura 138-B. Variaciones mensuales de la velocidad media SAN JUAN 2016..... | 206 |
| Figura 139-B. Variaciones diarias de la velocidad media SAN JUAN 2016 | 207 |
| Figura 140-B. Variaciones diarias de la velocidad máxima en SAN JUAN 2016 | 207 |
| Figura 141-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 209 |
| Figura 142-B. Aproximación lineal y puntos doble logarítmica | 211 |
| Figura 143-B. Aproximación distribución de Weibull | 212 |
| Figura 144-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio TUNSHI 2014..... | 214 |
| Figura 145-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima TUNSHI 2014 | 215 |
| Figura 146-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media TUNSHI 2014 | 216 |
| Figura 147-B. Variaciones mensuales velocidad media TUNSHI 2014 | 216 |
| Figura 148-B. Variaciones diarias velocidad media TUNSHI 2014 | 217 |
| Figura 149-B. Variaciones diarias velocidad máxima TUNSHI 2014 | 217 |
| Figura 150-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 219 |
| Figura 151-B. Aproximación lineal y puntos doble logarítmica | 221 |
| Figura 152-B. Aproximación distribución de Weibull | 222 |
| Figura 153-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio TUNSHI 2015..... | 224 |
| Figura 154-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima TUNSHI 2015 | 225 |
| Figura 155-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media TUNSHI 2015 | 226 |
| Figura 156-B. Variaciones mensuales de la velocidad media TUNSHI 2015..... | 226 |
| Figura 157-B. Variaciones diarias de la velocidad media en TUNSHI 2015..... | 227 |
| Figura 158-B. Variaciones diarias de la velocidad máxima en TUNSHI 2015..... | 227 |
| Figura 159-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 229 |
| Figura 160-B. Aproximación lineal y puntos doble logarítmica | 231 |
| Figura 161-B. Aproximación distribución de Weibull | 232 |
| Figura 162-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio en TUNSHI 2016 | 234 |
| Figura 163-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima en TUNSHI 2016 | 235 |
| Figura 164-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media en TUNSHI 2016 | 235 |
| Figura 165-B. Variaciones mensuales velocidad media TUNSHI 2016 | 236 |
| Figura 166-B. Variaciones diarias de la velocidad media en TUNSHI 2016..... | 236 |
| Figura 167-B. Variaciones diarias de velocidad máxima TUNSHI 2016 | 237 |
| Figura 168-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 239 |

| | |
|---|-----|
| Figura 169-B. Aproximación lineal y puntos doble logarítmica | 240 |
| Figura 170-B. Aproximación distribución de Weibull | 241 |
| Figura 171-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio URBINA 2014 | 244 |
| Figura 172-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima en URBINA 2014..... | 245 |
| Figura 173-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media en URBINA 2014..... | 245 |
| Figura 174-B. Variaciones mensuales velocidad media URBINA 2014..... | 246 |
| Figura 175-B. Variaciones diarias velocidad media URBINA 2014..... | 246 |
| Figura 176-B. Variaciones diarias de la velocidad máxima en URBINA 2014 | 247 |
| Figura 177-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 249 |
| Figura 178-B. Aproximación lineal y puntos doble logarítmica | 251 |
| Figura 179-B. Aproximación distribución de Weibull | 252 |
| Figura 180-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio URBINA 2015 | 254 |
| Figura 181-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima URBINA 2015..... | 256 |
| Figura 182-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media en URBINA 2015..... | 256 |
| Figura 183-B. Variaciones mensuales velocidad media URBINA 2015..... | 257 |
| Figura 184-B. Variaciones diarias de la velocidad media URBINA 2015 | 257 |
| Figura 185-B. Variaciones diarias de la velocidad máxima URBINA 2015 | 258 |
| Figura 186-B. Distribución acumulativa y complementaria..... | 260 |
| Figura 187-B. Aproximación lineal y puntos doble logarítmica | 262 |
| Figura 188-B. Aproximación distribución de Weibull | 263 |
| Figura 189-B. Histograma de frecuencias velocidad promedio URBINA 2016 | 265 |
| Figura 190-B. Histograma de frecuencias velocidad máxima URBINA 2016..... | 267 |
| Figura 191-B. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media URBINA 2016 | 267 |
| Figura 192-B. Variaciones mensuales de la velocidad media URBINA 2016..... | 268 |
| Figura 193-B. Variaciones diarias de la velocidad media URBINA 2016..... | 268 |
| Figura 194-B. Variaciones diarias velocidad máxima URBINA 2016 | 269 |
| Figura 195-B. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria | 271 |
| Figura 196-B. Aproximación lineal y puntos doble logarítmica | 273 |
| Figura 197-B. Aproximación distribución de Weibull | 274 |
| Figura 198-D. Rosa de los vientos en ATILLO 2014..... | 313 |
| Figura 199-D. Rosa de los vientos en el sitio ATILLO 2014..... | 314 |
| Figura 200-D. Rosa de los vientos en ATILLO 2016..... | 315 |
| Figura 201-D. Rosa de los vientos en el sitio ATILLO 2016..... | 316 |
| Figura 202-D. Rosa de los vientos en ESPOCH 2014..... | 317 |

| | |
|--|-----|
| Figura 203-D. Rosa de los vientos en el sitio ESPOCH 2014..... | 318 |
| Figura 204-D. Rosa de los vientos en ESPOCH 2015..... | 319 |
| Figura 205-D. Rosa de los vientos en el sitio ESPOCH 2015..... | 320 |
| Figura 206-D. Rosa de los vientos en ESPOCH 2016..... | 321 |
| Figura 207-D. Rosa de los vientos en el sitio ESPOCH 2016..... | 322 |
| Figura 208-D. Rosa de los vientos en MATUS 2014..... | 323 |
| Figura 209-D. Rosa de los vientos en el sitio MATUS 2014..... | 324 |
| Figura 210-D. Rosa de los vientos en MATUS 2015..... | 325 |
| Figura 211-D. Rosa de los vientos en el sitio MATUS 2015..... | 326 |
| Figura 212-D. Rosa de los vientos en MATUS 2016..... | 327 |
| Figura 213-D. Rosa de los vientos en el sitio MATUS 2016..... | 328 |
| Figura 214-D. Rosa de los vientos en QUIMIAG 2014..... | 329 |
| Figura 215-D. Rosa de los vientos en el sitio QUIMIAG 2014..... | 330 |
| Figura 216-D. Rosa de los vientos en QUIMIAG 2015..... | 331 |
| Figura 217-D. Rosa de los vientos en el sitio QUIMIAG 2015..... | 332 |
| Figura 218-D. Rosa de los vientos en QUIMIAG 2016..... | 333 |
| Figura 219-D. Rosa de los vientos en el sitio QUIMIAG 2016..... | 334 |
| Figura 220-D. Rosa de los vientos en SAN JUAN 2014..... | 335 |
| Figura 221-D. Rosa de los vientos en el sitio SAN JUAN 2014..... | 336 |
| Figura 222-D. Rosa de los vientos en SAN JUAN 2015..... | 337 |
| Figura 223-D. Rosa de los vientos en el sitio SAN JUAN 2015..... | 338 |
| Figura 224-D. Rosa de los vientos en SAN JUAN 2016..... | 339 |
| Figura 225-D. Rosa de los vientos en el sitio SAN JUAN 2016..... | 340 |
| Figura 226-D. Rosa de los vientos en TUNSHI 2014..... | 341 |
| Figura 227-D. Rosa de los vientos en el sitio TUNSHI 2014..... | 342 |
| Figura 228-D. Rosa de vientos en TUNSHI 2015..... | 343 |
| Figura 229-D. Rosa de los vientos en el sitio TUNSHI 2015..... | 344 |
| Figura 230-D. Rosa de los vientos en TUNSHI 2016..... | 345 |
| Figura 231-D. Rosa de los vientos en el sitio TUNSHI 2016..... | 346 |
| Figura 232-D. Rosa de los vientos en URBINA 2014..... | 347 |
| Figura 233-D. Rosa de los vientos en el sitio URBINA 2014..... | 348 |
| Figura 234-D. Rosa de los vientos en URBINA 2015..... | 349 |
| Figura 235-D. Rosa de los vientos en el sitio URBINA 2015..... | 350 |
| Figura 236-D. Rosa de los vientos en URBINA 2016..... | 351 |

| | |
|---|-----|
| Figura 237-D. Rosa de los vientos en sitio URBINA 2016..... | 352 |
|---|-----|

SIMBOLOGÍA

| | | |
|------------------------|----------------------------------|------------------------|
| GW | Gigavatio | $10^9 W$ |
| MW | Megavatio | $10^6 W$ |
| kV | Kilovatio | $10^3 W$ |
| KWh | Kilovatio-hora | $10^3 Wh$ |
| TWh/año | Tera vatio-hora por cada año | $10^9 W$ |
| tep | Tonelada Equivalente de petróleo | 11.63 kWh |
| A | Área | m^2 |
| ρ | Corrección de densidad del aire | kg/m ³ |
| t | Temperatura | °C |
| h | Altura sobre el nivel del mar | M.s.n.m. |
| Pd | Potencia disponible | kW |
| E.A.D | Energía anual disponible | MWh/año |

LISTA DE ABREVIACIONES

| | |
|------------------------------|---|
| OCDE | Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos |
| m.s.n.m. | Metros sobre el nivel del mar |
| GEAA | Grupo de Energías Alternativas y Ambiente |
| IDI | Instituto de Investigación de la ESPOCH |
| CEAA-ESPOCH | Centro de Investigación en Energías Alternativas y Ambiente |
| GIS | Sistema de información geográfico |
| Mean | Valor medio |
| Std. Deviation | Desviación estándar |
| Std. Error | Error estándar |
| Confidence Interval for Mean | Intervalo de confiabilidad media |
| Lower Bound | Valor Limite inferior |
| Upper Bound | Valor Limite superior |
| PMS | Potencia Media de salida |
| PMSA | Potencia Media de salida Acumulada |
| ID | Identidad de estación |
| ENYA | Energía y ambiente |

LISTA DE ANEXOS

- A Características del aerogenerador
- B Velocidades y dirección del viento promedio y máximas para las estaciones monitoreadas
- C Potencias obtenidas con el aerogenerador propuesto
- D Rosa de los vientos para las estaciones monitoreadas

RESUMEN

El presente trabajo realiza un estudio de viabilidad técnica dentro del campo de energías alternativas con base en la energía eólica, para la conformación de un posible parque eólico mediante métodos probabilísticos en la Provincia de Chimborazo. La investigación es de tipo experimental, se dispondrá de información sobre las siguientes variables: velocidad de viento promedio y máximo, direcciones del viento promedio y máxima, medidas tomadas a 10 metros de altura. El estudio abarcará la estimación de la energía eólica en 7 estaciones monitoreadas por Centro de Investigación en Energías Alternativas y Ambiente de la Espoch, tales como; Espoch, Atillo, Matus, Quimiag, San Juan, Tunshi, Urbina. La técnica utilizada fue la del fichaje que consiste en recopilar información secundaria ya existente sobre la velocidad y dirección del viento en todas las estaciones, que fue proporcionada por GEAA, el instrumento fue una ficha de recolección de datos el mismo que registró nombre de estación, año, mes, día, hora de la toma de cada dato, identificar y seleccionar datos de las estaciones de control, trasladar datos a mapas georreferenciados en el sistema GIS, analizar estadísticamente los datos y reportar resultados. Como consecuencia del presente trabajo investigativo se obtuvo que dos de las siete estaciones monitoreadas, nos ofrecen un potencial eólico que pueden cumplir con un requerimiento energético del 50% de los pobladores de la zona como son Atillo y Urbina, con un aporte de recurso eólico de energía anual extraíble de 414 MWh/año, La aleatoriedad del viento, afecta significativamente a la energía eólica extraíble por unidad de área, pequeñas variaciones en la velocidad producen cambios importantes debido a que la potencia varía con el cubo de esa velocidad.

PALABRAS CLAVES: <ENERGÍA ALTERNATIVA>, <POTENCIAL EÓLICO>, <ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE CHIMBORAZO>, <LONGITUD DE RUGOSIDAD>, <SOFTWARE ESTADISTICO SPSS 23.0>, <WRPLOT View™ (SOFTWARE)>, <GOOGLE EARTH (SOFTWARE)>.

ABSTRACT

The present work carries out a technical feasibility study within the field of alternative energies with bases in the wind potential, for the conformation of a possible wind farm by means of probabilistic methods at Chimborazo Province. The research is of an experimental type, information will be available on the following variables: average and maximum wind speed, average and maximum wind directions, measures taken at 10 meters in height. The study will cover the estimation of wind energy in 7 stations monitored by Espoch Research Center for Alternative Energy and Environment, such as; Espoch, Atillo, Matus, Quimiag, San Juan, Tunshi and Urbina. The technique used was the one of the signing that consists of collecting secondary information already existent on the speed and direction of the wind in all the stations, that was provided by GEAA, the instrument was a record of data collection the same that register name of station, Year, Month, day, time of taking each date, identify and select data from control stations, transfer data to georeferenced maps in the GIS system, statistically analyze data and report results. As a consequence of the present investigation, it was obtained that two of the seven stations monitored, offer us a wind potential that can meet an energy requirement of 50% of the inhabitants of area such as Atillo and Urbina with a contribution of wind energy resource Annual withdrawals of 414 MWh/year, wind randomness, significantly affects the removable wind energy per unit area, small variations in speed produce important changes because the power varies with the hub of that speed.

KEYWORDS: <ALTERNATIVE ENERGY>, <WIND POTENTIAL>, <CHIMBORAZO METEOROLOGICAL STATION>, <RUGGED LENTH>, <STATISTICAL SOFTWARE SPSS 23.0>, <WRPLOT ViewTM (SOFTWARE)>, <GOOGLE EARTH (SOFTWARE)>.

CAPÍTULO I

1.- INTRODUCCIÓN

1.1.- Identificación del problema

Energía, se considera como el trabajo que realizan los cuerpos para producir electricidad, luz, calor, movimiento mecánico entre otras aplicaciones, por ello los procesos utilizados para obtener energía eléctrica, son fuente energética renovable y fuente energética no renovable. (ITC, 2008)

En el Ecuador, la principal fuente de generación de energía es Térmica, esto implica el consumo de derivados de petróleo como el bunker, que se considera energía no renovable, los cuales afectan directa e indirectamente al medio ambiente, por tal motivo es necesario un cambio energético, donde se aplique el uso de nuevas y actuales formas de producción con energía renovable.

Las investigaciones realizadas en base al potencial eólico, catapultaron a la Central Eólica Villonaco, como uno de los proyectos pioneros a nivel de Sudamérica, que se encuentra ubicado en la provincia de Loja (MEER), otro emblemático proyecto realizado se localiza en la isla San Cristóbal del Archipiélago de Galápagos, dentro de la misma está el proyecto Baltra- Santa Cruz (Proyectos en Galápagos, 2014), cada uno de los proyecto se enfocan en buscar y aprovechar fuentes de energía alternativa que ayuden a la solución de problemas energéticos y ecológicos.

El trabajo mancomunado de todas las centrales termoeléctricas hace referencia a una producción de 10 870,42 GWH en el año 2016 ver fig. 1, en comparación con los parque eólicos que generan 83,96 GWH en al mismo año, estos indicadores muestran que se puede llegar a reducir la producción de centrales térmicas y compensar con parques eólicos en distintos sectores estratégicos del país.

Figura 1. Producción Energética Anual con su respectiva fuente energética

| | | | Medidas | | | | | | | | | |
|------|-----------------|------------------|---------------|--------|----------|--------|------------|---------------|-------|------------|---------|---------------|
| | | | Energía (GWh) | | | | | | | | | Variación (%) |
| | | | Tipo Central | | | | | | | | | Tipo Central |
| Año | Tipo de Energía | Sub tipo Central | Todos | Biogas | Biomasa | Eólica | Hidráulica | Interconexión | Solar | Térmica | Todos | |
| - | Todos | Todos | 327.348,34 | 13,28 | 3.284,89 | 335,24 | 170.733,40 | 13.137,46 | 95,42 | 139.748,64 | | |
| 1999 | Todos | Todos | 10.331,88 | | | | 7.176,73 | 23,76 | | 3.131,39 | | |
| 2000 | Todos | Todos | 10.612,44 | | | | 7.611,23 | | | 3.001,21 | 2,64 % | |
| 2001 | Todos | Todos | 11.072,03 | | | | 7.070,65 | 22,23 | | 3.979,15 | 4,15 % | |
| 2002 | Todos | Todos | 11.943,86 | | | | 7.524,26 | 56,30 | | 4.363,30 | 7,30 % | |
| 2003 | Todos | Todos | 12.665,74 | | | | 7.180,42 | 1.119,61 | | 4.365,71 | 5,70 % | |
| 2004 | Todos | Todos | 14.226,46 | | 3,24 | | 7.411,70 | 1.641,61 | | 5.169,90 | 10,97 % | |
| 2005 | Todos | Todos | 15.127,47 | | 102,86 | | 6.882,64 | 1.723,45 | 0,01 | 6.418,51 | 5,96 % | |
| 2006 | Todos | Todos | 16.686,32 | | 145,56 | | 7.129,49 | 1.570,47 | 0,01 | 7.840,79 | 9,34 % | |
| 2007 | Todos | Todos | 18.197,52 | | 218,75 | 0,96 | 9.037,66 | 860,87 | 0,02 | 8.079,27 | 8,30 % | |
| 2008 | Todos | Todos | 19.108,69 | | 208,32 | 2,68 | 11.293,33 | 500,16 | 0,03 | 7.104,16 | 4,77 % | |
| 2009 | Todos | Todos | 19.385,37 | | 216,52 | 3,20 | 9.225,41 | 1.120,75 | 0,01 | 8.819,48 | 1,43 % | |
| 2010 | Todos | Todos | 20.382,76 | | 235,56 | 3,43 | 8.636,40 | 872,90 | 0,00 | 10.634,46 | 4,89 % | |
| 2011 | Todos | Todos | 21.838,73 | | 278,20 | 3,34 | 11.133,09 | 1.294,59 | 0,06 | 9.129,45 | 6,67 % | |
| 2012 | Todos | Todos | 23.086,16 | | 296,35 | 2,40 | 12.237,72 | 238,20 | 0,33 | 10.311,16 | 5,40 % | |
| 2013 | Todos | Todos | 23.922,67 | | 295,79 | 56,70 | 11.038,82 | 662,34 | 3,66 | 11.865,35 | 3,50 % | |
| 2014 | Todos | Todos | 25.143,95 | | 399,47 | 79,74 | 11.457,90 | 836,74 | 16,48 | 12.353,62 | 4,86 % | |
| 2015 | Todos | Todos | 26.462,01 | | 407,75 | 98,81 | 13.096,27 | 511,81 | 36,06 | 12.311,31 | 4,98 % | |
| 2016 | Todos | Todos | 27.154,28 | 13,28 | 476,52 | 83,96 | 15.589,69 | 81,66 | 38,75 | 10.870,42 | 2,55 % | |

Fuente (Agencia de Regulacion y Control de Electricidad, 2016)

Dentro de las operaciones de estudio climático se encuentra el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), el cual está encargado del monitoreo de las estaciones meteorológicas a nivel nacional, basado en los parámetros de la norma de Organización Meteorológica Mundial (OMM), que muestra los procedimientos y alturas para toma de datos de velocidades de viento, para pronosticar el cambio climático que afecte a la producción agrícola, pero no se enfocan a determinar el potencial eólico.

Aunque se han realizado algunas investigaciones para determinar el potencial eólico en determinadas zonas del país, no se conoce de investigaciones con todo el rigor científico que correspondan a la provincia de Chimborazo, por lo que no representa información de valor, pues no existen datos exactos ni probabilísticos acerca del potencial eólico, que permitan proyectar una inversión para la implementación de un parque eólico.

Uno de los aspectos que debe solucionarse para que se siga aumentando la capacidad instalada de energía eólica es la Garantía del suministro, y esto solo se logra mediante estudios de factibilidad técnica, con muestreo de datos de largos periodos que luego son sistematizados para conocer el potencial eólico de la zona. (Cruz, 2012)

1.2.- Justificación

El estudio de viabilidad técnica en energías alternativas como base para la conformación de un parque eólico en la provincia de Chimborazo, que podrá cesar el uso de combustibles fósiles y contaminación ambiental.

Es estrictamente necesario reducir la demanda de combustibles fósiles, con la aportación de la investigación enfocado en la fuente de energía renovable como es el viento, si consideramos tener un parque eólico en la provincia de Chimborazo y conjuntamente con otros proyectos hídricos, biomasa y biogás, se podrá reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, reducir riesgos en la garantía de suministro, reducir la dependencia energética del exterior, reducir transferencia de renta creciente a terceros países.

Mediante los datos de velocidad y dirección de viento, que el Centro de Investigación en Energías Alternativas y Ambiente (CEAA- ESPOCH) recopila con Anemómetros Totalizados o Anemómetros de Hélice con un sensor, lo mismos que se rigen en base al organismo que norma y controla la actividad meteorológica la cuál es la OMM, esta dicta las alturas recomendadas para la toma de datos con distintos instrumentos como son: Termómetros, Medidores de Humedad Atmosférica, Medidores de Precipitación, Medidores de Precipitación, Barométricos, Anemómetros, medidores de Radiación Solar. Todos estos instrumentos indican una aproximación de la condición climática en la actualidad.

Considerando la altitud y latitud donde se encuentra ubicada la provincia de Chimborazo, para aprovechar la presencia continua de vientos provenientes de las zonas montañosas, se plantea el estudio de viabilidad técnica del cual pretende encontrar uno o varios puntos significativos con potencial eólico, los cuales pueden ser considerados para una implementación de un parque eólico.

1.3.- Alcance

El estudio abarca la estimación de la energía eólica en 7 estaciones monitoreadas (ESPOCH, Atillo, Matus, Quimiag, San Juan, Tunshi y Urbina).

Se determinaron mediante la metodología de la distribución de Weibull la distribución acumulativa, la distribución acumulativa complementaria y se graficaron estas distribuciones, además se evaluó los parámetros por el método de mínimos cuadrados, se dedujo la ecuación de regresión lineal, se determinó la frecuencia puntual y la acumulada, se evaluaron los parámetros k (parámetro de forma) y c (parámetro de escala), se graficó la aproximación lineal de Weibull, se determinó la función densidad de probabilidad de Weibull, se calculó la potencia media acumulada de salida y finalmente se evaluó la energía anual extraíble del recurso eólico.

Adicionalmente, se representó la rosa de los vientos con base a los valores de la velocidad promedio del viento en cada una de las estaciones de monitoreo identificadas por sus valores de longitud y latitud en mapas georreferenciados.

Finalmente utilizando el software de Arc GIS se ubicó en cada una de las estaciones los datos más importantes de los resultados obtenidos para que el usuario pueda acceder a los mismos de manera interactiva.

Con la determinación de la energía disponible se estableció la viabilidad técnica de parques eólicos.

1.4.- Objetivo general

- Realizar el estudio de viabilidad técnica de parques eólicos en provincia de Chimborazo.

1.5.- Objetivos específicos

- Fundamentar científicamente el potencial eólico, características e investigaciones realizadas al respecto.
- Analizar la información primaria de las variables: velocidades del viento, dirección del viento, densidad del aire, elevación, temperatura, presión atmosférica, factor de rugosidad.
- Procesar y sistematizar los datos que determinen el potencial eólico de la provincia de Chimborazo.
- Proponer posibles puntos en los cuales el potencial eólico es representativo para un posible parque eólico.

CAPÍTULO II

2.- MARCO REFERENCIAL

2.1.- Antecedentes del estudio

Si bien la utilización del viento como energía no es un tema nuevo, su estudio como energía alternativa y especialmente como energía eólica en el marco de la situación energética contemporánea si lo es.

Desde la primera mitad del siglo XX, la energía eólica a través de los molinos de viento, fue utilizada para bombeo de aguas en la Costa Atlántica, los Llanos Orientales, los valles interandinos y en el altiplano, donde aún operan algunos de estos molinos instalados hace más de cincuenta años. Con la llegada de la energía eléctrica se han abandonado estas tecnologías. (López, 2012)

“El clásico molino de viento, una de las máquinas más antiguas para aprovechar la energía eólica, es una máquina que transforma el viento en energía aprovechable. Esta energía proviene de la acción de la fuerza del viento sobre unas aspas oblicuas unidas a un eje común. El eje giratorio puede conectarse a varios tipos de maquinaria para moler grano, bombear agua o generar electricidad. Si se usa para producir electricidad se le denomina generador de turbina de viento o aerogenerador. La utilización de este tipo de energía denominada como "limpia", en donde solo es aprovechado el viento para la generación de la energía, cuenta con grandes ventajas:

- No se generan emisiones de carbono ni los denominados gases de efecto invernadero.
- No se produce contaminación atmosférica ya que no recurre a la combustión ni a la fusión de combustibles.

A partir del 2007 el crecimiento de los proyectos eólicos se mide en GW. En el 2010 por primera vez, los principales proyectos eólicos fueron instalados en países en desarrollo o en economías emergentes, países que han venido ampliando la diversidad de sus opciones energéticas, tales como China, India y Brasil". (Socag, 2012)

Este crecimiento de la energía eólica en países fuera de la OCDE, ha sido favorecido por el boom eólico en China, país que actualmente tiene la mayor capacidad instalada de energía eólica en el mundo con 44,7 GW, además de que en la actualidad dicho país domina el mercado internacional de turbinas eólicas. Solamente en el período de Enero-Diciembre de 2010, este país instaló 19.9 GW, que constituyen el 49,5 de la capacidad instalada en el mundo. En el caso de la India, el gobierno estima un 102 GW, lo que se plantea un horizonte posible para la nación de un 8% de la demanda para el 2022 y el 5% para el 2032. (AEE, 2012)

En Brasil a finales del 2010 tenía una capacidad instalada de 910MW y las proyecciones fueron de 4.000 MW (4GW) en el 2013. En el caso de otros países de América Latina, México ha pasado de 310 MW en el 2008 a 519MW en el 2010; Argentina tiene 93.5MW instalados; Perú con 150 MW en el 2010; Venezuela con 100MW en construcción. Colombia tiene instalados solo 20MW en el parque eólico de Jepirachi en la Guajira. (López, 2012)

Uruguay un país sin dependencia de petróleo, llegó a tener una revolución en energía eléctrica a partir de generación eólica de América Latina, se considera que en el 2005 no disponían de parques eólicos, ya en el 2015 llegan a tener una capacidad instalada más de 580 MW y se presume que al 2020 tendrán una capacidad superior a los 2 000 MW. (Martins, 2016)

En nuestro país, se han dado ya los primeros pasos en cuanto a lo que respecta a este tipo de energía, al iniciarse los trámites y convenios pertinentes entre Elec-Galápagos S.A. y el Fondo E7 (que representa a algunas de las empresas eléctricas más grandes del mundo) para la instalación de un parque híbrido eólico-solar de 2 MW de potencia, para abastecer en conjunto con el parque de generadores Diésel ya instalado, a la capital del archipiélago de Galápagos, Puerto Baquerizo Moreno en la Isla San Cristóbal que actualmente se encuentra operando. (Socag, 2012)

En la isla Floreana está en funcionamiento el parque eólico con el mismo nombre con una capacidad de 500W con financiamiento de Cooperación española, Junta Parroquial de Floreana, PNG, ERGAL, Ministerio de energía y minas.

Contamos también con la Central Eólica Villonaco de 16.5 MW de potencia inició su construcción en agosto de 2011. Cuenta con 11 aerogeneradores de 1.5 MW cada uno.

Es el primer proyecto eólico en Ecuador continental, además de ser el primero en el mundo con una velocidad promedio anual de 12.7 m/s a una altitud de 2700 msnm. El proyecto se encuentra ubicado en la provincia de Loja, cantón Loja. Los 11 aerogeneradores del tipo GW70/1500, a una altura aproximada de 2720 msnm, a lo largo de la línea de cumbre del cerro Villonaco con una distancia aproximada de 2 km. La subestación de elevación Villonaco 34.5 kV/69 kV tiene una capacidad de 25 MVA y presenta un esquema de conexión de barra principal y transferencia. La subestación Loja, contempla la instalación de una bahía de 69 kV, la cual recibirá la energía proveniente de la subestación Villonaco para ser conectada al Sistema Nacional de Transmisión.

El Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) perteneciente a la Facultad de Ciencias ha venido realizando actividades de investigación en diferentes proyectos en el área energética y ambiental desde 1995. En función al reglamento del instituto de Investigación de la ESPOCH (IDI), en la Facultad de Ciencias la Comisión de Investigación y Transferencia de Ciencia y Tecnología resolvió según resolución No. 010.CITCT.FC.2014 aprobar la conformación del grupo de Investigación GEAA en Julio 2014, el mismo que se encuentra consolidado y reconocido oficialmente en el IDI.

El GEAA ha conseguido realizar estudios puntuales que se han divulgado en diversos eventos científicos. Los proyectos que se han desarrollado dentro del GEAA incluyen trabajos en el área de Investigación energética con iniciativas en la energía solar y aplicaciones a dispositivos termosolares, así como biocombustibles y bioenergía, así mismo, la investigación en el campo ambiental donde se trabajó en conjunto con comunidades alto andinas buscando medios de preservación el ecosistema del páramo como un recurso que mitiga el efecto invernadero y medios de conservación del recurso hídrico. Los proyectos realizados han sido posibles debido al aporte de conocimientos multidisciplinarios de los miembros del GEAA así como de los estudiantes de pregrado y postgrado de la ESPOCH tal como física, química, matemática, biología, Electrónica, biotecnología ambiental, Biofísica, Estadística, Sistemas Informáticos, Telecomunicaciones, Control Automático y Mecánica. Los esfuerzos del GEAA convergen en el estudio, análisis y uso de Herramientas Tecnológicas actuales y recursos biológicos de la región alto andina, buscando el objetivo de la aplicación de

dichas Herramientas orientadas hacia la conservación del medio ambiente y la obtención de energías alternativas.

Ahora el Centro de Investigación en Energías Alternativas y Ambiente (CEAA-ESPOCH), son encargados del desarrollo de investigación en ciencia y tecnología, en el ámbito de las energías alternativas y ambiente, aportando al desarrollo local y nacional por medio de las investigaciones realizadas en la ESPOCH

Las actividades de investigación dentro de los proyectos se han realizado por docentes y estudiantes de la Facultad de Ciencias, Informática y Electrónica, Mecánica, Recursos Naturales, así como por investigadores y colaboradores externos pertenecientes a diferentes instituciones de nivel nacional e internacional, tales como la Escuela Politécnica Nacional, Escuela Superior del Ejército, Universidad Nacional de Chimborazo, logrando de esta manera la producción de resultados investigativos conjuntos y aplicativos con el único propósito de aportar en el progreso de la provincia, las instituciones involucradas y el país.

El Grupo de Energías Alternativas y Ambiente tiene 11 estaciones monitoreadas en la Provincia de Chimborazo:

- Estación Espoch
- Estación Aloa
- Estación Atillo
- Estación Cumanda
- Estación Matus
- Estación Multitud
- Estación Quimiag
- Estación San Juan
- Estación Tixan
- Estación Tunshi
- Estación Urbina

2.2.- Marco conceptual y teórico

El objetivo es desarrollar un marco teórico para contar con diferentes tipos de procedimientos y teorías, que sirvan como un punto de partida para que, al momento de

llevar a cabo una investigación. Se trata de revisar un conjunto de escritos, libros, artículos, y otros documentos que describen el estado pasado y actual del conocimiento sobre el problema de estudio, nos ayuda a documentar como la investigación agrega valor a la literatura existente.

El marco teórico tiene el propósito de dar a la investigación un sistema coordinado y coherente de conceptos y proposiciones que permitan abordar el problema. Se trata de integrar al problema dentro de un ámbito, donde cobre sentido, incorporando los conocimientos previos relativos al mismo y ordenándolos de modo tal que resulten útil a la investigación.

Para el propósito de esta investigación, el marco teórico tiene como objetivo describir las características, ventajas, desventajas, usos, potencia eólica instalada en varios países, el potencial eólico en Ecuador, zonas monitoreadas que miden velocidades del viento y dirección del mismo. Una vez analizado estos factores desde varias perspectivas y varios autores, la teoría consultada aportará a ubicar en ese contexto a la investigación para responder a la pregunta de si existe la factibilidad para instalar un parque eólico en las zonas monitoreadas.

2.2.1.- Energías Renovables

Son recursos que se están regenerando continuamente, de tal manera que se tornan inagotables. (Solar, Eólica, Biomasa, etc.)

La eólica es una fuente renovable, surge a partir del conjunto de interacción de masas de aire las que producen energía cinética, esto incentiva a que su explotación sea técnica y económicamente viable, en unas condiciones de producción y coste competitivas con las fuentes tradicionales (hidráulica, térmica clásica o termonuclear).

2.2.2.- Energías No Renovables

Se considera energía No Renovable aquellos combustibles que no se pueden recuperar en corto tiempo para poder obtenerlos nuevamente tendrán que pasar grandes periodos de tiempo.

Al obtener una fuente de energía de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) fue importante para las primeras formas de extracción de energía, pero al mantener este consumo su fuente se vuelve agotable.

2.2.3.- Energía Eólica

El viento es un movimiento del aire desde áreas de presión más altas, hacia áreas de baja presión. Estas diferencias de presión son causadas por diferencias de temperaturas. Generalmente, las temperaturas más frías desarrollan presiones más altas, debido al aire fresco que se desplaza en dirección a la superficie de La Tierra. Las bajas presiones se forman por el aire caliente que se irradia desde la superficie terrestre. En resumen, el viento se produce al existir una variación de temperatura entre dos puntos. (Domínguez, 2016)

La existencia de viento pone a nuestro alcance una energía totalmente renovable, la energía eólica, aunque siempre estaremos a merced de su variabilidad, lo que nos obligará en muchos casos a disponer de otras fuentes alternativas para poder mantener un régimen continuo de consumo (Domínguez, 2016)

La energía eólica es la que produce el aire atmosférico en movimiento que se conoce comúnmente como viento, aunque este tipo de energía ya se ha utilizado de manera limitada desde hace varios siglos en diversas partes del mundo como en la navegación marítima con los buques de vela, molinos de viento para moler gramíneas como el trigo y el maíz, o para extraer agua del subsuelo entre otros usos, su aplicación y desarrollo se ha acelerado fuertemente en las últimas tres décadas como resultado combinado de la cada vez más preocupante situación ecológica, el aumento constate de los costos de los combustibles fósiles, además la progresiva reducción de las reservas de estos combustibles. (I&T Industria y Tecnología, 2015)

Existen diferentes formas de aplicación de la energía eólica: energía eólica terrestre, energía eólica marina y energía mini eólica. La energía eólica terrestre, en particular, tendrá una importancia cada vez mayor a mediano plazo, en lo que respecta a la estabilidad del sistema. Pero también la energía eólica marina puede contribuir, en el futuro, al abastecimiento básico gracias a las velocidades del viento constantes y al alto grado de utilización en alta mar. (DENA, 2015)

Las empresas alemanas son proveedores líderes en el sector de la energía eólica. El programa de productos cubre desde el desarrollo y la producción de los más variados componentes y sistemas integrales hasta el mantenimiento y gestión de parques eólicos, pasando por el desarrollo de proyectos. Cabe destacar, que los productos y servicios

eólicos de Alemania «Made in Germany» gozan de una excelente reputación en todo el mundo, gracias a su fiabilidad y a su alto nivel de desarrollo tecnológico. (DENA, 2015)

2.2.4.- Características de la energía eólica

Una de las características importantes de la energía eólica, es que para su funcionamiento se necesita de la instalación de un aerogenerador. Otra de las características es que transforma la energía eléctrica sin la necesidad de emitir sustancias tóxicas a la capa de ozono. Además, son de ayuda en lugares alejados donde se dificulta la llegada de electricidad.

La energía eólica es la que puede producir electricidad, para ello se utilizan los aerogeneradores, los mismos que mueven una turbina mientras se considere mayor sea considerada la longitud de las aspas se tiene mayor potencia y energía. (Twenergy, 2012)

2.2.5.- Ventajas de la energía eólica

La energía eólica tiene muchas ventajas que la hacen una fuente de energía atractiva tanto en gran escala como para pequeñas aplicaciones. Las características beneficiosas de la energía eólica incluyen:

- **Energía limpia e inagotable:** La energía del viento no produce ninguna emisión y no se agota en un cierto plazo. Una sola turbina de viento de un megavatio (1 MW) que funciona durante un año puede reemplazar la emisión de más de 1.500 toneladas de dióxido de carbono, 6.5 toneladas de dióxido de sulfuro, 3.2 toneladas de óxidos de nitrógeno, y 60 libras de mercurio.
- **Desarrollo económico local:** Las plantas eólicas pueden proporcionar un flujo constante de ingresos a los terratenientes que arriendan sus campos para la explotación del viento, y un aumento en la recaudación por impuestos territoriales para las comunidades locales.
- **Tecnología modular y escalable:** las aplicaciones eólicas pueden tomar muchas formas, incluyendo grandes granjas de viento, generación distribuida, y sistemas para uso final. Las aplicaciones pueden utilizar estratégicamente los recursos del viento para ayudar a reducir los riesgos por el aumento en la carga o consumo y costos producidos por cortes.

- Estabilidad del costo de la energía: La utilización de energía eólica, a través de la diversificación de las fuentes de energía, reduce la dependencia a los combustibles convencionales que están sujetos a variaciones de precio y volatilidad en su disponibilidad.
- Reducción en la dependencia de combustibles importados: la energía eólica no está afectada a la compra de combustibles importados, manteniendo los fondos dentro del país, y disminuyendo la dependencia a los gobiernos extranjeros que proveen estos combustibles. (Textos científicos, 2014)

2.2.6.- Desventajas de la energía eólica

Sus limitaciones técnicas las tornan una fuente de generación eléctrica carente de confiabilidad para operar como base en un sistema integrado de transmisión. Dicho más sencillamente, al estar integradas a una red de distribución eléctrica, la poca previsibilidad de la generación eólica (condicionada por las constantes variaciones de los vientos), impide la operación constante o al menos con aceptable grado de certeza; motivo por el cual siempre están condicionadas a la existencia de otras usinas convencionales (termoeléctricas, hidroeléctricas, nucleares), que estén en condiciones de suplir los “baches” y “picos” instantáneos de potencia firme y de generación que constantemente producen las eólicas. (Ortíz, 2005)

2.2.7.- Limitaciones Técnicas:

- Necesitan vientos constantes, lo cual es una característica que no existe en todos los lugares de La Tierra.
- Aún en las zonas de alta ventosidad, como la Patagonia, costas atlánticas y puntos de la Cordillera Los Andes, la variabilidad de las corrientes de aire crea inconvenientes técnicos serios, pues las fluctuaciones de potencia firme operable y de generación horaria, diaria y mensual, no han podido solucionarse adecuadamente. Al operar interconectadamente, siempre precisan el respaldo de otras usinas de mayor confiabilidad. Por otra parte, el aerogenerador MM82 sólo son operables con vientos mínimos de 3,5 m/s, con una velocidad nominal de 15 m/s hasta velocidades de 22 m/s (THE WIND POWER, 2017), como también la frecuencia de las usinas eólicas salgan de servicio desconectándose automáticamente.
- Las granjas eólicas, que en rigor son conjuntos de varios molinos que conforman un sistema de generación, requieren la utilización de grandes superficies de tierra, a la

que de uno u otro modo afectan tanto funcional como visualmente, por lo que están lejos del promocionado “nivel de impacto cero”.

- Los vientos de mejor calidad energética (mayor potencia y menor variación) están por regla general alejados de la superficie, lo cual obliga a desarrollar torres de gran altura con palas de grandes diámetros, lo cual conlleva no sólo a mayores costos de instalación, sino a adoptar soluciones técnicas de mayores complejidades. (Ortíz, 2005)

2.2.8.- Limitaciones ambientales:

- Sus procesos de construcción e instalación, así como los de desguace al término de su vida útil, son de altos consumos energéticos, lo cual significa importantes índices de polución encubierta pero absolutamente real.
- Al tener partes mecánicas, precisan lubricación y mantenimiento. Todo ello produce desechos oleosos, fluidos y gaseosos contaminantes, de muy difícil o imposible control o mitigación.
- De optarse por no desmontar los molinos al término de su vida útil, la consecuente degradación por oxidación de sus componentes metálicos producirá contaminación, la cual incluirá componentes tóxicos de algunas aleaciones especiales que conforman esas enormes instalaciones.
- Las enormes superficies a ser utilizadas no resultan ser un dato menor. Como comparación, para una potencia instalada similar a la que tendrá Corpus Christi, es necesario afectar una superficie mínima del orden de 50 metros de ancho por 150 kilómetros de largo, partiendo de la base de instalar una mega granja eólica compuesta por 3.000 (tres mil) molinos de entre 0,8 a 1,2 MW cada uno; cuya producción real (en KWh) –en zonas eólicamente aptas- será menor y muy posiblemente mucho más fluctuante y complejo que el de una gran usina hidroeléctrica.
- Son totalmente dependientes del respaldo de usinas convencionales para cubrir las abruptas variaciones de potencia que son consecuencia en los cambios de ventosidad. Eso obliga a tener “reservas en caliente”, lo cual significa tener “operando en vacío” (quemando combustible o eventualmente desperdiciando caudal de agua) a las centrales convencionales, las que se integran a la red de transmisión al producirse los frecuentes altibajos de las eólicas. (Ortíz, 2005)

2.2.9.- Limitaciones económicas:

- Las limitaciones técnicas descritas, al reducir la previsibilidad y confiabilidad técnica de la operación de las centrales eólicas, obligan a adoptar mecanismos electrónicos que minimicen las variaciones de potencia, así como respaldos externos (otras usinas de diferentes tecnologías) todo lo cual encarece el costo real por KWh.
- Por regla general, las zonas de buena ventosidad están muy alejadas de los centros de consumo; y en muchos casos se ubican en zonas de difícil acceso. Piénsese en los molinos ubicados en pleno Mar Del Norte o Mar Báltico, en zonas montañosas o similares, o inclusive en valles alejados de las redes eléctricas de interconexión. Eso encarece tanto la construcción, como la operación, el mantenimiento y posterior desguace. (Ortíz, 2005)

2.2.10.- Usos de la energía eólica

El uso de la energía eólica para generar electricidad es una de las tecnologías de energías renovables más avanzadas y de mayor utilización. Actualmente está en expansión en muchos países. La caída constante de los costes de sistema debido a las economías de escala en la producción y en el desarrollo de proyectos, así como el alto potencial natural de la energía eólica favorecen su rentabilidad en cada vez más países. (DENA, 2015)

La energía eólica fue aprovechada por primera vez en el Nilo para propulsar barcos de vela por el río. Desde entonces, barcos y embarcaciones han modificado el diseño de las velas para aprovechar todavía más la fuerza que proporciona el viento.

Los molinos de viento fueron, el otro uso más extendido de la energía eólica. La variedad de aplicaciones a las que se destinaron estos, incluían moler grano o bombear agua, hasta que en la revolución industrial la máquina de vapor los reemplazó casi por completo.

El uso más común de la energía eólica en la actualidad es generar electricidad. Turbinas enormes, a menudo construidas en campos llamados granjas de viento, proporcionan una parte de la energía mundial.

Actualmente la energía eólica se aprovecha de dos formas bien diferenciadas: Por una parte se utilizan para sacar agua de los pozos un tipo de eólicas llamados

aerobombas, actualmente hay un modelo de máquinas muy generalizado, los molinos multipala del tipo americano. Directamente a través de la energía mecánica o por medio de bombas estos molinos extraen el agua de los pozos sin más ayuda que la del viento.

Por otra, están ese tipo de eólicas que llevan unidas un generador eléctrico y producen corriente cuando sopla el viento, reciben entonces el nombre de aerogeneradores.

Los aerogeneradores pueden producir energía eléctrica de dos formas:

Las aplicaciones aisladas por medio de pequeña o mediana potencia se utilizan para usos domésticos o agrícolas (iluminación, pequeños electrodomésticos, bombeo, irrigación, etc.), Incluso en instalaciones Industriales para desalación, repetidores aislados de telefonía, TV, instalaciones turísticas y deportivas, etc. En caso de estar condicionados por un horario o una continuidad se precisa introducir sistemas de baterías de acumulación o combinaciones con otro tipo de generadores eléctricos (grupos diesel, placas solares fotovoltaicas, centrales mini hidráulicas)

También se utilizan aerogeneradores de gran potencia en instalaciones aisladas para usos específicos; Desalinización de agua marina, producción de hidrógeno, etc.

La conexión directa a la red viene representada por la utilización de aerogeneradores de potencias grandes (más de 10 ó 100 KW). Aunque en determinados casos y gracias al apoyo de los estados a las energías renovables, es factible la conexión de modelos más pequeños, siempre teniendo en cuenta los costes de enganche a la red (equipos y permisos). La mayor rentabilidad se obtiene a través de agrupaciones de máquinas potencia conectadas entre sí y que vierten su energía conjuntamente a la red eléctrica. Dichos sistemas se denominan parques eólicos. Una aplicación interesante de la energía eólica son los pequeños aerogeneradores de potencia hasta 50 kW destinados a abastecer de energía eléctrica a edificaciones aisladas, sin conexión a la red. Estos pequeños aerogeneradores se utilizan combinados con paneles fotovoltaicos para generar energía eléctrica de origen renovable, aunque es necesario el apoyo de un generador diesel en los momentos de climatología adversa.

Las aplicaciones de la energía eólica se pueden clasificar, según su ámbito, como aplicaciones centralizadas, caracterizadas por la producción de energía eléctrica en cantidades relativamente importantes, vertidas directamente a la red de distribución, o aplicaciones autónomas, dentro de las que cabe distinguir el uso directo de la energía mecánica o su conversión en energía térmica o eléctrica.

En el marco de las aplicaciones centralizadas, en las que siempre será necesario que la potencia base de la red la proporcione una fuente de energía más estable, cabe destacar dos grandes tipos de instalaciones eólicas:

Aerogeneradores de gran potencia: Se están llevando a cabo experiencias con aerogeneradores en el rango de potencias de los MW con grandes esperanzas, ya que la potencia que se podría instalar sería muy grande

Parques eólicos: Se trata de centrales eólicas formadas por agrupaciones de aerogeneradores de mediana potencia (alrededor de 100 kW) conectados entre sí, que vierten su energía conjuntamente a la red; la generalización de estas instalaciones contribuiría a una importante producción de electricidad de origen eólico en el futuro.

Por su parte, las aplicaciones autónomas de máquinas eólicas de pequeña potencia pueden ser rentables en muchos casos, según las condiciones eólicas y las características concretas de las diferentes alternativas que se comparen.

Las posibilidades que existen en este ámbito se pueden dividir en tres grupos, según el tipo de energía utilizada en cada caso:

2.2.10.1.- Energía mecánica:

Aplicación inmediata en el bombeo de agua por medio de bombas de pistón, de tornillo helicoidal o centrífugo

2.2.10.2.- Energía térmica:

Obtenible a partir de la energía mecánica bien por calentamiento de agua por rozamiento mecánico, o por Compresión del fluido refrigerante de una bomba de calor

2.2.10.3.- Energía eléctrica:

Aplicación más frecuente, pero que obliga a su almacenamiento o a la interconexión del sistema de generación autónomo con la red de distribución eléctrica.

En resumen, las aplicaciones de la energía eólica de forma autónoma están basadas principalmente en las necesidades de pequeñas comunidades o de tareas agrícolas, pudiendo sintetizarse en los siguientes puntos:

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

Asimismo, resulta de interés el empleo de aerogeneradores para repetidoras de radio y televisión, estaciones meteorológicas e instalaciones similares, situadas lejos de las redes eléctricas. En estos casos hay que prever normalmente un sistema de acumulación por baterías para hacer frente a las posibles calmas. (Escorcía, 2015)

2.3.- Ahorro de combustibles fósiles

Una central térmica opera con un rendimiento medio del 33 %, para obtener 1 MWh eléctrico en barras del alternador de la central, se requiere un aporte de energía primaria fósil igual a 0.261 tep (tonelada equivalente de petróleo).

Por lo cual el ahorro anual en energía primaria que se obtiene por el uso de energía eólica puede estimarse en 0.55 tep por cada kW de potencia eólica nominal instalado, o lo que es equivalente a 0.261 tep por cada MWh de energía eléctrica producida por vía eólica

A título ilustrativo se puede estimar para una potencia nominal eólica instalada a escala mundial de unos 10000 MW en 1999, un ahorro anual equivalente a 5.5 millones de tep (mil millones de dólares anuales o lo que es igual un millardo \$ anuales)

A diferencia de otras fuentes renovables la energía eólica presenta un plazo de recuperación energética es corto (entre 3 y 6 meses) de forma que una central eólica puede generar durante su vida útil (20 años) entre unas 50 y 100 veces la energía usada en su construcción.

2.4.- Ahorro de emisiones de gases contaminantes

En relación con la emisión de gases contaminantes la energía eólica es una “energía limpia” ya que puede afirmarse que su emisión es prácticamente nula (sí exceptuamos

las emisiones derivadas de su construcción, mantenimiento y desmantelamiento según las técnicas de valoración de ciclo de vida)

Los gases que dejan de emitirse cuando se usa la energía eólica y que en cambio están presentes cuando utilizamos energías de origen fósil (carbón, petróleo o gas) son:

- Gases que provocan el efecto invernadero: fundamentalmente el dióxido de carbono (CO₂), los óxidos de nitrógeno (en particular el óxido nitroso N₂O) y el metano (CH₄)
- Gases que provocan la acidificación atmosférica y las lluvias ácidas: en particular el dióxido de azufre (SO₂) y los óxidos de nitrógeno (NO_x)
- Gases que provocan la creación de ozono troposférico: en particular los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV's), en especial hidrocarburos. Todos ellos actúan, en presencia de radiación ultravioleta solar, como contaminantes primarios, facilitando la creación de ozono troposférico y la contaminación fotoquímica (smog de grandes ciudades)

Además de los gases anteriormente citados, el uso de algunos combustibles fósiles (carbón, fuelóleo, etc.), acarrea la emisión de partículas, hollines y cenizas volantes y en general distintos tipos de aerosoles que contribuyen a la contaminación atmosférica

Las emisiones específicas o factores de emisión (masa de contaminante por unidad de energía final producida) varían según el combustible, la tecnología utilizada y el régimen de explotación, por lo que es difícil asignar unos valores concretos de emisión. Así, no presenta la misma emisión específica una central de gas natural de ciclo combinado que una central térmica de carbón, como también es diferente si la misma central trabaja a plena carga o a carga parcial, pues existe una variación del rendimiento de la misma.

2.5.- Uso del suelo

Las necesidades de suelo es otro aspecto medioambiental al que se debe prestar atención. En general, en un parque eólico los aerogeneradores se instalan manteniendo entre ellos una separación del orden de 5 a 9 diámetros del rotor en la dirección del viento dominante y de 3 a 5 diámetros en la dirección perpendicular a la misma. Estos valores pueden cambiar en función de la orografía del terreno, régimen de vientos y tipo de aerogeneradores (Comision Nacional de Energia, 2006)

Las consideraciones, como uso del suelo en un parque eólico se encuentran entre 50 y 150 m²/kW ubicados de manera que la capacidad en unidad de área está determinada entre 6 y 20 MW/km².

En la superficie terrestre, el 5 y hasta un 10 % se encuentra utilizada por aerogeneradores, por construcciones para control y mantenimiento, situando de tal forma no interviene en el normal funcionamiento de los aerogeneradores, además los aerogeneradores deben situarse de manera que no afecte a los cultivos ni a la ganadería. Es decir, un parque generador eólico de 50 MW tiene que ocupar 7 km² de los mismos solo 6 km², puede ser aprovechado por los aerogeneradores. (López, 2012)

Los siguientes datos nos sirven como elementos de reflexión

- Un aerogenerador de 600 kW requiere una base de 36 m².
- Capacidad instalada por unidad de superficie: 6.5 a 10.8 MW/km².
- Área libre requerida por aerogenerador: 55500 a 92500 m².
- Área por unidad de capacidad: 92.5 a 154.1 m²/kW.
- Con este criterio 5000 MW requieren unos 770 km² de los cuales sólo el 5 % se ven afectados directamente quedando el 95 % restante utilizable para otros fines (agrícolas, ganaderos).

2.6.- Ruido

El ruido es un sonido molesto o indeseado y tiene dos orígenes:

2.6.1.- Ruido Mecánico:

Producido por el rozamiento entre las distintas partes móviles de la máquina (cojinetes, caja multiplicadora, generador eléctrico, etc.). Prácticamente carece de importancia a cierta distancia del aerogenerador

2.6.2.- Ruido Aerodinámico:

En forma de sonido silbante, alcanzando distancias mayores. Es el ruido que puede causar problemas en comunidades próximas al aerogenerador.

Su origen se sitúa principalmente en las puntas y partes posteriores de las palas y aumenta con la velocidad de rotación de las mismas. Está es una de las razones por las que se limita la velocidad. (en aplicaciones terrestres (onshore), la velocidad de la punta

de la pala se limita a unos 65 m/s y en marítimas (offshore) se permiten mayores velocidades).

2.7.- La atmósfera

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la Tierra. Está constituida por una mezcla de gases, denominada aire y contiene además partículas sólidas y líquidas (aerosoles) en suspensión en cantidad y composición variable. Comparado con el radio de la Tierra, el espesor de la atmósfera es muy pequeño. Alrededor del 99 % de la masa de la atmósfera está comprendida en los primeros 30 km de altura (un 0.5 % del radio terrestre).

2.7.1.- Gases permanentes:

Cuya proporción se mantiene prácticamente constante hasta alturas de unos 80 - 100 km. Son el nitrógeno, oxígeno, gases nobles e hidrógeno.

2.7.2.- Gases en proporciones variables:

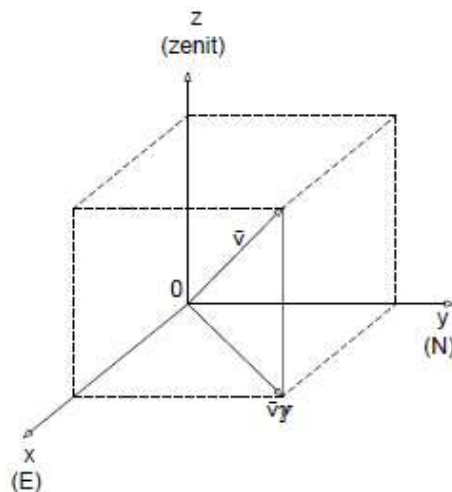
Dióxido de carbono, vapor de agua y ozono.

2.8.- Velocidad del viento

La velocidad del viento es una magnitud vectorial. Dada las características del viento, el vector velocidad varía continuamente de forma aleatoria tanto en módulo como en dirección y sentido. Los instrumentos de medida de velocidad (anemómetros) y de dirección (veleta) miden valores con una frecuencia de muestreo (por ejemplo, cada 1 o 2 segundos) y los promedian para intervalos de algunos minutos (en general 10 minutos). Así, el valor que se obtiene representa las características medias del viento instantáneo durante este período de tiempo. Por ello es usual, caracterizar el viento por un vector velocidad media (algunas veces denominado viento medio o estacionario) al que se le pueden superponer variaciones aleatorias.

El vector velocidad presenta tres componentes según el triedro cartesiano (fig. 2).

Figura 2. Componentes de vector velocidad

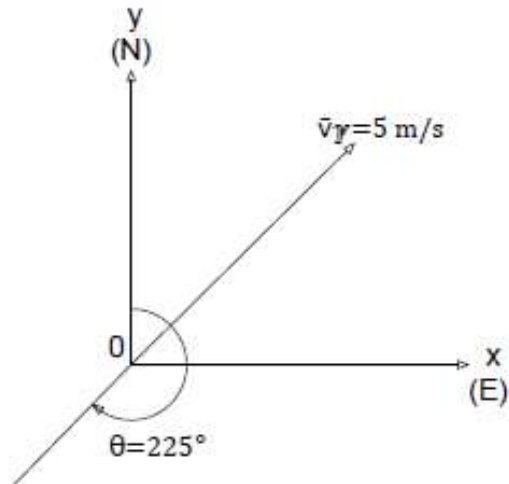


Fuente: (De Toro, 2011)

Este triedro se define según el siguiente criterio: los ejes x e y se toman según las direcciones E y N respectivamente y el eje z según la dirección del zenit (es decir la dirección que define una recta que desde el centro de la tierra sea perpendicular a la superficie terrestre en el punto del lugar de medición).

En aplicaciones de energía eólica, sólo se consideran las componentes de la velocidad en el plano horizontal (se ignora la componente según el eje cenital z). Esta última en general es mucho menor que las primeras y además no presenta interés para aprovechamiento energético. Así mismo, los aparatos de medida registran generalmente sólo el módulo y dirección de la componente en el plano horizontal. Por ello, el viento se caracteriza por medio de dos valores: el módulo de la componente de la velocidad en el plano horizontal (simplemente velocidad) y la dirección de donde sopla (figura 3).

Figura 3. Componente de velocidad de viento



Fuente: (De Toro, 2011)

Tabla 1. Escala de velocidades de viento

| Escala de velocidades de viento | | | |
|--|---------|-----------------------------|----------|
| Velocidades de viento a 10 m de altura | | Escala Beaufort (anticuada) | Viento |
| m/s | Nudos | | |
| 0,0-0,4 | 0,0-0,9 | 0 | Calma |
| 0,4-1,8 | 0,9-3,5 | 1 | Ligero |
| 1,8-3,6 | 3,5-7,0 | 2 | |
| 3,6-5,8 | 7-11 | 3 | |
| 5,8-8,5 | 11-17 | 4 | Moderado |
| 8,5-11 | 17-22 | 5 | Fresco |
| 11-14 | 22-28 | 6 | Fuerte |
| 14-17 | 28-34 | 7 | |
| 17-21 | 34-41 | 8 | Temporal |
| 21-25 | 41-48 | 9 | |
| 25-29 | 48-56 | 10 | Fuerte |
| 29-34 | 56-65 | 11 | Temporal |
| >34 | >65 | 12 | Huracán |

Fuente: (De Toro, 2011)

2.9.- Variabilidad de la velocidad del viento

La velocidad del viento está siempre fluctuando, por lo que el contenido energético del viento varía continuamente. De qué magnitud sea exactamente esa agitación depende tanto de las condiciones climáticas como de las condiciones de superficie locales y de los obstáculos. La producción de energía de una turbina eólica variará conforme varíe el viento, aunque las variaciones más rápidas serán hasta cierto punto compensadas por la inercia del rotor de la turbina eólica. Variaciones diurnas (noche y día) del viento. (De Toro, 2011)

En la mayoría de localizaciones del planeta el viento sopla fuerte en el día que durante la noche. Esta variación se debe a que las diferencias de temperatura, por ejemplo entre la superficie del mar y la superficie terrestre, son mayores en el día que en la noche. El viento presenta turbulencias y tiende a cambiar de dirección más rápidamente en el día que en la noche. Desde el punto de vista de los propietarios de aerogeneradores, el hecho de que la mayor parte de la energía eólica se produzca durante el día es una ventaja, ya que el consumo de energía entonces es mayor en las noches. Muchas compañías eléctricas pagan más por la electricidad producida en las horas picos de carga (cuando hay una falta de capacidad generadora barata). (De Toro, 2011)

2.10.- Rugosidad

En general, cuanto más pronunciada sea la rugosidad del terreno mayor será la ralentización que experimente el viento. Obviamente, los bosques y las grandes ciudades reducen la velocidad de viento, mientras que las pistas de hormigón de los aeropuertos sólo lo disminuyen ligeramente. Las superficies de agua son incluso más lisas que las pistas de hormigón, y tendrán por tanto menos influencia sobre el viento, mientras que la hierba alta y los arbustos rompen el viento de forma considerable. Es un error habitual creer que, en el caso de acantilados y similares, uno puede añadir la altura del acantilado a la altura de la torre del aerogenerador para obtener su altura efectiva (cuando el viento viene del mar), Evidentemente esto no se puede hacer. El acantilado creará turbulencia, y frenará el viento antes incluso de que llegue al acantilado. Por tanto, la variable z en un perfil de velocidades es la altura desde la base del aerogenerador. En la industria eólica, la gente suele referirse a la clase longitud de rugosidad (z_0) cuando se trata de evaluar las condiciones eólicas de un paisaje. Una alta clase de rugosidad 3 ó 4 se refiere a un paisaje con edificios y rascacielos, mientras que

a la superficie del mar le corresponde una rugosidad de clase 0. Las pistas de hormigón de los aeropuertos pertenecen a la clase de rugosidad 0.5, al igual que el paisaje abierto y llano pacido por las ovejas. El término longitud se refiere a la máxima distancia sobre el nivel del suelo a la que teóricamente la velocidad del viento es nula. En la siguiente tabla pueden consultarse las rugosidades aproximadas correspondientes a distintos tipos de paisajes. (De Toro, 2011)

Tabla 2. Rugosidad de la superficie en de velocidades de viento

| Tabla de clase y longitudes de rugosidad | | | |
|---|---------------------------------|-----------------------|---|
| Clase de rugosidad | Longitud de rugosidad Z_0 (m) | Índice de energía (%) | Tipo de paisaje |
| 0 | 0,0002 | 100 | Superficie del agua |
| 0,5 | 0,0024 | 73 | Terreno completamente abierto con una superficie lisa, por ejemplo pista de hormigón en los aeropuertos, césped cortado, etc. |
| 1 | 0,03 | 52 | Área agrícola abierta sin cercados ni setos y con edificios muy dispersos. Sólo colina suavemente redondeada. |
| 1,5 | 0,055 | 45 | Terreno agrícola con algunas casas y setos reguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 1250 m. |
| 2 | 0,1 | 39 | Terreno agrícola con algunas casas y setos reguardantes de 8 metros de altura con una distancia aproximada de 500 m. |
| 2,5 | 0,2 | 31 | Terreno agrícola con muchas casas, arbustos y plantas, o setos reguardantes de 8 metros de altura con una distancia de 250m. |
| 3 | 0,4 | 24 | Pueblos, ciudades pequeñas, terreno agrícola, con mucho o altos setos reguardantes, bosques y terreno accidentado y muy desigual. |
| 3,5 | 0,8 | 18 | Ciudades más grandes con edificios altos |
| 4 | 1,6 | 13 | Ciudades muy grandes con edificios altos y rascacielos. |
| Definiciones de acuerdo con el Atlas Eólico Europeo, WASP | | | |

Fuente: (De Toro, 2011)

2.11.- Parques eólicos

La idoneidad de una ubicación para la implantación de un parque eólico está matizada por una serie de factores que no sólo tienen que ver con las condiciones del potencial eólico del lugar. Los factores constructivos de accesibilidad y medioambientales influyen decisivamente sobre la viabilidad y, por ende, la rentabilidad de la inversión. (Marcos, 2015)

2.11.1.- Variables a considerar para la instalación de parques eólicos

Para evaluar la viabilidad del uso del viento como fuente de energía, es necesario conocer las características del mismo. Dada su variabilidad y aleatoriedad deben aplicarse técnicas estadísticas para su análisis.

En el caso de esta investigación, una vez levantada la base de datos con la información proporcionada por las 7 estaciones de monitoreo, los datos serán procesados en términos de estadística descriptiva, utilizando medidas de tendencia central para determinar los valores promedio y la desviación estándar por año tanto de la velocidad del viento como de su dirección. Para todos los cálculos se utilizará el software estadístico SPSS 23.0

2.11.2.- Proceso de caracterización del viento

Intervienen los siguientes aspectos:

2.11.2.1.- Procedimiento de toma de datos:

Variables a medir velocidad, dirección, procedimiento de medición, frecuencia de muestreo frecuencia de toma de medidas, períodos de promedio, etc.

2.11.2.2.- Técnica de medición:

Aparatos de medida (anemómetro, veleta, etc.), colocación del instrumental de medida, etc. En esta investigación, las variables como dirección del viento, velocidad del viento, altitud, presión atmosférica, fueron medidas con anemómetros de hélice con sensor. En el caso de la estación de monitoreo de la ESPOCH, estos datos se tomaron a diferentes alturas, 10 m, 40 m y 60 m. En las demás estaciones se dispone de datos tomados a 10 m de altura. En cada una de las estaciones de monitoreo los aparatos de medición estuvieron anclados en sus respectivas torres.

2.11.2.3.- Métodos de tratamiento de datos:

Técnicas estadísticas, forma de presentación (valores medios horarios, diarios, anuales, rosa de los vientos, etc.), distribuciones de probabilidad, etc. Para efectos de simplificación, en esta investigación los resultados de los análisis de datos fueron por horas en el año.

2.12.- Distribución de Weibull

Los cambios continuos en los datos de velocidades de vientos, se debe considerar representar de forma estadística, para luego establecer un modelo de frecuencias con las velocidades de viento y que contengan una función matemática. La función para describir la distribución de velocidades puede ser de Weibull y Rayleigh, Weibull está conformada por las variables c de escala y k constante de forma, la distribución de Rayleigh es de un solo parámetro, esto hace que Weibull sea de mayor utilización para obtener modelos matemáticos.

2.13.- Rosa de los vientos

Para elaborar la rosa de los vientos se utilizó el software WRPLOT View TM, para esto se necesitan las variables de velocidades y dirección de viento como también conocer el punto exacto donde se encuentra la estación a representar, este es un programa de libre distribución para Windows.

2.14.- Recursos eólicos

En general, la evaluación de los recursos eólicos de un lugar, presenta los siguientes problemas:

- La necesidad de disponer de medidas de velocidad y dirección del viento durante un período de tiempo suficientemente representativo. Para esta investigación se debe disponer de un historial mínimo de tres años (Figuroa, 2005) en todas las estaciones de monitoreo, para evaluar el potencial eólico de cada estación.
- La variabilidad y aleatoriedad del viento según la estación, día y hora.
- Los efectos locales tales como la orografía, rugosidad del terreno y obstáculos.
- La necesaria extrapolación para diferentes alturas respecto al nivel del suelo de las medidas tomadas a una altura determinada (generalmente 10 m).

La información de cada estación de monitoreo se trasladará a sus centros de origen, mediante la utilización de mapas georreferenciados, apoyados en los sistemas GIS y el software Arc View.

Como toda actividad humana, el uso de la energía eólica comporta un impacto medioambiental, en aspectos positivos como negativos, y por tanto debemos aprovechar los aspectos positivos y usar medidas correctoras que minimicen los aspectos negativos.

- Es una fuente de energía renovable, su uso ahorra recursos energéticos no renovables, como son: Carbón, Petróleo, Gas natural o Uranio.
- Es una fuente de energía distribuida por todo el globo terrestre, por lo que a diferencia de otros recursos que están concentrados en unos lugares determinados, la energía eólica está a disposición de muchos países.
- Es una fuente de energía que no emite gases contaminantes, locales, transfronterizos. Así no se presenta emisión de gases invernadero (dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno), gases destructores de la capa de ozono, gases acidificantes de la atmósfera (óxidos de azufre y nitrógeno), residuos sólidos ni líquidos que tanto por su cantidad como calidad puedan ser agentes contaminantes. Por ello la energía eólica puede calificarse como una energía limpia.

El análisis del impacto medioambiental de la energía eólica debe contemplar los siguientes aspectos. Es necesario advertir al lector que los datos que a continuación se indican no son más que valores orientativos, ya que cada caso concreto debe analizarse considerando las particularidades del mismo:

2.15.- Parámetros económicos en un proyecto eólico

El objeto fundamental de este apartado consiste en dar una descripción de aquellos parámetros que, de una manera directa o indirecta, tienen una incidencia económica sobre la viabilidad de un proyecto eólico. Estos parámetros se han agrupado no sólo en los aspectos técnicos, relacionados con el recurso eólico y la turbina, sino también en otros que pueden tener una gran relevancia en el coste y desarrollo del proyecto. Estos aspectos son los referidos al emplazamiento, restricciones medioambientales, de tramitación, de financiación, de explotación y mantenimiento. Aunque inicialmente no

puedan parecer tan críticos como los dos citados anteriormente, pueden variar sustancialmente el grado de viabilidad de proyecto. (Marcos, 2015)

- ASPECTOS RELACIONADOS CON EL RECURSO EÓLICO
 - Velocidad media anual.
 - Distribución del viento.
 - Perfil vertical de la velocidad del viento.
 - Anemometría medida de la velocidad del viento.
 - Turbulencia y rafagosidad.
 - Técnicas de modelización.
- ASPECTOS RELACIONADOS CON LA TURBINA
 - Elección del diámetro óptimo.
 - Operación a velocidad variable.
 - Altura del buje de la turbina.
 - Aspectos relacionados con el emplazamiento.
 - Accesos.
 - Configuración del terreno.
 - Conexión a la red.
 - Aspectos medioambientales.
 - Restricciones en zonas sensibles.

2.15.1.- Perspectiva a nivel mundial de la energía eólica

Según un estudio dirigido en 2009 por Michael B. McElroy, profesor de estudios ambientales en la Escuela de Ingeniería y Ciencias Aplicadas de Harvard, una instalación adecuada de aerogeneradores en todo el mundo podría suministrar una cantidad de energía 40 veces superior a la demanda global. Su cálculo consideraba la construcción de parques eólicos en regiones del planeta donde no causarían perjuicio ecológico. Suponía, además, que los aerogeneradores serían de tamaño mediano (con una potencia nominal de 2,5 megavatios) y que se encontrarían detenidos el 80 por ciento del tiempo. Hoy, el mayor aerogenerador comercial del mundo, el modelo E-126 de la compañía alemana Enercon, cuenta con una potencia nominal de 7,5 megavatios, lo suficiente para abastecer a unos 10.000 hogares. Para los próximos años, los planes de la estadounidense General Electric incluyen la construcción de una turbina con componentes superconductores cuya potencia ascendería a entre 10 y 15 megavatios. Y

aunque es cierto que las instalaciones eólicas permanecen inactivas la mayor parte del tiempo (en ocasiones, la tasa de utilización no llega al 20 por ciento), se trata, en cualquier caso, de un recurso energético cuyas reservas son inagotables. (El futuro de la energía eólica, 2012)

Las energías renovables convencionales y no convencionales representan un porcentaje bajo en la matriz energética del mundo. La preocupación por tener una atmósfera limpia de contaminación es cada vez mayor, sin embargo, a pesar de que el petróleo al quemarlo emite contaminante a la atmósfera, seguirá siendo por mucho tiempo el principal elemento utilizado para obtener calor para distintas actividades y energía eléctrica. También el uso de otros combustibles como el carbón y el gas seguirán en uso masivo en algunos países durante varios años y décadas. Ya son bastantes los países desarrollados y en vías de desarrollo que desde hace pocas décadas han estado avanzando formalmente en el empleo de energías renovables, y concretamente usando las ERNC, como lo es el viento para producir energía eléctrica. (Bañuelos, 2011)

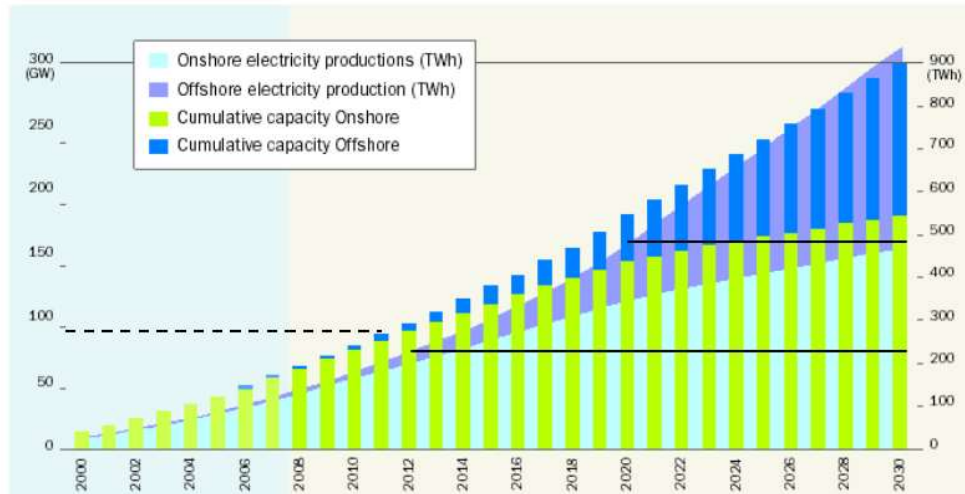
Los estudios de Van Wijk y Coelingh estiman el potencial eólico mundial, para lugares con velocidades medias anuales superiores a 5 m/s y un nivel de ocupación del suelo del 4 %. Estos estudios corresponden a aplicaciones terrestres (onshore). El potencial correspondiente a instalaciones marítimas (offshore) es muy elevado, sólo en Europa se estima en unos 2.500 TWh/año.

Las turbinas eólicas han experimentado durante los últimos 20 años un desarrollo significativo. Se han mejorado los rendimientos, ha aumentado la confiabilidad y se han reducido los costos. El único punto sobre el que quedan algunas dudas es la durabilidad. Si bien en los cálculos se acostumbra tomar 20 años de vida útil, por el momento, ninguna de las máquinas actualmente en operación ha alcanzado ese tope. La energía eólica puede competir, si las condiciones son adecuadas, con los sistemas convencionales de generación. Sus limitantes más importantes son, quizás, el desconocimiento que muchos tienen de esta realidad y la falta de incentivos para la realización de inversiones en el sector. (Moragues, y otros, 2003)

En Europa: 2020 Objetivo global 20% de la demanda eléctrica – En 2020 se prevé alcanzar una producción de casi 500 TWh con 180 GW instalados (Entre el 11 y el 14% de la demanda eléctrica). – En 2030 se prevé alcanzar una producción de electricidad

cercana a los 1000 TWh con 300 GW instalados. (Entre el 21 y el 28% de la demanda eléctrica). (Cruz, 2012).

Figura 4. Producción eléctrica por años



Fuente: EWEA Informe Pure Power Wind up to 2030

2.16.- Hipótesis

2.16.1.- Hipótesis Nula H_0 :

El potencial eólico de las estaciones monitoreadas no permite la instalación de parques eólicos.

2.16.2.- Hipótesis Alternativa H_a :

El potencial eólico de las estaciones monitoreadas permite la instalación de parques eólicos.

2.17.- Variables

2.17.1.- Variable independiente:

- Instalación de parques eólicos.
- Velocidad el viento, frecuencia.
- Densidad del aire.
- Temperatura y presión.

2.17.2.- Variable dependiente:

- Potencial eólico de las estaciones monitoreadas.
- Localización.
- Altura de torre.

CAPÍTULO III

3.- MARCO METODOLÓGICO

3.1.- Tipo y nivel de investigación

La investigación es de tipo experimental, porque se manipulan intencionalmente las variables. Las variables manipuladas son: Posición geográfica de la estación de monitoreo y altitud de medición de datos. En respuesta se obtuvieron distintos valores para la velocidad y dirección del viento.

De acuerdo al manejo de la información la investigación es cuantitativa, dado que se tiene datos de velocidad del viento en m/s y a partir de ella se determinará el potencial eólico en siete zonas de la provincia de Chimborazo. La investigación además es exploratoria, teniendo en cuenta que es una primera aproximación a la estimación de la energía eólica en ecosistemas de la provincia de Chimborazo.

Para lograr una buena revisión bibliográfica y obtener la mayor cantidad de información necesaria para el desarrollo de esta investigación, se usó el método análisis – síntesis, histórico – lógico, ya que fue necesario analizar la trayectoria de las distintas etapas por las que han ido atravesando las componentes, para una posterior evaluación de los datos.

La investigación tiene un diseño de campo, puesto que todos los datos son tomados estrictamente en el mismo lugar donde fueron medidos, esto es, en las 7 estaciones de monitoreo. Fue además de diseño transversal, porque estuvo definida en el tiempo y es retrospectiva, porque se utilizaron datos de años anteriores.

Se aplicó el Método científico, que consiste en identificar un problema, ubicarlo en su contexto teórico, plantear un supuesto o hipótesis y contrastarla, para establecer las correspondientes conclusiones. El método se apoya en procesos de inducción, deducción, análisis y síntesis.

3.2.- Descripción del ámbito de investigación

La investigación abarca el estudio de 7 estaciones de monitoreo (Espoch, Atillo, Matus, Quimiag, San Juan, Tunshi y Urbina), para obtener información sobre la velocidad y dirección del viento en cada una de las estaciones y con esa información estimar la energía eólica disponible mediante la aplicación del método de distribución de Weibull y determinar si su potencial es suficiente para la construcción de parque eólicos.

En todas las estaciones se recopilaban datos desde hace 3 años. La información se registró cada hora. Para efectos de simplificación se trabajó con promedios por hora. Los datos registrados son: Velocidad del viento promedio y máxima y la dirección del viento promedio y máxima. Los datos fueron tomados a 10m

3.3.- Población y muestra

La población lo conforman las 7 estaciones de monitoreo:

- Espoch
- Atillo
- Matus
- Quimiag
- San Juan
- Tunshi
- Urbina

Los datos analizados corresponden a los años 2014, 2015 y 2016. El año 2016 se registraron datos hasta el mes de agosto, dentro de estos años la toma de datos realizada cada 5 minutos de los cuales se extrajo los valores promedios en horas de cada estación, en total se tiene 8 760 datos en un año a excepción del año 2016 que tiene 5 493 de cada variable medida en Velocidad promedio, Velocidad máxima, Dirección promedio y Dirección máxima, que da un total de 35 040 datos por cada año en una estaciones, en el 2016 se tiene 21 972 datos, al considerar los años 2014 y 2016 se tendrá 35 040 datos, cabe mencionar que el estudio se realizara para siete estaciones con un total de 399 084 datos.

3.4.- Muestra

Para efectos de los cálculos de la distribución de Weibull, es necesario contar con la mayor cantidad de datos posibles durante los tres años de registros, por esta razón no se extrajo muestra y se prefirió trabajar con toda la población.

3.5.- Técnicas e instrumentos

La técnica utilizada fue la del fichaje que consiste en recopilar información secundaria ya existente sobre la velocidad y dirección del viento en todas las estaciones, la misma que fue proporcionada por el Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

El instrumento utilizado fue una ficha de recolección de datos en la misma que se registró el nombre de cada estación, el año, mes, día y hora de la toma de cada dato, la velocidad del viento promedio y máxima y la dirección del viento promedio y máxima.

El procesamiento de la información con el fin de alcanzar las metas deseadas se desarrolló por etapas, las mismas que se detallan a continuación:

- Recabar información de los años 2014, 2015 y 2016 de las 7 estaciones de monitoreo (Espoch, Atillo, Matus, Quimiag, San Juan, Tunshi y Urbina), sobre parámetros de interés.
- Identificar y seleccionar los datos de las estaciones de control sobre velocidad del viento y dirección del viento.
- Trasladar datos a mapas georreferenciados en el sistema GIS.
- Analizar estadísticamente los datos y reportar los resultados.
- Estimar mediante el levantamiento de información de la velocidad y dirección del viento, por un período máximo de 3 años, el potencial de la energía eólica en las zonas de estudio, con el fin de definir sobre sus potencialidades para la viabilidad de parques eólicos.

Para el monitoreo de datos se usó los siguientes equipos de medición:

Anemómetros de hélice con sensor.

Barómetros.

3.6.- Software requerido:

IBM SPSS 23.0 (Statistical Product and Service Solutions).

WRPLOT View TM (Gráficos de rosa de los vientos).

Arc GIS 10.4 version trial (Geographic Information Systems).

CAPÍTULO IV

4.- RESULTADOS

4.1.- Resultados obtenidos

4.1.1.- Evaluación de entrega de energía

En la tabla 3 se observa los valores promedio y los valores máximos de la dirección y velocidad del viento, en la estación de Atillo en el año 2015. En los meses de junio, julio, agosto y septiembre se presentaron mayores velocidades promedio y máxima del viento. Para estos meses la velocidad promedio varía entre 4,07 – 5,61 m/s y la velocidad máxima en los mismos meses está entre 8,02 – 10,78 m/s, que son velocidades aprovechables para la instalación de centrales eólicas. El mes de diciembre también registró un promedio alto de la velocidad máxima, alcanzando un valor de 7,06 m/s.

Tabla 3. Valores promedio dirección y velocidad ATILLO 2015
(Datos tomados por horas).

| Meses | N | Promedio m/s | Desviación Estándar. m/s | Error Estándar. | 95% Intervalo de confianza para la media | | Mínimo | Máximo | |
|-----------------------|------------|-----------------|--------------------------------|--------------------|---|--------------------|--------|--------|-----|
| | | | | | Límite Inferior | Límite Superior | | | |
| Enero | 744 | 128.03 | 60.35 | 2.213 | 123.69 | 132.37 | 55 | 358 | |
| Febrero | 672 | 151.25 | 78.03 | 3.010 | 145.34 | 157.16 | 27 | 356 | |
| Marzo | 744 | 160.54 | 83.72 | 3.069 | 154.52 | 166.57 | 6 | 357 | |
| Abril | 720 | 127.88 | 65.04 | 2.424 | 123.12 | 132.64 | 4 | 347 | |
| Mayo | 744 | 125.28 | 57.11 | 2.094 | 121.17 | 129.39 | 4 | 343 | |
| Dirección promedio | Junio | 720 | 106.58 | 33.24 | 1.239 | 104.15 | 109.02 | 19 | 350 |
| Atillo 2015 | Julio | 744 | 109.40 | 37.84 | 1.387 | 106.67 | 112.12 | 21 | 356 |
| | Agosto | 744 | 107.88 | 33.70 | 1.236 | 105.45 | 110.31 | 54 | 330 |
| | Septiembre | 720 | 112.01 | 46.16 | 1.720 | 108.63 | 115.39 | 51 | 327 |
| | Octubre | 744 | 140.06 | 78.43 | 2.875 | 134.42 | 145.71 | 10 | 360 |
| | Noviembre | 720 | 158.00 | 85.23 | 3.176 | 151.77 | 164.24 | 2 | 358 |
| | Diciembre | 744 | 113.86 | 44.47 | 1.630 | 110.66 | 117.06 | 60 | 333 |
| | Total | 8760 | 128.24 | 64.20 | .686 | 126.89 | 129.58 | 2 | 360 |

(Continúa)

Tabla 3. (Continuación)

| | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------|------|----------|----------|---------|----------|----------|-------|--------|
| Dirección máxima Atillo 2015 | Enero | 744 | 176.32 | 67.99 | 2.492 | 171.42 | 181.21 | 5 | 360 |
| | Febrero | 672 | 175.83 | 81.44 | 3.142 | 169.66 | 182.00 | 2 | 360 |
| | Marzo | 744 | 182.98 | 84.77 | 3.108 | 176.88 | 189.08 | 1 | 360 |
| | Abril | 720 | 173.53 | 72.56 | 2.704 | 168.22 | 178.84 | 2 | 360 |
| | Mayo | 744 | 185.06 | 68.87 | 2.525 | 180.10 | 190.02 | 3 | 360 |
| | Junio | 720 | 157.33 | 47.31 | 1.763 | 153.87 | 160.79 | 3 | 360 |
| | Julio | 744 | 169.10 | 54.72 | 2.006 | 165.16 | 173.04 | 6 | 360 |
| | Agosto | 744 | 159.23 | 46.87 | 1.718 | 155.86 | 162.61 | 11 | 352 |
| | Septiembre | 720 | 166.97 | 59.829 | 2.230 | 162.59 | 171.35 | 6 | 360 |
| | Octubre | 744 | 190.00 | 80.345 | 2.946 | 184.22 | 195.78 | 2 | 360 |
| | Noviembre | 720 | 179.63 | 89.788 | 3.346 | 173.06 | 186.20 | 1 | 360 |
| | Diciembre | 744 | 178.49 | 61.917 | 2.270 | 174.03 | 182.94 | 8 | 357 |
| | Total | 8760 | 174.59 | 69.913 | .747 | 173.12 | 176.05 | 1 | 360 |
| Velocidad promedio Atillo 2015 | Enero | 744 | 3.31948 | 1.850197 | .067832 | 3.18632 | 3.45265 | .039 | 8.031 |
| | Febrero | 672 | 3.23660 | 1.950343 | .075236 | 3.08887 | 3.38433 | .039 | 8.656 |
| | Marzo | 744 | 2.90295 | 1.910269 | .070034 | 2.76546 | 3.04044 | .031 | 8.547 |
| | Abril | 720 | 3.34689 | 2.046349 | .076263 | 3.19717 | 3.49661 | .102 | 9.289 |
| | Mayo | 744 | 3.25458 | 1.971840 | .072291 | 3.11266 | 3.39649 | .016 | 9.672 |
| | Junio | 720 | 5.61403 | 2.505252 | .093365 | 5.43073 | 5.79734 | .148 | 11.539 |
| | Julio | 744 | 4.41594 | 2.015302 | .073885 | 4.27089 | 4.56099 | .055 | 9.516 |
| | Agosto | 744 | 4.65000 | 1.801897 | .066061 | 4.52031 | 4.77969 | .125 | 9.523 |
| | Septiembre | 720 | 4.07982 | 1.911101 | .071223 | 3.93999 | 4.21965 | .062 | 9.008 |
| | Octubre | 744 | 3.07392 | 2.130649 | .078113 | 2.92057 | 3.22727 | .000 | 9.039 |
| | Noviembre | 720 | 2.80656 | 1.986472 | .074031 | 2.66122 | 2.95191 | .070 | 8.789 |
| | Diciembre | 744 | 3.51700 | 1.752580 | .064253 | 3.39086 | 3.64314 | .102 | 8.109 |
| | Total | 8760 | 3.68546 | 2.148018 | .022950 | 3.64048 | 3.73045 | .000 | 11.539 |
| Velocidad máxima Atillo 2015 | Enero | 744 | 6.72047 | 3.038375 | .111392 | 6.50179 | 6.93915 | 1.297 | 15.797 |
| | Febrero | 672 | 6.59786 | 2.995999 | .115573 | 6.37093 | 6.82478 | 1.203 | 15.797 |
| | Marzo | 744 | 6.02713 | 3.027713 | .111001 | 5.80922 | 6.24505 | 1.000 | 14.602 |
| | Abril | 720 | 6.86351 | 3.285006 | .122425 | 6.62316 | 7.10386 | 1.398 | 18.297 |
| | Mayo | 744 | 6.70255 | 3.278319 | .120189 | 6.46660 | 6.93850 | 1.102 | 19.602 |
| | Junio | 720 | 10.78806 | 4.293959 | .160026 | 10.47389 | 11.10224 | 1.398 | 23.000 |
| | Julio | 744 | 8.65793 | 3.280208 | .120258 | 8.42184 | 8.89402 | 1.398 | 17.898 |
| | Agosto | 744 | 8.92217 | 2.914573 | .106853 | 8.71240 | 9.13194 | 1.500 | 17.898 |
| | Septiembre | 720 | 8.02320 | 3.079766 | .114776 | 7.79786 | 8.24853 | 1.398 | 16.500 |
| | Octubre | 744 | 6.81589 | 3.825361 | .140245 | 6.54056 | 7.09121 | .000 | 30.398 |
| | Noviembre | 720 | 5.90899 | 3.068308 | .114349 | 5.68449 | 6.13349 | .898 | 14.102 |
| | Diciembre | 744 | 7.06673 | 2.630084 | .096424 | 6.87743 | 7.25602 | 1.703 | 15.797 |
| | Total | 8760 | 7.42617 | 3.523209 | .037643 | 7.35238 | 7.49996 | .000 | 30.398 |

Fuente: Grupo de Energías Alternativas y Ambiente (GEAA) ESPOCH

Elaborado por: Autores

En la tabla 4 se muestra la frecuencia con la que se presentaron los distintos valores de velocidad promedio. Para encontrar estos valores fue necesario establecer primero el rango de velocidades mínima y máxima, en base a ello establecer intervalos que agrupen a todos los límites inferiores y superiores con respecto al valor central. La velocidad promedio que se presentó con mayor frecuencia es 4 m/s con un porcentaje equivalente al 16,6%, seguido por la velocidad de 5 m/s; 1 m/s; 3 m/s y 2 m/s. las velocidades altas se presentaron en menor frecuencia, la de 8 m/s tuvo una frecuencia relativa del 2,6% y las velocidades de 10 m/s y 11 m/s tuvieron porcentaje marginales, 30 horas en el año en el primer caso y 11 horas al año en el segundo.

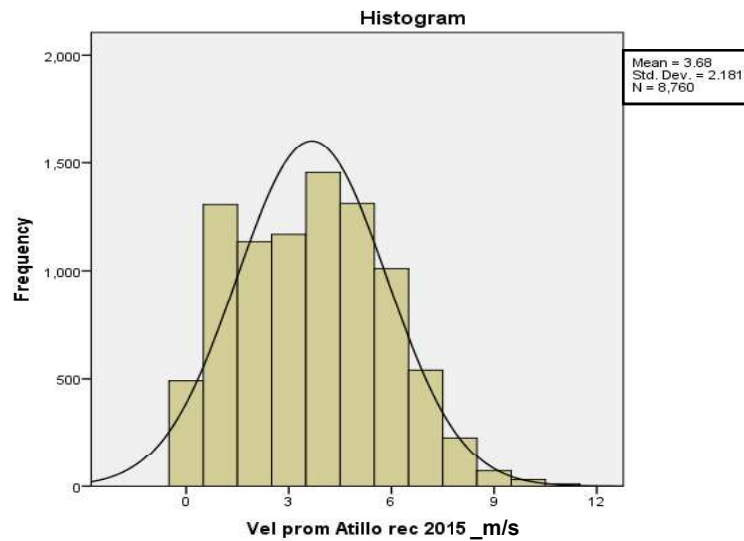
Tabla 4. Distribución de frecuencias de velocidad promedio ATILLO 2015

| Velocidad (m/s) | Frecuencia | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|-----------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
| Valid 0 | 491 | 5.6 | 5.6 | 5.6 |
| 1 | 1307 | 14.9 | 14.9 | 20.5 |
| 2 | 1135 | 13.0 | 13.0 | 33.5 |
| 3 | 1169 | 13.3 | 13.3 | 46.8 |
| 4 | 1455 | 16.6 | 16.6 | 63.4 |
| 5 | 1312 | 15.0 | 15.0 | 78.4 |
| 6 | 1011 | 11.5 | 11.5 | 90.0 |
| 7 | 540 | 6.2 | 6.2 | 96.1 |
| 8 | 228 | 2.6 | 2.6 | 98.7 |
| 9 | 71 | .8 | .8 | 99.5 |
| 10 | 30 | .3 | .3 | 99.9 |
| 11 | 11 | .1 | .1 | 100.0 |
| Total | 8760 | 100.0 | 100.0 | |

Elaborado por: Autores

La Figura 5 se representa el histograma de frecuencias de la velocidad promedio bajo la curva normal. Se aprecia una dispersión alrededor de la media de 2,18, lo que equivale a una desviación estándar del 70% de todos los datos del año 2015 en la estación de monitoreo de Atillo están entre $3,68 \pm 2,18$.

Figura 5. Histograma de frecuencias velocidad promedio ATILLO 2015.



Elaborado por: Autores.

En la tabla 5 se muestra la distribución de frecuencias de la velocidad máxima. La velocidad máxima de mayor frecuencia corresponde a 7 y 9 m/s con el 10,4%, seguido por la de 8 m/s con una frecuencia relativa del 10%.

Las velocidades más altas fueron escasas, son marginales y poco representativas, apenas una hora al año en velocidades iguales o mayores a 22 m/s.

Tabla 5. Distribución de frecuencias de velocidad máxima ATILLO 2015

| Velocidad (m/s) | Frecuencia (horas-año) | Porcentaje | Porcentaje válido | Porcentaje acumulado |
|-----------------|------------------------|------------|-------------------|----------------------|
| Valid 0 | 34 | .4 | .4 | .4 |
| 1 | 77 | .9 | .9 | 1.3 |
| 2 | 617 | 7.0 | 7.0 | 8.3 |
| 3 | 703 | 8.0 | 8.0 | 16.3 |
| 4 | 655 | 7.5 | 7.5 | 23.8 |
| 5 | 736 | 8.4 | 8.4 | 32.2 |
| 6 | 853 | 9.7 | 9.7 | 42.0 |
| 7 | 912 | 10.4 | 10.4 | 52.4 |
| 8 | 875 | 10.0 | 10.0 | 62.4 |
| 9 | 909 | 10.4 | 10.4 | 72.7 |
| 10 | 772 | 8.8 | 8.8 | 81.5 |
| 11 | 577 | 6.6 | 6.6 | 88.1 |

(Continúa)

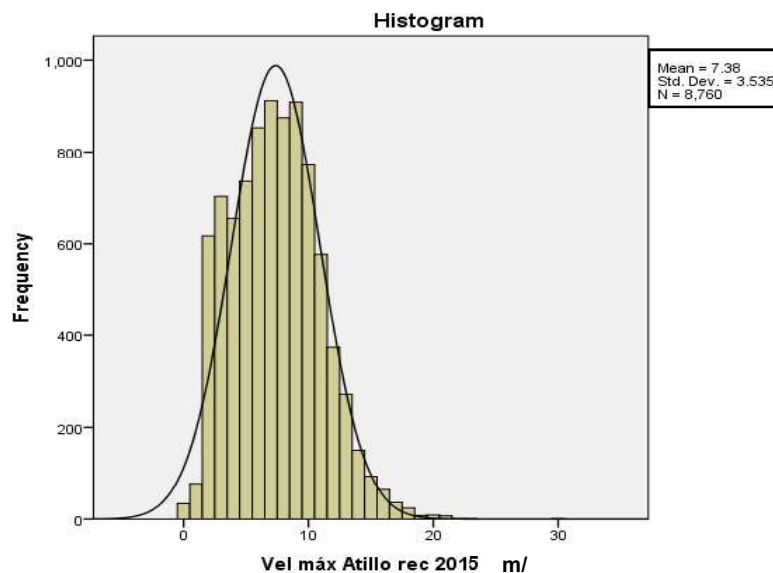
Tabla 5. (Continuación)

| | | | | | |
|-------|----|------|-------|-------|-------|
| Valid | 12 | 374 | 4.3 | 4.3 | 92.4 |
| | 13 | 272 | 3.1 | 3.1 | 95.5 |
| | 14 | 150 | 1.7 | 1.7 | 97.2 |
| | 15 | 93 | 1.1 | 1.1 | 98.3 |
| | 16 | 64 | .7 | .7 | 99.0 |
| | 17 | 36 | .4 | .4 | 99.4 |
| | 18 | 24 | .3 | .3 | 99.7 |
| | 19 | 8 | .1 | .1 | 99.8 |
| | 20 | 9 | .1 | .1 | 99.9 |
| | 21 | 7 | .1 | .1 | 100.0 |
| | 22 | 1 | .0 | .0 | 100.0 |
| | 23 | 1 | .0 | .0 | 100.0 |
| | 30 | 1 | .0 | .0 | 100.0 |
| Total | | 8760 | 100.0 | 100.0 | |

Elaborado por: Autores

En la figura 6 se muestra el histograma de frecuencias de la velocidad máxima del viento en la estación de monitoreo de Atillo en el año 2015. La media es de 7,38 m/s con una desviación estándar de $\pm 3,53$. Las velocidades más bajas y las más altas son las de menor frecuencia, conforme se aprecia en la distribución bajo la curva normal.

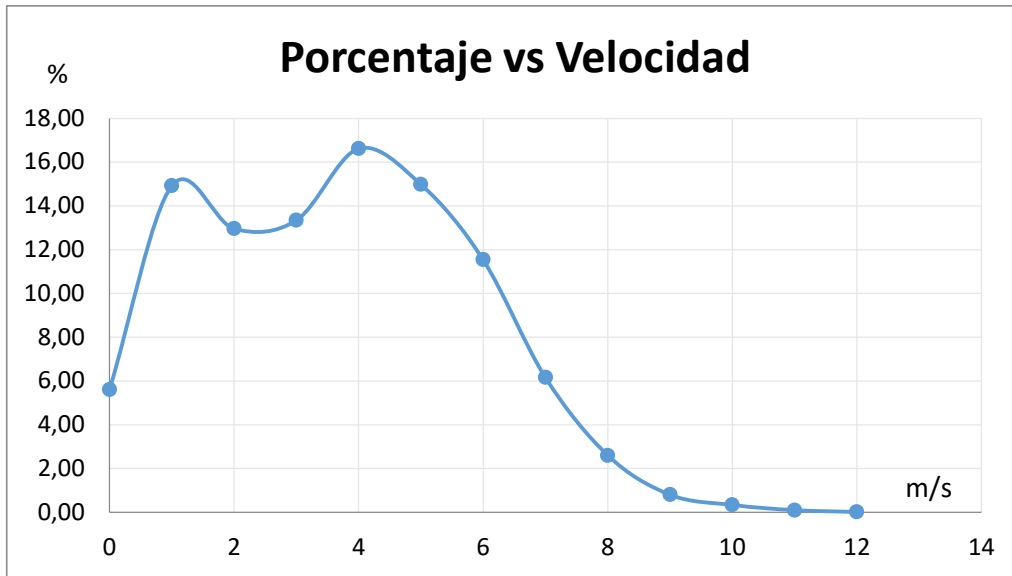
Figura 6.- Histograma de frecuencias velocidad máxima ATILLO 2015



Elaborado por: Autores

En la figura 7 se representa la probabilidad de ocurrencia de velocidad media en la estación de monitoreo de Atillo en el año 2015. La mayor probabilidad (>16%) se da para la velocidad de 4 m/s. Analizadas en grupo las velocidades de mayor probabilidad de ocurrencia son: 1, 2, 3, 4, 5 y 6 m/s.

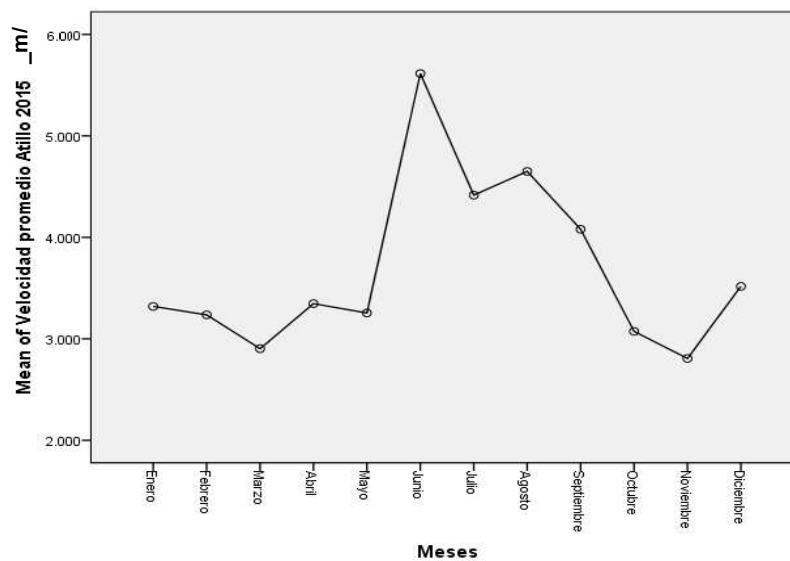
Figura 7. Probabilidad de ocurrencia de velocidad media ATILLO 2015



Elaborado por: Autores

En la figura 8 se representan las variaciones mensuales de la velocidad media en Atillo en el año 2015. Los promedios más altos se ubican en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

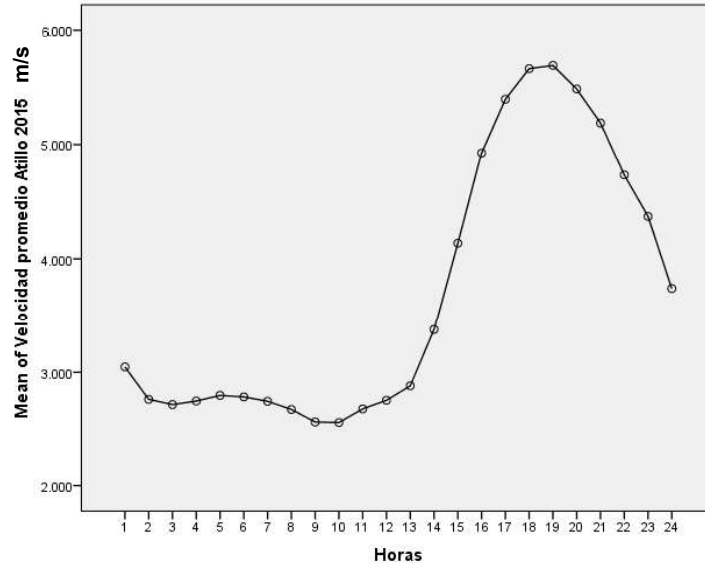
Figura 8. Variaciones mensuales velocidad media ATILLO 2015



Elaborado por: Autores

En la figura 9 muestra las variaciones diarias de la velocidad media del viento en la estación de monitoreo de Atillo en el año 2015. Los promedios más altos de velocidad se dan entre las 16h00 y las 21h00.

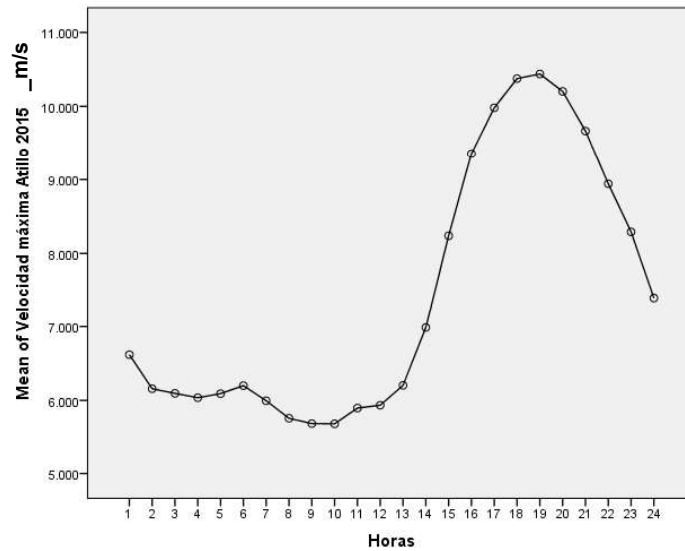
Figura 9. Variaciones diarias velocidad media ATILLO 2015



Elaborado por: Autores

La figura 10 muestra las variaciones diarias de la velocidad máxima del viento en la estación de monitoreo de Atillo en el año 2015. Los promedios más altos de velocidad se dan entre las 16h00 y las 21h00.

Figura 10. Variaciones diarias de velocidad máxima ATILLO 2015



Elaborado por: Autores

4.2.- Aproximación a la ecuación lineal

Para la representación de la ecuación lineal se aplican las ecuaciones (3) y (4), donde f (v) corresponde a la frecuencia acumulada.

$$y = \text{Ln}[\text{Ln}[\frac{1}{1-(fv)}]] \quad (3)$$

$$x = \text{Ln}(v) \quad (4)$$

Tabla 6. Valores de X e Y doble logarítmica en ATILLO 2015

| Velocidad (m/s) | Horas/año | Frecuencia puntual (Horas-año/8760) | Frecuencias acumuladas (Horas-año/8760) | X x: Ln (velocidad) | Y y: Ln (Ln (1/1-frecuencia acumulada)) |
|-----------------|-----------|-------------------------------------|---|------------------------|--|
| 0 | 491 | 0,06 | 0,06 | 0,00 | -2,9 |
| 1 | 1307 | 0,15 | 0,21 | 0,00 | -1,5 |
| 2 | 1135 | 0,13 | 0,33 | 0,69 | -0,9 |
| 3 | 1169 | 0,13 | 0,47 | 1,10 | -0,5 |
| 4 | 1455 | 0,17 | 0,63 | 1,39 | 0,0 |
| 5 | 1312 | 0,15 | 0,78 | 1,61 | 0,4 |
| 6 | 1011 | 0,12 | 0,90 | 1,79 | 0,8 |
| 7 | 540 | 0,06 | 0,96 | 1,95 | 1,2 |
| 8 | 228 | 0,03 | 0,99 | 2,08 | 1,5 |
| 9 | 71 | 0,01 | 1,00 | 2,20 | 1,7 |
| 10 | 30 | 0,00 | 1,00 | 2,30 | 1,9 |
| 11 | 9 | 0,00 | 1,00 | 2,40 | 2,1 |
| 12 | 2 | 0,00 | 1,00 | 2,48 | 3,6 |
| TOTAL | 8760 | | | \bar{x} | \bar{y} |
| | | | | 1,67 | 0,63 |

Elaborado por: Autores

4.3.- Cálculo del parámetro de forma (k) y el parámetro de escala (C)

El parámetro de forma k, es la pendiente de la recta de regresión. Este parámetro y el valor del intercepto b se calcula mediante las ecuaciones (5) y (6).

$$k = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sum(x-\bar{x})^2} \quad (5)$$

$$b = \bar{y} - k\bar{x} \quad (6)$$

Tabla 7. Valores para calcular k y C en Atillo 2015

| $(x-\bar{x})$ | $(y-\bar{y})$ | $\sum(x-\bar{x})*(y-\bar{y})$ | $\sum(x-\bar{x})*(x-\bar{x})$ |
|---------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|
| -1,67 | -3,48 | 5,80 | 2,77 |
| -1,67 | -2,10 | 3,50 | 2,77 |
| -0,97 | -1,53 | 1,48 | 0,95 |
| -0,57 | -1,09 | 0,62 | 0,32 |
| -0,28 | -0,62 | 0,17 | 0,08 |
| -0,06 | -0,20 | 0,01 | 0,00 |
| 0,13 | 0,20 | 0,03 | 0,02 |
| 0,28 | 0,55 | 0,15 | 0,08 |
| 0,41 | 0,84 | 0,35 | 0,17 |
| 0,53 | 1,05 | 0,56 | 0,28 |
| 0,64 | 1,27 | 0,81 | 0,41 |
| 0,73 | 1,50 | 1,10 | 0,54 |
| 0,82 | 2,98 | 2,44 | 0,67 |
| | Σ | 17,01 | 9,06 |

Elaborado por: Autores

$$k = \frac{(17,01)}{(9,06)}$$

$$k = 1.88$$

$$b = 0.63 - 1.88(1,67)$$

$$b = -2.51$$

El parámetro de escala (C) se determina mediante la ecuación (7)

$$C = e^{\left(-\frac{b}{k}\right)} \quad (7)$$

$$C = e^{\left(-\frac{-2.51}{1.88}\right)}$$

$$C = 3.80$$

Ecuación lineal: $y = 1.88 x + (-2.51)$

$$y = 1.88 x - 2.51$$

4.4.- Método de la distribución de Weibull

Se define por dos parámetros, el de forma (k) y el de escala (C).

Distribución acumulativa: Es la probabilidad de que la velocidad del viento no supere un valor x y se calcula mediante la ecuación (1)

$$\text{Distribución acumulativa} = 1 - e^{\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right)} \quad (1)$$

Distribución acumulativa complementaria: Es la probabilidad de que la velocidad del viento supere un valor x y se calcula mediante la ecuación. (2)

$$\text{Distribución acumulativa complementaria} = e^{\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right)} \quad (2)$$

Tabla 8.- Distribución acumulativa y acumulativa complementaria en Atillo 2015

| Distribución acumulativa | Distribución acumulativa complementaria |
|--------------------------|---|
| 0,00 | 100,00 |
| 7,88 | 92,12 |
| 26,06 | 73,94 |
| 47,61 | 52,39 |
| 67,04 | 32,96 |
| 81,50 | 18,50 |
| 90,71 | 9,29 |
| 95,82 | 4,18 |
| 98,31 | 1,69 |
| 99,38 | 0,62 |
| 99,80 | 0,20 |
| 99,94 | 0,06 |
| 99,98 | 0,02 |

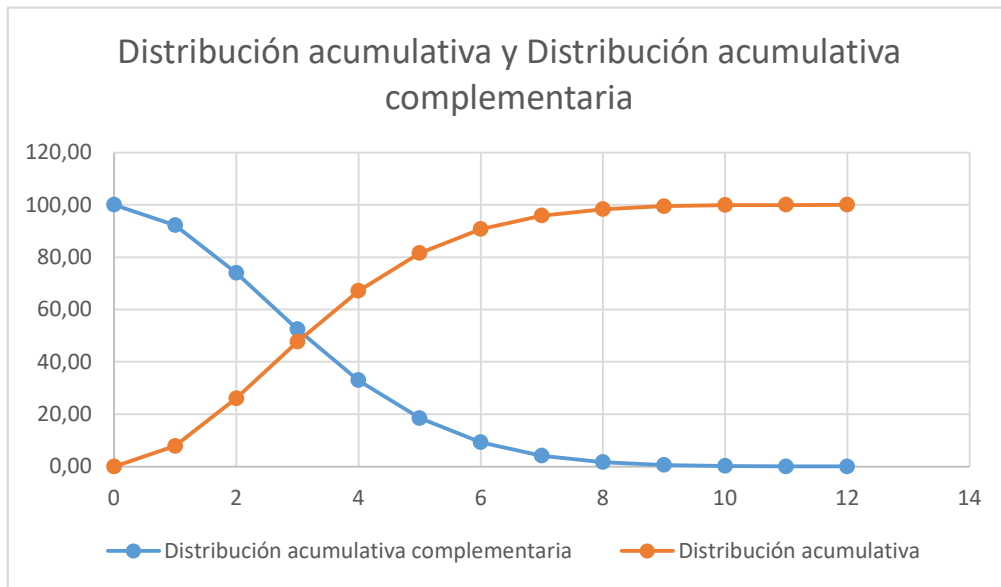
Elaborado por: Autores

En la figura 11 se muestra la distribución acumulativa y la acumulativa complementaria.

La probabilidad de que el viento supere un valor x decrece conforme se incrementa la velocidad.

La probabilidad de que el viento no supere un valor x se hace máxima conforme se incrementa la velocidad.

Figura 11. Distribución acumulativa y acumulativa complementaria



Elaborado por: Autores

Tabla 9. Puntos para la aproximación lineal en Atillo 2015

$$y = 1.88x - 2.51$$

| X | Y |
|-----|--------|
| 0 | -2,500 |
| 0,1 | -2,312 |
| 0,2 | -2,124 |
| 0,3 | -1,936 |
| 0,4 | -1,748 |
| 0,5 | -1,560 |
| 0,6 | -1,373 |
| 0,7 | -1,185 |
| 0,8 | -0,997 |
| 0,9 | -0,809 |
| 1 | -0,621 |
| 1,1 | -0,434 |
| 1,2 | -0,246 |
| 1,3 | -0,058 |
| 1,4 | 0,130 |
| 1,5 | 0,318 |

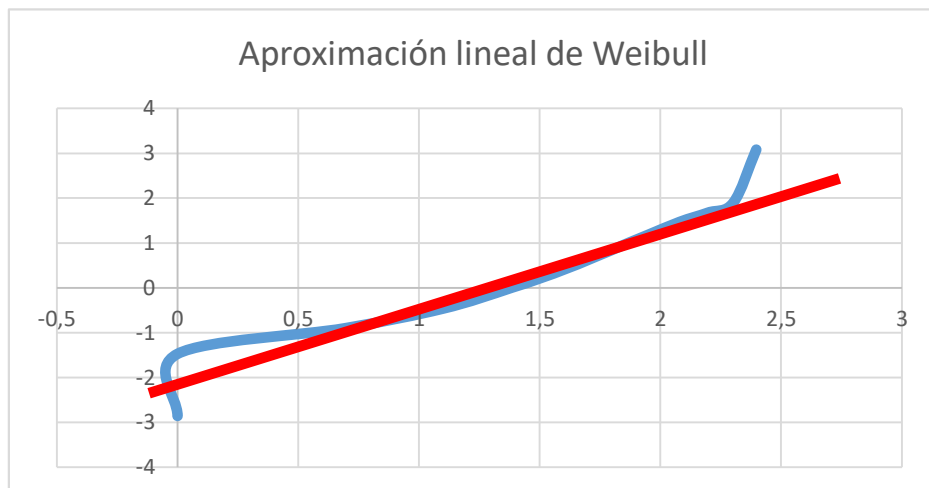
(Continua)

Tabla 9 (Continuación)

| | |
|-----|-------|
| 1,6 | 0,506 |
| 1,7 | 0,693 |
| 1,8 | 0,881 |
| 1,9 | 1,069 |
| 2 | 1,257 |
| 2,1 | 1,445 |
| 2,2 | 1,632 |
| 2,3 | 1,820 |
| 2,4 | 2,008 |
| 2,5 | 2,196 |
| 2,6 | 2,384 |
| 2,7 | 2,572 |
| 2,8 | 2,759 |
| 2,9 | 2,947 |
| 3 | 3,135 |
| 3,1 | 3,323 |
| 3,2 | 3,511 |
| 3,3 | 3,698 |

Elaborado por: Autores

Figura 12. Aproximación lineal y puntos de doble logarítmica Atillo 2015



Elaborado por: Autores

4.5.- Función densidad de probabilidad de Weibull

Calculados los parámetros de forma (k) y de escala (C), se aplica a ecuación (8) para evaluar la función densidad de probabilidad de Weibull.

$$C= 3.80$$

$$k= 1.88$$

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{v}{c}\right)^k} \quad (8)$$

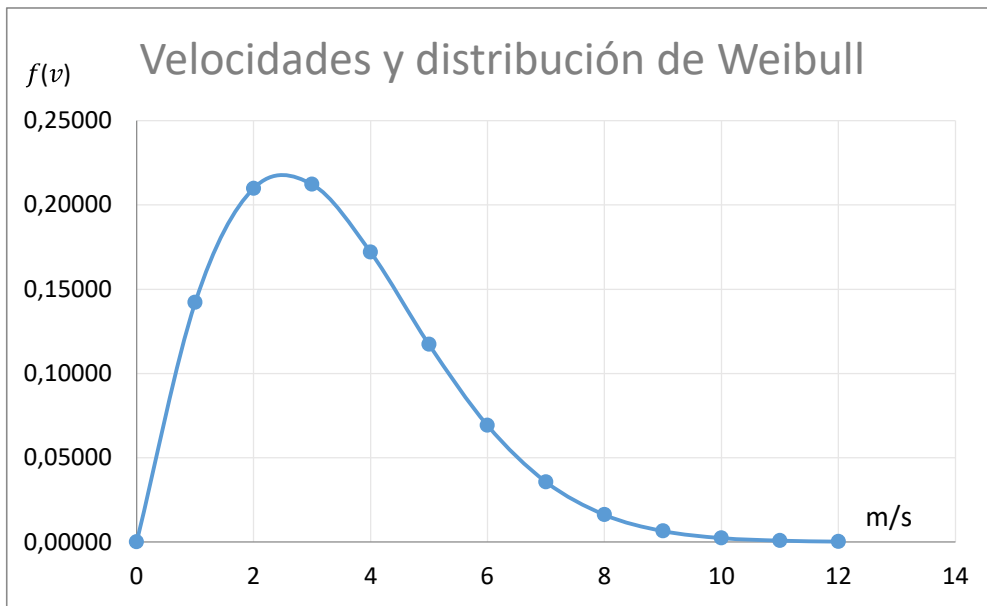
En donde v corresponde a cada una de las velocidades, en este caso particular desde 0 m/s hasta 11 m/s.

Tabla 10.Función densidad de probabilidad de Weibull Atillo 2015

| V (m/s) | FUNCIÓN DENSIDAD DE PROBABILIDAD |
|--------------------|---|
| 0 | 0,00000 |
| 1 | 0,14208 |
| 2 | 0,20963 |
| 3 | 0,21204 |
| 4 | 0,17177 |
| 5 | 0,11726 |
| 6 | 0,06909 |
| 7 | 0,03561 |
| 8 | 0,01620 |
| 9 | 0,00654 |
| 10 | 0,00236 |
| 11 | 0,00076 |

Elaborado por: Autores

Figura 13. Aproximación distribución de Weibull Atillo 2015



Elaborado por: Autores

4.6.- Cálculo de la potencia media de salida

Para el cálculo de la potencia media de salida se utiliza la ecuación. (9)

$$P_{ms_n} = \left(\frac{P_{i_{n-1}} + P_{i_n}}{2} \right) f(v) \quad (9)$$

Donde P_{ms_n} Es la potencia media de salida, P_i es la potencia instantánea del aerogenerador a diferentes velocidades y $f(v)$ es la función densidad de probabilidad de Weibull.

4.7.- Cálculo de la potencia media de salida acumulada

Se determina por medio de la ecuación.(10)

$$P_{msa} = P_{msa_{n-1}} + P_{ms_n} \quad (10)$$

Tabla 11. Potencia instantánea, potencia media de salida en Atillo 2015

| Velocidad (m/s) | FUNCIÓN DENSIDAD DE PROBABILIDAD | POTENCIA INSTANTÁNEA (kW) | POTENCIA MEDIA DE SALIDA (kW) | POTENCIA MEDIA DE SALIDA ACUMULADA (kW) |
|-----------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|
| 0 | 0,00000 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 1 | 0,14208 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 0,20963 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 0,21204 | 0 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 0,17177 | 64 | 5,50 | 5,50 |
| 5 | 0,11726 | 159 | 13,07 | 18,57 |
| 6 | 0,06909 | 314 | 16,34 | 34,91 |
| 7 | 0,03561 | 511 | 14,69 | 49,60 |
| 8 | 0,01620 | 707 | 9,87 | 59,46 |
| 9 | 0,00654 | 1096 | 5,90 | 65,36 |
| 10 | 0,00236 | 1439 | 2,99 | 68,35 |
| 11 | 0,00076 | 1700 | 1,19 | 69,54 |
| 12 | 0,00022 | 1912 | 0,40 | 69,94 |

Elaborado por: Autores

4.8.- Cálculo de Energía anual extraíble del recurso eólico

Este valor se encuentra multiplicando la potencia media de salida acumulada total por 8760, que corresponde al número total de horas en un año.

$$Energía\ anual\ (kWh) = P_{msa_T}(Horas) \quad (11)$$

$$Energía\ anual\ (kWh) = 69,94(8760)$$

$$Energía\ anual\ (kWh) = 612676.40\ kWh$$

$$Energía\ anual\ (kWh) = 612.67\ MWh$$

4.9.- Potencia disponible

Es la potencia contenida en el viento debido a su energía cinética y está dada por la ecuación.(12)

$$P_d = \frac{1}{2} \rho A (v)^3 \quad (12)$$

Dónde: A es el área de barrido del aerogenerador:

Diámetro= 82 m

A= 5281 m²

Tabla 12.Velocidades del viento promedio anual

| V (m/s) | N | V*N |
|---------|-------------------|-------|
| 0 | 491 | 0 |
| 1 | 1307 | 1307 |
| 2 | 1135 | 2270 |
| 3 | 1169 | 3507 |
| 4 | 1455 | 5820 |
| 5 | 1312 | 6560 |
| 6 | 1011 | 6066 |
| 7 | 540 | 3780 |
| 8 | 228 | 1824 |
| 9 | 71 | 639 |
| 10 | 30 | 300 |
| 11 | 9 | 99 |
| 12 | 2 | 24 |
| | 8760 | 28619 |
| | \tilde{v} (m/s) | 3,27 |

Elaborado por: Autores

V es la velocidad promedio anual se calcula utilizando la ecuación. (13)

$$\tilde{v} = \frac{1}{n} (\sum(v)(n)) \quad (13)$$

$$\tilde{v} = \frac{1}{8760} (28619)$$

$$\tilde{v} = 3.27$$

Para aplicar la ecuación es necesario corregir la densidad del aire mediante la ecuación.(14)

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{t+273} \right) e^{-\left(\frac{h}{8435} \right)} \quad (14)$$

Dónde: ρ es la densidad del aire en kg/m³, t es la temperatura en grados centígrados y h es la altura de la zona en estudio sobre el nivel del mar en msnm.

Para la estación de Atillo los datos son los siguientes:

Altura= 3446 msnm

t= 10 °C

$$\rho = 1.225 \left(\frac{288}{10 + 273} \right) e^{-\left(\frac{3446}{8435}\right)}$$

$$\rho = 0.828$$

Entonces:

$$P_d = \frac{1}{2} (0.828)(5281)(3.27)^3$$

$$P_d = 76.45 \text{ kW}$$

Energía anual disponible= 76.45 (8760) = 669674.67 kWh/año = 669.67 MWh/año

Las velocidades de viento medias suelen obtenerse a partir de datos meteorológicos medidos a una altura de 10 metros. Sin embargo, las alturas del buje de los aerogeneradores modernos de 600 a 1500 kW son normalmente de 40 a 100 metros.

Para tener una idea clara de las proyecciones de velocidades a diferentes alturas se utiliza una relación de velocidades y alturas elevado a la longitud de rugosidad.

$$(V/v_0) = (H/H_0)^{Z_0} \quad (15)$$

$$Z_0 = 2 \text{ m}$$

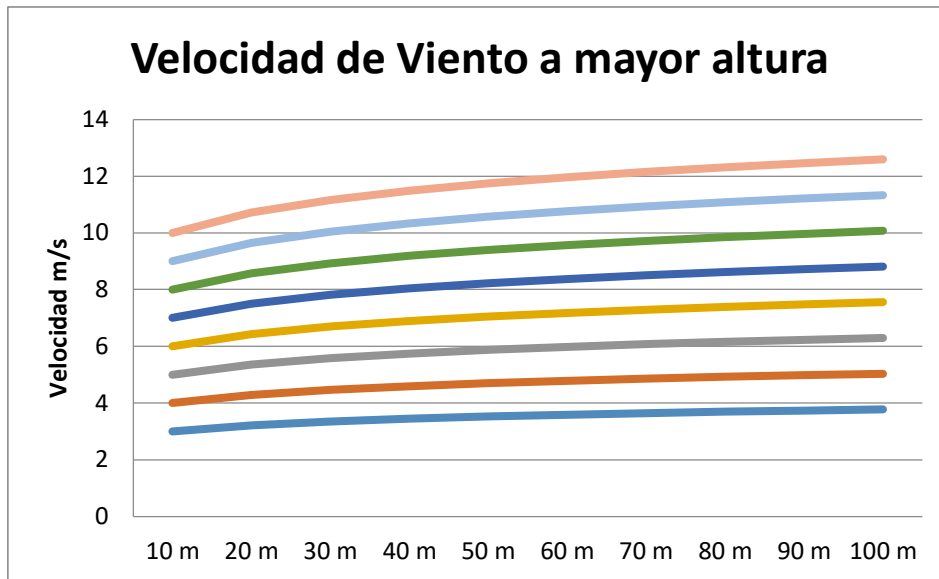
En la tabla 13 se observa la velocidad del viento promedio que se puede esperar para mayores alturas basado en el modelo de perfil de velocidades considerando un lugar con rugosidad.

Tabla 13. Velocidades del viento a diferentes alturas en condiciones normales

| Velocidad de viento (m/s) esperada a diferentes alturas en metros | | | | | | | | | | |
|---|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10 m | 20 m | 30 m | 40 m | 50 m | 60 m | 70 m | 80 m | 90 m | 100 m |
| velocidad del viento (m/s) | 3 | 3,22 | 3,35 | 3,45 | 3,52 | 3,59 | 3,64 | 3,69 | 3,74 | 3,78 |
| | 4 | 4,29 | 4,46 | 4,59 | 4,70 | 4,78 | 4,86 | 4,92 | 4,98 | 5,04 |
| | 5 | 5,36 | 5,58 | 5,74 | 5,87 | 5,98 | 6,07 | 6,16 | 6,23 | 6,29 |
| | 6 | 6,43 | 6,70 | 6,89 | 7,05 | 7,18 | 7,29 | 7,39 | 7,47 | 7,55 |
| | 7 | 7,50 | 7,81 | 8,04 | 8,22 | 8,37 | 8,50 | 8,62 | 8,72 | 8,81 |
| | 8 | 8,57 | 8,93 | 9,19 | 9,40 | 9,57 | 9,72 | 9,85 | 9,97 | 10,07 |
| | 9 | 9,65 | 10,05 | 10,34 | 10,57 | 10,77 | 10,93 | 11,08 | 11,21 | 11,33 |
| | 10 | 10,72 | 11,16 | 11,49 | 11,75 | 11,96 | 12,15 | 12,31 | 12,46 | 12,59 |

Elaborado por: Autores

Figura 14. Velocidad del viento en relación a la altura



Elaborado por: Autores

La extrapolación para 60 m de altura da una velocidad del viento equivalente a 13,56 m/s. Es necesario aclarar que, si se baja de 100 m a 50 m de altura, por ejemplo, la velocidad disminuye aproximadamente solo un 10%, sin embargo, como la potencia está en función del cubo de la velocidad, en potencia se perdería un 27% aproximadamente.

Por esto es muy necesario considerar si vale la pena invertir en torres muy altas.

4.10.- Análisis de factibilidad técnica

Se toma en cuenta los resultados de la energía anual extraíble del recurso eólico y los requerimientos de consumo de la zona.

La parroquia Atillo se encuentran ubicadas en el cantón Guamote a 90 km de la ciudad de Riobamba. Al tratarse de un sector rural, el consumo aproximado por familia sería de 90 kWh.

La población de Atillo está estimada en 3884 habitantes. Si se considera un total de 5 personas por familia, se tendría un total de 769 familias.

Requerimiento por familia: 90 kWh mensual; 1080 kWh anual; para 769 familias 830520 kWh anual; 830.5 MWh anual.

Energía anual extraíble: 612 MWh

Por tanto, el aerogenerador de las características mencionadas instalado en la zona de Atillo cubriría los requerimientos energéticos del 50% de la población.

Por tratarse de un recurso renovable y sobre todo de producción limpia en una zona turística como Atillo, se considera factible la instalación de un aerogenerador para cubrir los requerimientos de energía del 50% de su población, ó también, considerar la instalación de dos aerogeneradores para cubrir la exigencia de toda su población. Se enfatiza que en este análisis de factibilidad se prioriza los aspectos ambientales de producción de energía limpia sobre los aspectos económicos.

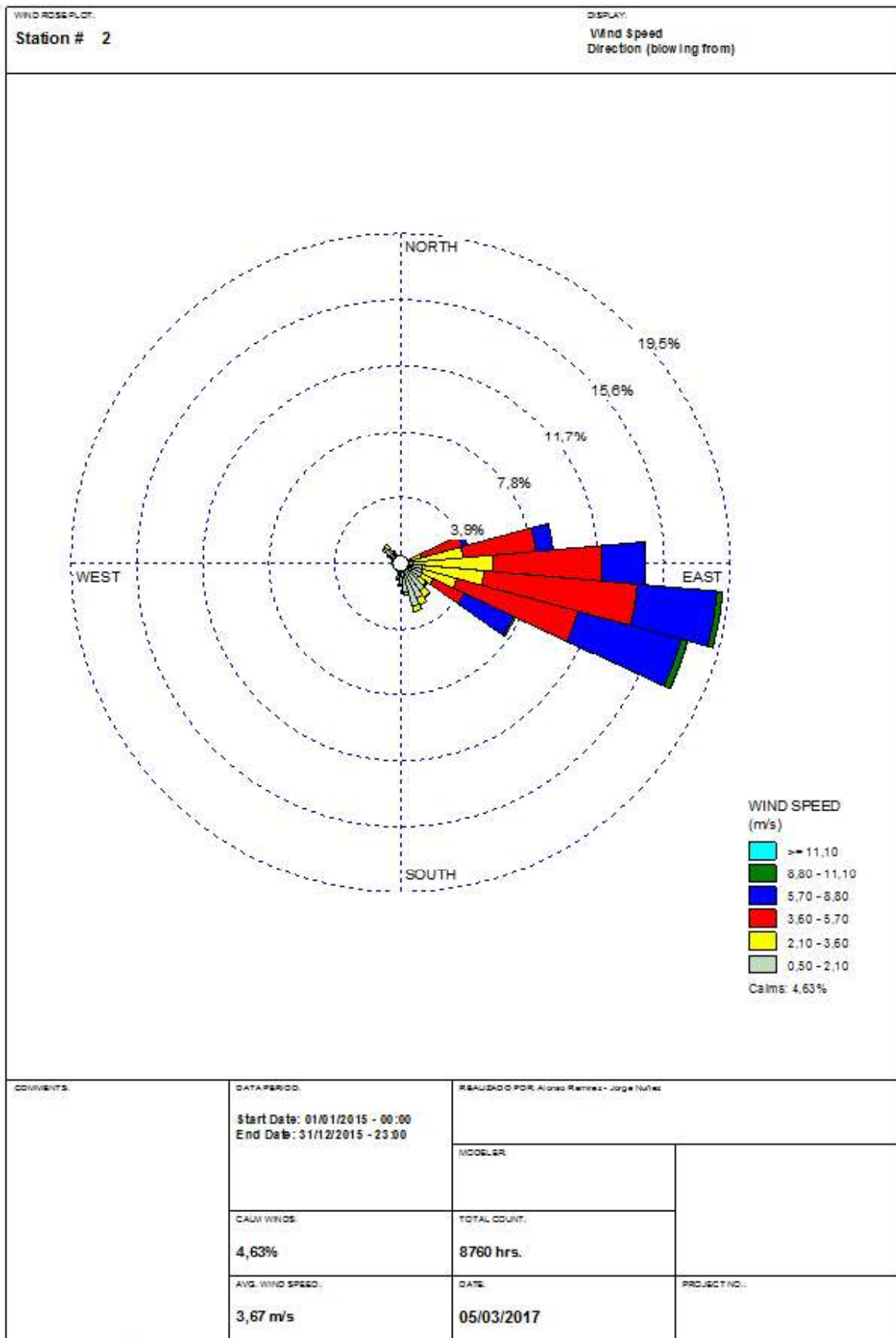
4.11.- Representación en la Rosa de los vientos velocidad y dirección del viento en Atillo en el año 2015

Para la representación de la rosa de los vientos se usó el software WRPLOT View. Esta representación es muy útil porque muestra información simultánea, dirección e intensidad del viento en un mismo gráfico, llamado rosa de los vientos.

En la figura 15 muestra los segmentos, que representan direcciones angulares según la procedencia del viento.

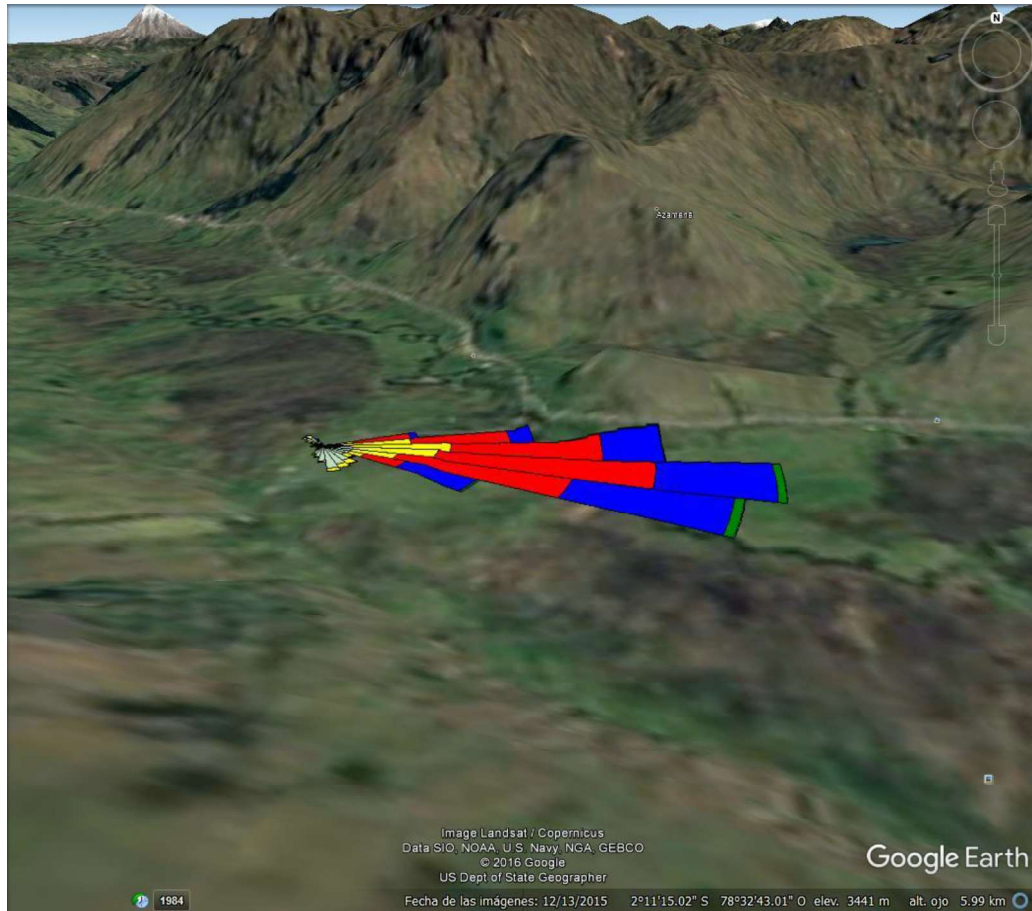
Las divisiones en la longitud radial representan la duración en el tiempo y la proporción de energía contenida en el sector.

Figura 15. Rosa de los vientos en ATILLO 2015



Elaborado por: Autores

Figura 16. Rosa de los vientos en el sitio (ATILLO 2015)



Elaborado por: Autores

4.12.- Georreferenciación del mapa de la provincia de Chimborazo

Para la georreferenciación del mapa de la provincia de Chimborazo se utilizó el programa arcgis 10.4, mediante los cálculos realizado anteriormente se obtuvo la tabla de valores, cuyo variables son: ID, latitud, longitud, estación, PMSA (para cada año), E. anual (para cada año). Mostrada a continuación.

Tabla 14. Tabla de atributos para arcgis

| ID | Latitud | Longitud | Estación | PMISA (kW) 2014 | E anual (MWh) 2014 | PMISA (kW) 2015 | E anual (MWh) 2015 | PMISA (kW) 2016 | E anual (MWh) 2016 |
|----|-----------|------------|----------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| E1 | -2,187061 | -78,549289 | Atillo | 83,12 | 728,26 | 69,94 | 612,67 | 63,91 | 506,62 |
| E2 | -1,655099 | -78,678295 | ESPOCH | 59,52 | 521,41 | 36,33 | 318,25 | 12,46 | 500,58 |
| E3 | -1,548611 | -78,495 | Matus | 46,73 | 409,38 | 1,314 | 11,51 | 0,86 | 490,43 |
| E4 | -1,656944 | -78,569444 | Quimiag | 0,85 | 7,45 | 3,51 | 30,77 | 3,3034 | 510,33 |
| E5 | -1,632222 | -78,7825 | San Juan | 17,8 | 156,05 | 18,04 | 158,04 | 8,02 | 521,56 |
| E6 | -1,761111 | -78,62916 | Tunshi | 3,17 | 27,79 | 2,88 | 25,21 | 2,70 | 550,12 |
| E7 | -1,488611 | -78,7124 | Urbina | 99,66 | 873,083 | 151,65 | 1328,58 | 121,04 | 495,45 |

Elaborado por: Autores

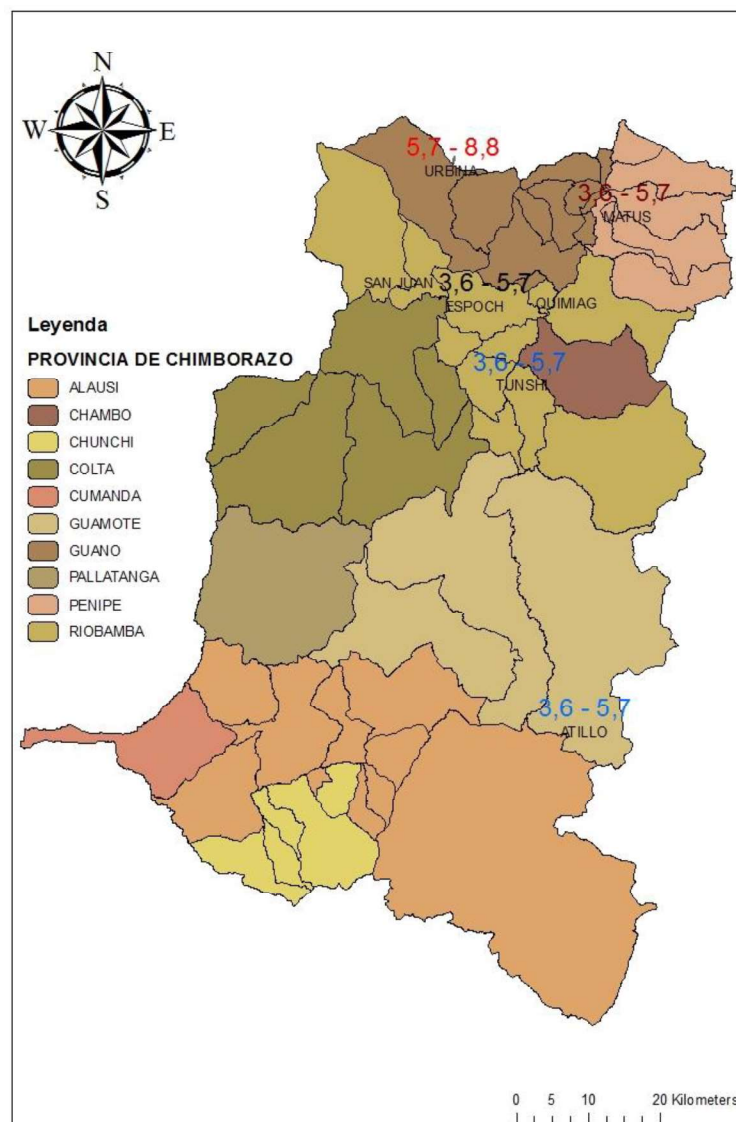
El mapa correspondiente a la provincia de Chimborazo se extrajo de la página web del (Sistema Integrado de Información, 2014)

En la misma se encuentra el mapa del Ecuador clasificada por zonas, de donde la zona 3 representa a las provincias de Tungurahua, Cotopaxi, Chimborazo y Pastaza.

Luego de obtener el mapa de la zona 3 se extrajo información referente a la provincia de Chimborazo, Con la ayuda del software arcgis 10.4 se integró la tabla 14 y se trabajó con capas para obtener las parroquias sobre el mapa de la provincia de Chimborazo.

A partir de ahí se tiene un mapa con los puntos de las 7 estaciones.

Figura 17. Mapa de la provincia de Chimborazo

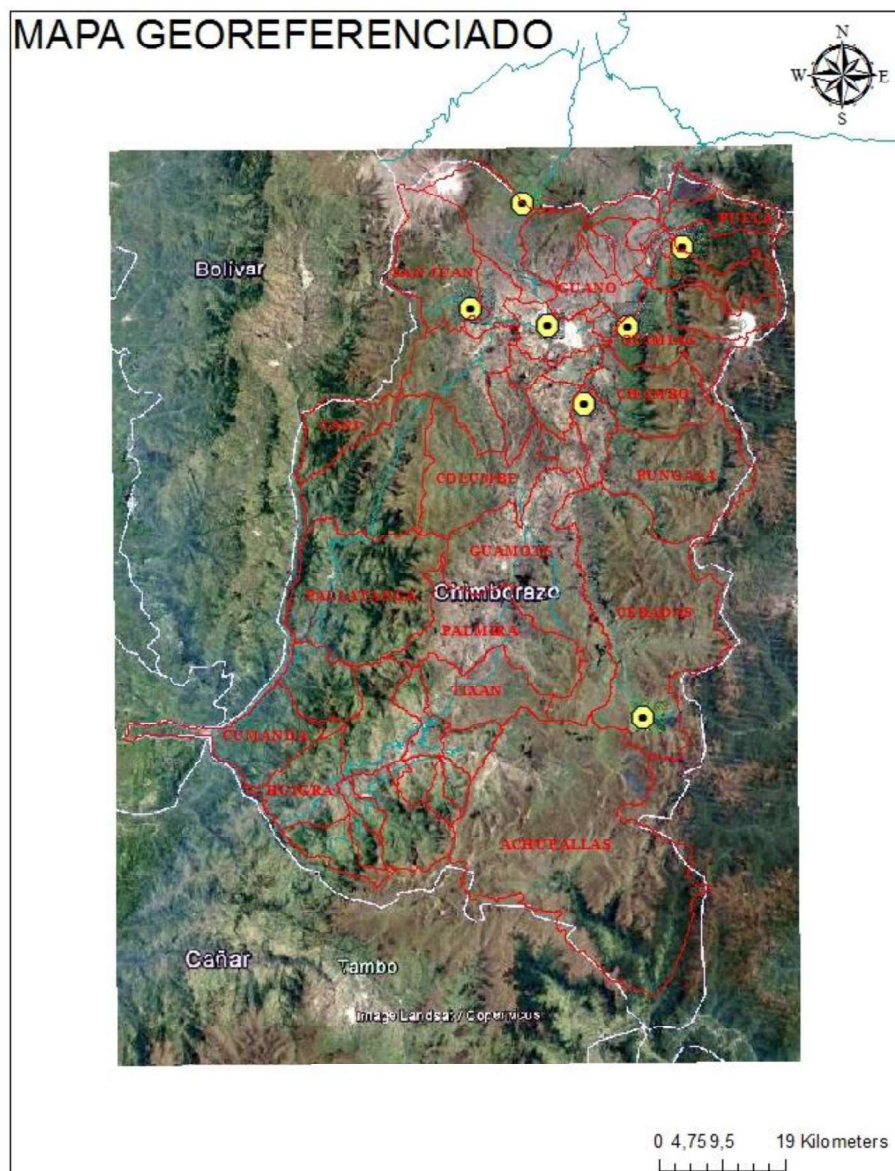


Elaborado por: Autores

En la figura 17 están las parroquias de la provincia de Chimborazo por coloración, en la parte superior Izquierda indica la dirección al norte geográfico, en la parte inferior derecha se encuentra la escala del mapa en la provincia de Chimborazo.

Las imágenes satelitales proporcionadas por el software google earth, sirven como referencia para tener una mejor interpretación de la localización de las estaciones, además de encontrar puntos de referencia del volcán Tungurahua, la ciudad de Riobamba y el volcán Chimborazo.

Figura 18. Representación de las estaciones



Elaborado por: Autores

En el figura 18, están las 7 estaciones con círculo de coloración amarilla, en la parte superior izquierda se encuentra la dirección al norte geográfico y en la parte inferior su respectiva escala.

4.13.- Análisis y discusión de resultado

Jhonnatan Cochancela y Patricio Astudillo de la Universidad de Cuenca realizaron un estudio del potencial eólico en el Cerro Puntas, localizada en la región sierra, entre los cantones de Checa y Pifo del Cantón Quito, provincia de Pichincha. Los datos fueron tomados a 10 m de altura y calcularon una energía anual de 8138 MWh. Este resultado difiere del encontrado en la estación de monitoreo de Atillo en el año 2015, para la cual se calculó una energía anual menor (612.67 MWh) debido a que las velocidades del viento promedio en esta zona resultaron menores.

En relación a las otras estaciones de monitoreo para el año 2014 la energía anual en Atillo (728.2 MWh), Espoch (521.4 MWh), Matus (409.38 MWh), Quimiag (7.44 MWh), San Juan (156.05MWh), Tunshi (27.791 MWh) y en Urbina (873.08 MWh).

En el año 2015 la energía anual en Espoch (318.2 MWh), Matus (11.51 MWh), Quimiag (30.77 MWh), San Juan (158.04 MWh), Tunshi (25.20 MWh) y en Urbina (1328.57 MWh).

En el año 2016 la energía anual en Atillo (351.05 MWh), Espoch (68.46 MWh), Matus (4.71 MWh), Quimiag (18.14 MWh), San Juan (44.078 MWh), Tunshi (14.864 MWh) y en Urbina (664.88 MWh).

De la energía anual se determina que los puntos con un alto valor durante los tres años son Atillo, Espoch y Urbina, se debe recordar que las mediciones están a 10 m de altura.

Una clasificación por altitud se encuentran: Urbina 3620msnm, Atillo 3446msnm, San Juan 3220 msnm, Tunshi 3083 msnm, Matus 3006 msnm, Espoch 2820 msnm, Quimiag 2725 msnm.

Al mantener Energía anual alta Atillo y Urbina son consideradas aptas para una posible creación de un parque eólico, dependerá de ello considerar la accesibilidad de equipos como de vehículos.

Comparado con el método de distribución de Rayleigh, la distribución de Weibull es más versátil. Además, la distribución de Rayleigh es poco fiable en las zonas donde la velocidad media anual no supere los 4.5 m/s y no debe usarse nunca cuando esta

velocidad es menor a 3.5 m/s. Por tal razón, este trabajo investigativo prefirió desarrollar la metodología del modelo de distribución de Weibull.

CAPÍTULO V

5.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.- Conclusiones

- La altura de la zona en estudio resultó ser un parámetro muy importante para la determinación de la densidad del aire que interviene directamente en la potencia disponible. La densidad del aire estándar es de 1.225 kg/m^3 que es mayor a la encontrada para esta zona (0.828 kg/m^3).
- La aleatoriedad del viento, afecta significativamente a la energía eólica extraíble por unidad de área, pequeñas variaciones en la velocidad producen cambios importantes debido a que la potencia varía con el cubo de esa velocidad.
- La velocidad promedio del viento es importante para la evaluación de la producción energética y para su cálculo, debe considerarse la media ponderada que considera las diferentes velocidades en relación a sus frecuencias anuales.
- La potencia es directamente proporcional al área de barrido, si se incrementa el diámetro del rotor del aerogenerador, se incrementará también la potencia del mismo.
- El método de la distribución de Weibull se adapta bien a la forma típica del histograma del viento. Se obtiene mayor exactitud en el cálculo de la energía eólica extraíble cuando la distribución de probabilidad se aproxima más a los datos medidos.
- Los parámetros de forma (k) y de escala (C) son fundamentales para la evaluación del potencial eólico, de ellos depende en gran medida la evaluación de la distribución de densidad de probabilidad.
- Con respecto a la estación de Atillo, los meses de junio, julio, agosto y septiembre fueron de mayor promedio de velocidad del viento y las horas de mayor intensidad del viento fueron desde las 16h00 hasta las 21h00.
- La energía anual extraíble del recurso eólico en Atillo en el año 2015 fue de 612.67 MWh/año que cubrirían el requerimiento energético del 50% de los pobladores de esa zona.

- La relación de energía extraíble y disponible fue del 43%, tomando en cuenta que la energía anual disponible en Atillo 2015 fue de 669.67 MWh/año y la energía anual total extraíble fue de 612.67 MWh/año.
- Es viable implementar un parque eólico en el la estación Urbina, basados en los resultados de energía anual en los años 2014,2015 y2016 respectivamente (873.08 MWh), (1328.57 MWh) y (664.88 MWh). La cual su mínimo valor es 664.8MWh y su máximo es de 1328.5Mwh.
- Urbina se encuentra a 500m aproximadamente de la vía panamericana E35 SUR-NORTE, cuya latitud es 1°29'19"S y longitud es 78°42'44,64"W a una altitud de 3620msnm. Se tiene velocidades hasta de 11m/s con una frecuencia de aparición baja, esto se debe a la baja atula de los instrumentos de medición.
- Las velocidades de mayor frecuencia de aparición en Urbina son de 4 y 5 m/s. Las mismas tienen 1082 y 1071 horas de aparición respectivamente.
- Los resultados obtenidos de potencia y energía disponible son válidos únicamente para el aerogenerador mm82.
- Dentro de la estación ESPOCH se obtuvo valores de Energía Anual de (521.4 MWh) en el año 2014, (318.2 MWh) en el año 2015, (68.46 MWh) en el año 2016, con velocidades promedio de uno hasta cinco metros por cada segundo con mayor frecuencia de aparición en los años 2014 y 2015.

5.2.- Recomendaciones

- Dado que se presenta una tendencia incremental en función de la altura, es recomendable la instalación del eje del aerogenerador a la mayor altura posible sobre el nivel del suelo.
- Es recomendable en el momento del monitoreo, que las tomas de datos se realicen a frecuencias de 10 s y promedios, con intervalos de minutos y horas, de esta forma se obtiene mayor precisión en los resultados.
- Es necesario adoptar medidas de contingencia para minimizar el impacto ambiental en la instalación de centrales eólicas.
- Los sensores deben ser ubicados en lugares libres de obstáculos para que permita captar la dirección e intensidad del viento en todas las direcciones.

- Se debe socializar el proyecto de instalación de una central eólica con los integrantes de la comunidad para dar a conocer los principales impactos que el proyecto generaría.
- Será necesario en todos los casos contar con una licencia ambiental.
- La selección del aerogenerador debe considerar varios parámetros técnicos tales como: potencia, diámetro del rotor, altura del eje del rotor, número de aspas y la curva de potencia a diferentes velocidades. Por esta razón, su selección debe ser estricta y obedecer a criterios particularmente técnicos.
- De acuerdo a los valores de energía extraíble, se recomienda la instalación de centrales eólicas en las zonas de: Urbina y Atillo en las cuales son puntos con mayor energía anual comparada con las otras cinco estaciones de monitoreo, aunque se deberá tener datos a mayor altura para confirmar el estudio.
- Utilizar los resultados de potencial eólico y energía aprovechable para implementación de una mini central eólica dentro de la ESPOCH, mediante esta central poder abastecer con energía exclusivamente a un edificio o laboratorio específico de la misma.

5.3.- BIBLIOGRAFÍA

ASOCIACION EMPRESARIAL EOLICA. [En línea] 01 de 04 de 2012. [Consultado el: 24 de 02 de 2017.]. Disponible en Web:<<http://www.aeeolica.org/es/new/reve-eolica-en-india-potencial-eolico-30-veces-mayor-del-estimado/>>.

AGENCIA DE REGULACION & CONTROL DE ELECTRICIDAD. Ecuador ama la vida. *Estadística del sector eléctrico- producción.* [En línea] 2016. [Consultado el: 3 de marzo de 2016.]. Disponible en Web:<<http://www.regulacioneolica.gob.ec/estadistica-del-sector-electrico/produccion/>>.

BALICH, Melisa. *Características de la energía eólica.* [En línea] 2015. [Consultado el: 4 de febrero de 2017.]. Disponible en Web:<<http://eeolicacsj.blogspot.com/p/caracteristicas-de-la-energia-eolica.html>>.

BAÑUELOS, Francisco. *Impacto de la generación eléctrica usando fuentes de energía eólica.* [En línea] 2011. [Consultado el: 11 de diciembre de 2016.]. Disponible en Web:<<http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/4634/1/tesis.pdf>>.

Comision Nacional de Energia. *Proyectos eólicos.* Santiago Chile , B&B Impresores, 2006.pp 26-28

CRUZ, Ignacio. *Avances tecnológicos y perspectivas de la energía eólica.* [En línea] 2012. [Consultado el: 16 de marzo de 2017.]. Disponible en Web:<<http://www.eis.uva.es/energiasostenible/wp-content/uploads/2012/09/Avances-tecnol%C3%B3gico-y-perspectivas-de-la-energ%C3%ADa-e%C3%B3lica-2012.pdf>>.

DE TORO, J. A. Física ambiental aplicada. *Grupo G9 de Universidades.* [En línea] 2011. [Consultado el: 10 de agosto de 2016.]. Disponible en Web:<https://www.uclm.es/profesorado/ajbarbero/FAA/EEOLICA_Febrero2012_G9.pdf>.

AGENCIA ALEMANA DE ENERGÍA. *Energía eólica.* [En línea] 17 de Abril de 2015. [Consultado el: 02 de Diciembre de 2016.] Disponible en Web:<<http://www.renewables-made-in-germany.com/es/renewables-made-in-germany/tecnologias/energia-eolica/energia-eolica/introduccion.html>>.

DOMÍNGEZ, Iria. *Energías alternativas.* [En línea] 2016. [Consultado el: 10 de noviembre de 2016.]. Disponible en Web: <http://www.natureduca.com/energ_alternat_eolicaintrod.php>.

SAMULAT, Gerhard. *El futuro de la energía eólica.* Junio 2012, Investigación y ciencia Edición española de scientific American, N° 429 ,pp. 2.

ESCORCIA, Jessica. *Energía eólica.* [En línea] 2015. [Consultado el: 17 de septiembre de 2016.]. Disponible en Web:<http://luisajessica.blogspot.com/2009/11/aplicaciones_18.html>.

FIGUEROA, Diego David Bravo. Implementación de proyectos de generación eólica en el Ecuador. *Proyecto Previo a Titulación.* (Ingeniero Electrico),Escuela Superior Politecnica Nacional,Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería. Quito : s.n., 2005.pp 37

INDUSTRIA & TECNOLOGÍA. Energía eólica o energía del viento. [En línea] 2015. [Consultado el: 20 de septiembre de 2016.]. Disponible en Web:<<http://www.industriaytecnologia.com/energia-eolica-introduccion.html>>.

INAMHI. *Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología.* [En línea] Inamhi, 2016. [Consultado el: 22 de noviembre de 2016.]. Disponible en Web:<http://issuu.com/inamhi/docs/instrumentos_met/1?e=0>.

ITC. Energías renovables. [aut. libro] Instituto Tecnológico de Canarias. *Energías renovables.* Canarias : s.n., 2008.

JIMENO, Manuel Ledesma.. *Principio de Meteorología y Climatología.* Salamanca : s.a. ediciones Paraninfo, 2011..

LÓPEZ, José María Escudero. *Manual de energía eólica.2^{da} Edición.* Mexico : Mundi Prensa, 2008.pp 472

VULLARUBIA López, Miguel. 2012. *Ingeniería de la energía eólica.* 1^{ra} Edición. Barcelona. España. Mrcombo S.A, 2012. pp 283.

VILLARRUBIA López, Miguel. 2004. *Energía eólica Energías alternativas y Medio Ambiente.* . Barcelona España. Grupo Planeta (GBS), 2004. pp 328.

MARCOS, Alfonso. Consideraciones de un proyecto de energía eólica. [En línea] 2015. [Consultado el: 08 de junio de 2016.]. Disponible en Web:<http://www.aeipro.com/files/congresos/2004bilbao/ciip04_0906_0913.1301.pdf>.

MARTINS, Alejandra. BBC MUNDO. *Cómo Uruguay logró ser el país con mayor porcentaje de energía eólica de América Latina.* [En línea] 14 de Marzo de 2016. [Consultado el: 17 de julio de 2016.] Disponible en Web:<http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/03/160314_uruguay_energia_eolica_am>.

MEER. Ministerio de Electricidad y Energía Renovables. *Villonaco.* [En línea] Ecuador ama la vida. [Consultado el: 25 de febrero de 2017.] <http://www.energia.gob.ec/villonaco/>.

MORAGUES, Jaime y Rapallini, Alfredo. Energía eólica. [En línea] 2003. [Consultado el: 23 de Marzo de 2017.] Disponible en Web:<http://www.iae.org.ar/renovables/ren_eolica.pdf> p22.

ORTÍZ, Carlos. La energía eólica, posibilidades y limitaciones. [En línea] 25 de Julio de 2005. [Consultado el: 26 de enero de 2017.] Disponible en Web:<<http://www.estrucplan.com.ar/articulos/verarticulo.asp?IDArticulo=1031>>.

SEMPLADES. *Proyecto Emblemáticos en Galápagos.* Milagro : s.n., 2014, Vol. 1, pp 88.

PUERTA TUESTA, Ronald, Rengifo Trigozo, Juan & Bravo Morales, Nino. 2011. *Arc Gis 10.* Tingo María - Perú : Esri, 2011.

SISTEMA INTEGRADO DE INFORMACION. *Integrador geografico.* [En línea] 2014. [Consultado el: 13 de enero de 2017.] Disponible en Web:<http://sni.gob.ec/integrador_geografico>. Igualmente Disponible en Web: <<http://sni.gob.ec/visor-zonal>>.

SOCAG, Hugo Patricio Huebla. “*estudio de factibilidad para generación eólica en el sector de totorillas-provincia de chimborazo*”.. Tesis (Ingeniero en Electrónica, Control y Redes Industriales), Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Informatica y Electrónica, Escuela de Ingeniería Electrónica, Control y Redes Industriales Riobamba : s.n., 2012.

TEXTOS CIENTÍFICOS. Energía eólica. [En línea] 2014. [Consultado el: 8 de mayo de 2016.] Disponible en Web:<<http://www.textoscientificos.com/energia/eolica>>.

THE WIND POWER. MM82 Repower. *Wind Energy Market Intelligence.* [En línea] 04 de Marzo de 2017. [Consultado el: 04 de Marzo de 2017.] Disponible en Web:<http://www.thewindpower.net/turbine_en_16_repower_2000.php>.

TWENERGY. *¿QUE ES LA ENERGÍA EÓLICA?* [En línea] 01 de Febrero de 2012. [Consultado el: 14 de Marzo de 2017.]. Disponible en Web:<<https://twenergy.com/a/que-es-la-energia-eolica-382>>.

URGILÉS, César. prezi.com/9krpuyveaksi/metodo-historico-logico/. [En línea] 04 de Febrero de 2014. [Consultado el: 11 de enero de 2017.]. Disponible en Web:< www.prezi.com.

VILLONACO, Ministerio de Electricidad y Energía Renovable > Programas / Servicios >. 2015. [En línea] 30 de Octubre de 2015. [Consultado el: 26 de Noviembre de 2016.]. Disponible en Web:< <http://www.energia.gob.ec/villonaco/>>.