

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**“ANÁLISIS Y PARAMETRIZACIÓN DE UN AEROGENERADOR  
MICRO-EÓLICO AISLADO PARA LA UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”.**

Tesis previo a la obtención del  
Título de Ingeniero Eléctrico

**AUTOR:**

Washington Benito Pinos Vergara

**DIRECTOR:**

Ing. Diego Paul Chacón Troya

**CUENCA-ECUADOR**

**2015**

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Yo Washington Benito Pinos Vergara con documento de identificación N° 0104433115 manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado intitulado: “ANÁLISIS Y PARAMETRIZACIÓN DE UN AEROGENERADOR MICRO-EÓLICO AISLADO PARA LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Washington Benito Pinos Vergara

0104433115

**Autor**

Cuenca, octubre del 2015

## ***DEDICATORIA***

Dedico este proyecto primero a Dios que me ha dado salud y vida para seguir adelante a mis Padres que con su amor y apoyo incondicional durante todo este tiempo me ayudaron a no decaer y siempre confiaron en mí, a mis hermanos que constantemente me animaron a finalizarlo y a una persona muy especial en mi vida Alexandra Duran

Washington

## **AGRADECIMIENTOS**

Hoy, al alcanzar un logro más en mi vida, quiero dar gracias y reconocer a quienes me han apoyado para poder llegar a esta instancia, a quienes estuvieron a mi lado en las buenas y las malas que nos presenta la vida, a quienes han sido mi luz y mi guía, al ejemplo de lucha y perseverancia, a mi padre Oswaldo Pinos y a la prueba del amor incondicional mi madre, María Vergara.

Al ángel que en su paso por la tierra y ahora desde el cielo me cuida mi querido papá Neto.

A los maestros, aquellos que marcaron cada etapa de mi camino universitario, y que me ayudaron en asesorías y dudas presentadas en la elaboración de la tesis.

A mi querido amigo Víctor Hugo López por su apoyo incondicional.

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Washington Benito Pinos Vergara, autor del presente trabajo de Tesis Intitulado “ANÁLISIS Y PARAMETRIZACIÓN DE UN AEROGENERADOR MICRO-EÓLICO AISLADO PARA LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”, declaró que; los conceptos desarrollados, análisis, esquemas, modelos analizados y las conclusiones del presente trabajo, son de responsabilidad exclusiva del autor.

Cuenca, enero 2015.



Washington Benito Pinos Vergara  
0104433115  
**Autor**

## CERTIFICACIÓN

Yo, Diego Chacón Troya, en calidad de Director de Tesis intitulado “ANÁLISIS Y PARAMETRIZACIÓN DE UN AEROGENERADOR MICRO-EÓLICO AISLADO PARA LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”, desarrollado y elaborado por Washington Benito Pinos, declaro y certifico haber dirigido y revisado prolijamente cada uno de los capítulos del presente trabajo, basándome en la supervisión y análisis de sus contenidos.

Por cumplir con los requerimientos, autorizo su presentación.

Cuenca, enero 2015.



---

Ing. Diego Paul Chacón Troya.  
1900268168  
**Director de Tesis.**

# Contenido

Figuras .....	viii
Tablas .....	xi
INTRODUCCIÓN .....	1
Capítulo 1 .....	2
Conceptualización Básica .....	2
1.1. Introducción.....	2
1.1.1. Orígenes e historia de la energía eólica .....	3
1.1.2. Tecnología Eólica .....	5
1.1.3. Principales partes de un aerogenerador eje horizontal.....	7
1.1.4. Sistemas Micro-eólicos.....	8
1.2. Energía del Viento.....	10
1.2.1. Energía eólica.....	11
1.2.2. Parámetros del viento.....	12
1.2.3. Cálculo de la energía eólica .....	13
1.3. Potencia Aprovechable .....	15
1.3.1. Velocidad media del viento.....	15
1.4. Eficiencia del Aerogenerador .....	20
1.4.1. Coeficiente de potencia $C_p$ .....	20
1.4.2. Curva de potencia del aerogenerador .....	22
1.4.3. Eficiencia o Rendimiento de un Aerogenerador ( <i>pelecmecc</i> ).....	23
1.4.4. Potencia nominal eléctrica $P_{nom\ elec}$ .....	24
Capítulo 2.....	25
Análisis y Parametrización .....	25
2.1. Variables básicas y locales geo-atmosféricas.....	25
2.1.1. Instrumentos de adquisición de datos del viento .....	25

2.1.2.	Adquisición de datos del viento .....	28
2.1.3.	Análisis predictivo para el cálculo de energía eólica existente en zona de estudio.....	30
2.2.	Variables en función del Aerogenerador.....	44
2.2.1.	Microaerogenerador.....	44
2.2.2.	Parámetro y variables del microaerogenerador.....	47
2.3.	Vinculación de las variables al microaerogenerador.....	47
Capítulo 3.....		53
Análisis de parámetros.....		53
3.1.	Evaluación de generación del micro-eólico mediante aplicaciones computacionales.....	53
3.1.1.	Simulación eólica para determinar la velocidad media del viento en el año 2012 .....	54
3.1.2.	Simulación eólica para determinar la velocidad media del viento en el año 2013 .....	54
3.1.3.	Simulación eólica para determinar la velocidad media del viento en el año 2014 .....	55
3.1.4.	Simulación eólica para determinar la velocidad media del viento en el año 2015 .....	56
3.2.	Potencial micro-eólico .....	56
3.2.1.	Simulación eólica para determinar la potencia eólica - año 2012 .	57
3.2.2.	Simulación eólica para determinar la potencia eólica - año 2013 .	58
3.2.3.	Simulación eólica para determinar la potencia eólica - año 2014 .	59
3.2.4.	Simulación eólica para determinar la potencia eólica - año 2015 .	60
3.3.	Calculo de energía suministrada.....	61
3.4.	Implementación y análisis de micro-eólica.....	61
3.4.1.	Kit del microaerogenerador.....	61
3.4.2.	Protección del sistema.....	63

3.4.3. Esquema de instalación.....	63
3.4.4. Recomendaciones para la ubicación.....	64
3.4.5. Mantenimiento .....	65
3.4.6. Calculo del banco de baterías .....	66
3.4.7. Toma de datos del sistema micro-eólico .....	67
Capítulo 4:.....	74
Análisis estratégico y de Rendimiento.....	74
4.1. Análisis costo/eficiencia .....	74
4.2. Análisis costo/viabilidad .....	75
4.3. Análisis costo/beneficio .....	78
Capítulo 5:.....	80
Conclusiones y Recomendaciones. ....	80
5.1 Conclusiones.....	80
5.2 Recomendaciones.....	82
Bibliografía .....	83
Anexo I .....	86
'2012' Observed Wind Climate .....	87
'2013' Observed Wind Climate .....	88
'2014' Observed Wind Climate .....	89
'2015' Observed Wind Climate .....	90
'MAUPS' Observed Wind Climate .....	91

## Figuras

Figura 1. Barca fluvial. (1420 a. c.).....	4
Figura 2. Turbina eólica gigante de Brush en Cleveland (Ohio).....	4
Figura 3. Turbinas eólicas según el eje del rotor.....	6
Figura 4. Turbinas eólicas según potencia suministrada.....	6
Figura 5, Partes microaerogenerador.....	8
Figura 6. Sistema mini-eólico aislado.....	9
Figura 7, Movimientos atmosféricos terrestres, .....	11
Figura 8. Volumen de viento.....	14
Figura 9. Cizalladura del viento .....	16
Figura 10. Variación de la velocidad del viento (capa límite) con la altura sobre el terreno.....	17
Figura 11. Límite de Betz en los microaerogeneradores.....	21
Figura 12. Ejemplo de una Curva de Potencia típica de una aerogenerador de 2000 KW .....	22
Figura 13, Diversos tipos de anemómetros.....	26
Figura 14, Veleta.....	27
Figura 15, Sensor de temperatura.....	27
Figura 16, Registrador de datos para estaciones meteorológicas.....	28
Figura 17, Ejemplo de análisis con histograma .....	31
Figura 18, Ejemplo de análisis con la Rosa de vientos .....	32
Figura 19, Ubicación del microaerogenerador.....	33
Figura 20, Histograma velocidad del viento – 2012.....	35
Figura 21, Distribución del viento por su dirección – 2012 .....	35
Figura 22, Distribución de viento geográficamente – 2012 .....	36
Figura 23, Histograma velocidad del viento – 2013.....	37

Figura 24, Distribución del viento por su dirección - 2013.....	38
Figura 25, Distribución de viento geográficamente – 2013 .....	38
Figura 26, Histograma velocidad del viento – 2014.....	40
Figura 27, Distribución del viento por su dirección - 2014.....	40
Figura 28, Distribución de viento geográficamente – 2014 .....	41
Figura 29, Histograma velocidad del viento – 2015.....	42
Figura 30, Distribución del viento por su dirección - 2015.....	43
Figura 31, Distribución de viento geográficamente – 2015 .....	43
Figura 32, Dimensiones del microaerogenerador.....	46
Figura 33, Curva de potencia en función de la velocidad del viento dada por el fabricante.....	46
Figura 34, Curvas de potencia eólica proyectadas.....	51
Figura 35, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - 2012 .....	54
Figura 36, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - 2013 .....	55
Figura 37, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - 2014 .....	56
Figura 38, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - 2015 .....	56
Figura 39, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2012 .....	57
Figura 40, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2013 .....	58
Figura 41, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2014 .....	59
Figura 42, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2015 .....	60
Figura 43, Kit microaerogenerador.....	62
Figura 44, esquema de armado de microaerogenerador .....	62
Figura 45, Esquema sugerido en el catálogo .....	63
Figura 46, Esquema de conexión del sistema micro-eólico .....	64
Figura 47, Altura mínima recomendada .....	65
Figura 48, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - Microaerogenerador .....	68

Figura 49, Distribución de Weibull total WOC Wizard - MAUPS .....	69
Figura 50, Voltaje en terminales del Microaerogenerador .....	70
Figura 51, Potencia del Microaerogenerador .....	70
Figura 52, Curva de comportamiento del microaerogenerador .....	72
Figura 53, Curva del fabricante VS Curva medida .....	73
Figura 54, Acercamiento Curva del fabricante VS Curva medida .....	73

## Tablas

Tabla 1. Escala de velocidades de viento .....	12
Tabla 2. Valores del exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno, .....	17
Tabla 3. Variación de la densidad del aire con la altura y con la temperatura .	19
Tabla 4, Resumen del conteo de viento - 2012 .....	28
Tabla 5, Resumen del conteo de viento - 2013 .....	29
Tabla 6, Resumen del conteo de viento - 2014 .....	29
Tabla 7, Resumen del conteo de viento - 2015 .....	30
Tabla 8, Paso de viento para el análisis .....	32
Tabla 9, Conteo de la frecuencia del viento - 2012 .....	33
Tabla 10, Distribución de la frecuencia del viento - 2012 .....	34
Tabla 11, Conteo de la frecuencia del viento - 2013 .....	36
Tabla 12, Distribución de la frecuencia del viento - 2013 .....	37
Tabla 13, Conteo de la frecuencia del viento - 2014 .....	39
Tabla 14, Distribución de la frecuencia del viento - 2014 .....	39
Tabla 15, Conteo de la frecuencia del viento - 2015 .....	41
Tabla 16, Distribución de la frecuencia del viento - 2015 .....	41
Tabla 17, Comportamiento del viento desde el 2012 hasta 2015.....	44
Tabla 18, Características del microaerogenerador.....	45
Tabla 19, Características del controlador de carga .....	45
Tabla 20, Variables y parámetros del microaerogenerador.....	47
Tabla 21, Vinculación de variables para le predicción de generación de energía .....	48
Tabla 22, Variables constantes .....	49
Tabla 23, Cálculos de las potencias proyectadas en función del viento.....	50

Tabla 24, Distribución de Weibull según la dirección del viento WOC Wizard - 2012 .....	57
Tabla 25, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2012 .....	57
Tabla 26, Distribución de Weibull según la dirección del viento WOC Wizard - 2013 .....	58
Tabla 27, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2013 .....	58
Tabla 28, Distribución de Weibull según la dirección del viento WOC Wizard - 2014 .....	59
Tabla 29, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2014 .....	59
Tabla 30, Distribución de Weibull según la dirección del viento WOC Wizard - 2015 .....	60
Tabla 31, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2015 .....	60
Tabla 32, Energía suministrada por el microaerogenerador .....	61
Tabla 33, Resumen de datos tomados de microaerogenerador.....	67
Tabla 34, Distribución de Weibull según la dirección del viento WOC Wizard - MAUPS .....	69
Tabla 35, Distribución de Weibull total WOC Wizard - MAUPS.....	69
Tabla 36, Resumen de Velocidad, Voltaje y Potencia Medidos en el microaerogenerador .....	71
Tabla 37, Datos paramétricos del microaerogenerador .....	71
Tabla 38, Energía suministrada por el microaerogenerador en el periodo de análisis .....	72
Tabla 39, Potencia media actual .....	74
Tabla 40, potencia nominal del microaerogenerador .....	74
Tabla 41, Pérdidas de energía y su costo .....	74
Tabla 42, Costo del sistema micro-eólico.....	75
Tabla 43, Costo por mantenimiento del sistema micro-eólico .....	75
Tabla 44, Ingresos.....	76

Tabla 45, Egreso fijo .....	76
Tabla 46, Egresos anuales.....	76
Tabla 47, Flujo neto.....	76
Tabla 48, Ingresos.....	77
Tabla 49, Egresos anuales.....	77
Tabla 50, Flujo neto.....	77
Tabla 51, Calculo del VAN, R B/C y TIR con una tasa de descuento del 7%..	78
Tabla 52, Indicadores financieros.....	79

---

# INTRODUCCIÓN

---

Las energías renovables son inagotables, limpias y se pueden utilizar de forma auto-gestionada, ya que se pueden aprovechar en el mismo lugar en que se producen. Como en este caso la energía eólica que aprovecha el movimiento del viento para la generación de energía eléctrica.

Por tal motivo se ha visto la necesidad de parametrizar las variables del viento para las condiciones propias atmosféricas y geográficas del Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, la velocidad, la dirección del viento, densidad del aire y son los parámetros fundamentales en la generación eólica. La Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca cuenta con una estación meteorológica de donde se tomaran los datos para el análisis.

Para el estudio se implementara un microaerogenerador al cual se le aplicara los resultados de análisis del viento y así obtener el comportamiento y generación de energía.

El análisis económico ayudara a conseguir un estudio estratégico en la toma de decisiones de la viabilidad de la implementación de sistemas eólicos en la zona.

---

# Capítulo 1

---

## Conceptualización Básica

### 1.1. Introducción

Energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir un trabajo, La energía primaria son los recursos naturales disponibles directamente (como la hidráulica, biomasa, leña, eólica y solar) o indirecta (que necesitan un proceso minero, como: extracción de petróleo crudo, gas natural, carbón mineral, uranio, etc.) para su uso energético, sin la necesidad de un proceso de transformación adicional para su uso (Figueredo, 2006).

Clasificación de Energías Primarias:

- Energías renovables, si es que son fuentes energéticas de uso sustentable en el tiempo o inagotables.
  - Hidráulica,
  - Eólica,
  - Solar,
  - Biomasa,
  - Geotermia.
- Energías no renovables, si es que son fuentes energéticas de uso limitado en el tiempo o agotable.
  - Petróleo crudo,
  - Gas Natural,
  - Carbón mineral,
  - Uranio,
  - Nuclear.

El uso de energías del tipo renovables como la solar, eólica e hidráulica por parte hombre es muy antiguo, hasta la llegada de la "Revolución Industrial"<sup>1</sup>, debido al bajo precio del petróleo y sus derivados, estas fueron abandonadas.

En los últimos años, debido al incremento en la emisión de gases contaminantes por el uso combustibles fósiles y los problemas medioambientales derivados de su explotación, el hombre se ha visto obligado al uso de energías limpias para mitigar la contaminación global.

Las energías renovables son inagotables, limpias y se pueden aprovechar en el mismo lugar donde se produce. Una de ellas es la energía eólica, que aprovecha el movimiento natural del viento, esta energía es limpia e inagotable, pero también irregular.

### ***1.1.1. Orígenes e historia de la energía eólica***

El uso y el aprovechamiento del viento para la generación de energía son casi tan antiguo como la civilización. Las primeras evidencias de la utilización del viento se remontan a 3000 A.C. donde usaban barcos a vela en el Nilo para trasladarse, hace 2500 A.C (Figura 1. Barca fluvial. (1420 a. c.)). se tiene referencias escritas de la existencia de molinos en la antigua Persia y en el siglo XVII A.C. durante el reinado de Hammurabi en Babilonia utilizaban un sistema de riego basado en molinos de viento para el bombeo de agua (Verdes, 2014).

---

<sup>1</sup> Historia Universal, "Revolución industrial", <http://www.historialuniversal.com/2010/09/revolucion-industrial.html>, 2014.



Figura 1. Barca fluvial. (1420 a. c.)<sup>2</sup>

Los intentos de producir electricidad mediante energía eólica surgen por primera vez en 1802, cuando Lord Kelvin tuvo la idea de acoplar un generador eléctrico a una máquina eólica, En 1888 Brush, en EE.UU., construyó la primera turbina eólica (Figura 2. Turbina eólica gigante de Brush en Cleveland (Ohio)) de funcionamiento automático para generar electricidad. Se trataba de un auténtico gigante con un rotor que tenía de diámetro 17 m y 144 palas fabricadas con madera de cedro.

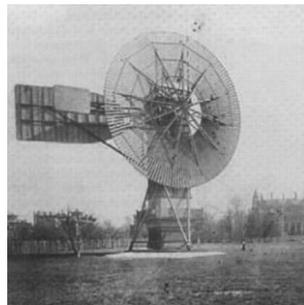


Figura 2. Turbina eólica gigante de Brush en Cleveland (Ohio)<sup>3</sup>

Los primeros aerogeneradores fueron fabricados por Jacobs para la generación de electricidad en zonas rurales, con equipos de 3 kW durante la década del 30 en EE.UU. En 1940 aparecen los primeros molinos de vientos grandes y más rápidos con una capacidad de generación de 1 MW.

---

<sup>2</sup> Imagen tomada de <http://www.sofiaoriginals.com/>

<sup>3</sup> Imagen tomada de <http://intranet2.minem.gob.pe>

Durante la segunda guerra mundial decayeron los proyectos y desarrollos de aerogeneradores eólicos para generar electricidad debido a que el petróleo era mucho más barato y competitivo en el mercado energético.

En la década del 70 cuando se desencadena la crisis del petróleo vuelve a resurgir esta tecnología y progresivamente no detuvo su crecimiento y uso en todo el mundo hasta la actualidad.

### **1.1.2. Tecnología Eólica**

Aerogenerador es el nombre que recibe la máquina empleada para convertir la energía cinética del viento para hacer mover las palas, estas mueven el eje del rotor para adaptarse al generador que transforma la energía mecánica de rotación en energía eléctrica (Opex energy, 2014).

Los aerogeneradores se dividen en dos grupos:

- Según el eje de giro del rotor.
- Según potencia suministrada.

*Según el eje del rotor.*

- Eje vertical: Sus principales ventajas son que no necesita un sistema de orientación al ser omnidireccional y que el generador, multiplicador, etc., son instalados a ras de suelo, lo que facilita su mantenimiento. Sus desventajas son su menor eficiencia, la necesidad de sistemas exteriores de arranque en algunos modelos, y que el desmontaje del rotor por tareas de mantenimiento hace necesaria que toda la maquinaria sea desmontada.
- Eje horizontal: Los aerogeneradores horizontales tienen una mayor eficiencia energética y alcanzan mayores velocidades de rotación por lo que necesitan caja de engranajes con menor relación de multiplicación de

giro, además debido a la construcción elevada sobre torre aprovechan en mayor medida el aumento de la velocidad del viento con la altura.

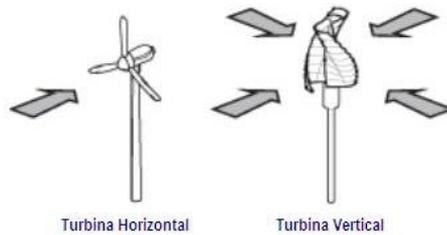


Figura 3. Turbinas eólicas según el eje del rotor<sup>4</sup>

Según potencia suministrada.

- microaerogenerador o micro-eólico: se utiliza para uso personal, producen desde 50 W hasta 1 kW, por un solo microaerogenerador.
- Mini-aerogenerador o mini-eólico: su producción no debe superar los 10 kW, puede estar compuesto por varios aerogeneradores.
- Aerogeneradores o eólicos: este a su vez se divide en pequeña de 10 a 100 kW, mediana de 100 a 1000 kW y alta generación desde los 1000 kW.

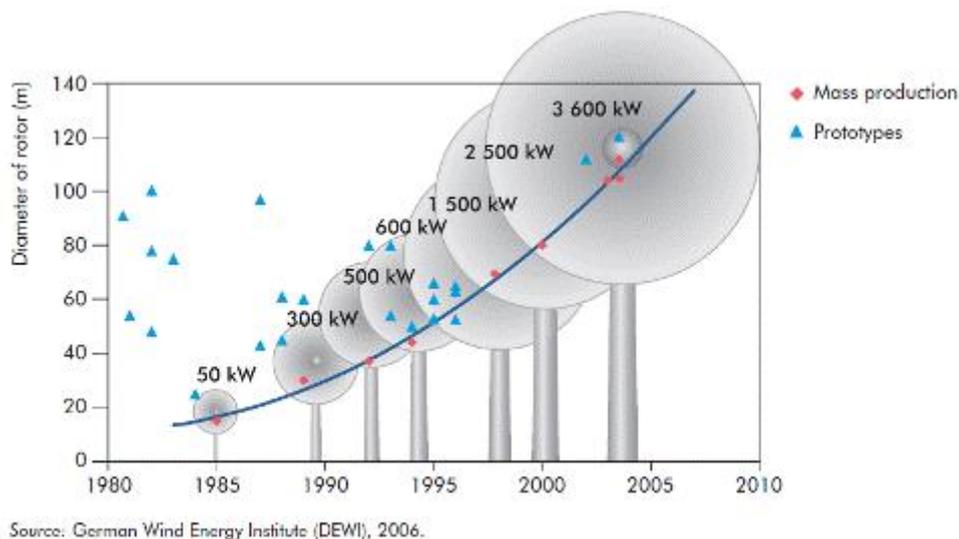


Figura 4. Turbinas eólicas según potencia suministrada<sup>5</sup>

<sup>4</sup> Imagen tomada de <http://equipo2fae.wordpress.com>

<sup>5</sup> Imagen tomada de <http://escritura.proyectolatin.org/>

### **1.1.3. Principales partes de un aerogenerador eje horizontal**

- ✓ Góndola, carcasa que protege las partes fundamentales del microaerogenerador,
- ✓ Palas, transmiten la potencia del viento hacia el buje,
- ✓ Buje del rotor, une las palas del rotor con el eje de baja velocidad,
- ✓ Freno, detiene al buje del rotor,
- ✓ Multiplicador, incrementa velocidad al eje de alta velocidad,
- ✓ Generador eléctrico, transforma la energía mecánica en energía eléctrica,
- ✓ Ejes, tramite movimiento del generador eléctrico,
- ✓ Sistema de regulación eléctrica, controla la generación eléctrica,
- ✓ Torre, soporta la góndola y el rotor.
- ✓ Mecanismo de orientación, está activado por el controlador electrónico, la orientación del microaerogenerador cambia según las condiciones del viento,
- ✓ Controlador electrónico, monitoriza las condiciones del viento y controla el mecanismo de orientación,
- ✓ Conexión a la red eléctrica, salida de energía del microaerogenerador,
- ✓ Cimientos, base-soporte de la torre (Rubio).

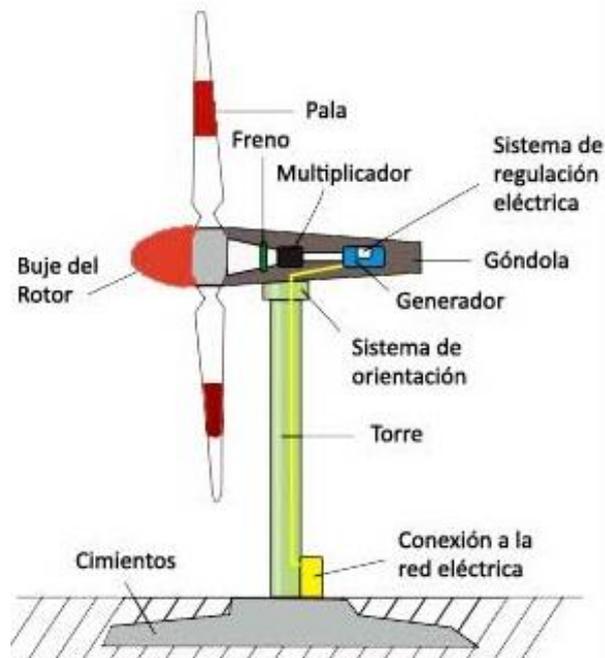


Figura 5, Partes microaerogenerador<sup>6</sup>

#### 1.1.4. Sistemas Micro-eólicos

La energía micro-eólica es el aprovechamiento de los recursos eólicos mediante la utilización de microaerogeneradores de potencia inferior a los 1 kW. Por tanto es una fuente de energía limpia y sostenible, y puede utilizarse tanto para autoabastecimiento, sobre todo en zonas que no alcanza la red eléctrica, como para suministrar a la misma red (Publicaciones Vértice S. L., 2011).

##### Orígenes

La energía micro-eólica fue originalmente definida por sus características para producir poca cantidad de energía eléctrica y cubrir el consumo de los electrodomésticos o cubrir las necesidades de varios hogares con mínima demanda eléctrica (Orbegozo & Arivilca, 2010).

##### Aplicaciones

1. Zonas aisladas: los microaerogeneradores se utilizan en zonas aisladas donde existe un gran dificultad para llevar la energía de la red eléctrica.

<sup>6</sup> Imagen tomada de <http://www.antusolar.cl>

Aquí estarían no sólo las viviendas o cabañas aisladas, también granjas, torres de telecomunicación, bombeo de agua, etc.

2. Instalaciones con un alto índice de consumo eléctrico: fábricas, desalinizadoras y otras infraestructuras que consumen una gran cantidad de energía pueden recurrir a la instalación de microaerogeneradores para reducir el consumo eléctrico de la red.
3. Conexión a la red: Los particulares y empresas que dispongan de un microaerogenerador de micro-eólica pueden consumir la energía que necesitan y vender el sobrante a la red.



Figura 6. Sistema mini-eólico aislado<sup>7</sup>

### *Ubicación*

Para colocar un microaerogenerador de pequeña potencia: hay que conocer los vientos dominantes que existen en la zona y la forma en que pueden variar a lo largo del año. Por lo general el punto más elevado del terreno es el que recibe más viento, aunque esta regla puede verse alterada por la presencia de ríos, valles o zonas boscosas, así como los obstáculos que existan alrededor como edificios o árboles. Estos pueden variar tanto la velocidad, como la dirección del viento.

---

<sup>7</sup> Imagen tomada de <http://www.antusolar.cl>

Se recomienda instalar el microaerogenerador de pequeña potencia al menos 6 metros por encima de cualquier obstáculo y al doble de altura que esta.

#### *Ventajas de micro-eólico*

- El consumo típico residencial se encuentra entre los 1000 y 3000 kWh/año y un microaerogenerador de 1 kW produce entre 1500 y 3000 kWh de media, con lo que se evitaría la emisión de alrededor de ,4t de CO<sub>2</sub>.
- Puede suministrar electricidad en lugares aislados y alejados de la red eléctrica.
- Causa menor impacto visual que las máquinas grandes.
- Genera energía junto a los puntos de consumo, por lo que reduce las pérdidas en el transporte.
- Es accesible a muchos usuarios, sin apenas necesidad de obra civil y su instalación es sencilla.
- Estimula la concienciación a nivel personal del problema energético.
- Funciona con vientos moderados y no requiere de estudios de viabilidad complicados.

### **1.2. Energía del Viento.**

El viento es la variable de estados de movimiento del aire. El viento es causado por el calentamiento dispar de la superficie terrestre por acción de la radiación solar. Las masas de aire más caliente tienden a ascender, y su lugar es ocupado entonces por las masas de aire circundante, más frío y, por tanto, más denso (Navales Talayero, 2008).

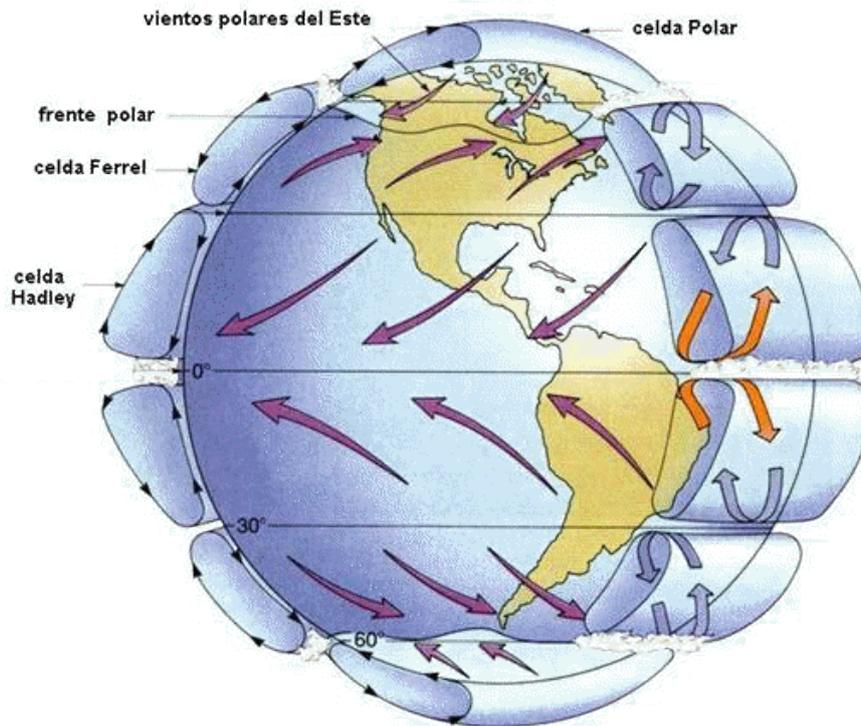


Figura 7, Movimientos atmosféricos terrestres,<sup>8</sup>

En las regiones ecuatoriales se produce una mayor absorción de radiación solar que en las polares; el aire caliente que se eleva en los trópicos es reemplazado por las masas de aire fresco superficiales proveniente de los polos. El ciclo se cierra con el desplazamiento, por la alta atmósfera, del aire caliente hacia los polos. Esta circulación general, que sería la observada si la tierra no girase, se ve profundamente alterada por el movimiento de rotación de la tierra generando zonas de vientos dominantes que responden a patrones definidos (Rapallini & Moragues, 2003).

Entonces el viento son corrientes de aire que se forman al intentar compensarse la presión del aire en diferentes regiones del planeta tierra,

### 1.2.1. Energía eólica

La energía eólica es una transformación de la energía solar. El Sol radía por hora una energía de 174.423.000.000.000 KWh a la Tierra. Esta energía no llega a la

<sup>8</sup> Imagen tomada de [www.tayabeixo.org](http://www.tayabeixo.org)

superficie terrestre de manera uniforme, sino que calienta las zonas próximas al Ecuador más que las zonas polares, y aproximadamente del 1% al 2% de la energía que se recibe del Sol se transforma en energía eólica (Measurement, 2015).

### 1.2.2. Parámetros del viento

Existen dos parámetros básicos que determinan las condiciones del viento, que son su velocidad y su dirección (Center for Innovation in Engineering and Science Education (CIESE) , 2007).

#### Velocidad del viento

Es la velocidad con la que el aire de la atmósfera se mueve sobre la superficie terrestre, su unidad de medida común es el nudo y mediante la escala Beaufort (Tabla 1. Escala de velocidades de viento) podemos nombrar al viento según su velocidad para facilitar su manejo. Para la medición de la velocidad del viento se utiliza el anemómetro.

Tabla 1. Escala de velocidades de viento<sup>9</sup>

Velocidades de viento a 10 m de altura		Escala Beaufort	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 temporal
29-34	56-65	11	
>34	>65	12	Huracán

Conversión de unidades de nudos a m/s o viceversa,

- 1 m/s = 3,6 km/h = 2,237 millas/h = 1,944 nudos
- 1 nudo = 1 milla náutica/h = 0,5144 m/s = 1,852 km/h = 1,125 millas/h

<sup>9</sup> Tabla tomada de <http://www.motiva.fi>

### *Dirección del viento*

Se denomina dirección del viento el punto del horizonte de donde viene o sopla. Se representa en grados de 0 a 360, 0° corresponde al Norte, 90° al Este, 180° al Sur, 270° al Oeste y 360° nuevamente al Norte. Para ubicar la dirección del viento se utiliza la veleta.

### **1.2.3. Cálculo de la energía eólica**

La energía cinética es una expresión de un objeto o varios objetos en movimiento, que pueden realizar un trabajo sobre cualquier cuerpo que golpee, cuantificado la cantidad de trabajo que el objeto u objetos podrían realizar como resultado de su movimiento (HyperPhysics, 2000).

Para el análisis de un sistema eólico, es necesario conocer cuanta energía se puede extraer del viento, el viento en movimiento tiene energía que puede ser aprovechada para transformarla en otro tipo de energía como es nuestro caso en energía eléctrica. La energía eólica es la energía cinética de las partículas del aire en movimiento, la expresión matemática (1) cuantifica la energía cinética para un flujo de aire circulando libremente, sin el obstáculo que representa, por ejemplo, las aspas del rotor de un aerogenerador, etc. (Benavides, Mejía, & Ciro, 2007)

Energía Cinética:

$$E_c = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

donde:

- $E_c$ , Energía cinética,
- $m$ , masa del aire,
- $v$ , velocidad.

Masa del aire:

$$m = \rho * V \quad (2)$$

Donde;

- $\rho$ , densidad del aire, (aproximadamente 1,29 kg/m<sup>3</sup> a 25 °C, pero depende de varios factores).
- $V$ , volumen de barrido.

Considerando que las palas del rotor giran y forman un círculo (Figura 8. Volumen de viento), la masa de aire que cruza el microaerogenerador tendrá forma de cilindro, el volumen del cilindro es base x distancia.

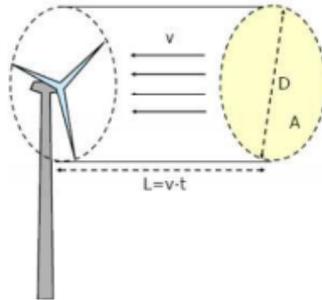


Figura 8. Volumen de viento<sup>10</sup>

Volumen del aire que impacta a las aspas del aerogenerador:

$$V = \pi * r^2 * L \quad (3)$$

Donde;

- $r$ , radio del rotor  $r = \frac{D}{2}$ , desde el buje del rotor hasta el final de la pala,
- $L$ , desplazamiento del viento.

El desplazamiento de viento está dado por:

$$L = v * t \quad (4)$$

---

<sup>10</sup> Imagen tomada de <http://eadic.com>

Donde;

- $t$ , tiempo del desplazamiento.

La máxima energía eólica teórica que puede ser extraída del viento está dada por:

$$E_e = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3 * t \quad (5)$$

La energía depende cúbicamente de la velocidad del viento, es decir que a pequeños cambios de velocidad existen grandes incrementos o decrementos de la energía eólica obtenida.

### **1.3. Potencia Aprovechable**

La potencia es la rapidez con la que se utiliza la energía en el tiempo, La energía eólica depende del tiempo que permanezca en funcionamiento por lo tanto la potencia eólica es igual a la energía eólica (ecuación 5) evaluada en el tiempo (Al-Shemmeri, 2010).

$$P_e = \frac{E_e}{t} \quad (6)$$

La potencia eólica disponible;

$$P_e = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3 \quad (7)$$

La potencia eólica depende del cubo de la velocidad del viento. Por lo tanto, la velocidad es el factor más importante a la hora de calcularla.

#### **1.3.1. Velocidad media del viento**

La velocidad media del viento es función de la altura. El terreno, incluso libre de obstáculos, produce fuerzas de fricción que retardan la velocidad del viento en

las capas más bajas. Este fenómeno conocido como cizalladura (deformación de fuerzas tangenciales) del viento (Figura 9. Cizalladura del viento), es más apreciable a medida que disminuye la altura y tiene mayores efectos sobre la operación del microaerogenerador. Diferentes modelos matemáticos han sido propuestos para describir la cizalladura del viento (UCLM, Grupo G-9, 2011).

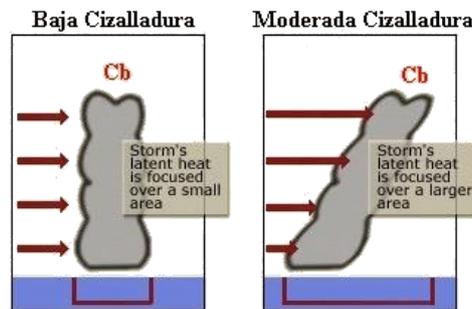


Figura 9. Cizalladura del viento<sup>11</sup>

A continuación se mencionan las dos leyes más utilizadas para determinar la velocidad media del viento, según la altura del punto de barrido.

#### Ley logarítmica de Prandtl

$$\frac{v_m(z)}{v_m(z_{ref})} = \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_{ref}}{z_0}\right)} \quad (8)$$

Donde:

- $v_m$ , velocidad media [m/s],
- $z$ , altura sobre el nivel del suelo [m],
- $z_{ref}$ , altura de referencia, usualmente 10 m,
- $z_0$ , extensión de la rugosidad [m].

#### Ley exponencial de Hellmann

$$v_h = v_{ref} \left( \frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha \quad (9)$$

<sup>11</sup> Imagen tomada de <http://efectoestela.com>

Donde:

- $v_h$ , velocidad del viento [m/s] a un altura  $h$  [m],
- $v_{ref}$ , velocidad del viento [m/s] a la altura  $h_{ref}$  [m] generalmente 10 m,
- $\alpha$ , exponente de Hellmann que varía con la rugosidad del terreno (ver Tabla 2).

Tabla 2. Valores del exponente de Hellmann en función de la rugosidad del terreno,

Lugares llanos con hielo o hierba	$\alpha = 0.08 \sim 0.12$
Lugares llanos (mar, costa)	$\alpha = 0,14$
Terrenos poco accidentados	$\alpha = 0,13 \sim 0.16$
Zonas rústicas	$\alpha = 0,2$
Terrenos accidentados o bosques	$\alpha = 0,2 \sim 0,26$
Terrenos muy accidentados y ciudades	$\alpha = 0.25 \sim 0,4$

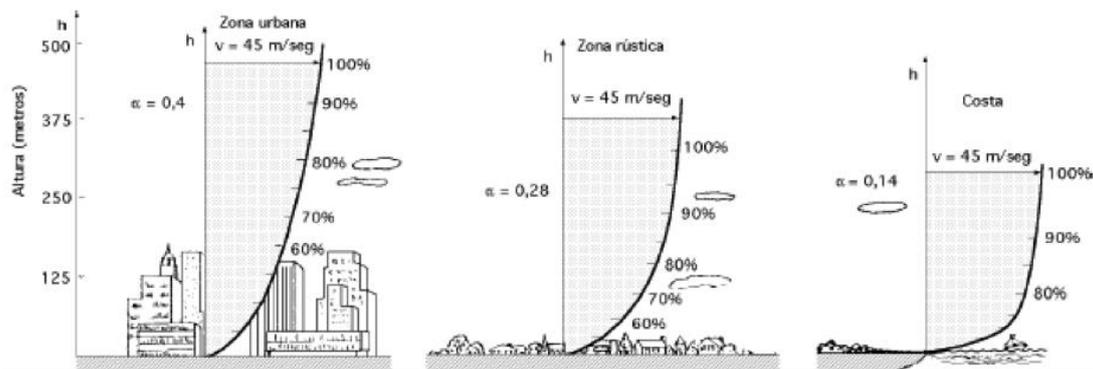


Figura 10. Variación de la velocidad del viento (capa límite) con la altura sobre el terreno<sup>12</sup>

### Variación diaria de la velocidad del viento

Las curvas de variación diaria de la velocidad del viento durante el día presentan grandes diferencias en función de la situación meteorológica. En general, y cerca de la superficie, la velocidad del viento se incrementa rápidamente después de la salida del Sol, alcanza su máximo al mediodía y disminuye sensiblemente durante la noche. Durante la noche es menor la velocidad del viento. El incremento en la velocidad del viento al salir el Sol se debe a un aumento de la

<sup>12</sup> Imagen tomada de <http://www.energiasustentable.cl>

inestabilidad atmosférica. A mayor altura la velocidad del viento se incrementa como consecuencia de la disminución de la rugosidad.

La velocidad del viento del día [m/s] se puede estimar a partir de la expresión:

$$v_m = \frac{v_n}{2} * \left(1 + \frac{v_d}{v_n}\right) \quad (10)$$

Donde;

- $v_d$ , velocidad del viento diurna,
- $v_n$ , velocidad del viento nocturna,
- $v_m$ , velocidad del viento como media de las 24 horas.

Para los cálculos se puede considerar por defecto un valor de 2 para la relación  $\frac{v_d}{v_n}$  (Doorenbos y Pruitt, 1977). Esta relación se emplea en el método de cálculo de la evapotranspiración<sup>13</sup> de Penman modificado por Doorenbos y Pruitt en el que introducen un factor corrector que “c” que considera la relación diurna/nocturna del viento, la humedad relativa máxima, y la radiación.

Velocidad media del día será:

$$v_m = \frac{3}{2} * v_n \quad (11)$$

$$v_m = \frac{3}{4} * v_d \quad (12)$$

### *Densidad del aire*

La densidad de potencia es directamente proporcional a la densidad del aire, esta presenta grandes variaciones a diferentes alturas y a diferentes temperaturas (Benavides, Mejía, & Ciro, 2007).

---

<sup>13</sup> Climática, “Evapotranspiración”, <http://es.contenidos.climantica.org/>, 2014

$$\rho = \frac{p}{R * T} \quad (13)$$

Donde:

- $\rho$ , densidad del aire [ $kg/m^3$ ],
- $p$ , presión atmosférica [ $Pa$ ],
- $R$ , constante de los gases, el aire 286.9 [ $J/Kg * K(mol)$ ],
- $T$ , temperatura en Kelvin [ $^{\circ}K$ ], temperatura en Celsius [ $^{\circ}C$ ] + 273.15.

Por lo que un aire frío presenta una densidad de potencia superior a uno más caliente. Y de igual manera la temperatura, un lugar situado a una cota próxima al nivel del mar presentará una densidad de potencia superior a otro a una mayor altitud por el hecho de que la densidad del aire disminuye con la altura. Para corregir los efectos de la temperatura y la altitud sobre el nivel del mar sobre la densidad, se puede utilizar la expresión aproximada:

$$\rho = \left( \frac{P_0}{R * T} \right) e^{-\left( \frac{g * h}{R * T} \right)} \quad (14)$$

Donde:

- $P_0$ , presión atmosférica normal al nivel del mar 101325 [ $Pa$ ],
- $g$ , aceleración gravitacional 9,80665 [ $m/s^2$ ].
- $h$ , altitud [ $m$ ].

La densidad del aire como una función de la altitud:

$$\rho = 1.225 * \left( \frac{288}{273 + T} \right) e^{-\left( \frac{h}{8495} \right)} \quad (15)$$

*Tabla 3. Variación de la densidad del aire con la altura y con la temperatura<sup>14</sup>*

Densidad del aire a diferentes alturas sobre el nivel del mar	
Altura sobre el nivel del mar	Densidad de Aire Seco en [ $Kg/m^3$ ] a:

<sup>14</sup> Tabla tomada de <http://es.contenidos.climantica.org/>

[m]	20 °C	0 °C
0	1,204	1,292
500	1,134	1,217
1.000	1,068	1,146
1.500	1,005	1,078
2.000	0,945	1,014
2 500	0,887	0,952
3.000	0,833	0,894
3.500	0,781	0,839
4 000	0.732	0,786

## 1.4. Eficiencia del Aerogenerador

La transformación de energía eólica cinética en energía eléctrica no es perfecta. Los sistemas reales nunca son ideales, y tienen pérdidas e imperfecciones, por lo cual se debe analizar cuáles son los parámetros que influyen directamente e indirectamente en la eficiencia del aerogenerador de la transformación de energía (Moreno Figueredo).

### 1.4.1. Coeficiente de potencia $C_p$

Un parámetro que afecta a la eficiencia del aerogenerador es el un coeficiente de potencia del aerogenerador  $C_p$ , este perturba a la potencia mecánica del aerogenerador, este parámetro es anexado a la ecuación 7, dando como resultado:

$$P_{em} = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3 * C_p \quad (16)$$

$C_p$  Su valor oscila entre 0 y 0,5925, y se define como el rendimiento con el cual funciona el aerogenerador, e indica la potencia que puede captura el rotor respecto a la potencia eólica total que posee el viento incidente. El coeficiente de potencia máximo  $C_{p\ max}$ , se llama límite de Betz, y es igual a 0.5925, del viento sólo se puede aprovechar en el rotor una potencia máxima inferior al 60% ( $\leq 59\%$  o  $16/27$ ) (Lecuona Neumann, 2002).

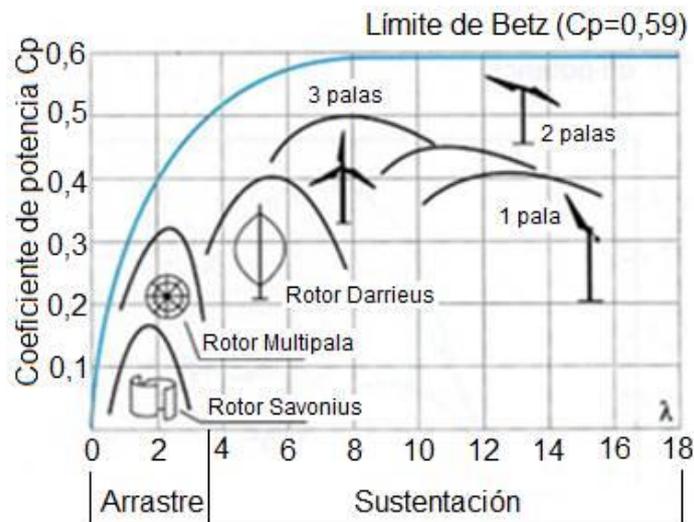


Figura 11. Límite de Betz en los microaerogeneradores<sup>15</sup>

### Relación del $C_p$ y los parámetros de diseño

Otros parámetros que afectan los rendimientos del aerogenerador, son los parámetros constructivos del mismo en microaerogeneradores es despreciable, pero como reseña informativa se mencionan a continuación:

$$C_p = f\left(D, b, \frac{C_L}{C_D}, \lambda, AF, Re, \frac{\tau}{c}, \theta, v\right) \quad (17)$$

$$C_L = \frac{L}{\frac{\pi}{2} * r * \rho * v^2} \quad (18)$$

$$C_D = \frac{D}{\frac{\pi}{2} * r * \rho * v^2} \quad (19)$$

Donde:

- $D$ , diámetro del rotor,
- $b$ , numero de palas,
- $\frac{C_L}{C_D}$ , fineza del perfil,
- $C_L$ , coeficiente de sustentación aerodinámica,
  - o  $L$ , fuerza de sustentación aerodinámica.
- $C_D$ , coeficiente de resistencia aerodinámica,

<sup>15</sup> Imagen tomada de <http://www.reenergiza.es>

- $D$ , fuerza de resistencia aerodinámica.
- $\lambda$ , relación de velocidades,  $\lambda = 1/60 * n * D/u$ ,
  - $n$ , rpm de operación de la máquina,
  - $u$ , ángulo de paso. Ángulo entre la cuerda del perfil de raíz y perpendicular al eje del rotor el plano,
- $AF$ , factor de operación,  $AF = \frac{S_{palas}}{S_{rotor}}$ ,
- $Re$ , numero de Reynolds,  $Re = \frac{\lambda * V * r}{\nu}$ ,
  - $V$ . viscosidad del aire,
- $\frac{\tau}{c}$ , espesor relativo del perfil,  $t$  es el espesor máximo y  $c$  es la cuerda.
- $\theta$ , torsión geométrica Ángulo entre los perfiles de la raíz y punta.

#### 1.4.2. Curva de potencia del aerogenerador

Esta curva es la relación entre de la potencia eléctrica suministrada en función de la velocidad de viento incidente (condiciones atmosféricas estándar), y nos permite suponer la energía que puede suministrar un aerogenerador, cada tipo de microaerogenerador tiene su propia curva de potencia y están dadas como especificaciones del fabricante (Al-Shemmeri, 2010).

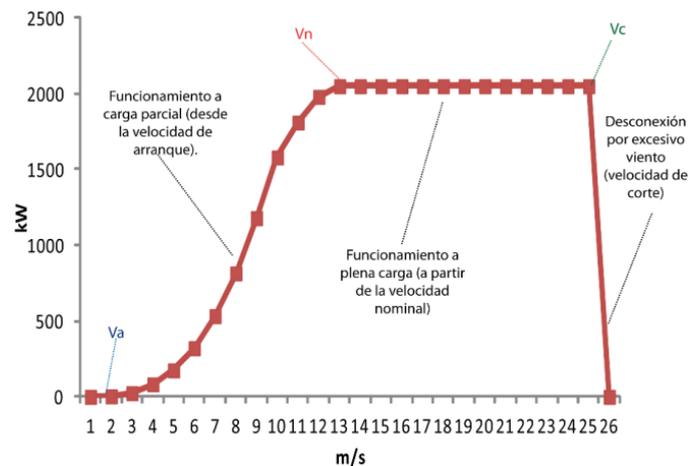


Figura 12. Ejemplo de una Curva de Potencia típica de una aerogenerador de 2000 KW<sup>16</sup>

Donde:

<sup>16</sup> Imagen tomada de <http://escritura.proyectolatin.org>

- $V_a$ , Velocidad de arranque. Valor predeterminado de la velocidad del viento para la que el microaerogenerador comienza a generar energía eléctrica.
- $V_n$ , Velocidad nominal. Velocidad del viento a la que una turbina eólica rinde su potencia nominal.
- $V_c$ , Velocidad de corte. Valor predeterminado de la velocidad del viento para el que el sistema de control de una turbina eólica realiza su desconexión de la carga.

Estos datos mencionados anteriormente nos indican cómo se debe leer e interpretar, para poder encaminar y conocer las necesidades de viento para el aerogenerador llegue a su estado de trabajo nominal.

#### **1.4.3. Eficiencia o Rendimiento de un Aerogenerador ( $p_{elecmech}$ )**

El rendimiento real del sistema de generación eólico no solo depende de la potencia aprovechable del viento, pérdidas por coeficientes de potencia; sino también de las características de funcionamiento de la máquina en sí, considerando las pérdidas mecánicas en la transmisión del movimiento y la eficiencia eléctrica del generador (Voneschen2, 2009).

Por los análisis y experiencia se ha determinado que las pérdidas generadas en el aerogenerador son las siguientes:

- ✓ Rendimiento de la hélice            85%
- ✓ Rendimiento del multiplicador    98%
- ✓ Rendimiento del alternador        95%
- ✓ Rendimiento del transformador    98%

En la práctica el rendimiento es del 94% (Castells, 2012).

#### 1.4.4. Potencia nominal eléctrica $P_{nom\ elec}$

Y finalmente la potencia eléctrica ideal  $P_{nom\ elec}$  que podrá generar en terminales el aerogenerador en función de sus parámetros constructivos y de la velocidad del viento, y necesariamente agregar las pérdidas electromecánicas de generador eléctrico  $p_{elec\ mec}$ .

$$P_{nom\ elec} = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3 * C_p * p_{elec\ mec} \quad (20)$$

En la práctica se obtiene un rendimiento ( $C_p * p_{elec\ mec}$ ) que se encuentra entre un 40% - 50% (Castells, 2012).

---

## Capítulo 2

---

### Análisis y Parametrización

#### 2.1. Variables básicas y locales geo-atmosféricas

El análisis de las variables que intervienen en la energía eólica, son muy importante con las cuales se podrá determinar y proyectar la posible generación de un microaerogenerador aislado de la red eléctrica que es el caso de estudio (Moreno Figueredo).

##### 2.1.1. Instrumentos de adquisición de datos del viento

La adquisición de datos del viento es una tarea dura y de vital importancia para cualquier proyecto eólico, para esto se utiliza instrumentos de precisión para monitoreo y captura de variables como: velocidad, dirección, temperatura, etc., que ayudaran en la toma de decisiones para la implementación del sistema microeólico (Villarrubia, 2004) (Al-Shemmeri, 2010),

Un sistema típico de monitoreo cuenta con:

- Un anemómetro,
- Una veleta de viento,
- Un sensor de temperatura,
- Un registrador de datos.

##### *Anemómetro*

El anemómetro es un dispositivo destinado a medir la velocidad relativa del viento que incide sobre él en el tiempo en una localización específica.

## Tipos de Anemómetros

- Anemómetro de empuje: están formados por una esfera hueca y ligera (Daloz) o una pala (Wild), cuya posición respecto a un punto de suspensión varía con la fuerza del viento, lo cual se mide en un cuadrante.
- Anemómetro de rotación o de copelas: está dotado de cazoletas (Robinson) o hélices unidas a un eje central cuyo giro, proporcional a la velocidad del viento.
- Anemómetro de compresión: se basa en el tubo de Pitot y está formado por dos pequeños tubos. La diferencia entre las presiones medidas permite determinar la velocidad del viento.
- Anemómetro de hilo caliente: Un anemómetro térmico normal mide la velocidad del fluido detectando los cambios en la transferencia de calor.
- Anemómetro sónico: Este tipo de anemómetros se basa en que la velocidad de propagación del sonido depende de la velocidad del viento (Gisiberica, s.f.).

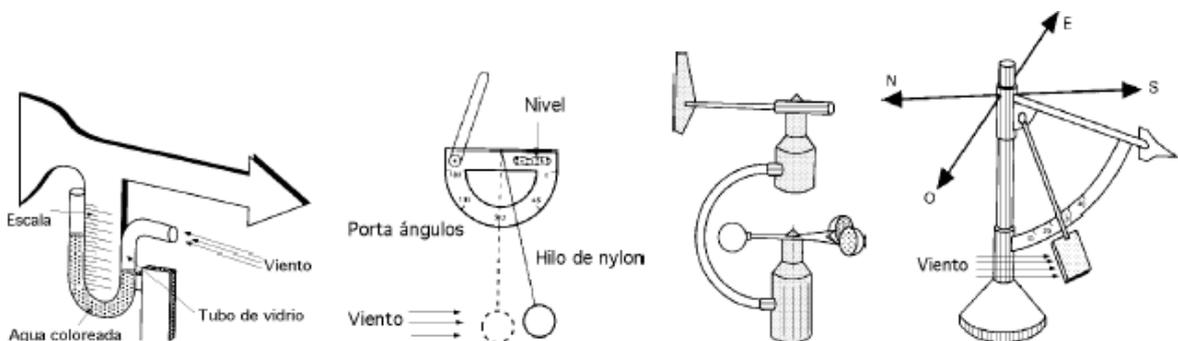


Figura 13, Diversos tipos de anemómetros<sup>17</sup>

## Veleta

La veleta de viento es un dispositivo que mide la dirección del viento en función del tiempo en una localidad específica.

<sup>17</sup> Imagen tomada de <http://www.energiasargentinas.com.ar/>



Figura 14, Veleta<sup>18</sup>

### *Temperatura*

El sensor de temperatura es un dispositivo que mide temperatura ambiental en función del tiempo en una localidad específica. Esta medición de temperatura es usada para calcular la densidad del aire local.



Figura 15, Sensor de temperatura<sup>19</sup>

### *Registrador (Data Logger)*

El registrador de datos es un dispositivo electrónico que recibe, procesa y puede almacenar los datos: del anemómetro, la veleta y el sensor de temperatura.

---

<sup>18</sup> Imagen tomada de <http://www.ammonit.com/>

<sup>19</sup> Imagen tomada de <http://www.ammonit.com/>



Figura 16, Registrador de datos para estaciones meteorológicas<sup>20</sup>

### Localización de una estación de monitoreo

Lo ideal es instalar el sistema de adquisición de datos a la altura planificada de la turbina de viento y aún más importante es tratar de evitar cualquier interferencia entre la torre y el sistema de adquisición de datos colocando el sistema en el tope de la torre. La información del viento puede ser gravemente afectada por turbulencia local causada por la torre de soporte resultando en mayor incertidumbre a la hora del análisis.

### 2.1.2. Adquisición de datos del viento

La Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca campus el Vecino cuenta con una estación meteorología que de la cual se tomara los datos para el análisis de predicción de la energía eólica en la zona, esta información es de libre acceso y se puede descargar libremente y su sistema de muestreo es diario, esta estación se encuentra ubicada a 2565 metros sobre el nivel del mar (msnm) (UPS, 2014).

### Resumen de los datos del año 2012

La (Tabla 4, Resumen del conteo de viento - 2012), presenta una condensación sumatoria de sucesos repetitivos en la velocidad y dirección del viento.

Tabla 4, Resumen del conteo de viento - 2012

Velocidad Dirección		2,0 - 3,0	3,0 - 5,0	5,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 11,0	11,0 - 12,5	12,5 - 15,0	>= 15,0	Total
		1	348,75 - 11,25	1	0	2	0	0	0	0	0
2	11,25 - 33,75	23	64	39	7	4	0	0	0	0	137
3	33,75 - 56,25	48	112	109	44	39	6	6	1	0	365
4	56,25 - 78,75	42	54	70	58	123	41	47	39	5	479
5	78,75 - 101,25	8	16	16	7	14	2	2	0	0	65

<sup>20</sup> Imagen tomada de <http://sensovant.com>

6	101,25 - 123,75	5	12	8	2	0	0	0	0	0	27
7	123,75 - 146,25	2	4	2	0	0	0	0	0	0	8
8	146,25 - 168,75	3	9	0	0	0	0	0	0	0	12
9	168,75 - 191,25	4	3	0	0	0	0	0	0	0	7
10	191,25 - 213,75	0	2	1	0	0	0	0	0	0	3
11	213,75 - 236,25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
12	236,25 - 258,75	0	0	2	0	1	0	0	0	0	3
13	258,75 - 281,25	2	1	2	0	0	0	0	0	0	5
14	281,25 - 303,75	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
15	303,75 - 326,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	326,25 - 348,75	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Sub-Total	143	277	252	118	181	49	55	40	5	1120
										Calmado (< 2 m/s)	959
										Datos faltantes	1
										Total datos	2080

### Resumen de los datos del año 2013

La (Tabla 5, Resumen del conteo de viento - 2013), presenta una condensación sumatoria de sucesos repetitivos en la velocidad y dirección del viento.

Tabla 5, Resumen del conteo de viento - 2013

Velocidad Dirección		2,0 - 3,0	3,0 - 5,0	5,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 11,0	11,0 - 12,5	12,5 - 15,0	>= 15,0	Total
1	348,75 - 11,25	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
2	11,25 - 33,75	54	115	49	5	2	0	0	0	0	225
3	33,75 - 56,25	128	214	178	77	66	12	5	1	0	681
4	56,25 - 78,75	122	177	183	126	272	86	88	34	2	1090
5	78,75 - 101,25	41	52	40	17	13	0	3	0	0	166
6	101,25 - 123,75	39	50	29	0	1	0	0	0	0	119
7	123,75 - 146,25	25	32	8	1	1	0	0	0	0	67
8	146,25 - 168,75	11	21	6	0	0	0	0	0	0	38
9	168,75 - 191,25	29	32	10	1	1	0	0	0	0	73
10	191,25 - 213,75	46	77	42	18	8	0	0	0	0	191
11	213,75 - 236,25	88	86	19	2	0	0	0	0	0	195
12	236,25 - 258,75	39	22	7	1	0	0	0	0	0	69
13	258,75 - 281,25	3	6	1	0	0	0	0	0	0	10
14	281,25 - 303,75	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
15	303,75 - 326,25	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2
16	326,25 - 348,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sub-Total	627	886	572	248	364	98	96	35	2	2928
										Calmado (< 2 m/s)	2915
										Datos faltantes	1
										Total datos	5844

### Resumen de los datos del año 2014

La (Tabla 6, Resumen del conteo de viento - 2014), presenta una condensación sumatoria de sucesos repetitivos en la velocidad y dirección del viento.

Tabla 6, Resumen del conteo de viento - 2014

Velocidad Dirección		2,0 - 3,0	3,0 - 5,0	5,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 11,0	11,0 - 12,5	12,5 - 15,0	>= 15,0	Total
1	348,75 - 11,25	107	35	0	0	0	0	0	0	0	142
2	11,25 - 33,75	230	126	2	0	0	0	0	0	0	358
3	33,75 - 56,25	370	554	63	0	0	0	0	0	0	987
4	56,25 - 78,75	220	442	65	0	0	0	0	0	0	727
5	78,75 - 101,25	47	63	10	1	0	0	0	0	0	121
6	101,25 - 123,75	19	14	0	0	0	0	0	0	0	33
7	123,75 - 146,25	30	12	0	0	0	0	0	0	0	42
8	146,25 - 168,75	20	7	2	0	0	0	0	0	0	29
9	168,75 - 191,25	59	54	15	0	0	0	0	0	0	128
10	191,25 - 213,75	136	129	28	0	0	0	0	0	0	293
11	213,75 - 236,25	77	24	0	0	0	0	0	0	0	101
12	236,25 - 258,75	54	8	1	0	0	0	0	0	0	63
13	258,75 - 281,25	9	1	1	0	0	0	0	0	0	11
14	281,25 - 303,75	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4
15	303,75 - 326,25	4	1	0	0	0	0	0	0	0	5

16	326,25 - 348,75	20	7	1	0	0	0	0	0	0	28	
	Sub-Total	1405	1478	188	1	0	0	0	0	0	3072	
											Calmado (< 2 m/s)	5418
											Datos faltantes	84
											Total datos	8574

### Resumen de los datos del año 2015

La (Tabla 7, Resumen del conteo de viento - 2015), presenta una condensación sumatoria de sucesos repetitivos en la velocidad y dirección del viento.

Tabla 7, Resumen del conteo de viento - 2015

	Velocidad Dirección	Velocidad									Total	
		2,0 - 3,0	3,0 - 5,0	5,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 11,0	11,0 - 12,5	12,5 - 15,0	>= 15,0		
1	348,75 - 11,25	23	3	0	0	0	0	0	0	0	26	
2	11,25 - 33,75	58	35	0	0	0	0	0	0	0	93	
3	33,75 - 56,25	140	195	23	1	0	0	0	0	0	359	
4	56,25 - 78,75	98	183	23	0	0	0	0	0	0	304	
5	78,75 - 101,25	17	20	3	0	0	0	0	0	0	40	
6	101,25 - 123,75	12	1	0	0	0	0	0	0	0	13	
7	123,75 - 146,25	6	5	0	0	0	0	0	0	0	11	
8	146,25 - 168,75	7	1	0	0	0	0	0	0	0	8	
9	168,75 - 191,25	28	15	7	0	0	0	0	0	0	50	
10	191,25 - 213,75	48	46	14	0	0	0	0	0	0	108	
11	213,75 - 236,25	34	5	0	0	0	0	0	0	0	39	
12	236,25 - 258,75	21	5	0	0	0	0	0	0	0	26	
13	258,75 - 281,25	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
14	281,25 - 303,75	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4	
15	303,75 - 326,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	326,25 - 348,75	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
	Sub-Total	499	516	70	1	0	0	0	0	0	1086	
											Calmado (< 2 m/s)	1734
											Datos faltantes	47
											Total datos	2867

Las tablas antes mencionadas muestran un resumen por cada año y estos datos serán utilizados para los análisis de energía eólica.

### 2.1.3. Análisis predictivo para el cálculo de energía eólica existente en zona de estudio

El análisis predictivo de la energía eólica las variables básicas que se utilizarán son las siguientes:

- Velocidad del viento,
- Dirección del viento.

Para la evaluación de los datos se utilizara el análisis estadístico de Histograma para determinar la velocidad medial viento tendencial y Rosa de Vientos para la dirección de flujo del viento (Drishtysingh Ramdenee, 2012) .

### Histograma

El histograma es una representación gráfica de valores tabulados con sus respectivas frecuencias, el número de cuantas veces ese valor es repetido. Para datos de viento los valores serán la velocidad del viento en metros por segundo [m/s].

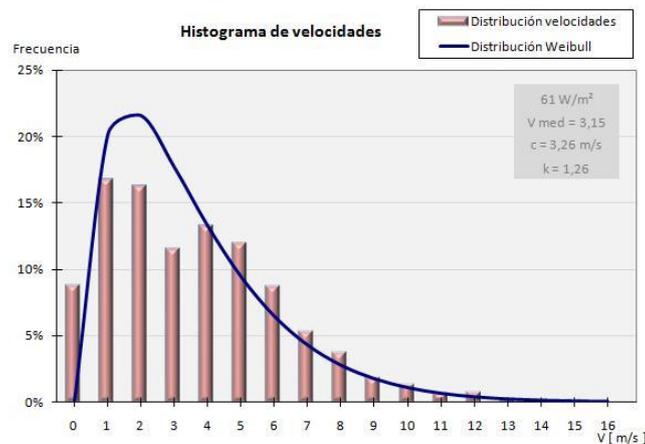


Figura 17, Ejemplo de análisis con histograma <sup>21</sup>

### Rosa de vientos

La rosa de vientos es una representación gráfica de la frecuencia de las direcciones del viento. Usualmente la rosa de viento está dividida en dieciséis (16) sectores, cada uno de veintidós y medio grados (22.5°) o en doce (12) sectores, cada uno de treinta grados (30°).

<sup>21</sup> Imagen tomada de <http://www.solarweb.net/>

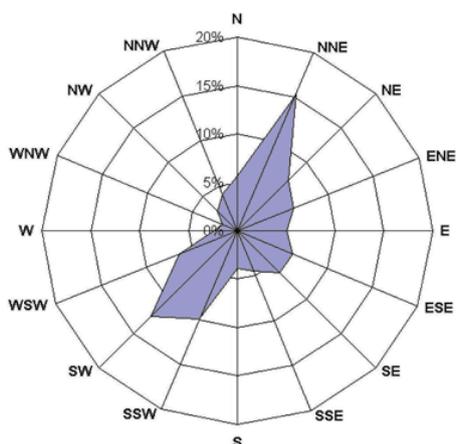


Figura 18, Ejemplo de análisis con la Rosa de vientos<sup>22</sup>

### Evaluación de Datos

Para realizar la evaluación de los datos de viento se utilizara el software WRPLOT VIEW ver. 7.0.0 de la empresa Lakes Environmental Software, este software es gratuito, para su descarga y activación se debe registrar en el sitio web de la empresa y vía email proporcionan la clave de activación del mismo (Lakes Environmental Software, 2014).

Este software facilita el análisis de histograma y rosa de vientos, al cual se ingresa la información de la velocidad y dirección del viento en periodos de hora, dando como resultado la velocidad media y dirección tendencial.

El paso del análisis de la velocidad del viento [m/s] será:

Tabla 8, Paso de viento para el análisis

Calmado 0 - 2	2-3	3-5	5-7	7-8	8-10	10-11	11-12.5	12.5 - 15	>15
------------------	-----	-----	-----	-----	------	-------	---------	-----------	-----

El paso angular en 16 bloques de 22.5° c/u para el análisis de la dirección del viento.

<sup>22</sup> Imagen tomada de <http://www.eoi.es/>

Los datos a ser evaluados son:

- Año 2012, desde julio hasta septiembre,
- Año 2013, desde mayo hasta diciembre,
- Año 2014, desde enero hasta diciembre,
- Año 2015, desde enero hasta abril.

### Ubicación geográfica

La ubicación donde se proyectará el análisis predictivo de la energía eólica, será sobre el edificio Guillermo Mensi de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, donde se planea instalar el microaerogenerador.

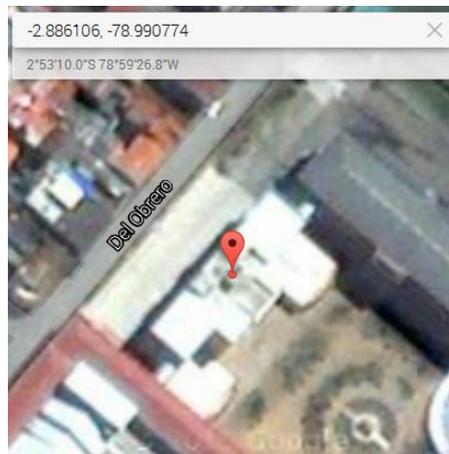


Figura 19, Ubicación del microaerogenerador

Coordenadas geográficas de la ubicación de análisis:

Latitud: -2.886106, 2° 53' 10.0" S,	X: 723340.7129740447
Longitud: -78.990774, 78° 59' 26.8 "W,	Y: 9680798.627164334
Altitud: 2565 msnm.	Zona: 17
	Hemisferio: S (Sur)

### Análisis predictivo Año 2012

La (Tabla 9, Conteo de la frecuencia del viento - 2012), presenta una condensación sumatoria de sucesos repetitivos en la velocidad y dirección del viento.

Tabla 9, Conteo de la frecuencia del viento - 2012

	Velocidad		2,0 - 3,0	3,0 - 5,0	5,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 11,0	11,0 - 12,5	12,5 - 15,0	>= 15,0	Total
	Dirección											
1	348,75 - 11,25		1	0	2	0	0	0	0	0	0	3

2	11,25 - 33,75	23	64	39	7	4	0	0	0	0	137
3	33,75 - 56,25	48	112	109	44	39	6	6	1	0	365
4	56,25 - 78,75	42	54	70	58	123	41	47	39	5	479
5	78,75 - 101,25	8	16	16	7	14	2	2	0	0	65
6	101,25 - 123,75	5	12	8	2	0	0	0	0	0	27
7	123,75 - 146,25	2	4	2	0	0	0	0	0	0	8
8	146,25 - 168,75	3	9	0	0	0	0	0	0	0	12
9	168,75 - 191,25	4	3	0	0	0	0	0	0	0	7
10	191,25 - 213,75	0	2	1	0	0	0	0	0	0	3
11	213,75 - 236,25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3
12	236,25 - 258,75	0	0	2	0	1	0	0	0	0	3
13	258,75 - 281,25	2	1	2	0	0	0	0	0	0	5
14	281,25 - 303,75	1	0	1	0	0	0	0	0	0	2
15	303,75 - 326,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	326,25 - 348,75	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	Sub-Total	143	277	252	118	181	49	55	40	5	1120
										Calmado (< 2 m/s)	959
										Datos faltantes	1
										Total datos	2080

La (Tabla 10, Distribución de la frecuencia del viento - 2012), presenta distribución de sucesos repetitivos en la velocidad y dirección del viento.

Tabla 10, Distribución de la frecuencia del viento - 2012

Dirección	Velocidad										Total
	2,0 - 3,0	3,0 - 5,0	5,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 11,0	11,0 - 12,5	12,5 - 15,0	>= 15,0		
1	348,75 - 11,25	0,00048	0	0,00096	0	0	0	0	0	0	0,00144
2	11,25 - 33,75	0,01106	0,03078	0,01876	0,00337	0,00192	0	0	0	0	0,06587
3	33,75 - 56,25	0,02309	0,05387	0,05243	0,02116	0,01876	0,00289	0,00289	0,00048	0	0,17548
4	56,25 - 78,75	0,0202	0,02597	0,03367	0,0279	0,05916	0,01972	0,02261	0,01876	0,00241	0,23029
5	78,75 - 101,25	0,00385	0,0077	0,0077	0,00337	0,00673	0,00096	0,00096	0	0	0,03125
6	101,25 - 123,75	0,00241	0,00577	0,00385	0,00096	0	0	0	0	0	0,01298
7	123,75 - 146,25	0,00096	0,00192	0,00096	0	0	0	0	0	0	0,00385
8	146,25 - 168,75	0,00144	0,00433	0	0	0	0	0	0	0	0,00577
9	168,75 - 191,25	0,00192	0,00144	0	0	0	0	0	0	0	0,00337
10	191,25 - 213,75	0	0,00096	0,00048	0	0	0	0	0	0	0,00144
11	213,75 - 236,25	0,00144	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00144
12	236,25 - 258,75	0	0	0,00096	0	0,00048	0	0	0	0	0,00144
13	258,75 - 281,25	0,00096	0,00048	0,00096	0	0	0	0	0	0	0,0024
14	281,25 - 303,75	0,00048	0	0,00048	0	0	0	0	0	0	0,00096
15	303,75 - 326,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	326,25 - 348,75	0,00048	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00048
	Sub-Total	0,06875	0,13317	0,12115	0,05673	0,08702	0,02356	0,02644	0,01923	0,0024	0,53846
										Calmado (< 2 m/s)	0,46106
										Datos faltantes	0,00048
										Total	1

La (Figura 20, Histograma velocidad del viento – 2012), puede observar la tendencia de la velocidad del viento es del 46.1% de calmado a velocidades inferiores a 2 [m/s] y sobre saliendo un 13.3% velocidades de 3 a 5 [m/s].

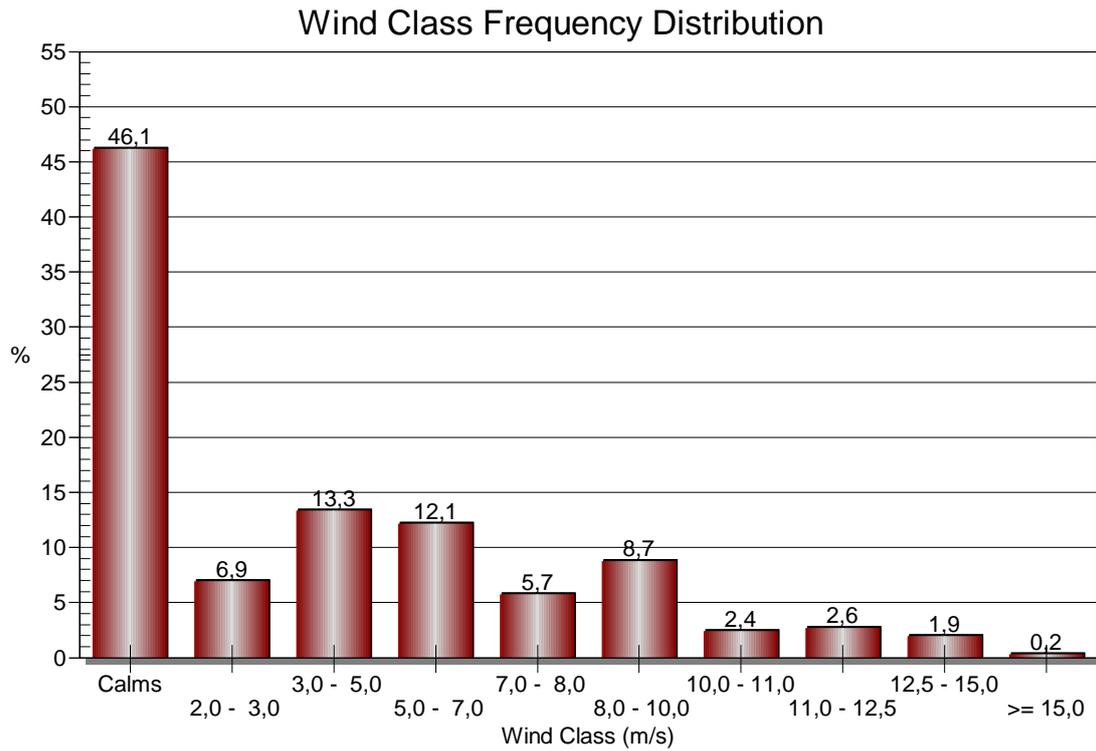


Figura 20, Histograma velocidad del viento – 2012

Realizado el análisis de histograma se determina que la velocidad media tendencial es de 3.14 [m/s], la cual se utilizara más adelante para estimar la potencia eólica y eléctrica del viento.

Las siguientes figuras nos indican la dirección por donde llegara el flujo de viento, siendo esta por el noroeste.

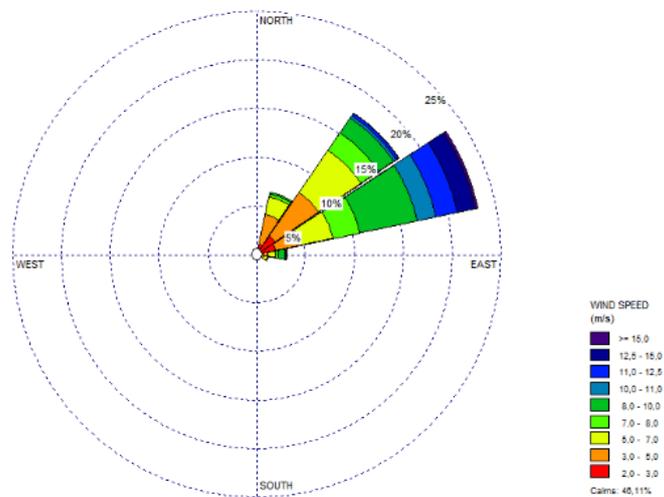


Figura 21, Distribución del viento por su dirección – 2012



Tabla 12, Distribución de la frecuencia del viento - 2013

Velocidad Viento	Velocidad									Total
	2,0 - 3,0	3,0 - 5,0	5,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 11,0	11,0 - 12,5	12,5 - 15,0	>= 15,0	
1	348,75 - 11,25	0	0,00017	0	0	0	0	0	0	0,00017
2	11,25 - 33,75	0,00924	0,01968	0,00839	0,00086	0,00034	0	0	0	0,0385
3	33,75 - 56,25	0,02191	0,03663	0,03046	0,01318	0,0113	0,00205	0,00086	0,00017	0,11653
4	56,25 - 78,75	0,02088	0,03029	0,03132	0,02156	0,04655	0,01472	0,01506	0,00582	0,18652
5	78,75 - 101,25	0,00702	0,0089	0,00685	0,00291	0,00222	0	0,00051	0	0,02841
6	101,25 - 123,75	0,00667	0,00856	0,00496	0	0,00017	0	0	0	0,02036
7	123,75 - 146,25	0,00428	0,00548	0,00137	0,00017	0,00017	0	0	0	0,01146
8	146,25 - 168,75	0,00188	0,00359	0,00103	0	0	0	0	0	0,0065
9	168,75 - 191,25	0,00496	0,00548	0,00171	0,00017	0,00017	0	0	0	0,01249
10	191,25 - 213,75	0,00787	0,01318	0,00719	0,00308	0,00137	0	0	0	0,03268
11	213,75 - 236,25	0,01506	0,01472	0,00325	0,00034	0	0	0	0	0,03337
12	236,25 - 258,75	0,00667	0,00377	0,0012	0,00017	0	0	0	0	0,01181
13	258,75 - 281,25	0,00051	0,00103	0,00017	0	0	0	0	0	0,00171
14	281,25 - 303,75	0	0,00017	0	0	0	0	0	0	0,00017
15	303,75 - 326,25	0,00034	0	0	0	0	0	0	0	0,00034
16	326,25 - 348,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sub-Total		0,10729	0,15161	0,09788	0,04244	0,06229	0,01677	0,01643	0,00599	0,00034
		Calmado (< 2 m/s)								0,4988
		Datos faltantes								0,00017
		Total								1

La (Figura 23, Histograma velocidad del viento – 2013), puede observar la tendencia de la velocidad del viento es del 49.9% de calmado a velocidades inferiores a 2 [m/s] y sobre saliendo un 15.2% velocidades de 3 a 5 [m/s].

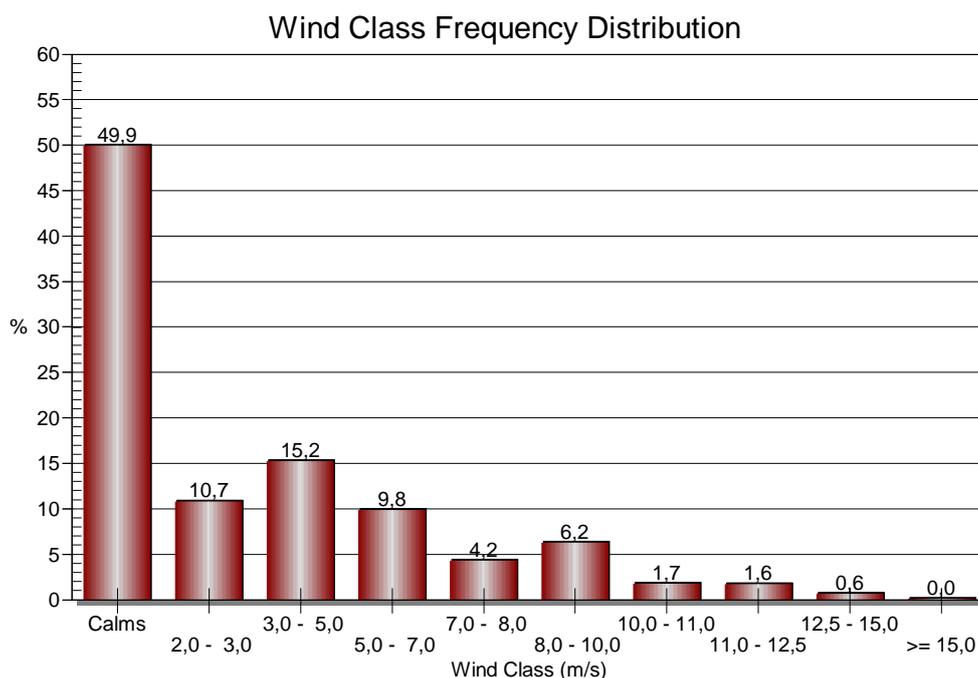


Figura 23, Histograma velocidad del viento – 2013

Realizado el análisis de histograma se determina que la velocidad media tendencial es de 2.74 [m/s], la cual se utilizara más adelante para estimar la potencia eólica y eléctrica del viento.

Las siguientes figuras nos indican la dirección por donde llegara el flujo de viento, y como se puede observar es por el noroeste.

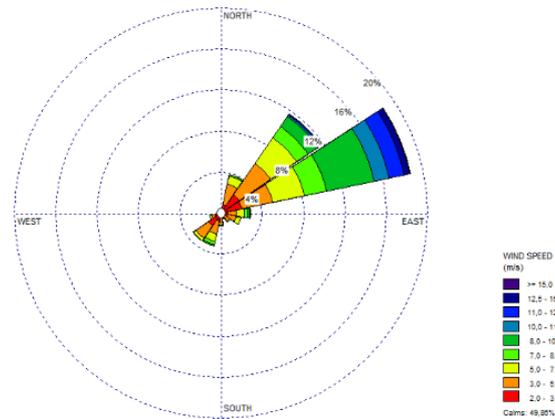


Figura 24, Distribución del viento por su dirección - 2013

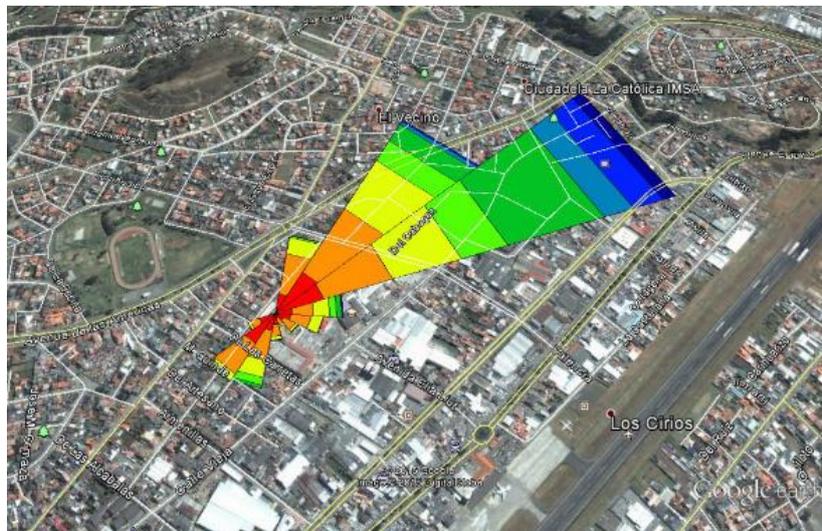


Figura 25, Distribución de viento geográficamente – 2013

### Análisis predictivo del años 2014

La (Tabla 13, Conteo de la frecuencia del viento - 2014), presenta una condensación sumatoria de sucesos repetitivos en la velocidad y dirección del viento.

Tabla 13, Conteo de la frecuencia del viento - 2014

Dirección	Velocidad	2,0 - 3,0	3,0 - 5,0	5,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 11,0	11,0 - 12,5	12,5 - 15,0	≥ 15,0	Total
1	348,75 - 11,25	107	35	0	0	0	0	0	0	0	142
2	11,25 - 33,75	230	126	2	0	0	0	0	0	0	358
3	33,75 - 56,25	370	554	63	0	0	0	0	0	0	987
4	56,25 - 78,75	220	442	65	0	0	0	0	0	0	727
5	78,75 - 101,25	47	63	10	1	0	0	0	0	0	121
6	101,25 - 123,75	19	14	0	0	0	0	0	0	0	33
7	123,75 - 146,25	30	12	0	0	0	0	0	0	0	42
8	146,25 - 168,75	20	7	2	0	0	0	0	0	0	29
9	168,75 - 191,25	59	54	15	0	0	0	0	0	0	128
10	191,25 - 213,75	136	129	28	0	0	0	0	0	0	293
11	213,75 - 236,25	77	24	0	0	0	0	0	0	0	101
12	236,25 - 258,75	54	8	1	0	0	0	0	0	0	63
13	258,75 - 281,25	9	1	1	0	0	0	0	0	0	11
14	281,25 - 303,75	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4
15	303,75 - 326,25	4	1	0	0	0	0	0	0	0	5
16	326,25 - 348,75	20	7	1	0	0	0	0	0	0	28
Sub-Total		1405	1478	188	1	0	0	0	0	0	3072
Calmado (< 2 m/s)											5418
Datos faltantes											84
Total datos											8574

La (Tabla 14, Distribución de la frecuencia del viento - 2014), presenta distribución de sucesos repetitivos en la velocidad y dirección del viento.

Tabla 14, Distribución de la frecuencia del viento - 2014

Viento	Velocidad	2,0 - 3,0	3,0 - 5,0	5,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 11,0	11,0 - 12,5	12,5 - 15,0	≥ 15,0	Total
1	348,75 - 11,25	0,0126	0,00412	0	0	0	0	0	0	0	0,01656
2	11,25 - 33,75	0,02709	0,01484	0,00024	0	0	0	0	0	0	0,04175
3	33,75 - 56,25	0,04358	0,06525	0,00742	0	0	0	0	0	0	0,11512
4	56,25 - 78,75	0,02591	0,05206	0,00766	0	0	0	0	0	0	0,08479
5	78,75 - 101,25	0,00554	0,00742	0,00118	0,00012	0	0	0	0	0	0,01411
6	101,25 - 123,75	0,00224	0,00165	0	0	0	0	0	0	0	0,00385
7	123,75 - 146,25	0,00353	0,00141	0	0	0	0	0	0	0	0,0049
8	146,25 - 168,75	0,00236	0,00082	0,00024	0	0	0	0	0	0	0,00338
9	168,75 - 191,25	0,00695	0,00636	0,00177	0	0	0	0	0	0	0,01493
10	191,25 - 213,75	0,01602	0,01519	0,0033	0	0	0	0	0	0	0,03417
11	213,75 - 236,25	0,00907	0,00283	0	0	0	0	0	0	0	0,01178
12	236,25 - 258,75	0,00636	0,00094	0,00012	0	0	0	0	0	0	0,00735
13	258,75 - 281,25	0,00106	0,00012	0,00012	0	0	0	0	0	0	0,00128
14	281,25 - 303,75	0,00035	0,00012	0	0	0	0	0	0	0	0,00047
15	303,75 - 326,25	0,00047	0,00012	0	0	0	0	0	0	0	0,00058
16	326,25 - 348,75	0,00236	0,00082	0,00012	0	0	0	0	0	0	0,00327
Sub-Total		0,16387	0,17238	0,02193	0,00012	0	0	0	0	0	0,35829
Calmado (< 2 m/s)											0,63191
Datos faltantes											0,0098
Total											1

La (Figura 26, Histograma velocidad del viento – 2014), puede observar la tendencia de la velocidad del viento es del 54.5% de calmado a velocidades

inferiores a 2 [m/s] y sobre saliendo un 14.0% velocidades de 3 a 5 [m/s].

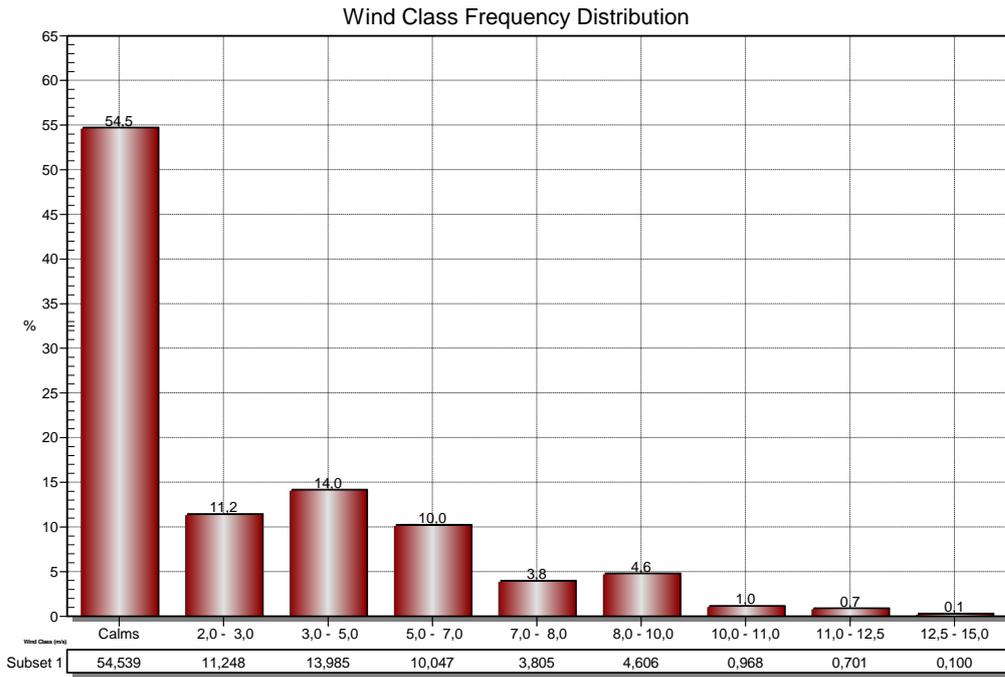


Figura 26, Histograma velocidad del viento – 2014

Realizado el análisis de histograma se determina que la velocidad media tendencial es de 2.28 [m/s], la cual se utilizara más adelante para estimar la potencia eólica y eléctrica del viento.

Las siguientes figuras nos indican la dirección por donde llegara el flujo de viento, y como se puede observar es por el noroeste.

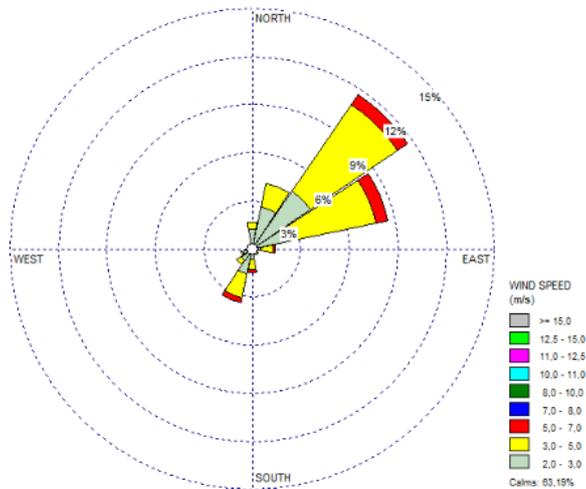


Figura 27, Distribución del viento por su dirección - 2014



Figura 28, Distribución de viento geográficamente – 2014

### Análisis predictivo del año 2015

La (Tabla 15, Conteo de la frecuencia del viento - 2015), presenta una condensación sumatoria de sucesos repetitivos en la velocidad y dirección del viento.

Tabla 15, Conteo de la frecuencia del viento - 2015

Velocidad Dirección		2,0 - 3,0	3,0 - 5,0	5,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 11,0	11,0 - 12,5	12,5 - 15,0	>= 15,0	Total	
1	348,75 - 11,25	23	3	0	0	0	0	0	0	0	26	
2	11,25 - 33,75	58	35	0	0	0	0	0	0	0	93	
3	33,75 - 56,25	140	195	23	1	0	0	0	0	0	359	
4	56,25 - 78,75	98	183	23	0	0	0	0	0	0	304	
5	78,75 - 101,25	17	20	3	0	0	0	0	0	0	40	
6	101,25 - 123,75	12	1	0	0	0	0	0	0	0	13	
7	123,75 - 146,25	6	5	0	0	0	0	0	0	0	11	
8	146,25 - 168,75	7	1	0	0	0	0	0	0	0	8	
9	168,75 - 191,25	28	15	7	0	0	0	0	0	0	50	
10	191,25 - 213,75	48	46	14	0	0	0	0	0	0	108	
11	213,75 - 236,25	34	5	0	0	0	0	0	0	0	39	
12	236,25 - 258,75	21	5	0	0	0	0	0	0	0	26	
13	258,75 - 281,25	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	
14	281,25 - 303,75	3	1	0	0	0	0	0	0	0	4	
15	303,75 - 326,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16	326,25 - 348,75	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	
Sub-Total		499	516	70	1	0	0	0	0	0	1086	
											Calmado (< 2 m/s)	1734
											Datos faltantes	47
											Total datos	2867

La (Tabla 16, Distribución de la frecuencia del viento - 2015), presenta distribución de sucesos repetitivos en la velocidad y dirección del viento.

Tabla 16, Distribución de la frecuencia del viento - 2015

Velocidad Viento		2,0 - 3,0	3,0 - 5,0	5,0 - 7,0	7,0 - 8,0	8,0 - 10,0	10,0 - 11,0	11,0 - 12,5	12,5 - 15,0	>= 15,0	Total
1	348,75 - 11,25	0,00816	0,00106	0	0	0	0	0	0	0	0,00907
2	11,25 - 33,75	0,02057	0,01241	0	0	0	0	0	0	0	0,03244

3	33,75 - 56,25	0,04965	0,06915	0,00816	0,00035	0	0	0	0	0	0,12522
4	56,25 - 78,75	0,03475	0,06489	0,00816	0	0	0	0	0	0	0,10603
5	78,75 - 101,25	0,00603	0,00709	0,00106	0	0	0	0	0	0	0,01395
6	101,25 - 123,75	0,00426	0,00035	0	0	0	0	0	0	0	0,00453
7	123,75 - 146,25	0,00213	0,00177	0	0	0	0	0	0	0	0,00384
8	146,25 - 168,75	0,00248	0,00035	0	0	0	0	0	0	0	0,00279
9	168,75 - 191,25	0,00993	0,00532	0,00248	0	0	0	0	0	0	0,01744
10	191,25 - 213,75	0,01702	0,01631	0,00496	0	0	0	0	0	0	0,03767
11	213,75 - 236,25	0,01206	0,00177	0	0	0	0	0	0	0	0,0136
12	236,25 - 258,75	0,00745	0,00177	0	0	0	0	0	0	0	0,00907
13	258,75 - 281,25	0	0,00035	0	0	0	0	0	0	0	0,00035
14	281,25 - 303,75	0,00106	0,00035	0	0	0	0	0	0	0	0,0014
15	303,75 - 326,25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	326,25 - 348,75	0,00142	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0014
	Sub-Total	0,17405	0,17998	0,02442	0,00035	0	0	0	0	0	0,37879
Calmado (< 2 m/s)											0,60481
Datos faltantes											0,01639
Total											1

La (Figura 29, Histograma velocidad del viento – 2015), puede observar la tendencia de la velocidad del viento es del 61.5% de calmado a velocidades inferiores a 2 [m/s] y sobre saliendo un 18.3% velocidades de 3 a 5 [m/s].

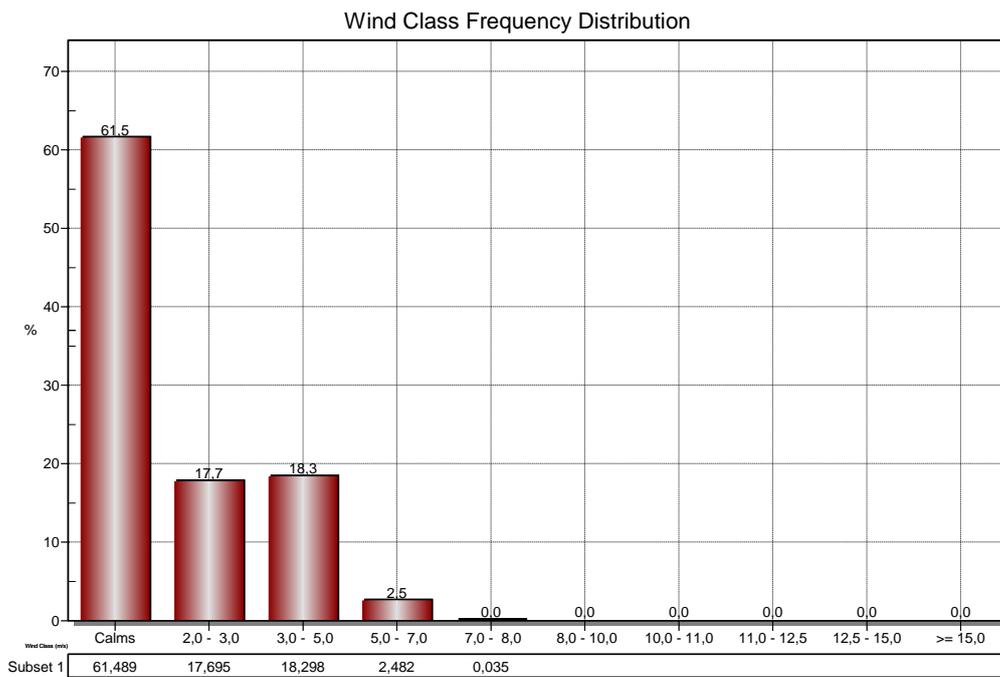


Figura 29, Histograma velocidad del viento – 2015

Realizado el análisis de histograma se determina que la velocidad media tendencial es de 1.17 [m/s], la cual se utilizara más adelante para estimar la potencia eólica y eléctrica del viento.

Las siguientes figuras nos indican la dirección por donde llegara el flujo de viento, y como se puede observar es por el noroeste.

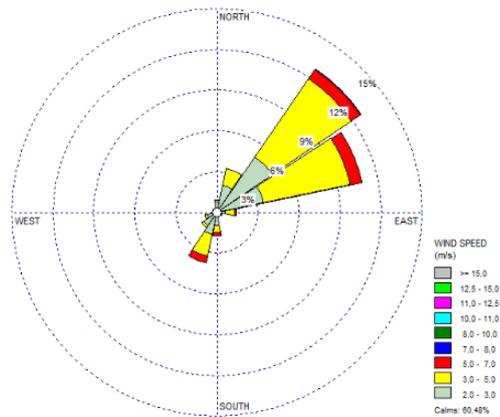


Figura 30, Distribución del viento por su dirección - 2015



Figura 31, Distribución de viento geográficamente – 2015

La (Tabla 17, Comportamiento del viento desde el 2012 hasta 2015), da un resumen del comportamiento del viento por año, realizando los respectivos análisis con los datos obtenidos de la estación meteorológica, para determinar la temperatura y presión atmosférica se realizó un promedio de todas las muestras, y como se aprecia la velocidad del viento están decaen cada año posiblemente por el cambio climático que tenemos,

Tabla 17, Comportamiento del viento desde el 2012 hasta 2015

<b>Año</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>Periodo de análisis</b>	01/07 – 30/09	01/05 – 31/12	01/01 – 31/12	01/01 – 30/04
<b>Velocidad media</b>	3.14 [m/s]	2.74 [m/s]	2.28 [m/s]	1.17 [m/s]
<b>Temperatura media [°C]</b>	16,73	14,8	15,67	15,86
<b>Presión atmosférica media [Pa]</b>	62175	56763	56700	56720

## 2.2. Variables en función del Aerogenerador.

En el Ecuador la energía eólica no está siendo explotada, por lo que no se puede encontrar una gran variedad de microaerogeneradores, por lo cual se ha elegido utilizar un microaerogenerador económico y que puede generar con bajas velocidades, de eje horizontal a tres palas, como es el caso del microaerogenerador modelo Sunnily X-600W de la casa Taizhou Sunnily Wind Power Technology Co., que se colocara en la terraza del edificio Guillermo Mesi.

Es necesario conocer las variables que influirán directamente en el desempeño y generación eólica del microaerogenerador, y los parámetros necesarios para un óptimo desempeño del mismo, a continuación se analizar el microaerogenerador para determinar las variables.

### 2.2.1. Microaerogenerador

El sistema micro-eólico a ser utilizado para este proyecto es:

- Kit Sunnily X-600W (Taizhou Sunnily Wind Power Technology Co., Ltd, 2011)

*Características técnicas del microaerogenerador*

Tabla 18, Características del microaerogenerador<sup>23</sup>

Construcción del cuerpo	Fundición de aluminio con recubrimiento anticorrosivo
Salida nominal	600 W
Salida máxima	700 W
Diámetro del rotor	1.85 m
Voltaje	24 V
Material de la lámina	La fibra de carbono reforzado con plástico
Tipo de generador	3 Fase de CA de imán permanente generador síncrono
Velocidad del viento mínima	2 m/s (5 mph)
Velocidad del viento nominal	12.5 m/s
velocidad del viento máxima	45 m/s (90 mph) - A pesar de que se recomienda la protección de su turbina si el viento supera los 50 mph o se vuelve turbulento y racheado.
Frenado de exceso de velocidad	Freno electromagnético
Nivel acústico	Promedio - 39dB
Ancho	150mm
Peso	15Kg

Tabla 19, Características del controlador de carga

Modo de control	Pulso de Amplitud Modulada - PWM
Visualización	LCD
Nominal Microaerogenerador Energía	600W
Solar fotovoltaica de energía	300W
Voltaje máximo de salida	28V
Corriente máxima de Salida	25A
La batería Apague Sobre-descarga	22V
La batería Sobre-descarga Recuperación	24V
Protección de tensión de salida	32V
PV Voltaje Automático Control de luz - OFF	3V
PV Voltaje Automático Control de luz - ON	2V
Línea 1 Modos de salida	3 modos de sensor de luz
Línea 2 Modos de salida	3 Sensores y hora de luz Modos
Corriente quiescente	<20mA
Longitud	142mm
Altura	80mm
Peso	1.9kg

<sup>23</sup> Tabla tomada de catálogo microaerogenerador Kit Sunnily X-600W

### Dimensiones del Microaerogenerador

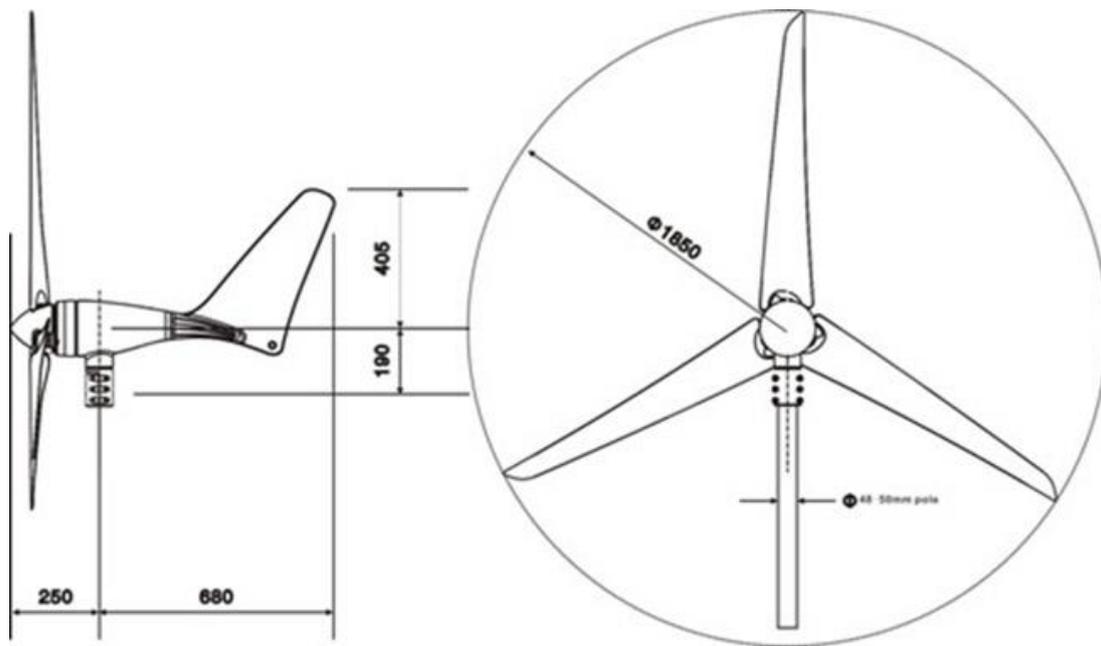


Figura 32, Dimensiones del microaerogenerador<sup>24</sup>

### Especificaciones de desempeño

La siguiente curva de potencia muestra el desempeño que debería tener el microaerogenerador en condiciones de velocidad suave y estable del viento, puede esperarse una producción similar a la curva que se ilustra a continuación.

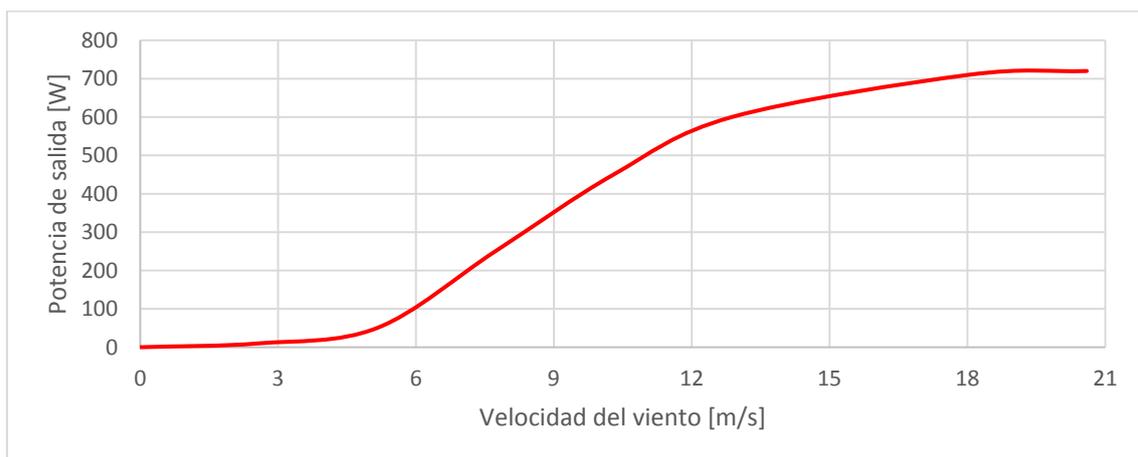


Figura 33, Curva de potencia en función de la velocidad del viento dada por el fabricante

<sup>24</sup> Imagen tomada de catálogo Kit Sunnily X-600W

### 2.2.2. *Parámetro y variables del microaerogenerador*

Las variables y parámetros del microaerogenerador a ser consideradas para el estudio son:

*Tabla 20, Variables y parámetros del microaerogenerador*

<b>Descripción</b>	<b>Dato</b>
Velocidad mínima	2 [m/s]
Velocidad máxima	16 [m/s]
Potencia Nominal	600 [W] a 12.5 [m/s]
Diámetro de las aspas	1.85 m, (radio = 0.925)

### 2.3. **Vinculación de las variables al microaerogenerador.**

Al vincular las variables del viento con el microaerogenerador se podrá proyectar la potencia eólica y eléctrica que podrá obtenerse, con los cálculos necesarios para convertir datos del viento en energía.

Tabla 21, Vinculación de variables para la predicción de generación de energía

PERIODO	2012	2013	2014	2015	MEDIA
	01/07 - 30/09	01/05 - 31/12	01/01 - 31/12	10/01 - 30/04	
Velocidad media [m/s]	3,14	2,74	2,28	1,17	2,3325
Temperatura media [°C]	16,73	14,8	15,67	15,86	15,765
Presión atmosférica media [Pa]	62175	56763	56700	56720	58089,5
Altitud [msnm]	2565	2565	2565	2565	2565
Densidad del aire [Kg/m <sup>3</sup> ] (ecu 15) $\rho = 1.225 * \left(\frac{288}{273 + T}\right) e^{-\left(\frac{h}{8495}\right)}$	0,900333121	0,906370796	0,903639156	0,90304478	0,903347
Potencia eólica proyectada disponible por m <sup>2</sup> [W] (ecu 7) $P_e = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3, r = 0.564$	13,92740665	9,316132942	5,351526339	0,722678204	7,329436
Radio de las aspas [m]	0,925	0,95	0,95	1,95	1,19375
Potencia eólica proyectada aprovechable [W] (ecu 7) $P_e = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3, r = 0.925$	37,46239285	26,43167465	15,18331737	8,638850762	21,92906
Límite de Betz, constante de $\frac{16}{27}$	0,592592593	0,592592593	0,592592593	0,592592593	0,592593
Potencia eólica proyectada capturarle (ecu 16) [W] $P_{em} = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3 * C_p$	22,1999365	15,66321461	8,997521402	5,11931897	12,995
Límite de Betz (velocidad del viento) (Figura 11) constante de 0.475 para aerogenerador de 3 aspas	0,475	0,475	0,475	0,475	0,475
Potencia eólica proyectada capturarle [W] (ecu 16) $P_{em} = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3 * C_p$	17,7946366	12,55504546	7,212075749	4,103454112	10,4163
Rendimiento electromecánico del aerogenerador Constante genérica	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Potencia proyecta del microaerogenerador [W] (ecu 20) $P_{nom\ elec} = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3 * C_p * p_{elec\ mec}$	16,90490477	11,92729319	6,851471961	3,898281406	9,895488

A continuación se representara en curvas las potencias eólicas proyectadas en función de la variación de la velocidad del viento. Utilizando las formulas: ecu 7, ecu 15, ecu 16, ecu 20 y curva ideal del microaerogenerador.

La (Tabla 22, Variables constantes) son los valores medios calculados en la (Tabla 21, Vinculación de variables para le predicción de generación de energía), para estimar el comportamiento tendencial de estas variable en el microaerogenerador.

*Tabla 22, Variables constantes*

Radio de las aspas	0,925
Temperatura media [°C]	16,73
Presión atmosférica media [Pa]	58546
Altitud [msnm]	2555
Densidad del aire [Kg/m <sup>3</sup> ] (ecu 15) $\rho = 1.225 * \left( \frac{288}{273 + T} \right) e^{-\left( \frac{h}{8495} \right)}$	0,904512
Límite de Betz	0,592593
Rendimiento electromecánico del aerogenerador	0,95

Se hace variar la velocidad del viento de 0 a 16 que es el rango de funcionamiento del microaerogenerador seleccionado.

Tabla 23, Cálculos de las potencias proyectadas en función del viento

Velocidad media [m/s]	0	2	3	5	7	8	10	11	12	12,5	15	16
Potencia eólica disponible por m <sup>2</sup> $P_e = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3, r = 0.564$	0	0	3,6028062	12,15947	56,29385	154,4703	230,5796	450,3508	599,4169	778,2061	879,5914	1519,934
Potencia eólica aprovechable $P_e = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3, r = 0.925$	0	0	9,725402342	32,82323	151,9594	416,9766	622,4257	1215,675	1618,064	2100,687	2374,366	4102,904
Potencia eólica capturarle $P_{em} = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3 * C_p$	0	0	5,763201388	19,4508	90,05002	247,0973	368,8449	720,4002	958,8526	1244,851	1407,032	2431,351
Potencia Útil instantánea $P_{nom\ elec} = \frac{\pi}{2} * r^2 * \rho * v^3 * C_p * p_{elec\ mec}$	0	0	5,475041318	18,47826	85,54752	234,7424	350,4026	684,3802	910,91	1182,609	1336,68	2309,783
Potencia ideal dada por el fabricante	0	0	5	15	50	240	320	490	560	580	600	650

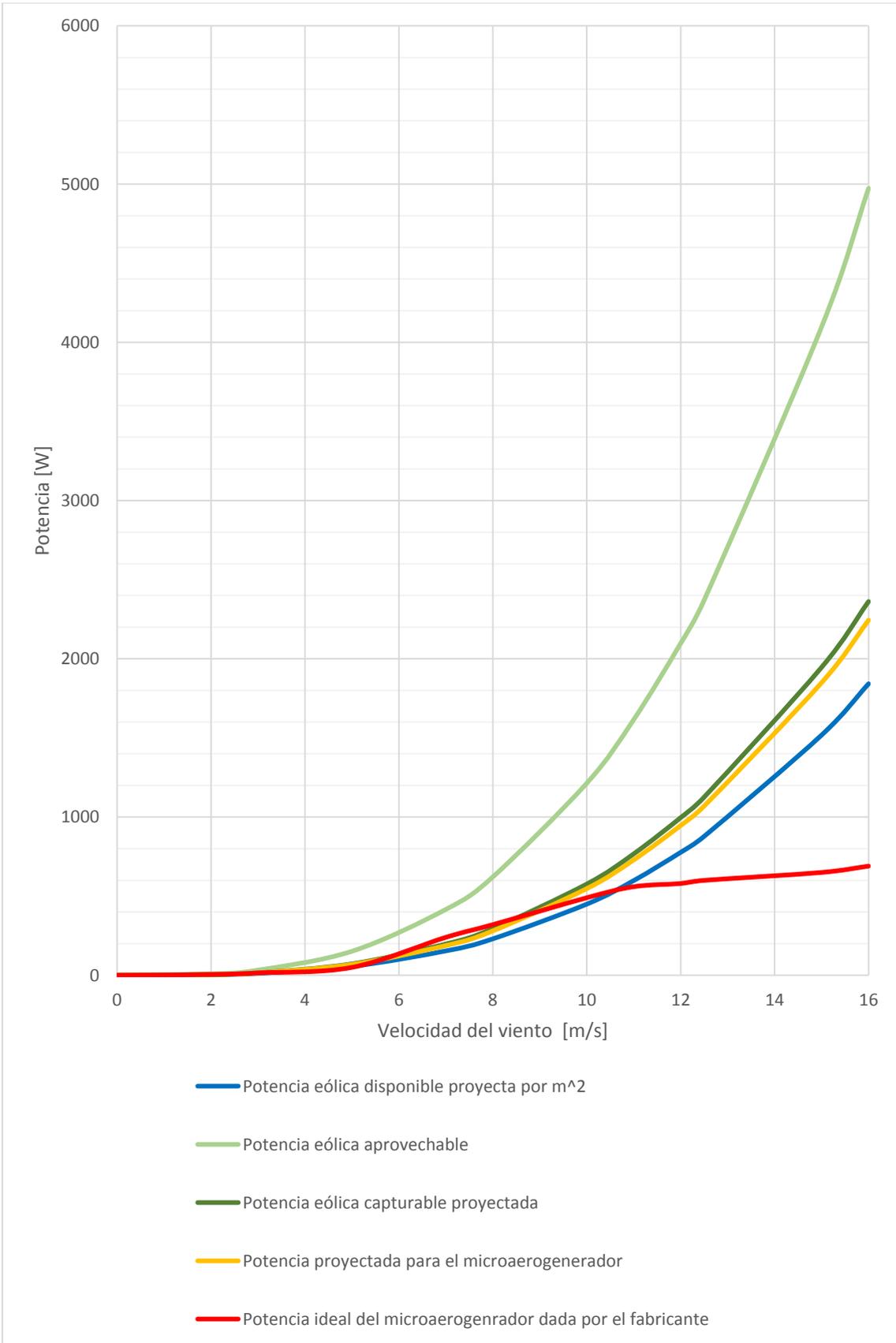


Figura 34, Curvas de potencia eólica proyectadas

Como se pudo observar en la (Figura 34, Curvas de potencia eólica proyectadas), en el eje horizontal tenemos la velocidad del viento [m/s] y el eje vertical es la potencia [W], las potencias crecen infinitamente como es de esperar ya que el viento incide cúbicamente en las formulas, esto quiere decir que para pequeños cambios de velocidad la potencia cambiara drásticamente, y tienden hacia el infinito pero la realidad es otra ya que un aerogenerador está restringido a sus características contractivas. En la (Figura 34, Curvas de potencia eólica proyectadas) tenemos cinco curvas que ese describe a continuación:

La energía existente proyectada en el aire libre;

- la curva celeste: representa la potencia eólica disponible por metro cuadrado, es decir, la que está “contenida en el aire”.
- la curva roja: representa la potencia eólica disponible en el microaerogenerador, es decir, la que podría captar por el tamaño de sus aspas, la que se obtendría si se pudiese capturar el 100% del viento.

Pero no toda la energía eólica existente es transformable ya que está limitada por pérdidas la captura del viento, rendimiento mecánico y eléctrico;

- la curva gris: representa la potencia eólica máximo teórico, es decir, no es posible capturar más de  $16/27$  (59%) de la energía cinética del viento, este resultado se conoce como Ley de Betz.
- la curva amarilla: representa la potencia eólica máxima capturable, es decir la potencia que pudiese generar en terminales el microaerogenerador.

Y finalmente la curva roja: representa la potencia ideal del microaerogenerador dada por el fabricante, y su comportamiento es muy diferente a las otras curvas, esta nos indica las limitaciones del mismo.

---

## Capítulo 3

---

### Análisis de parámetros

#### 3.1. Evaluación de generación del micro-eólico mediante aplicaciones computacionales.

Para la evaluación de los parámetros del sistema micro-eólico se utilizaran el software:

- WAsP modo evaluación v 11.02 Modulo OWC (Observed Wind Climate) Wizard, este es un programa que permite evaluar el recurso eólico en un determinado emplazamiento a partir de medidas de viento de estaciones meteorológicas cercanas. Este programa puede realizar análisis de histogramas, rosas de vientos, especialmente la distribución de Weibull, etc.

#### Distribución de Weibull

La distribución Weibull es una función utilizada para predecir la variación del viento en una localización específica. Hace posible describir el comportamiento de la velocidad del viento y también permite estimar la producción de energía para una localización específica.

A continuación se realizara una simulación del sistema utilizando los datos de la estación meteorológica como si fueran los datos presentes en el microaerogenerador y posteriormente los datos propiamente capturados en el microaerogenerador, también se ingresará los parámetros del aerogenerador.

### 3.1.1. Simulación eólica para determinar la velocidad media del viento en el año 2012

El análisis determina que el viento promedio en el año 2012 es:

Parámetro	2012
Velocidad media del viento [m/s]	3,88

La (Figura 35, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - 2012) visualiza la influencia del viento está en el orden de los 32%, en el bloque 4 dirección noroeste 67,5 °.

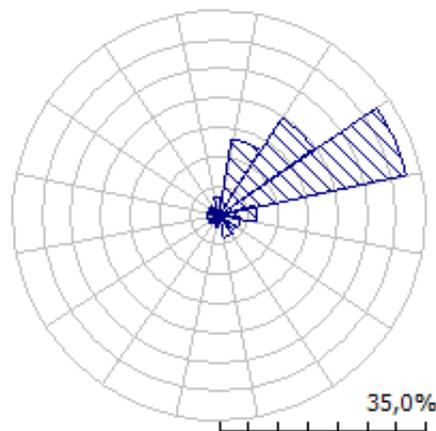


Figura 35, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - 2012

Para mayor detalle revisar el reporte 2012 en el Anexo I

### 3.1.2. Simulación eólica para determinar la velocidad media del viento en el año 2013

El análisis determina que el viento promedio en el año es:

Parámetro	2013
Velocidad media del viento [m/s]	3.25

La (Figura 36, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - 2013) visualiza la influencia del viento está en el orden de los 28%, en el bloque 4 dirección noroeste 67,5 °.

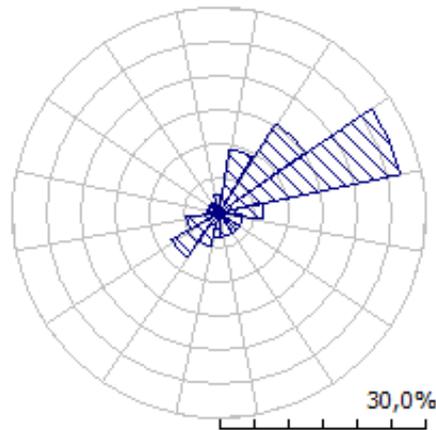


Figura 36, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - 2013

Para mayor detalle revisar el reporte 2013 en el Anexo I

### 3.1.3. Simulación eólica para determinar la velocidad media del viento en el año 2014

El análisis determina que el viento promedio en el año es:

Parámetro	2014
Velocidad media del viento [m/s]	1,87

La (Figura 37, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - 2014) visualiza la influencia del viento está en el orden de los 27%, en el bloque 3 dirección noroeste 60 °.

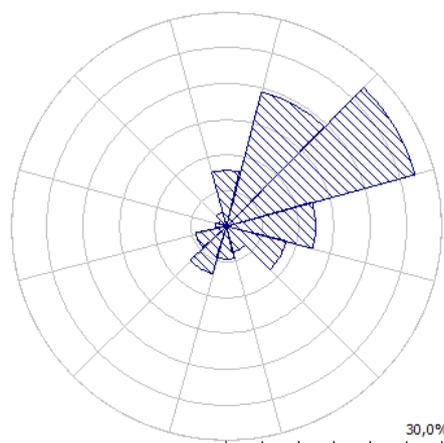


Figura 37, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - 2014

Para mayor detalle revisar el reporte 2014 en el Anexo I

### 3.1.4. Simulación eólica para determinar la velocidad media del viento en el año 2015

El análisis determina que el viento proyectado en el año es:

Parámetro	2015
Velocidad media del viento [m/s]	1.85

La (Figura 42, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2015) visualiza la influencia del viento está en el orden de los 27%, en el bloque 3 dirección noroeste 60 °.

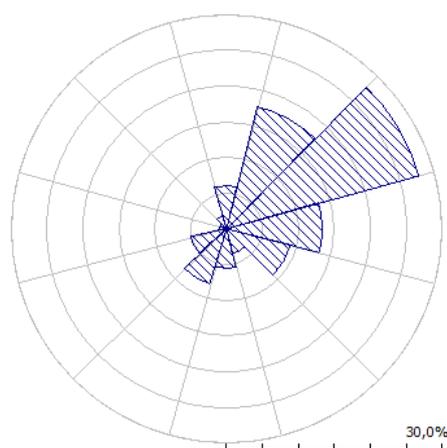


Figura 38, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - 2015

Para mayor detalle revisar el reporte 2015 en el Anexo I

## 3.2. Potencial micro-eólico

Mediante la simulación se puede determinar la potencia eólica que podrá generar el microaerogenerador con las condiciones de meteorológicas.

### 3.2.1. Simulación eólica para determinar la potencia eólica - año 2012

Como se puede visualizar (Figura 39, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2012) la curva de distribución de Weibull, la distribución de las velocidades del viento es sesgada, es decir, no es simétrica, a veces tendrá velocidades de venta altas de 15 m/s, pero son muy raras. Por otro lado, las velocidades del viento de 3,88 m/s son las más comunes con un Potencia medio de 147 W/m<sup>2</sup>.

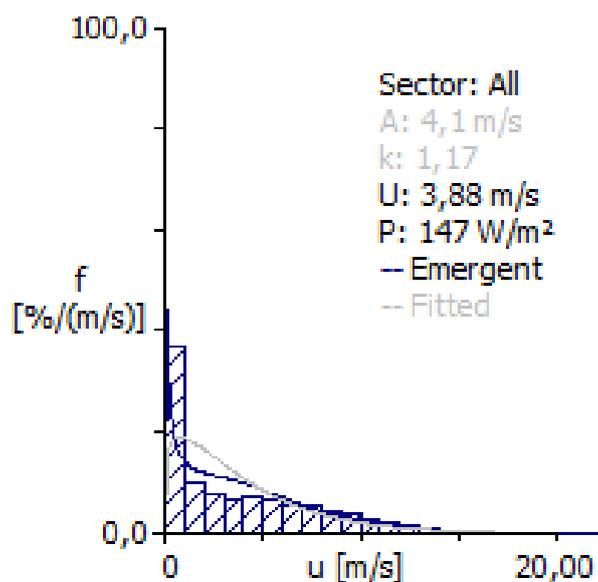


Figura 39, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2012

Tabla 24, Distribución de Weibull según la dirección del viento WOC Wizard - 2012

	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5
A	1,9	4,1	4,5	7,4	2,5	1,0	0,5	1,1	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6
k	1,05	1,92	1,55	1,99	0,91	0,69	0,64	0,76	0,57	0,71	0,66	0,65	0,81	0,85	0,67	0,70
U	1,85	3,65	4,09	6,60	2,61	1,24	0,74	1,26	0,80	0,78	1,01	1,00	0,76	0,78	0,77	0,73
P	20	59	108	338	83	23	7	17	14	5	15	15	3	3	6	4
f	3,1	13,1	19,7	32,3	6,4	3,7	3,4	3,6	2,0	1,6	2,0	1,9	1,5	2,0	2,0	1,7

Tabla 25, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2012

	Weibull-A	Weibull-k	Velocidad media	Densidad de potencia
Dotado	4,1 m/s	1,17	3,85 m/s	147 W/m <sup>2</sup>
Emergente	-	-	3,88 m/s	147 W/m <sup>2</sup>
Combinado	4,1 m/s	1,18	3,88 m/s	147 W/m <sup>2</sup>

El análisis determina que el viento proyectado una tendencia de:

Parámetro	2012
Densidad del potencial medio [W/m <sup>2</sup> ]	147 W/m <sup>2</sup>

### 3.2.2. Simulación eólica para determinar la potencia eólica - año 2013

Como se puede visualizar (Figura 40, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2013) la curva de distribución de Weibull, la distribución de las velocidades del viento es sesgada, es decir, no es simétrica, a veces tendrá velocidades de viento altas de 16 m/s, pero son muy raras. Por otro lado, las velocidades del viento de 3,25 m/s son las más comunes con un Potencia medio de 101 W/m<sup>2</sup>.

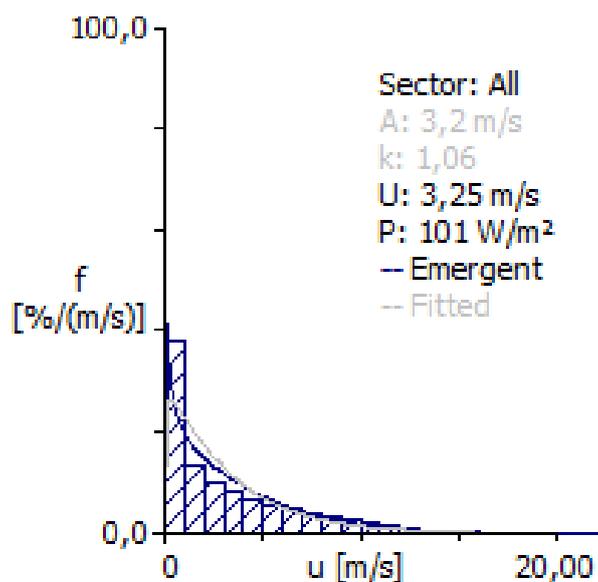


Figura 40, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2013

Tabla 26, Distribución de Weibull según la dirección del viento WOC Wizard - 2013

	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5
A	1,3	3,4	4,3	6,7	2,0	0,9	0,7	0,7	1,8	2,7	2,3	1,7	0,6	0,7	0,7	0,7
k	0,90	1,64	1,51	1,83	0,86	0,74	0,70	0,70	0,96	1,14	1,26	1,12	0,73	0,86	0,91	0,77
U	1,38	3,08	3,88	5,92	2,18	1,13	0,91	0,90	1,82	2,59	2,11	1,62	0,77	0,77	0,76	0,78
P	13	43	97	268	58	13	8	8	25	48	21	12	4	3	2	4
f	2,7	9,6	15,3	26,8	6,4	3,6	3,4	3,5	3,7	5,0	7,8	4,9	1,8	1,9	1,8	1,8

Tabla 27, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2013

	Weibull-A	Weibull-k	Velocidad media	Densidad de potencia
Dotado	3,2 m/s	1,06	3,17 m/s	101 W/m <sup>2</sup>
Emergente	-	-	3,25 m/s	101 W/m <sup>2</sup>
Combinado	3,4 m/s	1,10	3,25 m/s	101 W/m <sup>2</sup>

El análisis determina que el viento proyectado una tendencia de:

Parámetro	2013
Densidad del potencial medio [W/m <sup>2</sup> ]	101 W/m <sup>2</sup>

### 3.2.3. Simulación eólica para determinar la potencia eólica - año 2014

Como se puede visualizar (Figura 41, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2014) la curva de distribución de Weibull, la distribución de las velocidades del viento es sesgada, es decir, no es simétrica, a veces tendrá velocidades de viento altas de 16 m/s, pero son muy raras. Por otro lado, las velocidades del viento de 1,87 m/s son las más comunes con un Potencial medio de 17 W/m<sup>2</sup>.

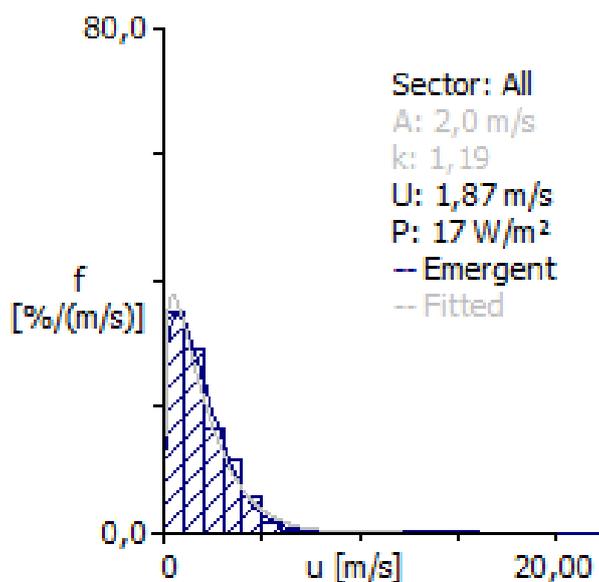


Figura 41, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2014

Tabla 28, Distribución de Weibull según la dirección del viento WOC Wizard - 2014

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
A	1,8	2,3	2,8	1,3	1,0	1,1	2,2	2,3	1,7	1,2	0,9	1,2
k	0,76	1,83	1,88	1,11	1,37	1,13	1,35	1,67	2,07	1,25	1,42	1,30
U	2,16	2,04	2,50	1,26	0,91	1,01	2,03	2,02	1,51	1,10	0,79	1,09
P	83	11	19	6	1	3	17	12	4	3	1	3
f	8,0	19,4	27,2	12,5	8,5	3,7	4,7	7,0	4,4	1,5	1,1	2,1

Tabla 29, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2014

	Weibull-A	Weibull-k	Velocidad media	Densidad de potencia
Dotado	2,0 m/s	1,19	1,90 m/s	17 W/m <sup>2</sup>
Emergente	-	-	1,87 m/s	17 W/m <sup>2</sup>
Combinado	2,0 m/s	1,17	1,87 m/s	17 W/m <sup>2</sup>

El análisis determina que el viento proyectado una tendencia de:

Parámetro	2014
Densidad del potencial medio [W/m <sup>2</sup> ]	17 W/m <sup>2</sup>

### 3.2.4. Simulación eólica para determinar la potencia eólica - año 2015

Como se puede visualizar (Figura 42, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2015) la curva de distribución de Weibull, la distribución de las velocidades del viento es sesgada, es decir, no es simétrica, a veces tendrá velocidades de viento altas de 16 m/s, pero son muy raras. Por otro lado, las velocidades del viento de 1,87 m/s son las más comunes con un Potencia medio de 17 W/m<sup>2</sup>.

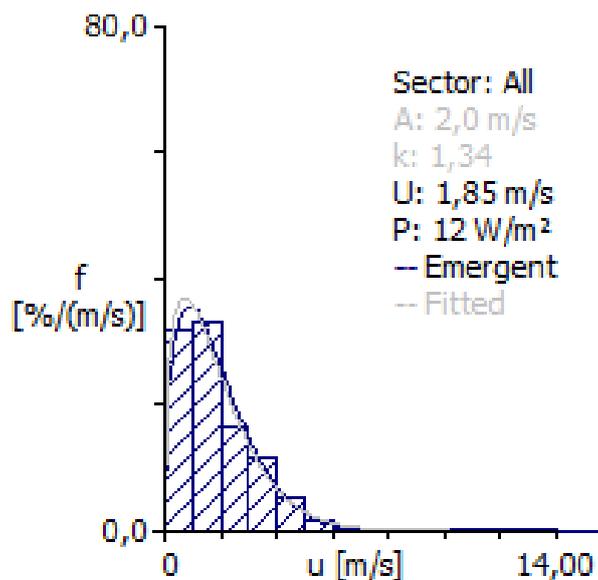


Figura 42, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2015

Tabla 30, Distribución de Weibull según la dirección del viento WOC Wizard - 2015

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
A	1,6	2,3	2,8	1,5	1,2	1,1	2,2	2,1	1,7	1,0	0,7	1,0
k	0,82	1,80	2,00	1,22	1,69	1,26	1,48	1,72	2,16	1,53	0,81	1,53
U	1,81	2,04	2,51	1,40	1,03	1,01	1,96	1,85	1,50	0,94	0,75	0,89
P	39	11	18	7	2	2	13	9	4	1	3	1
f	6,0	17,6	27,8	13,3	9,2	3,5	5,5	8,1	5,1	1,0	0,9	1,9

Tabla 31, Distribución de Weibull total WOC Wizard - 2015

	Weibull-A	Weibull-k	Velocidad media	Densidad de potencia
Dotado	2,0 m/s	1,34	1,83 m/s	12 W/m <sup>2</sup>
Emergente	-	-	1,85 m/s	12 W/m <sup>2</sup>
Combinado	2,0 m/s	1,37	1,85 m/s	12 W/m <sup>2</sup>

El análisis determina que el viento proyectado una tendencia de:

Parámetro	2015
Densidad del potencial medio [W/m <sup>2</sup> ]	12 W/m <sup>2</sup>

### 3.3. Cálculo de energía suministrada.

Considerando la velocidad del viento media y la densidad de potencia media anual encontrada en las simulaciones anteriores, se puede determinar la energía que podrá obtenerse del microaerogenerador.

Tabla 32, Energía suministrada por el microaerogenerador

	2012	2013	2014	2015	MEDIA
Velocidad media [m/s]	3,88	3,25	1,87	1,85	2,7125
Densidad de Potencial medio anual [W/m <sup>2</sup> ]	147	101	17	12	69,25
Radio de las aspas	0,925	0,925	0,925	0,925	0,925
Densidad de Potencial medio anual en función de las aspas [W/m <sup>2</sup> ]	135,975	93,425	15,725	11,1	64,05625
Límite de Betz	0,592592593	0,592592593	0,592592593	0,592592593	0,592593
Densidad de Potencial medio anual capturable [W/m <sup>2</sup> ]	80,57777778	55,36296296	9,318518519	6,577777778	37,95926
Rendimiento electromecánico del microaerogenerador	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Densidad de Potencial medio anual útil [W/m <sup>2</sup> ]	76,54888889	52,59481481	8,852592593	6,248888889	36,0613
Potencia Útil anual [KWh/año]	670,5682667	460,7305778	77,54871111	54,74026667	315,897
				Total potencia generada acumulada de 4 años [KWh/año]	1263,588

Como se puede observar en la tabla anterior la potencia media promedio es de 36.06 W/m<sup>2</sup> que es el 6.10% de la potencia que puede suministrar el microaerogenerador.

### 3.4. Implementación y análisis de micro-eólica.

#### 3.4.1. Kit del microaerogenerador.

El kit consta del microaerogenerador, controlador e inversor de 1000W, los cuales debe ser armador para un sistema micro-eólico aislado es decir no se conecta a la red eléctrica pública, el controlador puede ser conectado en modelo

hibrido es decir mezclar energía eólica y solar, esta función se deshabilitara para que trabaje en solo con energía eólica (Taizhou Sunnily Wind Power Technology Co., Ltd, 2011).



Figura 43, Kit microaerogenerador

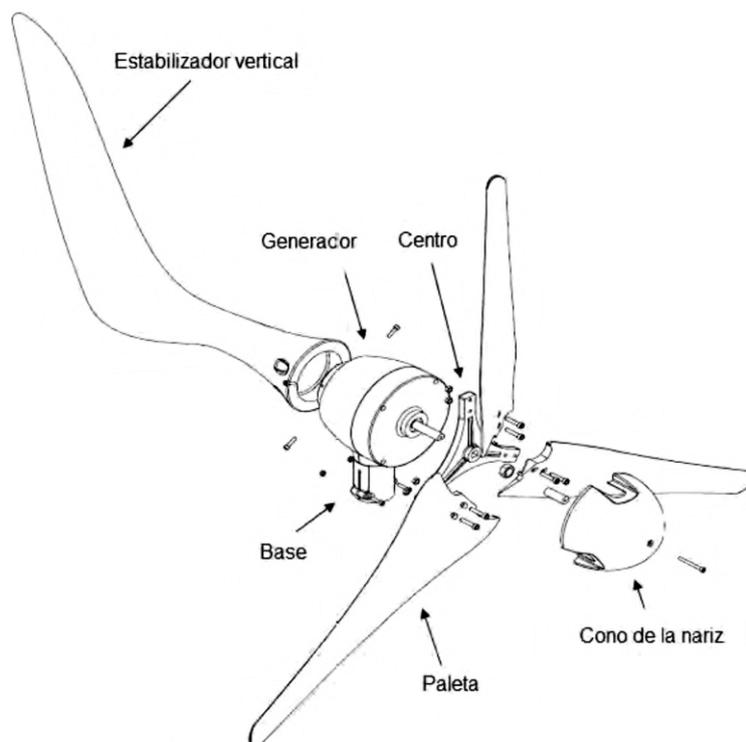


Figura 44, esquema de armado de microaerogenerador<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> Imagen tomado de catálogo Kit Sunnily X-600W

### 3.4.2. Protección del sistema

El controlador de carga MPPT viene equipado con protección contra sobrecarga de última tecnología. La temperatura de los circuitos internos es moderada por un ventilador interno que se activa a los 45 °C.

### 3.4.3. Esquema de instalación

Existen múltiples opciones para conectar el sistema micro-eólico dependiendo de las necesidades energéticas y los componentes disponibles, pero en este caso se le direccionara estrictamente para energías eólica.

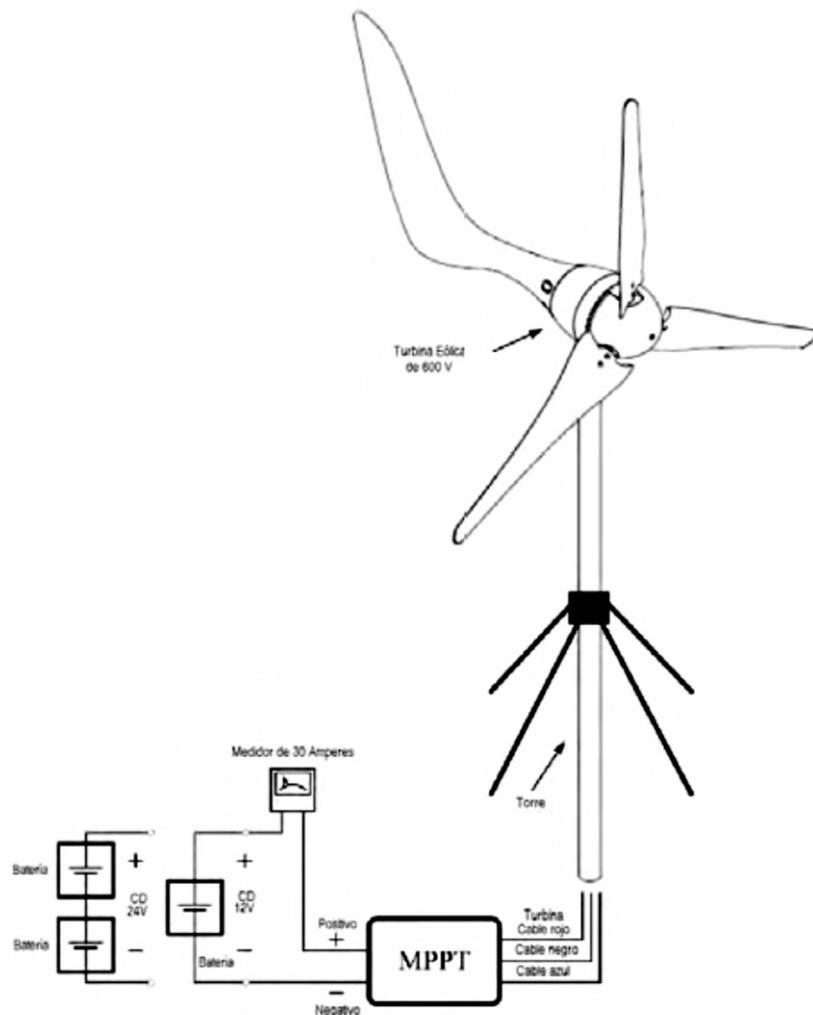


Figura 45, Esquema sugerido en el catálogo<sup>26</sup>

<sup>26</sup> Imagen tomada de catálogo Kit Sunnily X-600W

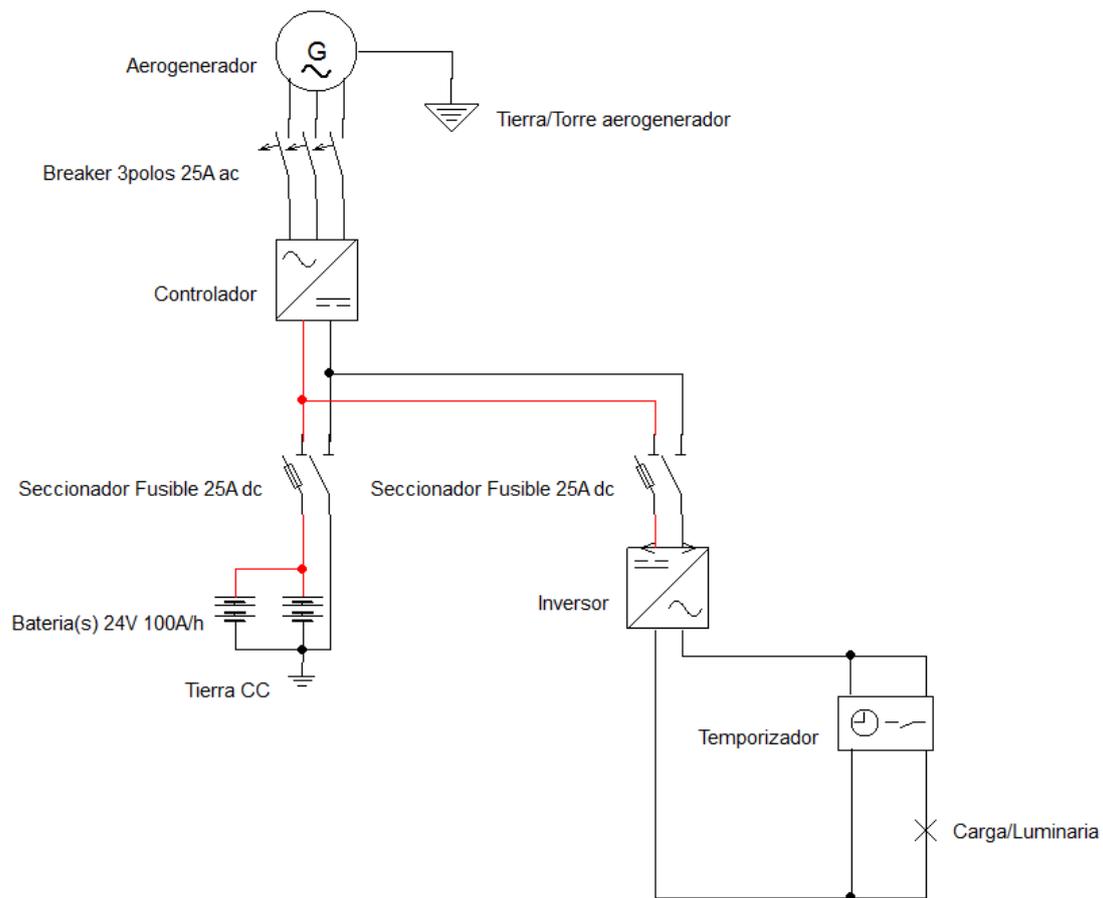


Figura 46, Esquema de conexión del sistema micro-eólico

#### 3.4.4. Recomendaciones para la ubicación

Consideraciones necesarias para el lugar de instalación (Taizhou Sunnily Wind Power Technology Co., Ltd, 2011):

- a) Distancia de obstáculos que puedan causar turbulencia, árboles, edificios, etc.
- b) Distancia de controladores MPPT y bancos de batería.
- c) Las restricciones locales de zonas.
- d) La liberación de los cableados de energía.

En términos generales, mientras más alta sea la torre, menor será la obstrucción para el flujo de aire, lo que llevará a una mayor capacidad generación. La altura

mínima recomendada para la torre es de 6 m por encima de los obstáculos a 200 m a la redonda.

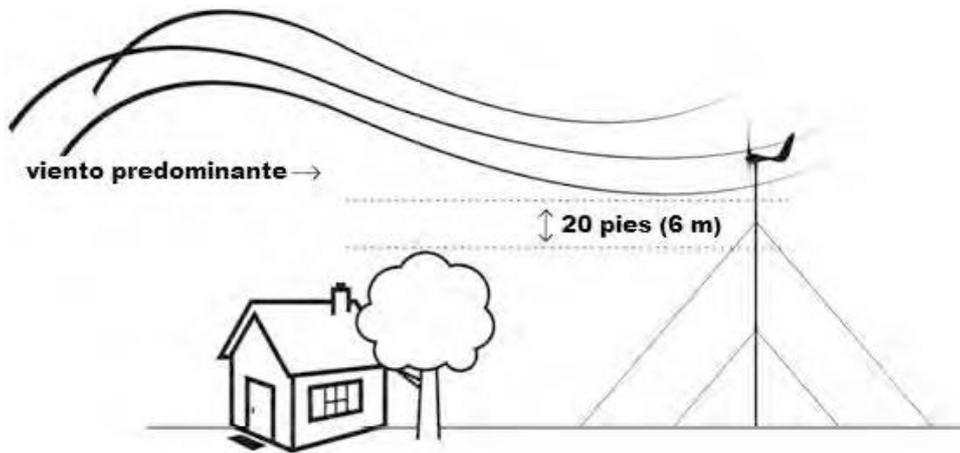


Figura 47, Altura mínima recomendada<sup>27</sup>

Para montar el micro microaerogenerador se utiliza un poste de 6,50 m, anclado por 3 tensores, sobre el edificio Mario Rizzini

### **3.4.5. Mantenimiento**

El microaerogenerador está diseñado para funcionar durante largos periodos sin necesidad de mantenimiento. Se recomienda simples mantenimientos e impléméntelos cada seis meses.

Precaución:

- No se acerque a la turbina durante su funcionamiento.
- Las paletas son filosas, Por favor, manéjelas con cuidado.

Revisar las paletas en búsqueda de daños superficiales. Reemplace las paletas si están dañadas. Es importante no utilizar las paletas si están dañadas, ya que perderá el balance general, lo que resultará en una disminución en la eficiencia.

---

<sup>27</sup> Imagen tomada del catálogo Kit Sunnily X-600W

Si notara daños en las paletas, debe reemplazar las tres. Las paletas están balanceadas en conjunto (Taizhou Sunnily Wind Power Technology Co., Ltd, 2011).

- Revisar el ajuste de los tornillos y tuercas de las paletas.
- Revisar el cono de la nariz en búsqueda de grietas y ajuste los tornillos.
- Eliminar cualquier exceso de tierra de las paletas.
- Revisar todas las conexiones eléctricas para asegurar que están ajustadas y libres de corrosión.
- Revise el voltaje de su banco de baterías y limpie los terminales.
- El fabricante sugiere que reemplace las paletas cada cinco años para un funcionamiento óptimo.

#### **3.4.6. Cálculo del banco de baterías**

El banco de baterías es imprescindible en sistemas aislados ya que estos se convertirán en la fuente de energía cuando el microaerogenerador esté en reposo o su potencia de salida no sea la nominal (SEVELEC, 2010).

La capacidad del banco de baterías se obtiene utilizando la siguiente fórmula:

$$CapBat = 1,66 * D_{tot} * Aut \quad (21)$$

donde:

- $CapBat$ : capacidad Ah de la batería
- 1,66: factor de corrección de batería que tiene en cuenta la profundidad de descarga admitida, el envejecimiento y un factor de temperatura.
- $D_{tot}$ : Demanda total de energía de la instalación en Ah/día. Esto se obtiene dividiendo los Wh/día para el voltaje de salida del microaerogenerador.
- $Aut$ : Días de autonomía proyectada.

Para Sistema micro-eólica se considera:

- Voltaje salida: 24 V,
- Potencia Salida nominal: 600 W,
- Días de respaldo: 2

$$CapBat = 1,66 * \left(\frac{600}{24}\right) * 2 = 83Ah$$

Se tomara el valor normalizado inmediatamente superior que es de 100Ah combinando dos baterías en serie de 12 V / 100 Ah.

### 3.4.7. Toma de datos del sistema micro-eólico

La (Tabla 33, Resumen de datos tomados de microaerogeenrador), presenta una condensación sumatoria de sucesos repetitivos en la velocidad según la dirección del viento.

Tabla 33, Resumen de datos tomados de microaerogeenrador

Velocidades [m/s]	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Todos
1,0	652	146	88	126	146	109	207	215	224	146	170	1.000	141
2,0	310	436	447	457	529	524	545	451	656	658	702	0	488
3,0	39	373	427	367	301	319	220	237	83	196	128	0	329
4,0	0	46	36	49	24	48	28	81	38	0	0	0	41
5,0	0	0	2	1	0	0	0	16	0	0	0	0	2
6,0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
7,0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
8,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### 3.4.7.1. Simulación eólica del microaerogenerador

La influencia del viento está en el orden de los 36%, en el bloque 3 dirección noroeste 60 °.

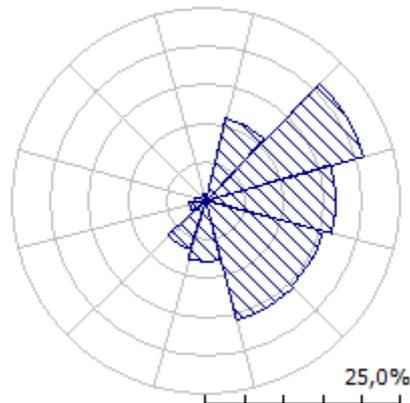


Figura 48, Distribución del viento por su dirección OWC Wizard - Microaerogenerador

El análisis determina que el viento promedio en el periodo es:

Parámetro	MA 2015
Velocidad media del viento [m/s]	1.78

Para mayor detalle revisar reporte microaerogenerador Anexo I

### 3.4.7.2. Evaluación del potencial eólica - microaerogenerador

Como se puede visualizar en la curva de distribución de Weibull, la distribución de las velocidades del viento es sesgada, es decir, no es simétrica, a veces tendrá velocidades de viento altas de 16 m/s, pero son muy raras. Por otro lado, las velocidades del viento de 1,87 m/s son las más comunes con un Potencial medio de 17 W/m<sup>2</sup>.

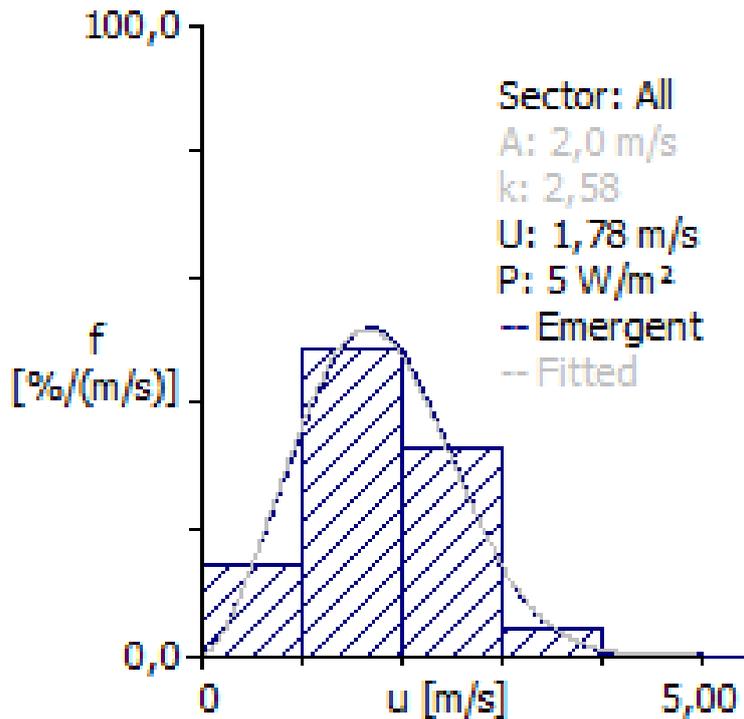


Figura 49, Distribución de Weibull total WOC Wizard - MAUPS

Tabla 34, Distribución de Weibull según la dirección del viento WOC Wizard - MAUPS

	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
A	1,0	2,1	2,2	2,1	1,9	2,0	1,8	2,0	1,7	1,7	1,6	0,5
k	1,56	2,75	3,13	2,72	2,63	2,57	2,40	1,96	2,39	2,97	3,17	10,34
U	0,88	1,84	1,93	1,85	1,70	1,78	1,59	1,73	1,47	1,55	1,48	0,49
P	1	6	6	6	5	5	4	6	3	3	3	0
f	0,9	11,0	21,0	16,8	15,8	16,0	7,9	6,6	2,3	1,5	0,3	0,0

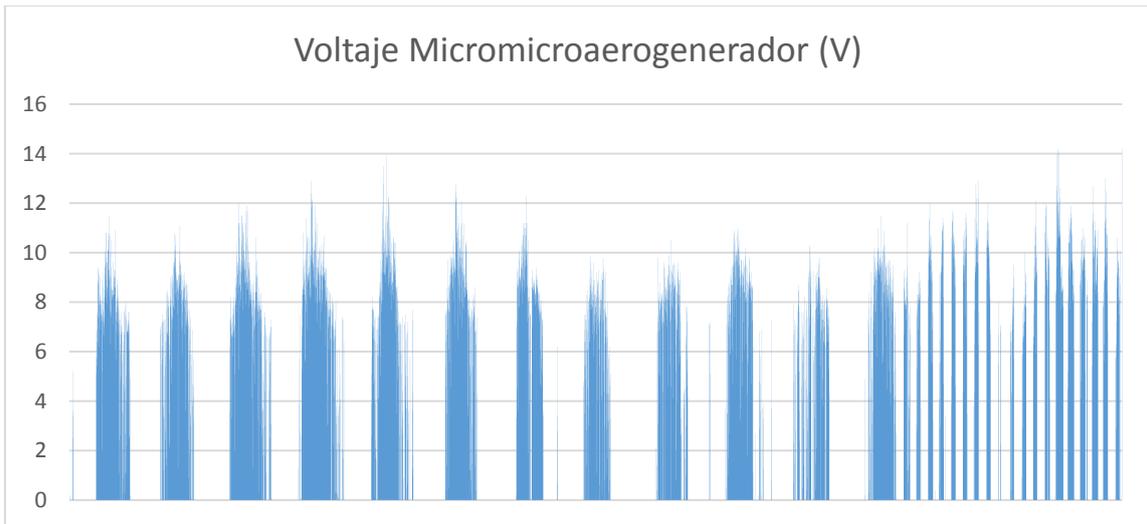
Tabla 35, Distribución de Weibull total WOC Wizard - MAUPS

	Weibull-A	Weibull-k	Velocidad media	Densidad de potencia
Dotado	2,0 m/s	2,58	1,78 m/s	5 W/m <sup>2</sup>
Emergente	-	-	1,78 m/s	5 W/m <sup>2</sup>
Combinado	2,0 m/s	2,60	1,78 m/s	5 W/m <sup>2</sup>

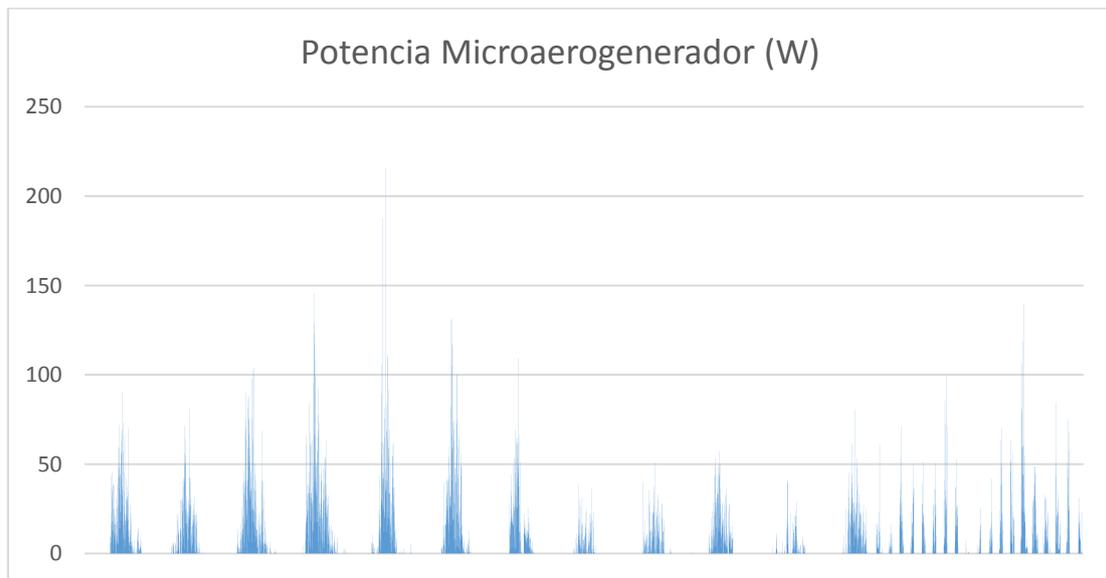
El análisis determina que el viento proyectado una tendencia de:

Parámetro	MAUPS 2015
Densidad del potencial medio [W/m <sup>2</sup> ]	5 W/m <sup>2</sup>

Las siguientes curvas de voltaje y potencia muestra el desempeño implementado el microaerogenerador con una velocidad suave y considerablemente estables.



*Figura 50, Voltaje en terminales del Microaerogenerador*



*Figura 51, Potencia del Microaerogenerador*

Como se puede observar en las figuras anterior el voltaje máximo y potencia máxima que puede genera en el periodo de análisis es de 14.2 V y 215,6 W respectivamente, pero son ocasionales lo que provoca que el microaerogenerador no pueda generar a su máxima capacidad por las condiciones climatológicas de la zona en estudio.

### 3.4.7.3. Curva paramétrica - microaerogenerador

Considerando el voltaje y potencia en función de la velocidad del viento Tabla 36, Resumen de Velocidad, Voltaje y Potencia Medidos en el microaerogenerador que está medidos en el microaerogenerador en el periodo de análisis se pudo obtener una curva que representa el comportamiento del mismo en las condiciones meteorológicas de la zona de estudio.

Tabla 36, Resumen de Velocidad, Voltaje y Potencia Medidos en el microaerogenerador

Velocidades [m/s]	Voltaje [V]	Potencia {w}													Todos
			0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	
1,0	0.38	4.85	652	146	88	126	146	109	207	215	224	146	170	1.000	141
2,0	4.35	18.45	310	436	447	457	529	524	545	451	656	658	702	0	488
3,0	7.34	41.78	39	373	427	367	301	319	220	237	83	196	128	0	329
4,0	8.62	86.36	0	46	36	49	24	48	28	81	38	0	0	0	41
5,0	9.98	185.6	0	0	2	1	0	0	0	16	0	0	0	0	2
6,0	14.2	215.6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
7,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

En la (Tabla 37, Datos paramétricos del microaerogenerador), se visualiza una condensación del promedio de voltajes y potencias en función del rango de velocidades tomados por el microaerogenerador.

Tabla 37, Datos paramétricos del microaerogenerador

Velocidad del viento [m/s]	0 : <1	1 : <2	2 : <3	3 : <4	4 : <5	5 : <6	6 : <7
Voltaje de salida [V]	0,00	0,83	4,35	7,34	8,62	9,98	14,2
Potencia de Salida [W]	0,00	4.85	18,45	41,78	86,36	185,6	215,6

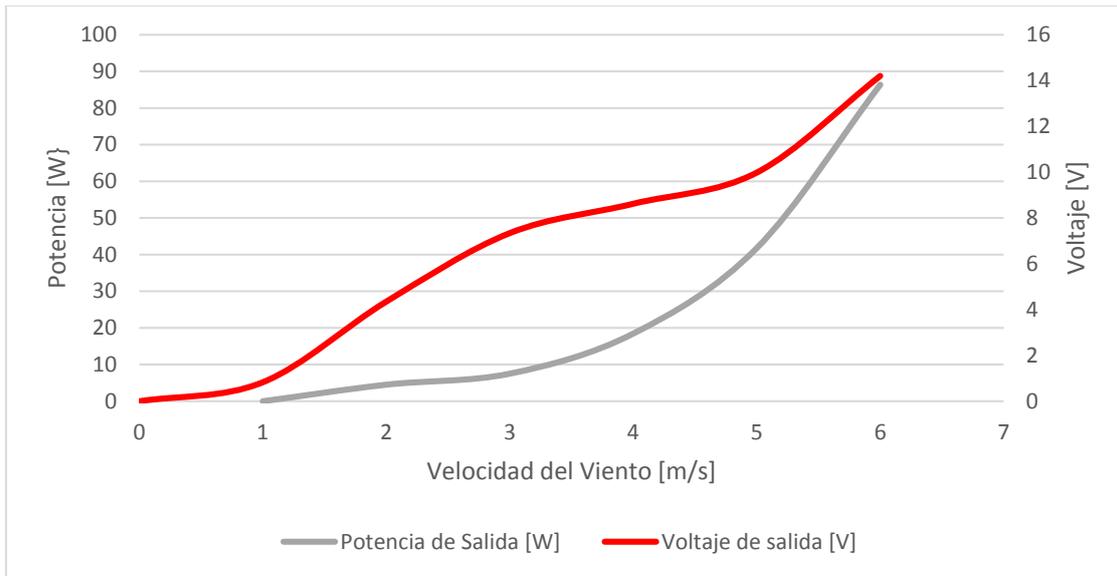


Figura 52, Curva de comportamiento del microaerogenerador

#### 3.4.7.4. Cálculo de energía suministrada por el microaerogenerador

Considerando la velocidad del viento media y la densidad de potencia media del periodo de estudio se puede determinar la energía que podrá obtenerse del microaerogenerador en las condiciones meteorológicas de zona donde está instalado el microaerogenerador.

Tabla 38, Energía suministrada por el microaerogenerador en el periodo de análisis

	Ene-Abr
Velocidad media [m/s]	1,78
Densidad de Potencial medio [W/m <sup>2</sup> ]	5,00
Potencia Útil anual [KW/año]	43,8

El microaerogenerador proyectando a un año podría generar 43.8KW.

Velocidad del Viento [m/s]	0:<1	1:<2	2:<3	3:<4	4:<5	5:<6	6:<7	9	12	15	16
Potencia Ideal [w]	0	0	0	10	40	90	150	400	600	680	700
Potencia Medida [w]	0	4,52	7,5	18,45	41,78	86,36	145,6				

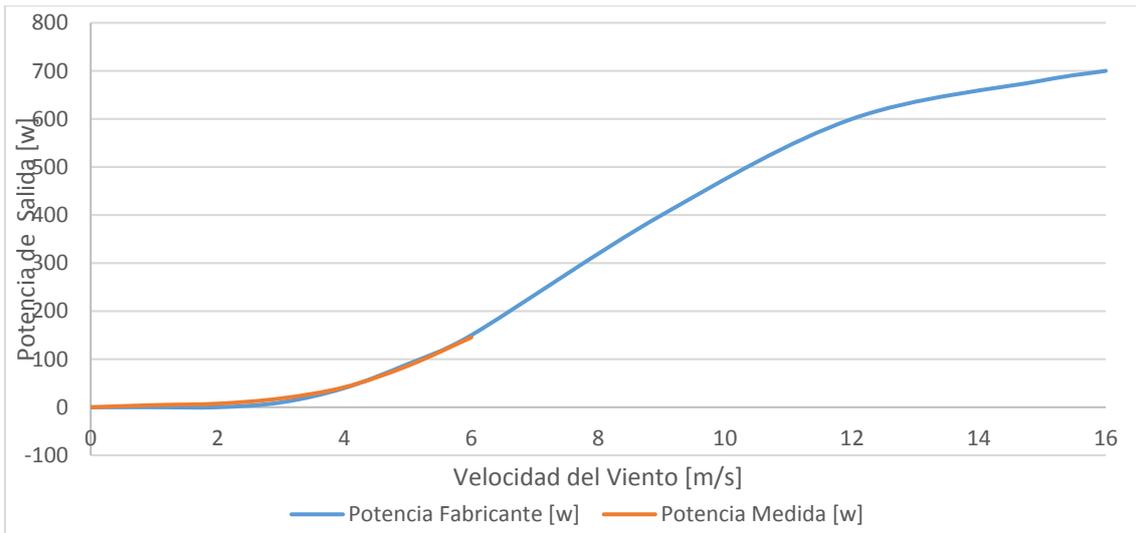


Figura 53, Curva del fabricante VS Curva medida

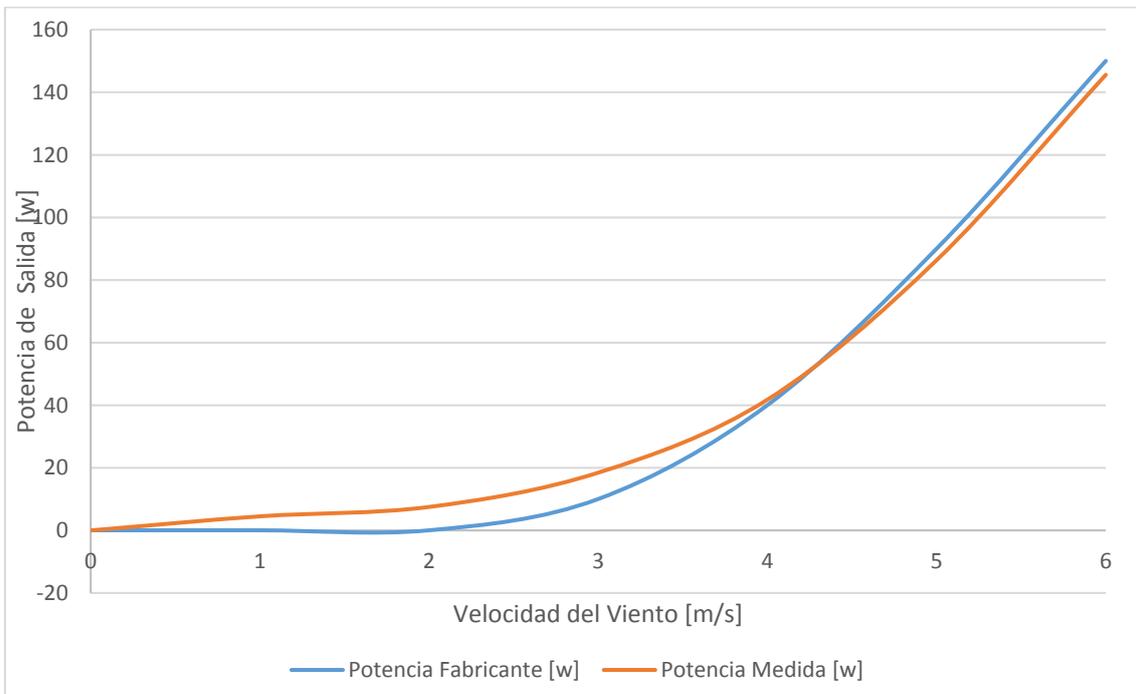


Figura 54, Acercamiento Curva del fabricante VS Curva medida

Las curvas de las (Figura 54, Acercamiento Curva del fabricante VS Curva medida), se puede comparar la curva dada por el fabricante y la que se ha medido en el aerogenerador, como se pudo ver en la simulación y proyecciones concuerdan con la potencia que esta generando.

---

## Capítulo 4:

---

### Análisis estratégico y de Rendimiento

#### 4.1. Análisis costo/eficiencia

Para el análisis costo/eficiencia es necesario conocer las pérdidas de Energía y a su vez los costos que generan las mismas, considerando que el precio del KWh es de 9.13 centavos de dólar (\$0.0913.) para la energía eólica (CONELEC, 2011).

El microaerogenerador en las condiciones actuales de velocidad del viento analizado genera:

*Tabla 39, Potencia media actual*

	Ene-Abr
Densidad de Potencia media útil [W/m <sup>2</sup> ]	5.00
Energía anual [KWh/año]	43.8

El microaerogenerador en condiciones óptimas y favorables de velocidad del viento puede genera:

*Tabla 40, potencia nominal del microaerogenerador*

Potencia nominal microaerogenerador [W/m <sup>2</sup> ]	600
Energía anual microaerogenerador [KWh/año]	5256

Calculo de pérdidas de energía y su costo,

*Tabla 41, Perdidas de energía y su costo*

Eficiencia del generación	1%
Potencia media anual perdida [W/m <sup>2</sup> ]	595,00
Energía anual microaerogenerador [KWh/año]	4818,00
Costo de energía perdida	\$ 439,88

En las condiciones de operación actuales el microaerogenerador estará generando el 1% de su capacidad total, con pérdidas anuales de Energía 4818 KW anuales a un costo de \$ 209,33.

## 4.2. Análisis costo/viabilidad

El análisis económico costo/viabilidad para la implementación del sistema micro-eólico ayudará a determinar las estrategias óptimas en su emprendimiento (Department of Finance and Administration, 2006).

Los Costos por la Implementación debido a los procesos de diseño, montaje y mantenimiento de sistema micro-eólico tienen un costo, sin considerar la infraestructura de física existente en el edificio.

*Tabla 42, Costo del sistema micro-eólico*

Diseño del sistema	\$ 200,00
Materiales	
Kit microaerogenerador	\$ 2.500,00
Poste metálico 6,50 m	\$ 250,00
Accesorios Poste	\$ 50,00
Baterías	\$ 604,80
Accesorios Panel de control y baterías	\$ 356,34
Montaje del sistema	\$ 50,00
<b>Costo Total Sistema Micro-eólico</b>	<b>\$ 4.011,14</b>

Para solventar los gastos de mantenimientos semestrales del microaerogenerador es el 2.5% del costo total del sistema micro-eólico.

*Tabla 43, Costo por mantenimiento del sistema micro-eólico*

Costo mantenimiento semestral básico	\$ 100,28
<b>Costo mantenimiento anual</b>	<b>\$ 200,56</b>

Los Indicadores financieros permiten medir la estabilidad, la capacidad de endeudamiento, el rendimiento y las utilidades del sistema micro-eólico, por lo tanto con estas deducciones es posible tener una interpretación de las cifras, resultados o información de viabilidad del sistema.

## Ingresos Anuales

Tabla 44, Ingresos

Precio del KWh	\$ 0,0913
Potencia promedio generada [KWh]	0,005
Valor Producción \$KWh	\$ 0,0005
<b>Total valor Producción anual \$KWh/año</b>	<b>\$ 4,00</b>

## Egreso Fijo

Tabla 45, Egreso fijo

<b>Costo Total Sistema Micro-eólico</b>	<b>\$ 4.011,14</b>
---	--------------------

## Egresos Anuales

Tabla 46, Egresos anuales

<b>Costo mantenimiento anual</b>	<b>\$ 200.56</b>
----------------------------------	------------------

## Flujo neto de efectivo

Tabla 47, Flujo neto

Año de operación	Ingresos totales	Inversiones para el proyecto		Flujo Neto de Efectivo
		Egresos totales	Fijo	
0				0
1	4,00	200,56	4011,14	-4207,70
2	4,00	200,56		-4404,26
3	4,00	200,56		-4600,81
4	4,00	200,56		-4797,37
5	4,00	200,56		-4993,93
6	4,00	200,56		-5190,49
7	4,00	200,56		-5387,05
8	4,00	200,56		-5583,60
9	4,00	200,56		-5780,16
10	4,00	200,56		-5976,72
11	4,00	200,56		-6173,28
12	4,00	200,56		-6369,84
13	4,00	200,56		-6566,39
14	4,00	200,56		-6762,95
15	4,00	200,56		-6959,51

En las condiciones de actuales el proyectó de sistema micro-eólico no es viable debido a que la inversión no se recuperada dado que el flujo neto de caja no demuestra ganancias sino perdidas adicional a ello la vida útil del microaerogenerador es quince años.

Por lo cual se debería buscar un mecanismo para que el microaerogenerador función a su máxima potencia de 600 W como se proyecta a continuación.

#### Nuevo Ingreso anual

*Tabla 48, Ingresos*

Precio del KWh	\$ 0,09
Potencia promedio [KWh]	0,6
Valor Producción \$KWh	\$ 0,05
<b>Total valor Producción anual \$KWh/añual</b>	<b>\$ 479,87</b>

#### Egresos Anuales

*Tabla 49, Egresos anuales*

<b>Costo mantenimiento anual</b>	<b>\$ 200.56</b>
----------------------------------	------------------

#### Flujo neto de efectivo

*Tabla 50, Flujo neto*

Año de operación	Ingresos totales	Inversiones para el proyecto		Flujo Neto de Efectivo
		Egresos totales	Fijo	
0				0
1	479,87	200,56	4011,14	-3731,82
2	479,87	200,56		-3452,51
3	479,87	200,56		-3173,19
4	479,87	200,56		-2893,88
5	479,87	200,56		-2614,56
6	479,87	200,56		-2335,25
7	479,87	200,56		-2055,93
8	479,87	200,56		-1776,61
9	479,87	200,56		-1497,30
10	479,87	200,56		-1217,98
11	479,87	200,56		-938,67
12	479,87	200,56		-659,35

13	479,87	200,56		-380,03
14	479,87	200,56		-100,72
15	479,87	200,56		178,60

En estas condiciones el proyecto se recuperaría la inversión en 15 años, después de este empezará a concebir ganancias.

### 4.3. Análisis costo/beneficio

El análisis costo-beneficio (ACB) es una técnica muy útil en la toma de decisión para el estudio de viabilidad de proyectos, determinando la conveniencia de la implementación de éste proyecto en términos monetarios del costo y del beneficio (Department of Finance and Administration, 2006).

El análisis ACB se lo realizara para un periodo de 15 años, con un factor de actualización del 7%.

Tabla 51. Cálculo del VAN, R/B/C y TIR con una tasa de descuento del 7%

Año de operación	Costos totales (\$)	Beneficios totales (\$)	Factor de actualización 7,0%	Costos actualizados (\$)	Beneficios actualizados (\$)	Flujo neto de efectivo act. (\$)
0	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
1	4211,70	479,87	0,93	3936,17	448,48	-3487,69
2	200,56	479,87	0,87	175,17	419,14	243,97
3	200,56	479,87	0,82	163,71	391,72	228,00
4	200,56	479,87	0,76	153,00	366,09	213,09
5	200,56	479,87	0,71	142,99	342,14	199,15
6	200,56	479,87	0,67	133,64	319,76	186,12
7	200,56	479,87	0,62	124,90	298,84	173,94
8	200,56	479,87	0,58	116,73	279,29	162,56
9	200,56	479,87	0,54	109,09	261,02	151,93
10	200,56	479,87	0,51	101,95	243,94	141,99
11	200,56	479,87	0,48	95,28	227,98	132,70
12	100,00	479,87	0,44	44,40	213,07	168,67
13	100,00	479,87	0,41	41,50	199,13	157,63
14	100,00	479,87	0,39	38,78	186,10	147,32
15	100,00	479,87	0,36	36,24	173,93	137,68
<b>Total</b>	<b>5511,14</b>	<b>7198,08</b>		<b>4659,52</b>	<b>4370,64</b>	<b>-288,88</b>

- VAN (valor actualizado neto), permite calcular el valor actual de la inversión de flujos de caja futuras producidos por una inversión.
  - Condiciones en la toma de decisiones:

- VAN > 0; la inversión produce ganancias sobre la rentabilidad exigida, el proyecto se acepta.
  - VAN < 0; la inversión no produce ganancias sobre la rentabilidad exigida, el proyecto no se acepta.
  - VAN = 0; La inversión no produce ninguna ganancias ni pérdida alguna. Dependerá del proyectista en aceptar o rechazar el proyecto.
- TIR (tasa interna de rentabilidad) este el promedio geométrico del rendimiento futuro esperado de la inversión.  $r$ , representando el costo de oportunidad en el proyecto.
    - Condiciones en la toma de decisiones:
      - Si el TIR >  $r$ ; La razón del proyecto tiene una rentabilidad mayor de la rentabilidad mínima requerida el proyecto se acepta.
      - Si el TIR <  $r$ ; La razón del proyecto tiene una rentabilidad menor de la rentabilidad mínima requerida, el proyecto no se acepta.
  - R B/C (razón beneficio/costo), es el punto de equilibrio para fijar el momento en que la empresa empieza a generar ganancias.  $razón = \frac{BeneficioTotales}{CostoTotales}$ 
    - Para admitirse, se requiere que la razón  $\frac{B}{C} > 1$ .

Tabla 52, Indicadores financieros

<b>VAN=</b>	<b>-1.042,93</b>	Se rechaza
<b>TIR =</b>	<b>1,87%</b>	Se rechaza
<b>B/C =</b>	<b>0,81</b>	Se rechaza

La implementación del proyecto micro-eólico, según los indicadores no es beneficioso ni rentable, por sus altos costos en la implementación y su baja rentabilidad.

---

## Capítulo 5:

---

### Conclusiones y Recomendaciones.

#### 5.1 Conclusiones

El objetivo general de este proyecto se ha cumplido a cabalidad, logrando analizar y parametrizar las características de un microaerogenerador en configuración aislada.

El primer objetivo específico se realizó con satisfacción, encontrando el microaerogenerador que se utilizó en este proyecto. El segundo planteado se plasmó recopilado y analizando las condiciones climatológicas influyentes para un sistema micro-eólico. El tercer objetivo trazado se efectuó al parametrizar las condiciones eólicas en un microaerogenerador. El cuarto planificado en el análisis mediante una simulación dio resultados que guiaron en el desarrollo de este proyecto y de la no viabilidad del mismo. Y el último se plasmó a instalar el micro aerogenerador en el edificio Guillermo Mensi siendo el más alto y sin obstáculos para el flujo del viento,

Según el análisis de las condiciones de vientos en Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca en esta zona no es viable la implementación de sistema eólicos ya que la velocidad media tendencial es de 1,78 m/s que es demasiado bajo como medio de generación de energía eléctrica, como fue el caso de análisis del microaerogenerador que necesita una velocidad nominal de 12.5 m/s para generar 600 W, este llegó a alcanzar una densidad de potencia media 5 W/m<sup>2</sup>.

Según lo que analizó el viento en esta zona es demasiado inestable y esporádico, lo cual afecta directamente a microaerogenerador ya que este

depende del viento a un flujo y velocidad constante para su generación. Se podría decir que el cambio climático actual afecta directamente a las condiciones meteorológicas y por ende a la generación del microaerogenerador.

Considerando las condiciones específicas actuales del viento para la zona en estudio esta inversión no sería recuperable dado que su producción de energía es 0.005 kWh promedio lo cual no puede abastecer directamente la demanda de una carga, representando un valor económico de \$ 4.00 anuales y ninguno de sus indicadores financieros son aceptables.

El análisis económico revela que no es viable la implementación de un microaerogenerador como medio de generación eléctrica para abastecer la demanda de una determinada carga así este llegue a alcanzar una densidad de potencia media  $600 \text{ W/m}^2$  funcionando al 100% debido a su alto costo de implementación y baja rentabilidad, en ciudades o ubicaciones geográficas donde existe tendido de red eléctrica.

Otro parámetro a considerar en la implementación de microaerogenerador es de considerar la vida útil y el modelo de mantenimiento del mismo, según el manual las aspas este tiene una vida es 15 años en el mejor de los casos, pero si existe velocidades del viento muy elevadas o condiciones ambientales este periodo de vida decaerá drásticamente, dando como otro un punto en contra para su implantación.

Como el viento no es un elemento que se pueda controlar a voluntad y este es variable se debe agregar un banco de baterías el cual ira almacenando la energía para ser utilizada posteriormente, esto quiere decir que se podría tener un flujo de energía constante a niveles de voltaje y potencias óptimos por un periodo según sea la carga de las mismas.

## 5.2 Recomendaciones

La energía eólica es una buena alternativa de generación de energía, pero se deben buscar mejorar las condiciones lugares aceptables para la generación de la misma.

La generación de energía eólica para lugares que no puedan acceder al servicio de energía eléctrica a través de red eléctrica, pueden optar por esta fuente de energía pero siempre y cuando las condiciones atmosféricas específicamente la del viento sea velocidades altas pero no difusas.

Como se pudo observar en los análisis del velocidad de viento, este decae cada año, esto puede ser consecuencia de los cambios climatológicos que estamos experimentando en la actual, por lo cual debemos actuar inmediatamente para mitigarlos y poder dejar un medio ambiente sano para futuras generaciones.

Del ser el caso de la implantación del sistema de micro eólico, se debe dimensionar correctamente el banco de baterías para almacenar energía, y así tener una fuente constante por un periodo determinado preferentemente con cargas de corrientes continua sean estos de 12, 24 y 48 según sea el voltaje de microaerogenerador para así evitar el uso de inversores en el sistema en indirectamente perdidas por la conversión de corriente continua a alterna.

Buscar optimizar la generación del sistema micro-eólico implementado en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca y así conseguir mejores resultados.

---

## Bibliografía

---

- Al-Shemmeri, T. &. (2010). *Wind Turbines*. bookboon.com.
- Benavides, G. A., Mejía, C. I., & Ciro, J. D. (2007). Estimación del potencial de energía eólica en una ubicación urbana del noroccidente de la ciudad de Medellín. En Join.
- Castells, X. E. (2012). *Energías Renovables*. Albasanz, 2: Díaz de Santo.
- Center for Innovation in Engineering and Science Education (CIESE) . (2007). *Cielo Azul*. Obtenido de Escala de Beaufort del Viento: <http://www.ciese.org/curriculum/weatherproj2/es/popup/beaufort.shtml>
- CONELEC. (2011). REGULACIÓN No. CONELEC – 004/11. En CONELEC, *Precio tomado de la Tabla No. 1, "Precios Preferentes Energía Renovables en (cUSD/kWh)"*. CONELEC.
- Department of Finance and Administration. (2006). *Handbook of Cost-Benefit Analysis*. Financial Management Group.
- Drishtysingh Ramdenee. (2012). *Aeroelasticity of Wind Turbines Blades Using Numerical Simulation*. INTECH.
- Figueredo, C. M. (2006). *Energía Eólica*. Ciudad de La Habana: CUBASOLAR.
- García Barrios, F. d. (2010). *Predicción dePotencia Eólica*.
- Gisiberica. (s.f.). *Tipos de Anemometros*. Obtenido de <http://www.gisiberica.com/anem%C3%B3metros/TIPOS%20ANEMOMETROS.htm>
- HyperPhysics. (Agosto de 2000). *Energía Cinética*. Obtenido de HyperPhysics: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/ke.html>
- Lakes Environmental Software. (2014). *WRPLOT Wiew*. Obtenido de <http://www.weblakes.com/products/wrplot/?AspxAutoDetectCookieSupport=1>

- Lecuona Neumann, A. (2002). *LA ENERGÍA EÓLICA: Principios básicos y tecnología*. Leganés.
- Measurement, A. (2015). *Ammonit*. Obtenido de Ammonit: <http://www.ammonit.com/es/informacion-eolica/energia-eolica>
- Moreno Figueredo, C. (s.f.). *Estimación de la energía producida por un aerogenerador*. La Habana: Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER).
- Navales Talayero, A. P. (2008). *ENERGIA eólica*. Zaragoza: Pressas Universitarias de Zaragoza.
- Opex energy. (2014). *Tipos de Microaerogeneradores*. Obtenido de Tipos de Microaerogeneradores: [http://opex-energy.com/eolica/tipos\\_microaerogeneradores.html](http://opex-energy.com/eolica/tipos_microaerogeneradores.html)
- Orbegozo, C., & Arivilca, R. (2010). *Energía Eólica, Manual técnico para pequeñas instalaciones*. Green Energy Consultoría y Servicios SRL.
- Publicaciones Vértice S. L. (2011). *Desarrollo de proyectos de instalaciones de energía mini-eólica aislada*. Málaga: Editorial Vértice.
- Rapallini, J. A., & Moragues, A. T. (2003). *Energía Eólica*. Instituto Argentino de Energía.
- Rubio, M. L. (s.f.). *Diseño de Aerogeneradores*.
- SEVELEC. (2010). *Guía práctica, dimensionamientos de bancos y cargadores de batería*. Córdoba: SEVELEC.
- Taizhou Sunnily Wind Power Technology Co., Ltd. (2011). *X-600W manual*. Zhejiang: Taizhou Sunnily.
- UCLM, Grupo G-9. (01 de 01 de 2011). *Energía Eólica. Curso de Física Ambiental*.
- UPS. (2014). *INFORMACIÓN METEOROLÓGICA DEL CANTÓN CUENCA*. Obtenido de Mapa Meteorológico del Cantón Cuenca: <http://redenti.ups.edu.ec:8086/iner/faces/index.xhtml>

Verdes, R. (2014). *Renovables verdes*,. Obtenido de Orígenes e historia de la energía eólica: <http://www.renovablesverdes.com/origenes-e-historia-de-la-energia-eolica/>

Villarrubia, M. (2004). *Energía Eólica*. CEAC.

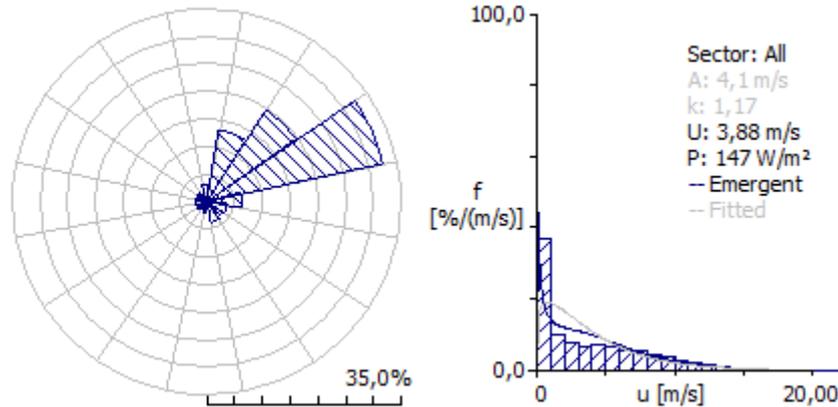
Voneschen2, M. F. (2009). *Introducción a la teoría de las turbinas eólicas*. Madrid: Castelldefels.

## **Anexo I**

# '2012' Observed Wind Climate

Produced on 29/07/2015 at 17:41:20 by licenced user: Unlicensed using WASP version: 11.02.0062.  
 Site description: 'UPS-2012'; Position: -2,89°N -78,99°E; Anemometer height: 2.555,00 m a.g.l.

Parameter	Measured	Emergent	Discrepancy
Mean wind speed [m/s]	unknown	3,88	unknown
Mean power density [W/m <sup>2</sup> ]	unknown	147 W/m <sup>2</sup>	unknown



	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5
A	1,9	4,1	4,5	7,4	2,5	1,0	0,5	1,1	0,5	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6
k	1,05	1,92	1,55	1,99	0,91	0,69	0,64	0,76	0,57	0,71	0,66	0,65	0,81	0,85	0,67	0,70
U	1,85	3,65	4,09	6,60	2,61	1,24	0,74	1,26	0,80	0,78	1,01	1,00	0,76	0,78	0,77	0,73
P	20	59	108	338	83	23	7	17	14	5	15	15	3	3	6	4
f	3,1	13,1	19,7	32,3	6,4	3,7	3,4	3,6	2,0	1,6	2,0	1,9	1,5	2,0	2,0	1,7

U	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5	All
1,0	541	206	223	156	508	710	785	684	787	829	738	738	881	864	854	873	369
2,0	101	98	136	94	123	68	66	78	78	76	83	80	44	84	75	38	99
3,0	116	138	106	64	47	47	36	65	40	51	47	66	41	23	21	29	77
4,0	67	149	88	55	20	45	51	54	25	25	34	22	27	13	15	18	67
5,0	84	151	98	50	52	40	40	47	30	6	34	41	0	0	21	35	69
6,0	55	116	99	64	51	29	19	34	20	0	36	19	0	10	5	0	65
7,0	29	76	69	68	59	21	0	24	5	0	13	11	0	5	5	0	53
8,0	3	41	72	83	55	25	3	9	5	13	10	6	7	0	0	6	52
9,0	3	20	49	84	33	11	0	6	5	0	0	17	0	0	0	0	43
10,0	0	2	35	82	29	3	0	0	0	0	5	0	0	0	5	0	36
11,0	0	2	11	63	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	23
12,0	0	0	9	55	9	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	20
13,0	0	0	3	37	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
14,0	0	0	2	23	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
15,0	0	0	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
16,0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
17,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### All-sector statistics

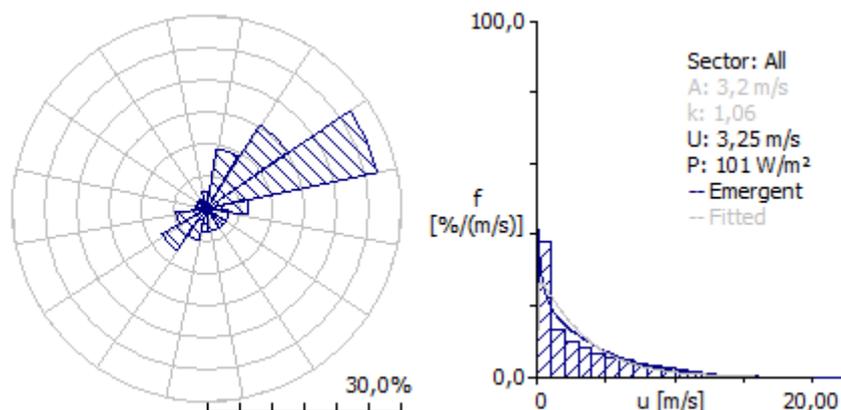
	Weibull-A	Weibull-k	Mean speed	Power density
Source data	-	-	(not available from the file)	
Fitted	4,1 m/s	1,17	3,85 m/s	147 W/m <sup>2</sup>
Emergent	-	-	3,88 m/s	147 W/m <sup>2</sup>
Combined	4,1 m/s	1,18	3,88 m/s	147 W/m <sup>2</sup>

A and U are given in m/s, P in W/m<sup>2</sup> and the frequencies of occurrence in per mille and per cent (f).

# '2013' Observed Wind Climate

Produced on 29/07/2015 at 17:45:11 by licenced user: Unlicensed using WASP version: 11.02.0062.  
 Site description: 'UPS-2013'; Position: -2,89°N -78,99°E; Anemometer height: 2.555,00 m a.g.l.

Parameter	Measured	Emergent	Discrepancy
Mean wind speed [m/s]	unknown	3,25	unknown
Mean power density [W/m <sup>2</sup> ]	unknown	101 W/m <sup>2</sup>	unknown



	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5
A	1,3	3,4	4,3	6,7	2,0	0,9	0,7	0,7	1,8	2,7	2,3	1,7	0,6	0,7	0,7	0,7
k	0,90	1,64	1,51	1,83	0,86	0,74	0,70	0,70	0,96	1,14	1,26	1,12	0,73	0,86	0,91	0,77
U	1,38	3,08	3,88	5,92	2,18	1,13	0,91	0,90	1,82	2,59	2,11	1,62	0,77	0,77	0,76	0,78
P	13	43	97	268	58	13	8	8	25	48	21	12	4	3	2	4
f	2,7	9,6	15,3	26,8	6,4	3,6	3,4	3,5	3,7	5,0	7,8	4,9	1,8	1,9	1,8	1,8

U	0	22,5	45	67,5	90	112,5	135	157,5	180	202,5	225	247,5	270	292,5	315	337,5	All
1,0	612	249	222	164	505	684	737	731	521	423	389	472	815	863	839	767	380
2,0	126	144	143	96	149	125	91	122	147	128	188	229	91	78	87	113	131
3,0	95	154	113	80	72	59	69	59	90	104	170	136	47	31	47	64	99
4,0	70	152	104	71	60	54	42	32	83	83	105	94	13	17	18	28	81
5,0	41	128	94	66	41	25	29	24	58	65	72	32	12	5	5	21	64
6,0	42	84	85	62	43	26	17	15	49	58	42	15	20	0	2	4	53
7,0	12	50	85	73	42	12	10	13	21	57	19	15	0	5	2	4	48
8,0	0	23	64	78	28	11	4	3	24	52	7	4	2	2	0	0	39
9,0	0	10	44	81	26	2	1	1	8	28	5	2	0	0	0	0	34
10,0	0	6	25	76	15	1	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	26
11,0	2	1	15	62	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
12,0	0	0	5	41	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
13,0	0	0	1	26	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
14,0	0	0	1	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
15,0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
16,0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
17,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### All-sector statistics

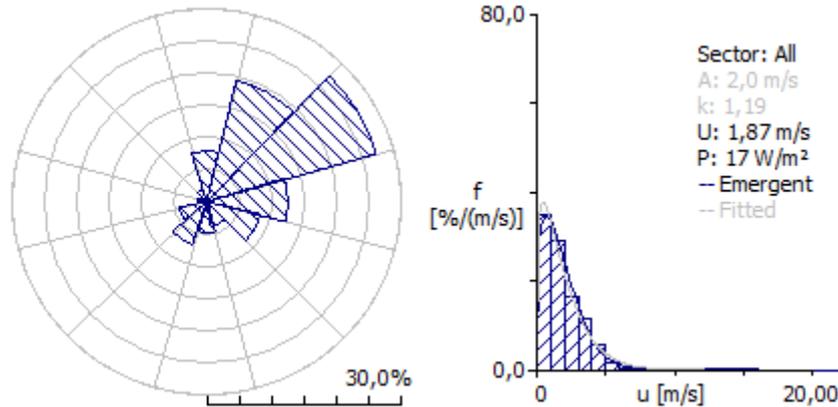
	Weibull-A	Weibull-k	Mean speed	Power density
Source data	-	-	(not available from the file)	
Fitted	3,2 m/s	1,06	3,17 m/s	101 W/m <sup>2</sup>
Emergent	-	-	3,25 m/s	101 W/m <sup>2</sup>
Combined	3,4 m/s	1,10	3,25 m/s	101 W/m <sup>2</sup>

A and U are given in m/s, P in W/m<sup>2</sup> and the frequencies of occurrence in per mille and per cent (f).

# '2014' Observed Wind Climate

Produced on 29/07/2015 at 17:46:53 by licenced user: Unlicenced using WAsP version: 11.02.0062.  
 Site description: 'AGupa'; Position: -78,99°N -2,89°E; Anemometer height: 2.555,00 m a.g.l.

Parameter	Measured	Emergent	Discrepancy
Mean wind speed [m/s]	unknown	1,87	unknown
Mean power density [W/m <sup>2</sup> ]	unknown	17 W/m <sup>2</sup>	unknown



	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
A	1,8	2,3	2,8	1,3	1,0	1,1	2,2	2,3	1,7	1,2	0,9	1,2
k	0,76	1,83	1,88	1,11	1,37	1,13	1,35	1,67	2,07	1,25	1,42	1,30
U	2,16	2,04	2,50	1,26	0,91	1,01	2,03	2,02	1,51	1,10	0,79	1,09
P	83	11	19	6	1	3	17	12	4	3	1	3
f	8,0	19,4	27,2	12,5	8,5	3,7	4,7	7,0	4,4	1,5	1,1	2,1

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1,0	273	235	249	541	643	617	319	194	285	570	737	566	350
2,0	352	307	206	290	304	267	263	364	502	302	224	313	289
3,0	205	243	171	72	42	67	202	242	182	108	39	100	164
4,0	74	154	190	62	7	45	110	132	25	10	0	14	114
5,0	18	51	142	23	3	0	42	41	5	0	0	0	58
6,0	5	10	37	10	0	4	30	22	2	10	0	7	17
7,0	2	0	4	1	0	0	35	5	0	0	0	0	3
8,0	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11,0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12,0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13,0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14,0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
15,0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
16,0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### All-sector statistics

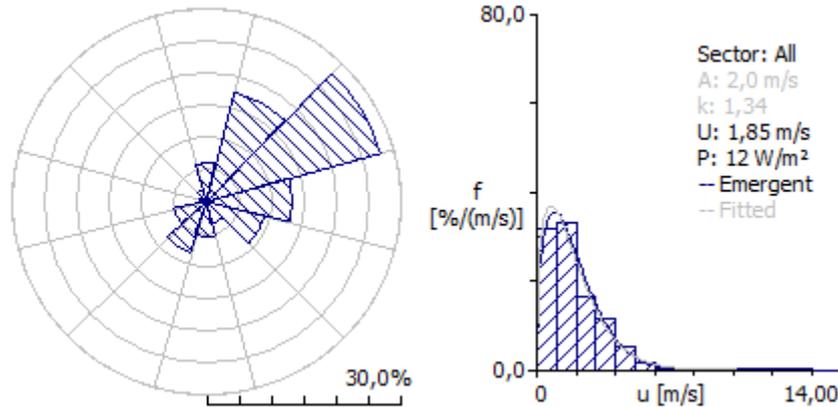
	Weibull-A	Weibull-k	Mean speed	Power density
Source data	-	-	(not available from the file)	
Fitted	2,0 m/s	1,19	1,90 m/s	17 W/m <sup>2</sup>
Emergent	-	-	1,87 m/s	17 W/m <sup>2</sup>
Combined	2,0 m/s	1,17	1,87 m/s	17 W/m <sup>2</sup>

A and U are given in m/s, P in W/m<sup>2</sup> and the frequencies of occurrence in per mille and per cent (f).

# '2015' Observed Wind Climate

Produced on 29/07/2015 at 17:48:29 by licenced user: Unlicensed using WAsP version: 11.02.0062.  
 Site description: 'AGups'; Position: -78,99°N -2,89°E; Anemometer height: 2.555,00 m a.g.l.

Parameter	Measured	Emergent	Discrepancy
Mean wind speed [m/s]	unknown	1,85	unknown
Mean power density [W/m <sup>2</sup> ]	unknown	12 W/m <sup>2</sup>	unknown



	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
A	1,6	2,3	2,8	1,5	1,2	1,1	2,2	2,1	1,7	1,0	0,7	1,0
k	0,82	1,80	2,00	1,22	1,69	1,26	1,48	1,72	2,16	1,53	0,81	1,53
U	1,81	2,04	2,51	1,40	1,03	1,01	1,96	1,85	1,50	0,94	0,75	0,89
P	39	11	18	7	2	2	13	9	4	1	3	1
f	6,0	17,6	27,8	13,3	9,2	3,5	5,5	8,1	5,1	1,0	0,9	1,9

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1,0	261	228	198	443	546	602	287	250	301	610	751	644	318
2,0	434	318	241	400	392	286	303	367	471	325	50	309	328
3,0	192	225	192	51	54	79	242	249	202	65	149	48	166
4,0	47	166	214	47	7	33	84	102	27	0	50	0	114
5,0	9	55	123	45	0	0	31	15	0	0	0	0	53
6,0	4	8	29	14	0	0	45	11	0	0	0	0	15
7,0	0	0	4	0	0	0	8	6	0	0	0	0	2
8,0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
10,0	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11,0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13,0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

### All-sector statistics

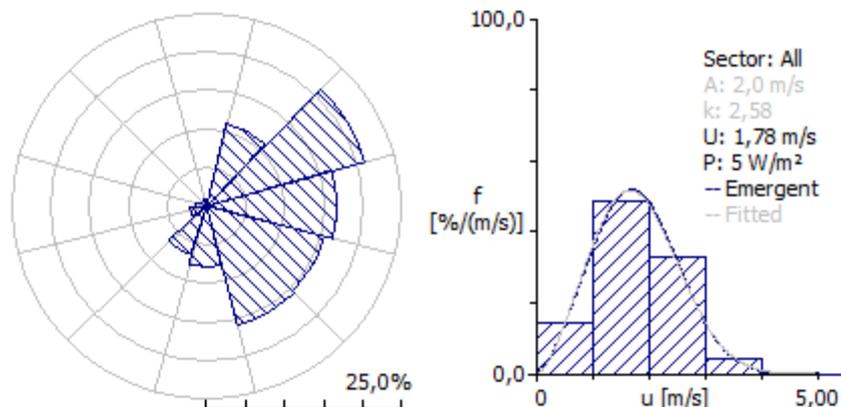
	Weibull-A	Weibull-k	Mean speed	Power density
Source data	-	-	(not available from the file)	
Fitted	2,0 m/s	1,34	1,83 m/s	12 W/m <sup>2</sup>
Emergent	-	-	1,85 m/s	12 W/m <sup>2</sup>
Combined	2,0 m/s	1,37	1,85 m/s	12 W/m <sup>2</sup>

A and U are given in m/s, P in W/m<sup>2</sup> and the frequencies of occurrence in per mille and per cent (f).

# 'MAUPS' Observed Wind Climate

Produced on 29/07/2015 at 17:50:51 by licenced user: Unlicensed using WASP version: 11.02.0062.  
 Site description: 'AGUPS'; Position: -78,99°N -2,89°E; Anemometer height: 2.555,00 m a.g.l.

Parameter	Measured	Emergent	Discrepancy
Mean wind speed [m/s]	unknown	1,78	unknown
Mean power density [W/m <sup>2</sup> ]	unknown	5 W/m <sup>2</sup>	unknown



	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
A	1,0	2,1	2,2	2,1	1,9	2,0	1,8	2,0	1,7	1,7	1,6	0,5
k	1,56	2,75	3,13	2,72	2,63	2,57	2,40	1,96	2,39	2,97	3,17	10,34
U	0,88	1,84	1,93	1,85	1,70	1,78	1,59	1,73	1,47	1,55	1,48	0,49
P	1	6	6	6	5	5	4	6	3	3	3	0
f	0,9	11,0	21,0	16,8	15,8	16,0	7,9	6,6	2,3	1,5	0,3	0,0

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	All
1,0	652	146	88	126	146	109	207	215	224	146	170	1.000	141
2,0	310	436	447	457	529	524	545	451	656	658	702	0	488
3,0	39	373	427	367	301	319	220	237	83	196	128	0	329
4,0	0	46	36	49	24	48	28	81	38	0	0	0	41
5,0	0	0	2	1	0	0	0	16	0	0	0	0	2
6,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

## All-sector statistics

	Weibull-A	Weibull-k	Mean speed	Power density
Source data	-	-	(not available from the file)	
Fitted	2,0 m/s	2,58	1,78 m/s	5 W/m <sup>2</sup>
Emergent	-	-	1,78 m/s	5 W/m <sup>2</sup>
Combined	2,0 m/s	2,60	1,78 m/s	5 W/m <sup>2</sup>

A and U are given in m/s, P in W/m<sup>2</sup> and the frequencies of occurrence in per mille and per cent (f).